

# 레저용 쌍동선 선박 설계와 제작(Ⅱ)

구 현 모/선박검사기술협회 연구개발부

## 목 차

### I. 레저용 쌍동선의 Mould Plug 제작과정 및 제품 생산과정

1. 서언
2. Mould Plug 제작방법의 종류와 그에 따른 경제성
3. Mould 제작의 종류와 방식
4. Mould의 관리방법과 그 중요성
5. 선체 적층 방식의 종류와 경제성
6. 선체 적층에 사용되는 자재의 종류와 특징

### I. 레저용 쌍동선 선박의 초기 개략도와 설계

- III. 타국의 레저용 쌍동선의 승인 및 등록 절차와 방법 및 관리체계
- IV. 레저용 쌍동선의 구조 및 구조설계
- V. 레저용 쌍동선의 인테리어 및 인테리어 설계
- VI. 레저용 쌍동선의 전기장치와 기관장치
- VII. 레저용 쌍동선의 안전설비 및 설치요령
- VIII. 레저용 쌍동선과 연계되는 사업
- IX. 세계 유명 Boat Show의 소개와 레저 선박산업의 현재
- X. 한국 레저선박산업의 현실과 대응

## 1. 서 언

한국의 GRP선박산업의 기술력은 오랫동안 정체되어 있다. Mould Plug제작에서 제품의 출하까지 10년 전과 발전된 것이 없다. 그 이유 중 가장 중심적인 두 가지 문제를 제기한다.

첫 번째 평가절하된 GRP 선박의 선가이다. 선가를 결정하는 세 가지 주요요소는 원자재, 인건비, 감가상각비이다. 선주의 입장에서 선가를 낮게 책정하는 조선소와 낮은 선가의 선박을 요구하는 경향으로 인하여 조선소에서는 감가상각비를

제외한 원자재와 인건비에서 비용을 줄여 왔다. 이런 영향으로 나타나는 현상은 아래와 같다.

- ① GRP 원자재 개발이 되지 않는다.
- ② 인건비 절약을 위해 작업의 정밀도와 작업 표준이 무시된다.
- ③ GRP선박의 수명을 60년에서 6~10년으로 단축된다.
- ④ 다른 국가들에 비해 빨리 폐선의 문제가 대두된다.
- ⑤ 소형선박제조자들의 해외공장 설립이 늘어난다.

해외 어선이 톤당 1,800~2,200만원의 선가를 받는데 비해 우리나라의 선가는 600~700만원을 받고 있으며, 레이저용 선박의 경우도 2.5~5배의 선가차이가 난다. 3배의 선가를 주고 6~10배의 기간을 더 운행할 수 있다면 어떤 것이 효율적인 지는 자명하다. 이는 어업과 조선소의 영세성에도 기인하겠지만, 무허가 불법 조선소와 선박의 판매를 위해 단가를 계속 낮추고 있는 GRP조선소들 스스로 자멸하는 길을 택하고 있는 건 아닌지 돌아봐야 한다.

두 번째 GRP 자재와 GRP선박관련 새로운 기술과 공법의 보급과 정보교류의 통로가 없다. 레이저용 선박은 겉모습뿐만 아니라 새로운 기술의 도입으로 선박의 주행성 향상과 작업공정의 대량생산화를 통한 원가절감을 해야 한다. 또한, 다른 회사들을 Benchmark하여 도태되지 않도록 긴장해야 한다. 이러한 정보는 단순히 선박의 건조자뿐만 아니라 수요자들에게도 보급되어져서 어떠한 선박이 제대로 된 선박인지에 대한 사회적 공감대를 형성해야 한다. 이런 공감대 속에서 기술력이 없는 조선소가 자연스럽게 도태되도록 해야 한다. 하지만, 안타깝게도 국내에서는 GRP와 GRP선박에 대한 전문적인 매체도 없을뿐더러, 정보를 교류할 수 있는 공간도 협소하다.

새로운 기술과 정보교류는 선박의 가격보다 우선시되어야 하며, 그것의 일환으로 레이저형 선박의 생산에 관련하여 해외의 GRP 레이저 선박의 개발과 생산에 관해 기술하고자 한다. 해외의 사례가 무조건 옳을 수는 없다. 또한, 해외와 우리나라 사이에 작업환경, 작업자, 재정 및 선주의 선호도가 다름으로 인해 완전적용이나 부분적용의 어려움이 있다. 그렇기에 많은 사진자료와 도면을 첨부하여 이해하기 쉽게 기술할 것이며, 현재 우리나라 GRP산업의 기반에서 적용가능한 부분을 중점으로 기술할 것이다. 이 글을 읽으면서 부탁하고 싶은 것은 세계 GRP레이저선박의 기술력의 향상은 비용의 절감과 공사기간의 단축에 중점을 두었지,

그 반대는 아니라는 것과 노동력을 위주로 한 선박산업의 침체는 필연적으로 고부가가치의 선박산업으로 이동할 수밖에 없다는 것을 이해하고 가야 한다.

## 2. Mould Plug 제작방법의 종류와 그에 따른 경제성

GRP의 생산품질과 공사기간은 Mould Plug에 의해 결정되어 진다. 한번 만들어진 Mould는 그 변형이나 수정이 쉽지 않음으로 인하여 Plug제작에 신중을 기해야 한다. 외국에서 수입해 들어오는 레이저형 선박의 표면을 보면 10년이 넘은 선박이라 할지라도 표면에 굴곡이 없고 광택상태가 양호함을 볼 수 있다. 이는 Mould제작이 형틀(Plug)에 의해 결정되는 것을 알 수 있다. 전통적인 Mould Plug 제작방법과 최신 Mould Plug제작 방법을 검토하고, 현 시기에 가장 알맞은 Mould Plug제작 방법이 무엇인지에 대한 경제성 및 공사기간에 대해 비교하고자 한다.

### 가. 전통적인 Plug 제작 방법

#### - 우리나라의 Frame제작



그림 1. Frame 절단

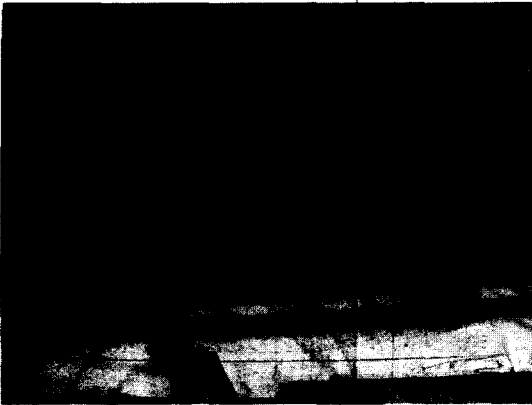


그림 2. Frame 일부를현도판에 놓은 모습



그림 3. 한쪽 Hull Frame의 완성

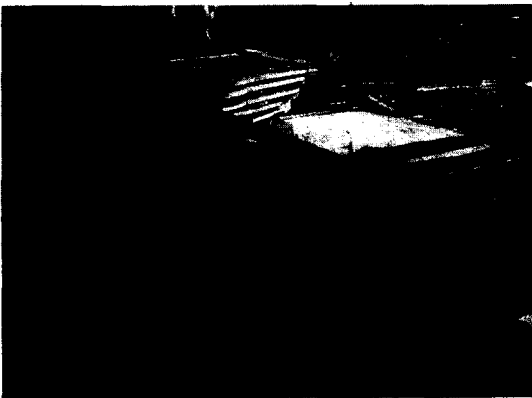


그림 4. 전체 Frame의 완성

위 그림 1~4까지는 현 국내에서 사용하는 Plug제작을 위한 Frame을 만드는 방법이다. 현

도에서 이미 형틀을 만들기 위한 나무와 합판, 적층의 두께가 계산되었고, 그것을 18mm두께에 100mm폭으로 절단된 목재를 가공하여 전체 Frame을 제작하였다.

이 방식의 장점은 첫째 자재원가를 줄일 수 있다. 둘째 목재의 크기를 작게 사용함으로써 작업성이 용이하다. 셋째 특별한 기술력과 노하우가 없는 인력을 사용하여 인건비 절약을 기할 수 있다.

단점으로는 Frame의 설치 및 설치 후 변형이 심하다. Plug의 최대 오차범위가 2mm임을 감안한다면 수동으로 절단할 시에 오차범위를 맞추기 힘들다. 단순한 선형외에는 사용할 수 없다. 작업시간이 오래 걸린다. frame의 설치시 정확성이 떨어진다.

#### - 외국의 Frame제작

위와 같은 단점을 보완하기 위해 나온 방법이 CNC Route 절단이다. 대형 조선소에서 철판이나 합판을 절단하거나, 인테리어 작업자들이 Computer로 조정하는 절단선반을 이용하는 것으로 오차범위를 0.01mm이하로 작업할 수 있다. 또한, 각 Frame의 도면이 완성되어 있다는 조건에서 한 선반에서 6000x6000 frame을 약 30분에 한 개씩 절단 가능하다. 우리나라의 소형조선소가 할 수 있는 설비는 아니지만 현재 이 방식을 이용하는 대형업체가 상당수 국내에 있다. 또한, 요 근래 Laser 절단 선박도 대중화되면서 가격이 많이 낮아졌다. CNC Route 절단 작업의 순서는 아래와 같다.

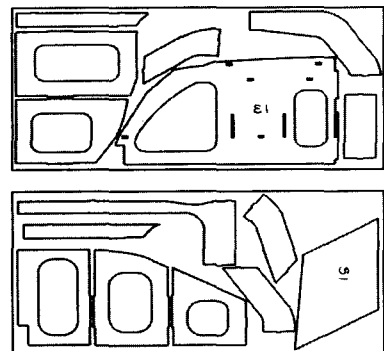


그림 5. Cutting Plan for CNC machine

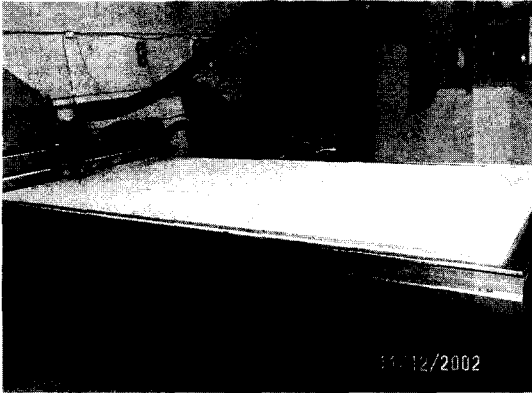


그림 6. Computer로 조정, 도면에 형태를 Route로 절단하는 모습



그림 7. 절단되어진 Frame의 절반

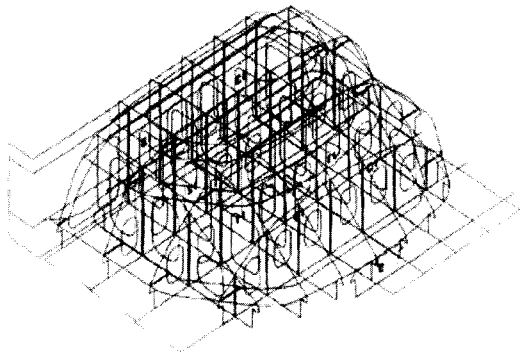


그림 8. 절단된 부재의 조립도

그림 5에서는 합판의 크기에 작업에 필요한 부재를 배치한 모습이다. 3600×2400의 크기로 작성되었고, 사용하지 않고 버려지는 자재면적은 전체면적의 약 20% 가량 된다. 강선부재와 비슷하게 안에 큰 Hole을 만든 것은 구조물의 중앙부위 까지 작업자가 들어가서 작업을 할 수 있는 통로이며, 부재를 가볍게 하여 작업성을 높이려는 이유이다. 작은 Hole들은 Panel들의 조립시 서로 연결되어지는 부위이다. 일반적으로 Deck의 절단시에는 부재의 절약과 이동성을 위해 큰 홀을 만들지만, Hull의 절단시에는 변형을 막기 위해 사용하지 않는다. 그림 6은 CAD, CAM 프로그램을 사용하여 Router선반으로 부재를 절단하고 있는 것이다. 18mm Chip Board를 사용하였고, 일반적으로 계약 시 허용오차는 0.1mm이다. 그림 7은 절단되어진 세일링 쌍동선박 Hull의 절반으로 2000x1600 크기를 15분만에 절단한 것이다. 그림 8은 이렇게 절단하여 만들어진 부재의 조립도로 3차원 도면을 그리는 것이 효율적이다. 그 이유로는 2차원 제작도에서 각 Panel을 짜 맞추기 위해 만든 홀이 정확히 접합되는가를 확인할 수 있고, 통로의 이동상황과 작업자에게 조립의 순서와 방법 및 완성된 상태를 미리 보여 주어서 작업의 효율과 인건비 절감을 할 수 있기 때문이다. 작은 홀의 위치와 크기를 각 Panel마다 달리 하여 Panel의 조립시에 숙련된 기술자가 아니라 할지라도 작업이 가능하게 해야 한다.

이 방법의 장점은 작업을 신속하게 할 수 있고, 복잡한 선형이나 인테리어에 적용이 가능하며, 정확한 작업을 할 수 있다는 것이다. 또한 조립이전에 3차원으로 조립의 형태와 방법을 검토해 볼 수 있다. 또한, 인건비를 줄일 수 있다. 단점으로는 설계비용과 자재비용이 늘어나며, 직접 설비시에 설비비용에 따른 감가상각비나 시설유지비용이 늘어난다. 또한, 사용할 수 있는 자재의 폭이 좁다.

그림 9~11은 우리나라의 U-Plug Frame 설치 및 작업의 모습이다. 이러한 방식의 장점은 작

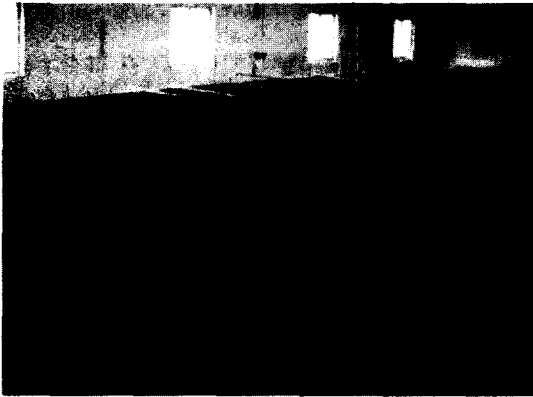


그림 9. Frame의 설치와 Batten 취부

용하지 않음으로 목재개별에 변형이 있고, 복잡한 성형물에는 적용이 힘들며, 건조 중에 Plug의 변화를 확인하기 힘들다. 또한 그림 11에서 보는 것과 같이 나무 중에 가장자리 절단 부위와 중심부 위 절단 부위를 섞어서 사용하여서, 나무변형의 정도가 부위마다 틀리는 점이다. 아래 두 가지의 방법은 외국에서 사용하는 GRP레저 선박 Plug의 전형적인 건조 방법이다. 그림 12를 보면 각 Frame에 Batten이 들어갈 수 있도록 Frame이 성형되어 있는 것을 볼 수 있다. 그 성형된 홈에 Batten을 취부한 것이 아래의 그림 13과 14이다.

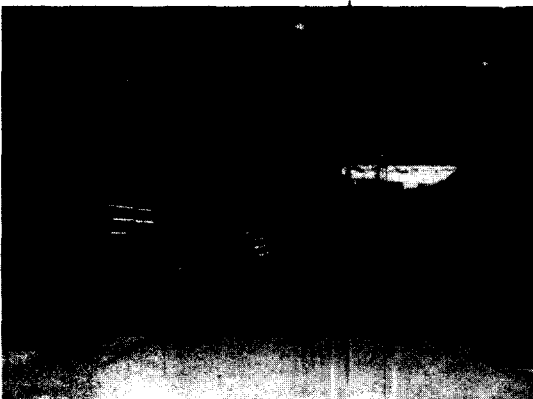


그림 10. Plug 외판의 취부



그림 12. Frame을 세운 모습

업의 속력이 빠르며, 특별한 기술력이 필요하지 않다. 단점으로는 완전 건조되지 않은 목재의 사용과 그림 11과 같이 몸체 Batten을 연결하여 사

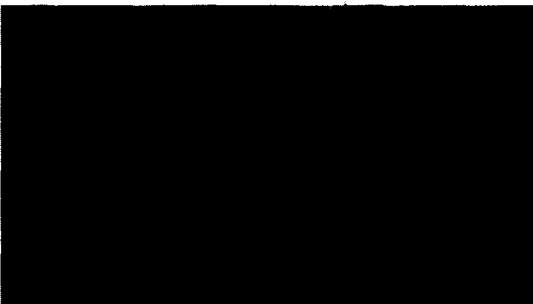


그림 11. Plug 부재의 사용

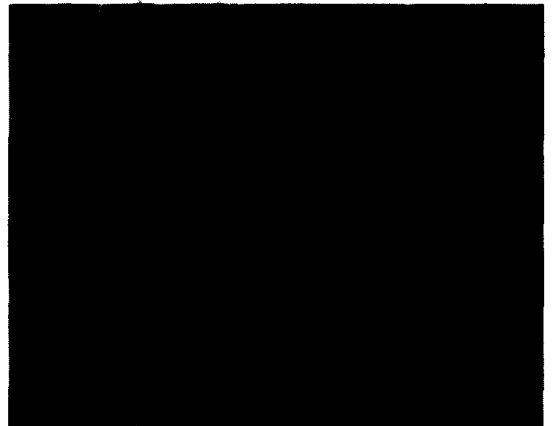


그림 13. Batten 결합방법

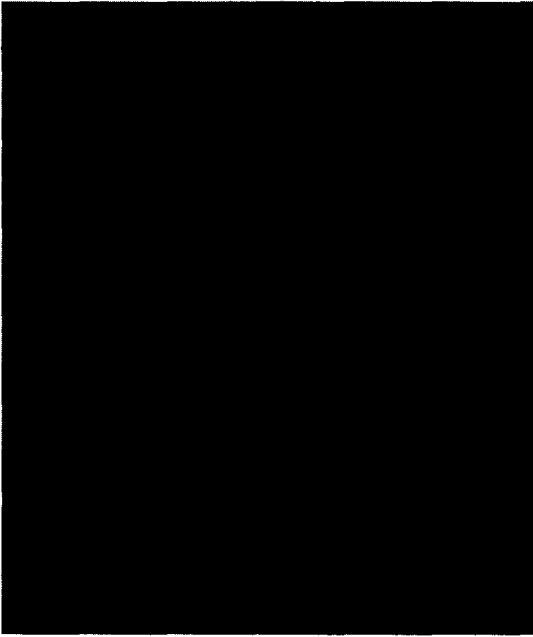


그림 14. Fame에 Batten을 설치하는 모습

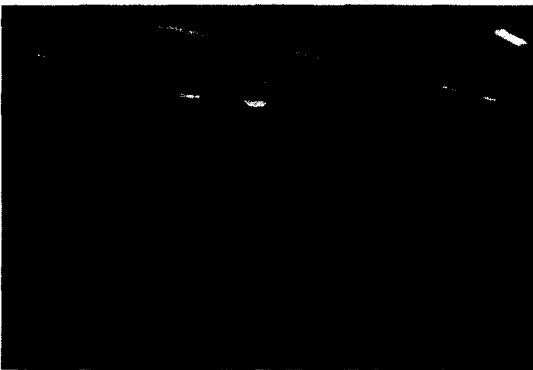


그림 15. 조립 완성된 Fame과 Batten 위에 Bending Ply로 몸체 완성

이 방식은 Batten의 재료를 가공한 뒤 사용하며, 나무의 중심 심재만 사용한다. 소형선박에 적용이 가능하다. 장점으로는 복잡한 구조에서 더 많고 폭이 좁은 Batten사용으로 형성하기 좋고, Frame을 단판으로 사용하기 때문에 변형율이 낮다. 단점으로는 인건비가 상승하고, Batten의 크기가 작은 관계로 Epoxy를 사용해야 하는 부위가 많다.

처음 소개된 Plug제작방식은 저가의 어선이나 주문자 제작 방식으로 제작되어지는 대형GRP선박에서 사용하는 것으로 완성 후에 선체의 표면이 고르지 않으며, 두 번째 소개된 형태는 고가의 레이스 요트에서 사용되는 방식으로 대중성이 없다. 가장 대중적으로 사용되며, 개발비와 작업속력 면에서 양호한 방식을 작업 순서대로 검토해 보자.

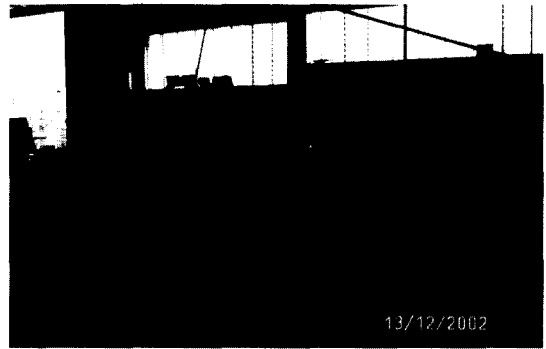


그림 16. Farme Base

- ① **Frame Base 설치** : 작업하는 현장의 바닥은 완전한 Level이 아니다. 또한, 바닥에 붙어 접해 있는 표면은 성형이 힘이 들기 때문에 적당한 높이(300mm이상)을 올라오게 하며, Laser Level이나 Digital Level, 정밀기계를 이용하여 Frame Base의 수평이 0.01° 이상 벗어나지 않게 해야 한다. Base는 중간에 적당한 두께의 심재와 양쪽에 Chip Board를 사용한다. 여기서, MDF나 Plywood를 사용하지 않는 이유는 두 재질 전부다 휨변형이 심해서이다. 바닥은 넓은 비닐을 사용하여 작업공간을 덮는데, 이는 바닥에서 올라오는 미세한 습기가 나무를 변형시키는 것을 막고, 작업시 사용하는 접착제 등이 현장바닥에 눌러 붙는 것을 방지하기 위해서이다. 또한, 비닐바닥포장은 성형이 끝난 다음 청소를 할 때 미세한 먼지까지 청소가 가능하게 한다.

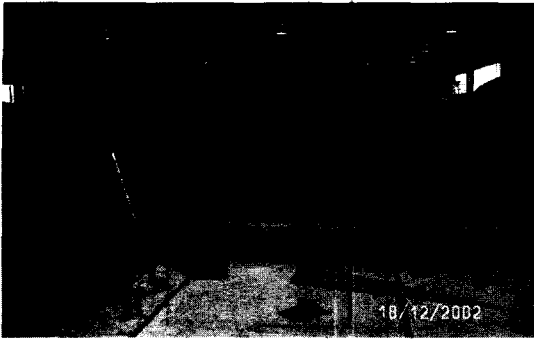


그림 17. Frame의 설치

- ② **Frame 설치** : Frame을 세울 때 조심해야 하는 것은 중, 횡 정렬보다 대각선 정렬이다. 횡이나 종 정렬은 간단한 측정기로도 가능하나, 대각선 정렬은 각 Frame이 직각으로 취부되었는지 Digital Level로 측정하면서 취부하고 CNC절단시 한 Frame 당 1Ø 크기로 5개의 Hole을 만들어서 Laser Beam을 쬐서 확인을 해야 한다. 이 작업에서 작업 오차는 1.5mm 이하여야 한다. 이 작업오차는 목재의 변형률을 포함한 것이다.

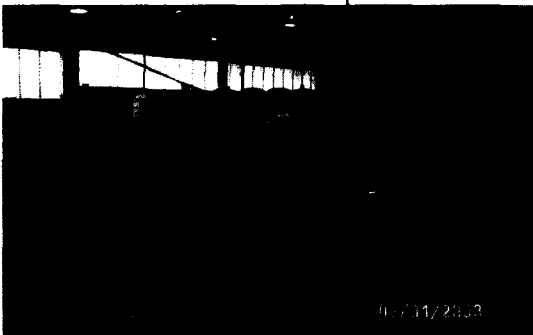


그림 18. Frame 가장자리 가공

- ③ **Frame의 가공** : 18mm Chip Board를 사용했다는 조건에서 Midship을 중심으로 선수부는 Section의 전면으로 선미부는 후면으로 설치했다. 이는 Bending Ply 취부시 보다 넓은 접착면을 확보하기 위한 것이

다. 그러므로 각 Frame의 끝부분을 각 Section의 각도에 맞게 가공해야 한다.

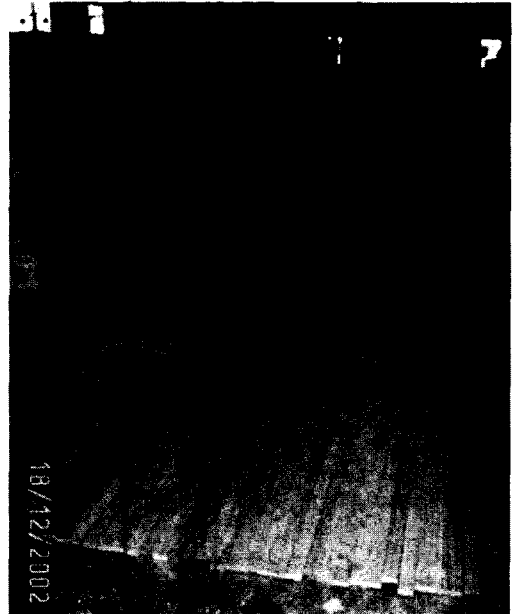


그림 19. Batten 제작

- ④ **Batten 제작** : Batten에 사용되는 목재는 합판을 사용하여서는 안되며, 반드시 결이 있는 나무를 절단한 것을 사용해야 한다. 또한 나무의 재질은 소나무의 심재에 가까운 부위에서 자른 것을 이용하고, 사용 예상치보다 25%를 더 주문하여 흰 목재를 골라내야 한다. Batten으로 사용하는 목재의 적재시에는 반드시 반듯하게 중간이 처지지 않게 바람이 잘 통하는 서늘한 곳에 보관해야 한다. 잘 마른 목재를 받았다 하더라도 2주간 말려서 사용해야 한다. 이렇게 목재가 준비되면 선박의 크기에 맞게 Batten을 연결해야 한다. Batten은 그 사용에 있어서 선수부에서 시작하여 선미부까지 한번에 취부되어야 목재의 단독 변형과 Bending Ply의 취부시 횡단면의 정확도를 기할 수 있다.

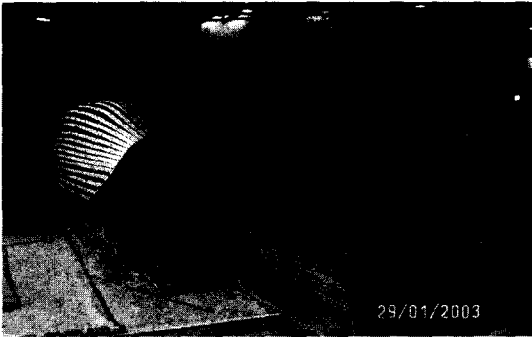


그림 20. Batten 취부

⑤ **Batten 취부** : Batten은 Hull Centre Line에서 Hull Side로 Underwing Centre 에서 외곽으로 취부하며, 그 간격이 Batten 의 폭보다 넓으면 안된다. Batten의 취부시 에 절대 강제적으로 부재를 휘어서는 안되 며, 최대한 목재에 적용할 수 있는 접착제를 이용해야 한다. 부득이하게 고정보조 장치 가 필요할 시에는 못을 사용해서는 안되며, 나사를 사용해야 한다. 또한 나사로 목재를 고정할 때 나사 굵기의 80% 정도의 구멍을 내고, 나사머리가 돌출되지 않게 한 다음 Batten과 Frame 사이에 접합제를 바르고 난 다음 작업을 한다. 또한, Frame과 Batten이 접합이 된 것이 확인되면 더 이상 힘을 가하면 안되며, 접합제에 의해 완전히

접합된 것이 확인되면 나사를 제거하고 빈 공간을 접착제나 고형물로 반드시 채워야 한다. 만일 계속하여 힘을 가하게 되면 Batten이 휘게 되며, 나사를 제거하지 않으면 그곳에 집중하중이 생겨 나사에 의한 균열이 생길 수 있다.

⑥ **Bending Ply로 선체 성형** : Bending Ply를 150mm 넓이로 절단한 후에 Batten 위에 붙인다. 45도의 각도가 되게 붙이는데, 한번 작업이 끝나면 그 반대쪽으로 한번 더 붙인다. 두 번째 Bending Ply를 붙일 때는 접착제에 흰색 도료를 타서 Ply사이에서 접착제가 돌출되도록 지게 해야 한다. 이는 Bending Ply의 접착과 다음 공정인 적층시 Ply사이에 공기층을 없애기 위함이다. 이러한 작업이 다 끝나고 접착제가 완전히 굳은 후 거친 사포(60Grip)를 이용하여 표면과 돌출된 접착제를 성형한다. Bending Ply는 최소 3mm 두께를 가져야 하며, 중간에 고무판이 들어있는 Plywood는 사용할 수 없다. 모서리로 만나는 곳은 Filler를 이용하여 곡선 처리를 해준다. 이는 두 가지 이유로 적층시 기포방지와 집중하중의 분산에 있다.



그림 21. Bending Ply로 선체 성형



그림 22. 적층(Tissue Glass와 Woven Cloth)



⑦ **적층(Tissue Glass와 Woven Cloth)** : 완성된 목형에 적층을 한다. 처음 사용하는 재료는 Tissue Glass이다. 중량  $22\text{g}/\text{m}^2$ , 적층 후 두께는  $0.27\text{mm}$ 이다. 작업은 성형과 기계적 성질이 좋은 Epoxy Resin을 사용한다. 추천하는 시스템은 ES180계열 Epoxy 적층 시스템으로 나무, 알루미늄, 철, Foam, FRP(Polyester계)에 적용시 다른 시스템에 비해 기계적 성질이 우수하다. 탄성계수가  $2630\text{Mpa}$ 이고, 굽힘강도가  $30.6\text{Mpa}$ 이다. 이 시스템의 완전경화는  $20^\circ$  24시간이다. 하루가 완전히 지난 후에 Woven Cloth를 사용하여 적층한다. Woven Cloth는 Woven Roving을 발전시킨 형태로 Surf Board나 Jet Ski제작에 일반적으로 사용되는 Glass이다. 일반적으로 중량은  $200\text{g}/\text{m}^2$ , Super white plain wave에 적층후 두께는  $0.24\text{mm}$ , 적층 후 무게는  $0.4\text{Kg}/\text{m}^2$ 이다. 적층 시스템은 위와 같은 ES180계열 Epoxy 적층 시스템을 사용하고, Glass의 적층사이를 포개지 않고 간격을  $1\sim 3\text{mm}$ 정도 띄운다. 다만, 첫번째 띄어진 것과 두번째 띄어진 곳의 부위가 동일하면 않된다.



그림 23. Fairing

⑧ **Fairing** : 적층이 끝난 후에 돌출된 Glass와 Filler작업시 Filler의 결합을 쉽게 하기 위해 80Grip으로 Sending을 한다. 그 다음 Filler를 몸체에 도포하는데, 사람이 Filler용 고무판을 사용하는 것보다는 Gelcoat spray를 할 때 사용하는 도구의 분사기를 개조해서 만든 Filler Spray를 사용하여 일정한 두께( $3\sim 4\text{mm}$ )를 도포한다. 그 다음 그림24와 같이 검정색이나 빨간색 분을 전체적으로 바른 후에 80grip부터 Sending을 한다. Sending후에 낮은 부분은 분이 남게 되는데, 이 부분에 다시 Filler를 도포하고 같은 작업을 반복하면서 Grip의 수를 600Grip Wet&Dry까지 높여간다. Fairing이 끝나면 Urethane 도료를 칠하고 일주일 정도 기다린 후 1000grip을 이용한 Wet&Dry Sending을 한 후 High gloss cutting compounding를 한다. Finesse-it Liquid Finishing Compounding으로 Sending 작업을 마친다. 아래는 위의 작업이 끝난 후 Tooling Gelcoat 작업을 하기까지의 순서이다

Plug의 먼지를 몰스펀지로 제거 -Mould Cleaner를 이용한 청소 - 2x Semi permanent sealer - 1x sealer - 3x Semi permanent Release - 1x Paste Wax - 24시간 대기- Tooling Gelcoat Spray

우리나라 GRP조선소의 Fairing의 모습을 보면 600mm 안팎의 Sending Board로 작업을 하는 것을 볼 수 있다. 다른 크기의 성형물을 한가지 Sending Board로 작업을 하는 것을 옳지 않다. 정해진 규정은 없지만, 통상 10m 길이의 성형물에 사용되는 Sending Board는 1.4~2m를 사용한다. Sending Board의 길이는 길수록 좋다.



그림 24. 완성된 Plug

#### 나. 5axis CNC Milling을 이용한 Plug 제작



그림 25. 5axis Milling 기본 설치

전통적인 방법으로 Hull Plug의 제작에 걸린 기간은 14주이다. 또한, 작업 오차가 3mm이다. 이러한 방식으로 새 제품을 개발한다면 한 모델의 개발에 일년이 걸린다는 이야기다. 개발이 끝나면 선행은 이미 구식이 되어 버리는 식이다. 이러한 단점을 보완하고 정확도를 기하며, 개발비를 줄이기 위하여 만들어진 시스템이 바로 5axis CNC Milling을 이용한 Plug제작이다. 우리나라 선박업계에서는 아주 먼 이야기로 들릴지 모르겠으나, 국내에서도 자동차 설계 및 제작에 이미 사용하고 있고, 소형 5axis CNC Milling을 이용한 기계부품 및 생활용품을 개발하고 있다. 하드웨

어는 경기도 수원에 있는 정밀기계제작회사 등에서 생산하고 있으며, 소프트웨어 쪽에서의 미국보다 오히려 많은 업체들이 난립해 있다. 이 방법의 장점은 신속함과 정확도이다. 아직 이 분야의 하드웨어나 전문업체의 부족으로 개발비는 상승한다. 5axis CNC Milling으로 Plug를 만드는 과정이다.

① CAD나 선박전용Computer Design 프로그램을 이용한 3차원 설계 : 기초 3차원 설계시 곡선설계보다는 표면설계를 하는 것이 좋다. 그 이유는 CAM시스템에서 표면을 처리하는 것보다 기초설계에서 표면설계를 하는 것이 설계를 할 때 변경되는 것에 대해 쉽게 대처할 수 있다.

② CAM 프로그램을 열어서 설계자료를 읽음 : 많이 사용되는 CAM 프로그램으로는 SurfCAM, MasterCAM, Catia, CADAM이 있다. 이 모든 프로그램의 표면 처리 방법은 NURB(Non-Uniform Rational B-spline)이다.

· 설계관련참조 : 선박안전지 제11호

③ 사용하는 CAM프로그램에 맞는 Cutter tool의 선택 :



그림 26. Cutter

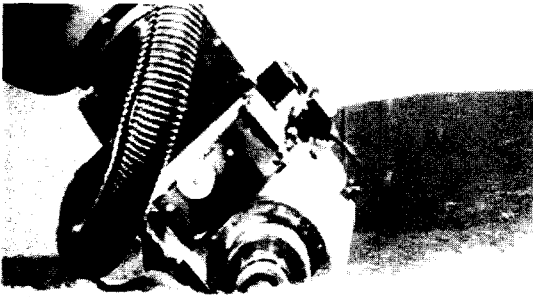


그림 27. Cutter

Plug를 얼마나 잘 만들어지는 가를 결정짓는 것은 CNC 운영자가 CAM프로그램을 얼마나 이해하고, 작업을 이해하여 그림 26, 27에 보이는 것과 같은 Cutter를 선택하는 능력에 있다.

#### ④ 가공할 재료의 설치와 가공시작



그림 28. 5axis Milling 선체가공모습

Hull의 크기가 CNC의 작업 크기보다 클 때 가공할 재료를 여러 조각으로 나누어서 작업을 해야 한다. 하지만 충분한 작업범위와 작업장 크기를 확보했다면 CNC선반에 기준선에 맞게 재료를 놓고, 드릴의 위치와 각도를 조정해서 작업을 시작한다.

- ⑤ Plug 작업의 완성 : 형태가 다 만들어 졌으면, 표면을 검사한 이후에 전통적인 Plug제작방법에서 ⑧Fairing의 후반 부분 600 Grip W&D부터는 같은 공정에 의해 Plug가 완성된다.

이 제조방법의 단점으로는 설계자가 잘못된 설계를 입력하거나 수정이 요구될 때 수정이 어렵다는 것이다. 또한, 설비비가 비싸서 설비하기가 힘들고, 이것에 관련된 업체들이 해외에 있어 주문하고, 국내로 옮겨오기가 힘들다는 것이다. 또한, 해외의 5axis CNC Milling을 보유하고 있는 업체들이 대부분 1년 이상의 작업을 주문 받아 놓고 있는 상태이므로, 설계초기에 제작방법을 결정하고 시작해야 한다.

#### 다. 복합형 Plug 제작공법

대부분의 Hull은 그 형태가 단순하기 때문에 제조업체가 5-axis CNC Milling을 가지고 있지 않을 경우 공기나 제작비용에서 전통적인 제작방식을 사용하고 Deck의 형태는 복잡하여, 공기나 제작비용이 전통적인 방식으로 했을 때 보다 많이 소요되므로 5-axis CNC Milling을 이용하여 제작하는 방식이 복합형 Plug 제작공법이다.

#### 라. Mouldiness 공법에 의한 Plug

전통적인 방식으로 Plug를 만들 경우 Plug에 들어간 대부분의 재료들이 폐기되므로 Plug의 제작비용이 증가된다. 또한, Plug작업이 끝난 후에도 시제품이 나올 때까지는 오랜 시간이 걸린다.



그림 29. Mouldiness 방식에 Frame 취부

이러한 단점을 보완하기 위해 나온 Plug 제작방식이 Mouldiness 공법에 의한 Plug이다. 이 공법은 선박용 Foam제나 Panel의 획기적인 개발과 Glass 등의 발달에 의한 것과 자기 배를 스스로 자기 집 뒷마당에서 짓고 싶어하는 Backyard Builder들에 의하여 발전되어 졌다. 이 방식은 전통적인 Plug를 만드는 방식과 같다. 다만, 쓰이는 재료만 다를 뿐이다. 여기에서 전통적인 방식과 틀린 몇몇 부분과 재료를 소개한다.

위의 그림 29에서 보는 것이 Mouldiness의 대표적인 Frame 취부방식이다. 여기에서 사진에 표시된 \*표시의 Frame은 Duplex Panel로 선체외판을 붙인 후에 그대로 사용될 격벽이다. 사용되지 않는 Frame의 모서리를 보면 Taping이 된 것을 볼 수 있다. 이는 선체외판의 작업이 끝난 후 Frame을 제거할 때 선체외판과의 접합을 막기 위한 것이다. 이 작업에 주로 사용되는 DuFLEX Panel은 선체외판과 구조재로 사용되며 폴리에스테르 계통의 DuFLEX Foam을 사용하여 양면에 복합합성유리섬유나 Carbon을 입힌 재료이다. 일반 합성유리섬유의 중량이  $6.8\text{kg}/\text{m}^2$ 일 때  $5.1\text{kg}/\text{m}^2$ 이고, 이러한 중량비에서 항복강도는 합성유리섬유가  $0.35\text{N}/\text{mm}$ 일 때  $2.4\text{N}/\text{mm}$ 로 약 6~7배의 강도를 가지는 재질이다. 이 공법은 Plug를 바로 선박으로 사용할 수 있다는 장점은

있지만 Mouldiness 공법에 사용되는 자재가 대부분 고가품이므로 경제성에 대한 고려가 필요하다. 이 공법은 이미 우리나라에서 시도하고 있는 업체가 있으며, 이 공법이 발달된 호주에 우리나라 기술자 4명이 기술을 연수하고 있다. 그러나 이 공법에 대한 회의적인 생각은 5axis Milling이 발달되어지면서 수공업적인 형태의 Mouldiness 공법이 경쟁력을 가질 수 없기 때문이다.

## 마. 제작공법에 따른 공사기간 및 경제성

위의 제작공법 외에도 많은 공법이 존재하지만 기술력에 대한 검증이 되지 않았고 제작비가 높아서 아직까지 대중화되기 어렵다. 그래서 위의 4가지 공법에 대한 공사기간과 경비를 비교해 보고 현 시기에 가장 합리적인 공법을 알아본다. 공사기간이 가장 짧은 것으로는 5axis Milling이다. 물론, 캐드프로그램을 사용하여 3차원 도면을 작성하는 시간을 제외한 공사기간이지만, 전통적인 방식의 35%정도의 공사기간으로 Mould를 만들 수 있다. 여기에서 주의할 것은 Plug가 아닌 Mould생산 공사기간이라는 점이다. 이것은 Plug 이후의 공사기간은 동일하다는 점에서 실제 공사기간은 28%이하이다. 공사기간이 가장 긴 것은 20주가 걸리는 Mouldiness공법이다. Mouldiness공법은 공사기간 뿐만 아니라 공사비도 가장 높은데, 그 이유는 성형되는 Plug가 선박의 선체로 사용되므로 Frame과 몸체의 결합에 나사나 못의 사용이 제한되고, Fairing시에 Filler의 두께가 3mm를 넘을 수 없기 때문에 선체수정 시간이 많이 걸린다. 또한, 사용되는 자재의 가격이 비싼 관계로 작업자의 세심하고, 정확한 작업이 요구되기 때문이다. 단가가 가장 낮은 공법은 복합형제작공법이다. 그 이유는 단순하고 인건비가 많이 들지 않는 선체는 전통적인 방법을 적용하고, 복잡하고 인건비와 자재가 많이 드는 갑판은 5axis Milling으로 건조함으로써 건조가격을 줄이는 것이다. 5axis Milling의 견적은 작업시간에 의한

견적이 아닌 총면적에 의한 견적이므로 이러한 결과가 나온다. 5axis Milling공법과 전통적인 공법의 공사비 총계에서 별로 차이가 없지만, 5axis Milling의 국내보급이 현재 몇몇 연구소와 자동차 개발관련 산업에만 있는 관계로 해외위탁 공사를 하여야 하는데, 그렇다면 갑판을 해외위탁하고, 갑판이 만들어져서 국내에 들어오는 기간에 맞추어 선체를 전통적인 방법으로 만드는 것이 현재 한국에서 가장 합리적인 Plug 제조 공법이다. 아래는 같은 규모의 선박 Mould제작에 드는 비용을 산출하여 비교한 것이다.

① 5 axis Milling으로 절단 할 경우

공사기간 : 4.5 weeks

|        | Hours | Term(w) | Cost(US\$) |
|--------|-------|---------|------------|
| 견적     |       |         | 100,000    |
| 운송료    |       |         | 8,000      |
| Detail |       |         | 2,000      |
| 총계     |       |         | 108,000    |

② 전통적인 방식으로 제작 할 경우

공사기간 : 14 weeks

|              | Hours | Term(w) | Cost(US\$) |
|--------------|-------|---------|------------|
| 인건비          | 3100  | 14      | 71,300     |
| 자재(감가상각비 포함) |       |         | 27,229     |
| 총계           |       |         | 98,529     |

③ 복합형제작공법을 사용할 경우

공사기간 : 10 weeks

|             | Hours | Term(w) | Cost(US\$) |
|-------------|-------|---------|------------|
| 선체 5axis 절단 |       |         | 28,000     |
| 운송료         |       |         | 400        |
| 갑판제작        | 1000  | 5       | 25,000     |
| 자재          |       |         | 12,500     |
| 총계          |       |         | 65,900     |

④ Mouldiness 공법으로 제작할 경우

공사기간 : 20 weeks

|     | Hours | Term(w) | Cost(US\$) |
|-----|-------|---------|------------|
| 인건비 | 4500  | 20      | 103,500    |
| 자재  |       |         | 115,000    |
| 총계  |       |         | 218,500    |

## 4. Mould의 관리방법과 그 중요성

알루미늄 선박의 제조와 달리 GRP선박은 대량생산이 가능한데 이 대량생산을 가능하게 한 것이 Mould이다. GRP 선박Mould의 재질에 의한 종류를 보면 GRP Mould, Steel Mould, Timber Mould가 있다. Steel Mould는 근래 로봇을 이용한 생산공법이나 유압식 적층공법을 사용하면 등장한 신종 Mould이고, Timber는 관공선 등과 같이 한 척의 GRP선박을 제조할 때 사용하는 일회용 Mould이다. 여기서 살펴보는 것은 가장 보편화되어 있는 GRP Mould의 보관 방법이다. GRP Mould들은 외부에 보관하면 안되며, 외부에 보관할 시에는 직사광선이 닿지 않게 천막을 쳐야 한다. 가장 조심해야 하는 것은 국부적인 직사광선이다. 직사광선은 표면변형의 원인이 되지만 국부적인 직사광선은 Mould 뒤틀림의 원인이 된다. 보관되는 Mould는 항상 수평상태가 되어야 하며, 제품사양에 의한 적층을 하고 격벽을 설치해 놓아야 한다. 만일 격벽을 설치하지 않을 시에 갑판과 함께 결합한 형태로 보관해야 한다. 이것은 지키지 않으면 선체의 길이와 폭이 변화되고, 그것에 의하여 갑판과의 결합이 되지 않는 상황이 발생할 수 있다. 적층을 해 놓지 않았을 때는 Mould의 표면이 부식되어 제대로 된 광택이 나오지 않는다. 만일 사용해야 하는 Mould의 표면이 오랫동안 노출되었다면 노출된 전체 표면을 1000Grip으로 W&D Sending을 하고 난 후 모든 먼지와 물기를 제거한 후 Solvent mould cleaner를 사용하여 깨끗이 청소한 다음 Mould Release나 Mould Sealer를 사용하여야 한다. Mould는 반드시 이동이 편하게 만들어야 하며, 충격에 의하여 Mould의 보강이 손상되었을 때 즉시 수리하여야 한다. 특히 목재나 Open Cell Foam으로 제작되어 있는 보강이 손상되었고, 침수가 되었다면, 침수된 부위의 보강을 절단하여 새로 제작해서는 안되며, 자연상태에서 증발시킨 후에 손상된 부위를 수리하여야 한다. 만일 새로

보강을 제작한다면 Mould의 표면이 새로운 보강체의 수축성과 열 때문에 교정이 불가능한 굴곡이 생기게 된다. Mould는 선박제조 회사의 중요한 자산으로 한번 손상이 되면 교정이 힘들고 최악의 경우 폐기를 해야 하므로 보관과 관리에 최선을 다해야 한다.

## 5. 선체 적층 방식의 종류와 경제성

적층에서 가장 중요한 것은 고른 압력에 의한 접착성 확보와 적당한 수지의 양에 의한 경도와 강도를 유지하는 것이다. 선체의 적층방법으로의 분류는 현재 네 가지로 나눌 수 있는데 여기서 작업방법과 장·단점 및 전망을 살펴보고자 한다.

### 가. 수적층

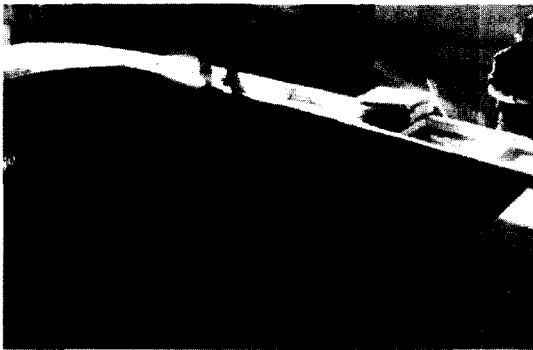


그림 30. 수적층

사람이 수작업을 통하여 하는 적층으로 가장 오래된 방법이다. 작업방법은 두 가지로 선체에 GRP를 띠 다음 수지 Spray를 사용하거나 Wool Roller를 사용하여 수지를 도포하고 Iron Roller를 이용하여 압력을 가하는 것이다. 또 한가지는 작업대 위에서 수지를 적당히 함침시킨 후 그것을 선체표면에 이동 부착시키는 방법이다. 첫 번째 방법은 큰 표면적에서 사용하고 두 번째 방법은 작은 표면이나 성형하기 힘든 표면에 사용한다. 수적층의 장점은 작업자들이 작업 중에 표면을 살

피고, 적당한 압력에 의해 표면성형이 되며, 정확한 적층의 양을 알 수 있다. 단점으로는 인건비가 많이 들고, 작업자의 기술적인 능력에 의해 제품마다 품질이 달라지며, 수지의 양이 과다하거나 부족한 경우가 발생하게 된다. 또한 대형선 일 경우 작업자가 완전경화가 안된 표면을 지나가야 하므로 표면에 불순물이 많이 들어간다. 국내에서는 대부분 수적층을 통해서 선체를 제작하고 있다. 하지만, 해외에서 수적층을 사용하는 경우는 처음 Gelcoat와의 접합에만 사용하고 있다. 선박의 구입을 원하는 사람들은 Spray적층보다 수적층의 선박을 선호하지만 조선소의 경비절감과 적층작업자를 구하기 힘든 관계로 수적층의 방식은 사라지고 있다.

### 나. Spray 적층

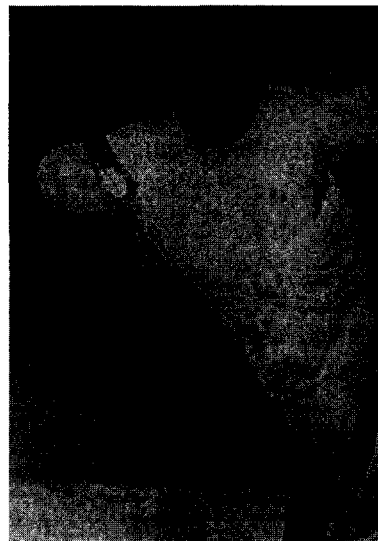


그림 31. Spray 적층

수적층은 낮은 작업성과 인건비 절감을 위해서 등장한 것이 Spray 적층이다. Spray 적층은 Spray용 유리섬유와 수지와 경화제 배합·살포 기기를 사용하여 2명의 작업자가 3시간이면 길이 10미터에 폭 4.5미터인 쌍동선의 적층을 완료할

수 있다. 장점으로는 빠른 작업성과 알맞은 수지와 경화제의 양이다. 요즘 나오는 기기에는 온도와 습도에 의해 자동으로 경화제의 양을 조절하는 기기도 출시되고 있다. 단점으로는 고른 압력에 의한 접착성 확보가 힘들다는 것과 유리섬유의 고른 분포를 얻기 힘들다는 것이다. 그렇기 때문에 대부분 Spray를 한 후에 다시 수작업으로 Roller를 사용하여 압력을 가해 주는 것이 일반적이다. 선체에는 초벌 다음에 Core나 Foam을 접합하기 이전에 사용하며, 구조와 상관없는 의장품들은 대부분 초벌 이후의 작업을 Spray적층으로 한다.

#### 다. 진공식 적층(Infusion)

수적층이나 Spray적층 방식의 문제로 대두되는 것은 수지가 젖어 있는 상태에서 압력을 가하는데, 이것이 경화되는 과정에서 압력이 사라져서 초기에 얻고자하는 압력보다 낮은 압력의 값이 나온다는 것과, 수지의 정확한 함침과 양을 조정하기 힘들다는 것이다. 이러한 문제를 극복하기 위해 등장한 것이 진공식 적층이다. 아래는 1979년 미국의 Johnson이 사용했던 방법이다.

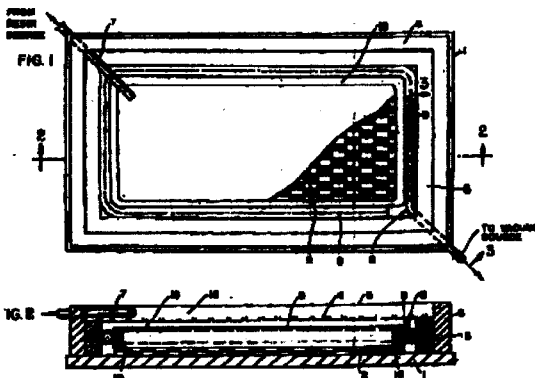


그림 32. Johnson식 진공적층(1979)

이 방식은 U-mould와  $\cap$ -mould를 사용하여, 제작하는 방식으로 수지의 투입구와 배출구를 만든 방식이다. 이 방식을 응용하여 우리나라에서는

수적층을 한 후 그것을 두 Mould로 압력을 가해 양쪽 면이 다 고운 Gelcoat면이 되게 적용한 사례가 있다. 이 방식의 문제점은 수지의 함침 과정을 볼 수가 없어서 불량률이 많고 불량률 난 제품을 수리해서 사용할 수 없다는 것이다. 또한 그 당시에는 진공식 적층을 위해 기본적으로 요구되는 수지의 이동을 돕는 Foam이나 점도가 낮은 수지 같은 자재의 부재로 사실 공법은 존재하였지만 사용할 수 없었다. 그래서, 위에서 보는 것과 같이 조그마한 의장품에 사용을 하거나, 미 해군 순찰선에만 적용이 되었다.

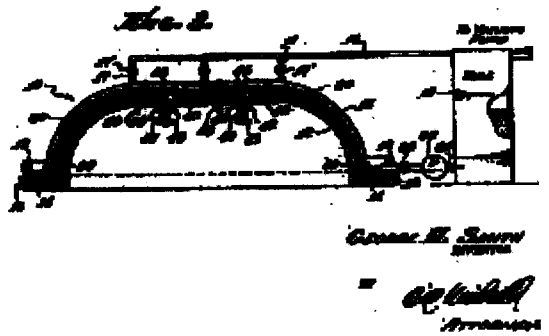


그림 33. Vartm-Smith 공법

더 오래된 방식으로는 그림 33과 같은 Vartm-Smith공법으로 이것은 우리나라의 '종' 제조법과 같은 거푸집 제조 방법이다. 위와 같은 여러 가지의 시도에도 불구하고 이러한 진공식 적층방법이 보급되지 못한 이유는 U-Mould와  $\cap$ -Mould를 제작해야 하므로 제작비와 시설비가 비싼 반면 작업의 과정을 확인할 수 없어서 불량률이 많고, 작업시간이 수적층에 비해 높았기 때문이다. 그러나 기술력과 자재들의 개발로 이 기술은 현재 두 가지로 나누어서 발전되어지고 있다. 그 첫 번째가 진공비닐을 이용한 진공식 적층이고, 두 번째가 두 개의 Mould를 이용하면서, Spray적층방법을 응용한 로봇 자동식 적층이다. 진공비닐을 이용한 진공식 적층의 작업 원리는 U-mould 대신 진공비닐을 사용하고, 수지의 이동을 돕는 홈이 파져

있는 Foam과 점도가 낮은 수지를 사용하는 것이다.

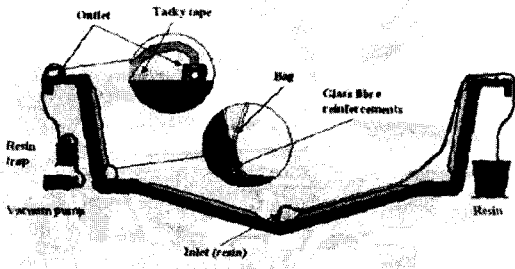


그림 34. 진공식 적층방법의 원리

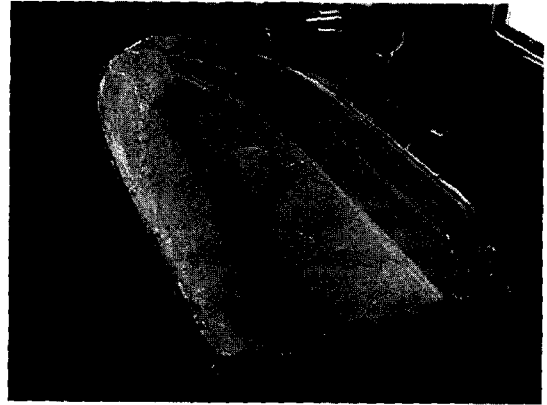


그림 37. 수지의 투입구와 배출구의 설치

실제 작업을 하는 과정을 사진으로 살펴보면 아래와 같다.



그림 35. Mould에 절단한 유리섬유를 놓는다.



그림 38. 진공식 적층의 완료



그림 36. 진공비늘의 접착

진공식 적층방법의 순서를 보면 우선 그림 35와 같이 건조하고자 하는 선박의 모양에 맞추어서 절단한 유리섬유와 Foam을 놓는다. 그 다음 그림 36과 같이 진공비닐로 선체를 포장하는데, 여기서 중요한 것으로는 Keel line을 따라서 수지의 이동을 돕는 수지이동판을 대어야 한다. 두 번째로 Sheer Top Line에 취부되어 있는 파이프의 수지흡입구멍은 일정한 크기로 분배해야 한다. 그 다음 그림 37과 같이 선체 중심부에 수지가 들어가는 장치를 연결하고, 먼저 수지가 들어가는 입구의 밸브를 차단한 후 진공비닐 안에 있는 공기를 뺀다. 공기를 빼면서 접착된 부위에 공기가 세는지 확인하고, 완전 진공을 확인한 후



수지를 투입시킨다. 그림 38과 같이 전체적으로 합침이 끝나면 수지투입구를 막는다. 그림 38에서 바둑판 모양으로 배열된 Foam의 형상이 바로 수지 이동을 돕는 홈이다. 또 Keel Line에 수지이동판을 볼 수 있다. 작업이 끝나면 최소 8~10시간을 진공상태로 두어서 진공비닐이 안전경화가 될 때까지 선체표면에 압력을 가해 주도록 한다. 이 방식이 진공식 적층방법(Infusion)이다. 진공식 적층방법의 장점은 수적층에 비해 70%정도 밖에 되지 않는 무게와 수적층이나 Spray적층과 달리 전 공정을 한번에 끝낼 수 있는 빠른 공정과 인건비의 절감이다. 또한, 작업 현장의 현장의 청결도 유지와 고른 두께를 낼 수 있으며, 시설비가 저렴하다. 단점으로는 수지의 양이 수적층이나 Spray적층보다 더 많이 들고, 진공식 적층관련 자재가 아직까지 수작업 자재보다 비싼 관계로 경비가 더 많이 든다. 진공식 적층방법은 미국 해군의 기술개발으로 미국을 중심으로 확대 보급되고 있다. 기술적인 측면과 경제적인 측면에서의 검증이 끝났고, Major회사들은 전면적인 교체를 하고 있으며 소규모의 회사들은 격벽이나 의장품에 적용하면서 적용범위를 넓혀 가고 있다. 다음에 설명할 로봇 자동식 적층방법을 적용할 만큼의 시설투자가 힘들다면 진공식 적층방법이 보편화되리라고 예상된다.

## 라. 로봇 자동식 적층

GRP선박의 Mould는 자동차 생산의 Body Mould에서 착안을 해서 만들어진 것이다. 그것과 마찬가지로 로봇 자동식 적층 또한 자동차의 생산공법과 기술에 의해 발전되어지고 있다. 작업 방법과 순서는 아래와 같다.

로봇 자동식의 기본적인 원리는 Spray식+두개의 Mould를 이용한 진공식이다. 그림 39에서 보면 유리섬유를 로봇이 분사하고 있다. 이 분사의 양을 조정하는 것이 그림 40에서 보는 것

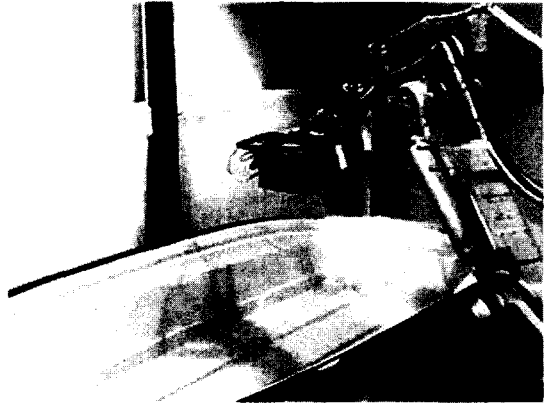


그림 39. 로봇의 팔에 의해 Spray 적층을 하고 있는 모습

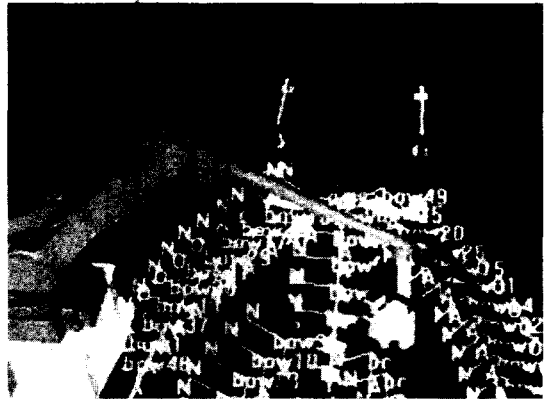


그림 40. 로봇을 조정하는 Computer Program 입력 값

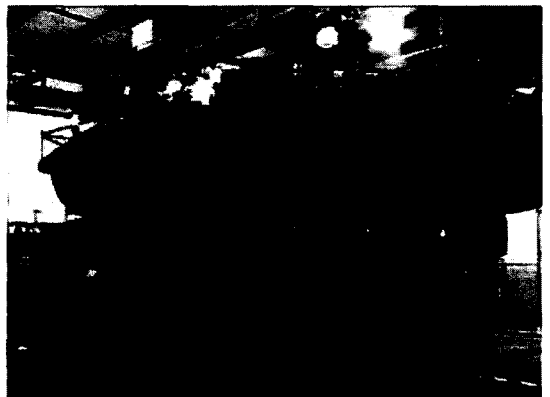


그림 41. U, N-Mould를 포개고 있는 모습



그림 42. 두개의 Mould를 유압에 의해 압착

과 같이 이미 계산되어 입력되어진 Computer에 의해 조정된다. 이것은 유리섬유뿐만 아니라 Gelcoat의 분사에도 사용되어진다. 이렇게 다 분사를 한 다음 그림 41에서 보는 것과 같이 두 개의 Mould를 포개서 압력을 가한다. 이 압력은 그림 42에서 보는 것과 같이 유압에 의해 조정되고 안전경화 때까지 압착을 하게 된다. 이 공법은 현재 GRP로 할 수 있는 공법 중 가장 완벽한 공법이다. Computer로 제어되는 수치경화제 양에 도면과 똑같은 유리섬유의 양, 빠르고, 깨끗한 작업환경 및 진공식 적층방법과 같이 안전하게 경화시키는 것은 물론 30FT정도의 Mono Boat를 30분만에 적층해서 그 다음 조립 로봇으로 보낼 수 있다. 단점으로는 Foam제를 사용할 수 없고 비싼 첨단기기들과 고가의 시설 및 초기 투자비이다. 그러나, 로봇을 이용한 생산을 통해 3~4시간마다 한 척의 선박을 건조해서 판매한다면 손익분기점을 쉽게 앞당길 수 있을 것이다. 이 공법은 세계적으로 설치가 되어 있는 곳이 두 군데 밖에 없지만, 여러 Major 보트제조업체들이 검토를 하고 있다. 이 공법을 통해 선가가 많이 낮아지고 있고, 레이저형 선박의 공급이 늘어나고 독점화되어 가면서 레이저형 선박이 자동차 산업화되어가는 경향을 띄고 있다.

## 6. 선체 적층에 사용되는 자재의 종류와 특징

GRP와 FRP의 차이점은 무엇인가? GRP는 Glass Reinforced Plastic이고 FRP는 Fiberglass Plastic이다. 말 그대로 FRP는 합성유리섬유를 말하는 것이고 GRP 강력유리섬유를 말하는 것이다. 여기에 GRP는 FRP를 포함한다. 국내에서 사용되는 합성유리섬유의 종류는 Mat와 Roving이다. 이 두 가지는 FRP라는 국소적인 의미로 사용되는 것으로 국내 GRP선박산업에서는 이 두 가지의 재료만으로도 생산은 충분히 하고 있다. 그렇지만, 이것은 국내 GRP선박산업이 어선에 머물 경우에 한해서이다. 만일 GRP산업이 레저용 선박으로 확장되었을 때, 선진국의 레저산업에 일반적으로 사용되는 고장력 합성유리섬유와 직물식 유리섬유, 특수유리섬유를 사용하지 않을 수 없다. 그 이유는 국제적인 기준에 맞는 강도를 얻으면서 선체중량을 낮추어서 레이저선박이 지향하는 고속화를 하기 위해서 필수적인 자재들이기 때문이다. 이미 유럽에 보편화되어 있고, 전세계적인 기준으로 삼고 있는 ISO/TC188의 소형선박구조기준에서 직물식 유리섬유의 계산식이 들어가고, 유리섬유를 세분화하는 작업을 하고 있다. 호주에서 또한 1993년에 개정된 Australia Standard에서 Mat와 Roving 두 가지의 유리섬유 최소강도 및 두께 계산식에서 몇 가지의 유리섬유에 대한 추가를 검토 중이다. 그렇다면 국내에서 일반적으로 사용하는 유리섬유를 제외한 유리섬유는 아래와 같다.

- ① **Woven Cloth** : Woven Roving의 변형으로 선박에는 많이 사용되지 않고, Surf Board나 소형수상오토바이, Plug 제작에 사용되는 유리섬유이다.
- ② **Tissue** : 이 유리섬유의 질량은  $25g/m^2$ 로 아래 그림 43에서 보는 것과 같이 매우 얇고 변형율이 좋다. 그러나, 가격이 비싼 관계로( $300g/m^2$  C.S.M의 4배이다) 일반적

으로 크기가 작은 소형 의장품이나 선체에 굴곡이 있는 부분에 국소적으로 사용한다.

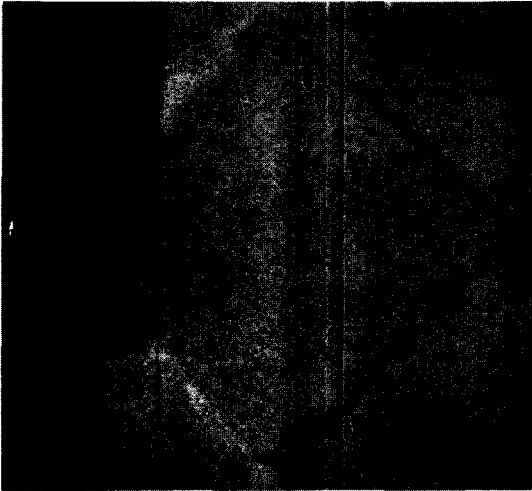


그림 43. Tissue

③ **Unidirectional** : 국내에서 사용하는 Unidirectional과 비슷하지만 섬유가 한쪽으로 쏠리는 것을 막기 위해서 가는 실로 엮은 후에 적층 전면과의 접착력을 높이기 위해서 뒷면에 225g/m<sup>2</sup> C.S.M을 붙였다. 이 자재는 한 방향으로만 하중을 받는 부위에 사용하며, Keel, Main Beam, Back Beam, Mast Beam 및 Ring Frame등에 사용되어 진다. 보통 Main Beam이나 Mast Beam에 적용되는 적층의 수가 10번을 넘을 시에 전체길이의 65%를 전체로 사용하고 나머지 35%를 스프링 적층방식을 사용한다. 이 구조에 대한 자세한 사항은 다음호의 구조에 관한 단락에서 살펴보도록 한다.

④ **Biaxial** : 0도와 90도로 직물한 유리섬유로 90도 방향의 유리섬유의 양이 0도보다 5% 많다. 이 제품은 Woven Roving의 발전된 형태로서 이 제품이 개발된 이후에 Woven Roving은 수영장이나 욕조, 우체통

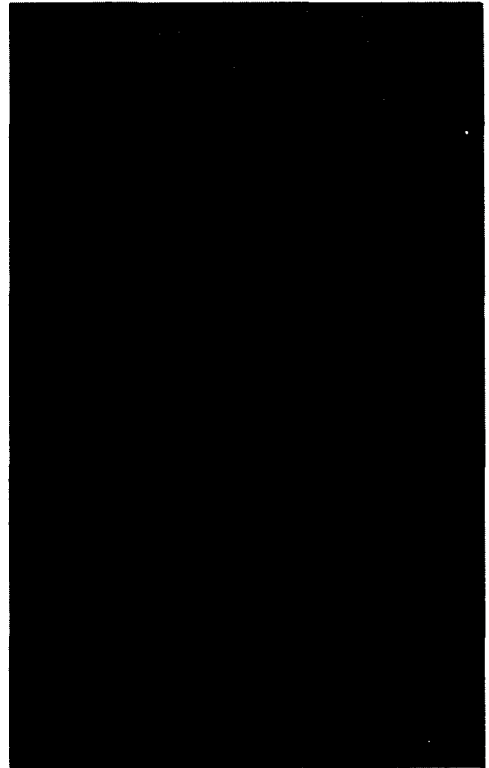


그림 44. Unidirectional

같은 강도가 더 중요하지 않는 산업으로 이동하고, 그 자리를 Biaxial이 대체했다. 이 유리섬유의 특징은 경도를 강화시켜 탄성계수가 낮으므로 좁지 않은 사각판에 적용하기 쉬워서, 상갑판이나 Cockpit, Wheel House Top등에 사용된다. 작업 이후에 외관이 미려하지만, 복잡한 형태의 구조물에는 적용하기가 힘들다.

⑤ **Double Bias** : 45도와 -45도로 직물되어 있는 유리섬유로 복잡한 형상에 강도를 가져야 하는 엔진베드나 계단 등에 사용되며, 200mm이하에서 기계적인 성질이 가장 좋아서 선체와 갑판의 결합이나, 의장품 취부에 사용된다. 사각 판의 기계적인 성질은 좋으나 탄성계수가 높아서 갑판이나 Cabin Top등 통로에는 사용할 수 없고 Rudder나

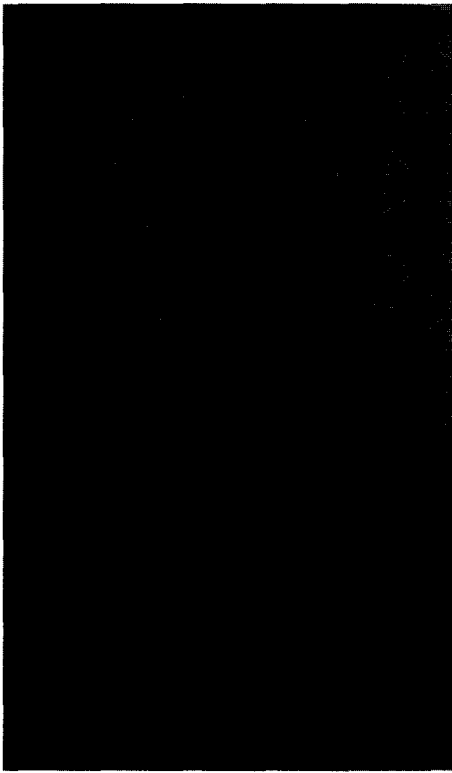


그림 45. Biaxial

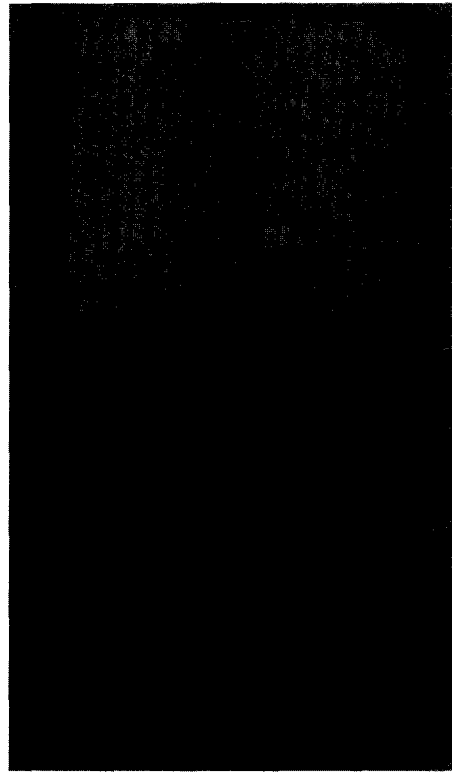


그림 46. Double Bias

Galley Top에 사용한다.

- ⑥ **Triaxial** : Triaxial은 0도 45도 -45도로 짜진 직물로 Biaxial과 Double Bias를 혼합한 형태로 두 직물의 중간적인 기계적 성질을 가진다. 이 직물은 폭이 2M이하인 곡선에서 기계적인 성질이 가장 좋으므로 쌍동선의 선체나 소형 요트의 선체에 사용한다. 횡하중이 작고 종하중에서 단순하중이 아닌 복합하중을 받는 격벽을 제작할시에 격벽양면에 적용한 후 Unidirectional을 혼합하는 형태로 사용한다.
- ⑦ **Quadraxial** : Quadraxial은 0, 90, 45, -45에 고르게 유리섬유를 분포하여 직물한 것으로 사방에서 복합형 하중을 받는 구조용 설비나 선저구조물에 사용한다. 완만한 곡선에 대한 성질이 좋아서 Triaxial과 비

슷하게 사용되나 가격이 비싸서 넓게 사용할 경우 경제성을 고려해 봐야 한다. Quadraxial는 모든 종류의 중간형태로 가장 많이 사용되는 부위는 선저 Skeg나 레이더, 태양열집열판 거치대 같은 곳에 사용한다.

- ⑧ **Carbon** : E-Glass의 계수를 1로 할 때 Carbon은 인장계수가 3.0, 압축계수가 2.0, 굴곡계수가 2.35배이다. 이와 같이 강도가 높은 반면 단가가 비싸서 특수한 강도가 요구되는 Mast, Boom, Rudder나 Keel Skeg에 사용되며, 세계일주 경기를 하는 레이싱 요트에서 선체와 갑판 전체를 사용하거나 Aramid계의 섬유와 혼합하여 사용한다. 요즘 고가형 선박에서 많이 사용하는 수가 증가하고 있다.

- ⑨ **Aramid Fiber** : 충격하중에 대한 기계적 성질이 E-Glass의 2.7배로 강한 충격에 대비해야 하는 레이스 요트나 Formula One Race Boat의 선수나 선미에 국부적으로 사용한다. 일반 E-glass와 Carbon과 혼합하여 사용하기도 하는데 그 이유는 압축강도가 E-Glass보다 낮기 때문이다.

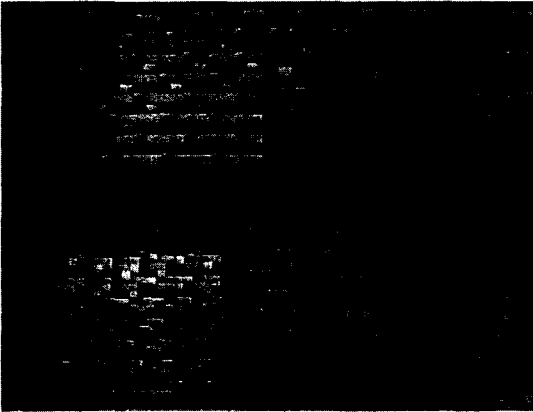


그림 47. Aramid Fiber

- ⑩ **Peel Ply** : 적층 작업의 마지막에 사용하거나 진공적층의 맨 위에 놓는 자재로 구조용이 아닌 외관용이다. 적층후 바로 이 Peel Ply를 접합시키고, 안전경화 이후에 제거를 하게 되면 고운 표면을 얻을 수 있다.



그림 48. Peel Ply

- ⑪ **PVC Base, Close Cell Foam** : Foam의 종류에는 Open Cell과 Close Cell이 있다. Open Cell의 대표적인 것은 국내에서 많이 사용되는 우레탄으로 조직이 Open되어 있는 관계로 해수가 유입되면 그 해수는 Open된 조직을 타고 흘러 들어가게 된다. 그래서 우레탄을 부력재로 사용하여 침몰된 선박을 종종 볼 수 있다. 이러한 이유로 선박에는 Close Cell Foam을 사용하여야 하는데, 모든 조직이 닫혀 있기 때문에 해수에 24시간 100% 노출되었을 때도  $3.2\text{g/m}^3$  밖에 해수가 유입되지 않는다. 또한, Fiberglass와의 접착력이 우수하여 선체나 갑판, 의장품이나 격벽 등에 자유롭게 사용할 수 있다. 다른 특징으로 가볍고 보온기능이 높으며, 화재시 유해가스가 발생하지 않고 자기소화된다. 항공기나 기차, 선박 등 속력과 중량, 강도가 요구되어지는 산업에 널리 쓰인다. 실제 이 Foam 생산에서 세계적으로 널리 알려져 있는 DIAB의 제품 중 Klegecell R100을 보면 밀도가  $100\text{kg/m}^3$  이고, 압축강도가 1.9Mpa, 인장강도가 2.7Mpa, 전단강도가 1.4Mpa이고, 성질이 변하는 온도는 90도이다.

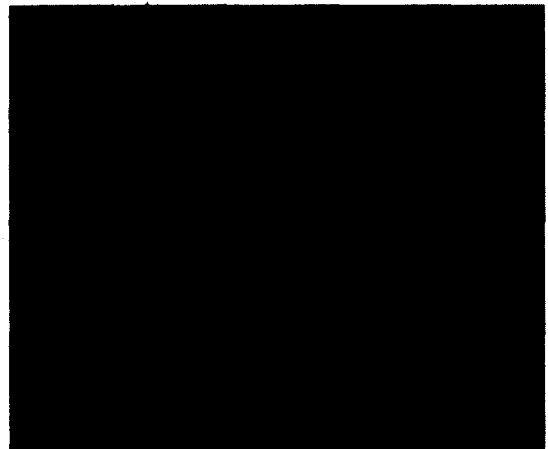


그림 49. PVC Base, Close cell foam

⑫ **BALSA** : 고온 다습한 중남미가 원산지로서 7년 동안 약 20미터의 크기로 자라날 만큼 성장이 빠르다. 현존하는 목재 중 가장 가볍고, 나무조직 자체가 육각으로 닫혀 있어서 세균이나 해수가 침입하지 않고 화재시 유해가 없으며, 자기소화 성질이 있다. 내충격성, 충격흡수 능력이 좋지만 가격이 비싼 관계로 Close Cell Foam과 혼합하여 선체의 선저부분과 Underwing부분만 사용하는 경우가 많다. Balsa의 밀도는  $155\text{kg/m}^3$ 이고 압축강도 13Mpa, 인장강도 13.1Mpa, 절단강도 2.9Mpa이다.

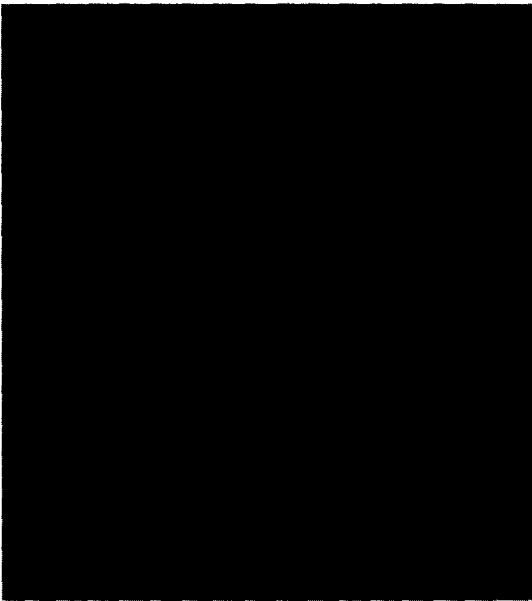


그림 50. Balsa

⑬ **Honeycomb** : 구조재로는 절대 사용하지 못하며, 저장공간의 문이나 구조적으로 사용하지 않는 소파나 캐비닛에 사용하기 위해 제작하는 패널로 인테리어의 무게를 줄이기 위한 자재이다. 이 자재의 보편적인 제조는 Box종이를 벌집모양의 모양을 만든 다음 수지를 코팅하고, 양면에 GRP를 2ply

적층한다. Honeycomb을 물이나 기름이 유출될 수 있는 부위에 사용하기 위해서는 심재를 알루미늄이나 플라스틱으로 만든 것을 사용할 수 있으며, Close Cell Foam을 이용한 후 Timber Laminex Panel을 이용하여 모양을 낼 수 있다.

선박의 조립을 쉽게 만들어 주는 Adhesive Bond류라든지 철판이나 알루미늄에 GRP를 적용할 수 있는 Epoxy나 접착수지 등 많은 특수한 소재들이 있지만, 여기에서는 한국에서 적용 가능한 소재들을 중심으로 나열했으며 필요하다면 연재 중 새로운 자재들에 대한 소개를 첨부하도록 하겠다. GRP에 관련된 신기술과 신소재가 해마다 수없이 나오고 검증되어 사용되거나 검증에 실패하여 사라진다. 그것에 더 빨리 다가갈 수 있는 방법은 연구보고서나 학술지가 아니라 잡지와 광고에서이다. 우리나라에서도 이러한 GRP 전문잡지가 빨리 생겼으면 하는 바람이다.

〈다음 호에 계속〉