

외판 전개를 응용한 무형틀 FRP선박 건조방법

양지만^{†*}, 하윤석^{*}, 김효철^{**}

서울대학교 조선해양공학과 대학원^{*}
서울대학교 조선해양공학과 해양시스템공학연구소^{**}

Production Method of FRP Boat Using Developable Surface without a Mould

Jiman Yang^{*}, Yunsok Ha^{*} and Hyochul Kim^{**}

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, SNU^{*}
RIMSE, Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, SNU^{**}

Abstract

Novel ships are commonly required iterative hull form modifications until she get reputation for new marine environment. Small FRP boats are manufactured in a identical shape with a mould. It implies that every modification step requires great time and expense which makes it difficult to improve the hull form promptly. Domestic hull form of small fishing boat of Korea has been evolved from the traditional hull form of developable shape. Utilizing this typical developable characteristics of small boats, New mouldless production method for FRP boat has been suggested and it is confirmed that the method is recommendable for a petty order of hull in evolving period of hull form development.

※Keywords: FRP Fishing boat(유리섬유강화플라스틱 어선), Developable surface(외판전개 응용), Hull form modification(선형 변환), Mouldless production method(무형틀 선박 생산 기법)

1. 서론

선박은 사용 환경에 순응하며 용도에 적합한 형태를 갖추어야만 경쟁력을 갖는 선형으로 인정받을 수 있다. 우리나라의 연안은 지리적 환경의 차이가 있어서 사용되는 어선 선형이 지역에 따라 다를 뿐 아니라(김극천 1971), 인접국가들 간 어

업협정의 발효로 어장이 축소되어 가족중심 연안 어업으로 조업형태도 변화되었다. 또한 최근 해양 레저스포츠 활동이 증가하여 낚시어선의 수요증가가 뚜렷해졌다. 해양활동에 적합한 선형이 급변하고 있으나 선주가 되는 어민들의 요구는 매우 다양하여 이들 요구를 종합한 우수한 표준 선형이 설계 개발되지 못하여 다량생산 공급계획을 하지 못하고 있다.

연안어업 및 해양 레저 스포츠 활동에서 유리섬유강화플라스틱(fiber reinforced plastic : FRP)

접수일: 2005년 3월 28일, 승인일: 2005년 6월 13일

† 주저자, E-mail: snucrab@snu.ac.kr

Tel: 02-880-7333

선박에 대한 선호도가 높은 편이나, 대량생산으로 우수 선박을 값싸게 공급할 수 있다는 FRP선의 장점을 살리지 못하고 있으며, 수요자의 요구를 수용하는 경우 선가가 상승하게 되어 선형변환이 자유롭지 않다는 문제를 가지고 있다. 이와 같은 문제를 해결하는 방안으로서, 선형을 변화시키며 형틀을 사용하지 않고 선박을 건조하는 방안을 구상하고, 그 실용화 가능성을 보이고자 하였다.

2. 선형의 전개

2.1 전개성능 확인용 선형의 선정

무 형틀 선박건조공법을 확인하기 위한 첫 단계로 Fig. 1에 보인 바와 같은 차인(chine)을 가지는 GT 1.67톤급 어패류 채취 작업선을 시험용 선박으로 선정 하였다. 이 선박의 선형은 선수부에 넓은 작업공간을 마련하기 위하여 큰 선수 플레어(flare)를 가지는 것이 특징이다.

2.2 선형의 전개방법

대상으로 선정된 선체형상을 전개하는 적합한

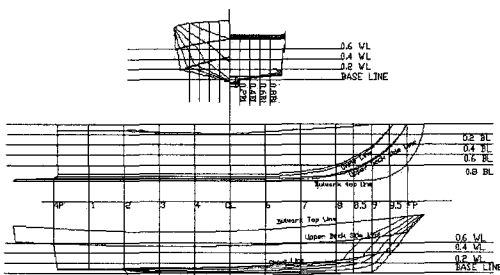


Fig. 1 Body plan of GT 1.67 ton fishery boat

Table 1 Principle particulars of GT 1.67 ton fishery boat

주요 재원	기준선형
수선간 길이(L _{BP})	6.5m
전 길이(L _{OA})	8.14m
너비(B)	2.2m
흘수(d)	0.2m
깊이(D)	0.5456m
배수량(Δ)	1.68t
형상계수(C _B)	0.613
속도(V)	12 knots

방법으로서는 원추정점법(Hatch 1964)과 접선추적법(Kilgore 법)(Kilgore 1966)이 알려져 있다. 원이루어져 있다고 가상하고 선체표면 요소가 놓추정점법은 선체의 표면요소가 원추면의 일부로 여질 수 있는 원추의 정점위치와 치수를 선체선도 상에서 도식적으로 찾아가는 방법이다. 접선추적법은 곡면이 미소한 평면요소로 연속 연결되어 있을 때에만 평면으로 전개가 가능하다고 생각하고 미소한 장방형 평판요소가 전개하고자하는 선체 표면요소와 접하는 직선요소들을 도식적 방법으로 미소 간격으로 구하고 얻어진 선분들의 끝점을 연결하여 전개윤곽선을 구하는 전개방법이다. 이들 방법은 모두 시행착오법을 바탕으로 하고 있으나 전개하고자하는 형상요소에 대한 직관적 이해를 가진 기술자는 비교적 쉽게 전개할 수 있다.

연구대상선형으로 선정된 서해안에서 작업어선으로 사용되는 선형에서는 상자모양 용골이 있다. 그러나 이 선형의 상자형 용골형상 자체는 쉽게 전개되는 형상임으로 선체형상의 전개가능성을 검토하는 단계에서는 고려할 필요가 없는 부분이 된다. 또한 소형선인 경우, 상자형 용골을 부가물로 제작하여 선체에 부착하는 기술이 이미 특허기술로 등록되어 있다. 따라서 전개선형을 활용하는 것을 제안하는 새로운 공법적용에서 전개외판의 수를 늘이면 비교적 큰 선형에도 적용된다. 또 소형선박인 경우에는 부가물로 상자형 용골을 선체에 시공할 수 있으므로 선체형상의 외판전개가능성을 검토하는 단계에서는 용골을 제외한 주 선체 부분만을 검토하고자하였다. 선저 용골선으로부터 차인라인(chine line)까지의 선저외판, 차인라인으로부터 상갑판까지의 선측외판, 그리고 갑판선 이상의 부분을 선측상부외판이라 하면 이들이 선체를 구성하는 최소수의 외판이 된다. 이들 선체외판들을 선체표면을 원추정점법이나 접선추적법으로 전개하면 Fig. 2에 보인 바와 같이 3개의 외판 요소로 선체의 반이 전개된다.

2.3 전개의 정밀도

전개작업으로 구해진 접선요소를 선체선도 상에 투영하여 선체횡단면과 교차하는 점이 단면 윤곽선으로부터 벗어나면 원래의 선형과 전개된 선형

은 다르다. 접선이 횡단면과 교차하는 점들로 선체형상을 다시 정의하면 전개표면으로 나타낼 수 있는 역변환 선형이 된다. 제한된 수의 외판으로 전개한 선형의 적정여부를 알아보기 위하여 기준 선형을 원추정점법과 접선추적법(Kilgore 법)으로 전개하고 역변환 선형을 선체선도로 나타내었다.

선정된 GT 1.67톤급 작업선 선형의 선수부 단면형상은 Fig. 3과 같다. 원추정점법으로 전개되는 기준선에 가까운 선형은 Fig. 4와 같다. 또 접선추적법과 NURBS 곡선 특성을 이용한 전개 선형의 역변환 선형은 Fig. 5와 같다(김극천 1970, 윤상현 등 2000, Piegl and Tiller 1992).

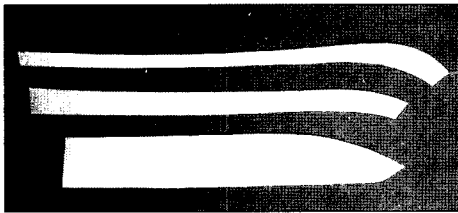


Fig. 2 Developed hull surface elements

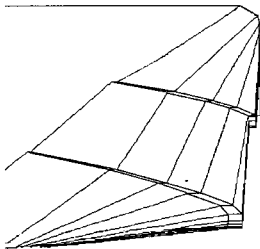


Fig. 3 Body plan of parent ship

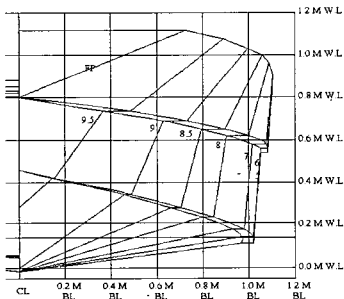


Fig. 4 Body plan of developed hull by conic correction method

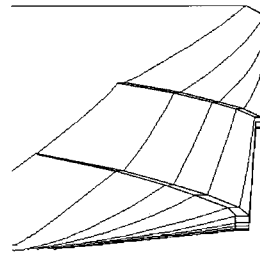


Fig. 5 Body plan of developed hull by Kilgore method

Table 2 Comparison of developed hulls

선형 주요제원	기준선형	좁은 선수 전개선형 'N'	넓은 선수 전개선형 'W'
수선간 길이(L _{BP})	6.5m	6.5m	6.5m
전 길이(L _{OA})	8.14m	8.14m	8.14m
너비(B)	2.2m	2.26m	2.26m
흘수(d)	0.2m	0.2m	0.2m
깊이(D)	0.5456m	0.5456m	0.5456m
배수량(Δ)	1.68t	1.65t	1.65t
형상계수(C _B)	0.613	0.601	0.601
물가름각(α _E)	58°	50°	60°

2.4 전개선형의 유일성

역 변환 선형들을 비교하여 보면 원추정점법으로는 큰 플래어를 가지는 선수부형상 표현이 어렵고 접선추적법에서는 동일한 흘수에서 배수량 유지가 어렵다. 따라서 선저의 외판은 원추정점법을 채택하고 현측부분에는 접선추적법을 사용하는 복합전개 방법을 사용하면 보다 접근된 형태로 전개될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 복합전개 방법을 사용하여 전개하더라도 작업순서 수렴조건 등에 따라서 Table 2에 보인 예와 같이 기준선형과 거의 같은 주요치수를 가지고 있으나 두 선형은 선수부 갑판의 면적과 물가름각의 크기가 현격하게 다르게 되었음을 알 수 있다.

2.5 모형의 제작과 수조실험

전개 외판으로 1/6 축적으로 저항시험용 모형선을 두께가 1mm인 아크릴 판으로 Fig. 6과 같이 제작하여 수조시험에 사용하였다.

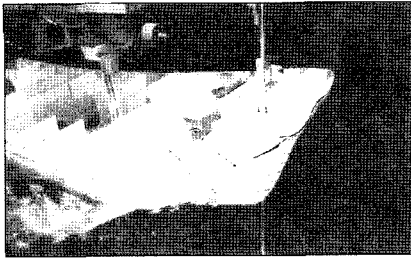


Fig. 6 Model test of developed hull model

3. FRP선박의 무형틀 건조 공법의 구축

3.1 기존의 FRP선박 제작용 형틀제작 방법

FRP선박의 건조에서 사용되고 있는 형틀을 사용하는 통상적인 건조방법은 Fig. 7에서와 같이 여러 단계의 주요공정을 거치게 된다.

첫째 선체선도로부터 늑골형상을 제작하고 가늘고 긴 나무로 연결하고 보강하여 선체의 골격을 구성한 후 전개외판들을 씌워서 선체의 목형을 완성한다. 둘째로 제작된 목형의 표면을 다듬고 표면을 처리한 후 목형표면에 이형제를 바르고 겔 코트를 도포 경화시킨다. 세 번째로 겔 코트 처리된 표면에 FRP를 필요로 하는 두께로 적층하고 보강재들을 배치하여 형틀을 완성하고 경화 후 탈형한다. 네 번째로 형틀의 내면을 다듬고 표면을 처리한 후 형틀의 내부에 FRP를 적층하고 보강재들의 구조부재를 배치 후 경화시켜 탈형하여 선체를 얻는다(권중오 2002).

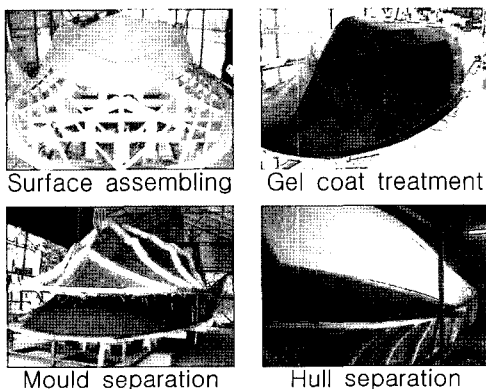


Fig. 7 Conventional FRP boat construction method

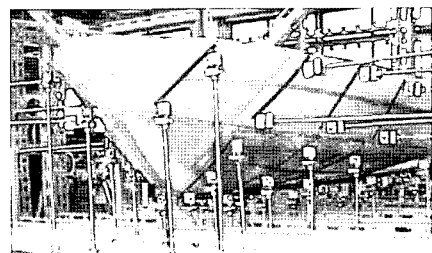
3.2 새로운 FRP선박 건조 공법의 개념

첫째 단계에서 선박을 바깥쪽에서 받쳐줄 수 있는 형틀을 선체 윤곽선만으로 만들면 통상의 FRP 공법에서 사용하는 형틀의 선체 표면이 투명한 재료로 만들어져 들여다보이게 된 것과 같다. 둘째 단계에서 두께가 최종 외판 두께의 1/3~1/2 정도인 FRP전개 외판을 형틀 형상으로 변형시켜 고정시킨 상태는 통상의 공법에서 형틀에 겔 코트를 씌운 상태와 동등하다. 이어서 인접한 외판들을 스카프(scarf)이음 방식으로 연결하고 연속하여 내부를 외판의 두께가 설계상 요구되는 외판의 치수에 이르기까지 적층하며 FRP선체를 형성하고 선체내부에 구조부재와 보강재를 배치하여 선체를 보강한다. 이 작업은 통상의 방법에서 선체적층에 해당하지만 탈형작업이 매우 간단하게 된다(이재규 등 2000, 권중오 등 2001a, 권중오 등 2001b).

3.3 늑골선을 이용한 선체표면의 성형

선박의 표면을 평면상에 전개할 수 있는 선박을 새로운 개념의 FRP선박건조공법으로 건조하기 위해서는 전개된 외판을 선체윤곽선만으로 정의되는 선체 표면에 밀착시킬 수 있어야 한다. 즉 전개된 외판이 선체형상으로 변형되어야하며 외판을 변형시키는데 사용된 기구들이 변형된 상태에서 판의 결합이나 적층작업에 불편을 주어서는 안 된다.

실제로 외판을 선체형상으로 변형시키는데 따르는 문제점들을 확인하기 위하여 기존선형의 1/3 축척모형을 사용하여 Fig. 8에서 보인 바와 같이 선수부 선체 형상을 얻는 작업을 실시하였다.



Forepart of 1/3 mockup

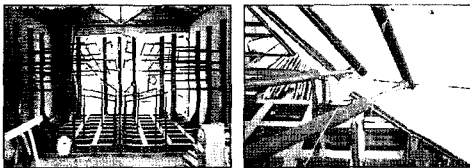
Fig. 8 Example of forepart construction

Fig. 8에서 확인 할 수 있듯이 선체의 형상을 통상의 횡곡률 형상으로 나타내고 전개외판이 횡곡률에 밀착되도록 변형시키려면 선체 내부의 여러 곳에서 하중을 가해야하고 변형된 상태를 유지 되도록 지속적으로 하중을 가해야함으로 다음단계의 선체내부 FRP작업을 수행하기 어렵게 된다. 그러므로 최소한의 위치에서 하중을 가하여 변형시킬 수 있어야만 작업공간을 확보하는데 도움이 될 것이다. 그와 같은 위치는 위상해석법으로 추정 가능하지만 구체적인 작업점을 지정하기는 어려운 것으로 확인되었다(Cho et al. 2004).

3.4 추적접선을 이용한 선체표면의 성형

전개곡면성형은 선체표면상의 접하는 직선을 연속 이동시켜 얻어진다는 특징을 이용하였다. 선체 형상을 횡 단면곡선을 사용하지 않고 접선으로 나타내었다. 전개외판에서는 선체곡면의 접선들은 서로 교차하지 않으므로 접선들을 전개외판을 선체형상으로 받쳐주며 굽혀주는데 이용하며 Fig. 9와 같이 실제치수로 선수부 형상을 제작하였다.

선 요소만으로 전개외판을 선체 형상으로 받쳐주는 형틀을 구성하고 전개형상으로 재단한 두께 3mm인 내수 미장합판을 직선 요소들로 필요한 위치를 밀어주거나 끌어당겨 Fig. 10과 같은 선체 형상을 얻을 수 있었다.



Ruling line arrangement Ruling line support
Fig. 9 Determination of hull geometry

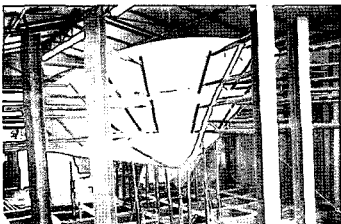


Fig. 10 Construction example of developed forepart

3.5 전개외판의 결합에 따른 문제

FRP선박을 건조함에 있어서 종래로부터 사용되던 공법과 여기에서 제안하고 있는 새로운 FRP공법에서 구조적으로 차이가나는 부분을 살펴보자. 종래의 방법에서는 형틀 내에서 일체로 적층 성형함으로 선체가 균일한 연속체인데 대하여 새로운 공법에서는 전개외판을 요소 별로 따로 만들고 이들을 선체형상으로 성형시키고 접합시켜 하나의 선체로 만들어진 후에 내부를 추가 적층하여 선체를 완성한다는 점이 다르다. 즉 형틀 없이 전개외판을 사용하는 FRP제조공법에서 결합부의 구조적 강도가 통상의 방법에 따른 구조강도와 등가하다는 것을 입증하여야하며 강도가 부족하면 설계단계에서 이를 보완해야 한다.

3.6 인장하중을 받는 전개외판의 접합

두개의 인접한 FRP외판을 이차 접착하는 방법으로는 Fig. 11에 보인 바와 같이 겹침 이음방식과 맞댐 이음 방식이 흔히 사용되고 있다. 이중 맞댐 이음방식에서 강도를 확보하기 위한 수단으로서 스카프이음이나 스텝이음 방식이 사용된다.

특히 FRP판의 맞댐 이음 방식에서 판과 판사이의 처리가 확실하지 않은 경우에는 이음부분이 균열의 원인으로 작용하여 강도를 떨어뜨리는 요인이 되기도 한다. 이를 피하기 위하여 전개외판의 적층 당시로부터 연결부분의 윤곽선을 따라서 단 (stepped edge line)이 지도록 적층하고 윤곽선을 따라서 첫 번째 유리섬유 매트 층까지를 탈크 가루와 에폭시 수지를 반죽하고 경화제를 타서 만든 충전 접착제로 접착하고 그 위에 매트스트립을 적층하여 연결부분이 scarf-stepped joint를 이루도록 하는 연결접합방식을 구상하였다.

3.7 접합부 구조강도의 실험적 검증

전개외판의 구조적 특성을 실험적으로 검증하기 위하여 3층 매트 구조로 FRP판을 만들고 이 FRP판에 대한 시험편을 한국산업규격(KSF3381) (1989)에 따라서 제작하여 인장 시험하여 강도를 구하였다. 두 번째 경우로서 전개외판의 윤곽선을 따라서 3층으로 매트가 계단을 이루도록 적층하고 이를 앞에서 언급한 것과 동일한 방법으로 모형을

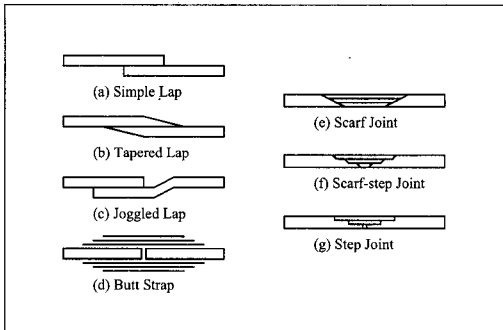


Fig. 11 Joint adhesion method of FRP plates

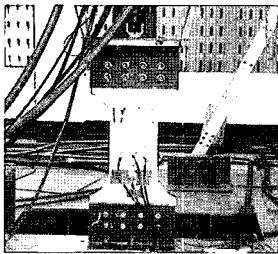


Fig. 12 Specimen test of FRP plate joint

제작하여 접합에 대한 인장강도를 비교하였다. 판 구조에 따라서 다소의 차이는 있으나 접합한 판을 인장시험 하였을 때 접합하지 않은 판의 인장강도의 82% 정도의 강도를 유지하는 것이 확인되었다(해양수산부 2001). 접합선을 따라서 매트 스트립으로 이음 선을 덮어주는 겹침 적층을 추가하면 구조강도를 이음새가 없는 균일한 판과 동등하게 만들어 줄 수 있다. 특히 전개외판이 설계상 두께 치수의 1/3~1/2로 성형된 외판을 사용하고 있으므로 전개외판이 접합된 후 선체 내부 전체를 추가로 적층하는 방법(김효철과 이상홍 2002)을 사용하면 설계치수의 판 두께로 추가 적층하였을 때 구조적으로 충분한 인장강도를 얻을 수 있음이 확인된다.

3.8 전단하중을 받는 전개외판의 접합

판과 판이 겹침 이음으로 연결되는 접합면을 따라서 전단하중이 전달되므로 접합면적을 키우면 전단하중이 낮아짐으로 허용전단응력 범위의 값이 되는 접합면적을 쉽게 구할 수 있다. 접합면내에 분포하는 평균전단응력과 접합면적으로부터 접합

면이 전달하는 하중을 바로 알 수 있다.

판 소재를 따라 전달할 수 있는 하중은 하중방향에 직교하는 방향으로 계측되는 판의 단면적에 인장허용응력을 곱하여 얻어지며 겹침 이음부분에서는 전단하중의 형태로 하중을 전달하게 되므로 전달하여야하는 하중과 접합 면적이 전달할 수 있는 허용평균전단응력을 알 수 있으면 접합면적을 손쉽게 결정할 수 있다. 단위 폭을 가지며 접합부에 수직한 스트립을 떼어내 연결부분에서 하중을 전달하는데 필요한 겹침 거리를 구하면 판 두께의 10배정도(Kwon et al. 2001)인 것으로 나타난다.

3.9 전단응력의 집중과 완화

일반적으로 겹침 이음 방식에서는 겹쳐지는 위치에서 단면형상의 변화가 급격하므로 겹침 면적을 최소화하려면 응력 집중을 완화 시키는 노력이 더욱 중요하다. 예로서 매트 3층 구조의 적층 판이 이중 겹침 구조로 전단하중을 전달하는 경우(Kwon et al. 2001)에 대하여 유한요소해석을 실시하면 매우 큰 응력 집중이 나타나는 것이 확인된다. 이에 대하여 겹침 부분의 기울기를 1/6 이하로 적층하여 응력집중을 막도록 SNAME(Scott 1996) 등에서 규정하고 있다.

3.10 기타 구조강도에 대한 고려할 사항

FRP를 선체의 소재로 사용하는 경우 적층과정에서 가장 주의하여야하는 사항은 적층과정이 연속적으로 이루어짐으로서 층과 층사이의 수지가 확실하게 접합이 이루어지도록 하는 것이다. 하나의 층이 경화가 진행된 후 추가 적층이 되는 경우 선박이 운항 중 지속적으로 받게 되는 파랑하중에 의한 피로현상 그리고 운항 중 또는 계류상태에서 선박이나 구조물과 접촉에 의하여 층간에 박리현상이 나타날 수 있다. 제안하고 있는 새로운 공법에서는 전개판재에 외압을 가하여 선체 형상을 형성하고, 후속 적층으로 선체제작을 마무리하게 됨으로 층간 박리현상에 대한 고려가 중요하다.

유리섬유강화플라스틱을 사용하여 선박을 건조할 때, 불가피하게 일차 경화가 끝난 부재에 덧붙여 추가 적층하는 2차접착 과정이나 경화가 끝난 부재들을 접착하는 3차접착인 경우, 충분한 강도

를 가져야하는 것이 일반적으로 시공에서 가장 중요하게 생각하여야 하는 문제가 된다.

따라서 전개판재를 최소한의 두께로 제작하여 적층 경화과정을 거친 후 잔류응력이 최소한이 되도록 하는 것이 중요하며 적층에 앞서서 2차 적층이나 3차 적층에서 사용하는 경화 된 표면처리방법을 적용함으로써 충격특성과 층간강도의 저하에 대비하는 것이 필요하다. 다만 외판 전체를 표면처리하는 것은 실질적으로 어려우므로 효과적인 표면처리방법과 이를 보완할 수 있는 구조 형식에 관한 별도의 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

4. 선체의 전개외판 이음부의 구조강도

선체의 형상을 길이방향으로는 연속되고 폭 방향으로는 나누어진 판으로 전개하고, 이들을 다시 선체형상으로 변형시키고 접합하여 선체를 형성하였을 때 접합된 부분의 구조 강도를 계산하였다. 구조계산이 접합부 강도를 비교 확인하는 목적이었으므로 중앙 단면이 선체의 전체 길이만큼 연장된 상자 모양의 선체로 간이화하고 호강 상태에서 구조해석을 실시하였다. 해석에서는 300여개의 요소로 선체를 분할하여 상용 코드 ANSYS 9.0로 해석하였으며, 선체의 대칭조건을 활용하였다(황인섭 2005, 장창두 2005). 하중은 선체의 자중으로 주었고, 경계조건으로는 수심과 비례하는 용수철 계수만큼 수면 아래 모든 절점에 선체 표면에 수직인 방향으로 탄성지지 되는 것으로 가정하였다.

4.1 종강도 해석

Fig. 13의 종강도 해석에서 확인되 듯이 경사진 두개의 선저외판이 만나는 중심선위치가 선체의 중립축으로부터 가장 멀어서 최대 응력을 받는다.

접합선을 따라서 나타난 최대응력 점에서 접합 방향 응력과 선체 종 방향 응력의 비를 구하면 $(8.56 / 12.7 =) 67.4\%$ 로 나타난다. 즉 최대 하중 작용점을 기준으로 판단할 때, 전개외판이 접합선을 따라서 그에 수직인 방향으로 벌어지게 하는 하중은 판에 걸리는 최대 인장하중의 67.4%에 해당하는 것으로 확인되었다. 따라서 선각의 두께

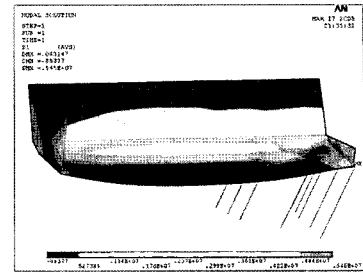


Fig. 13 Analysis result of longitudinal stress

가 종강도에 견디도록 설계된 경우, 전개외판의 이음 선을 예제에서와 같이 길이방향으로 배치하면 앞에서 제시한 전개외판 결합방식으로도 충분한 강도를 확보할 수 있음이 입증된다.

4.2 격벽 및 횡능골의 영향

실제의 선체에서는 일반 배치 상 기관실, 어창 등을 격벽으로 나누어야하며, 이들이 선체에 부착되면 부착되는 부재들은 횡강도에 기여하므로 전개외판을 접합한 부분에서 선체 외판요소에 응력의 이완 효과가 나타난다. Fig. 13에서는 선체중앙부에 한 개의 횡부재가 설치된 경우를 계산비교하였다. 이에 따르면 제안하는 새로운 건조공법에서 횡부재가 설치될수록 접합 선을 따라서 벌어지려는 힘이 이완 효과가 나타나는 것이 확인되었다.

4.3 비틀 강도 해석

굽힘응력 해석에 사용하였던 선체구조모델에 대해, 하중조건과 경계조건을 바꾸어서 비틀 해석을 실시하면 응력 및 변형 결과는 Fig. 14와 같다. 이 계산 결과를 살펴보면 종강도 계산일 때와 마찬가지로 선저면의 중앙부가 가장 큰 응력을 받는 것으로 나타났다. 그러나 호강시와 다르게 종 방향 응력에 대한 접합선에 수직인 방향으로의 응력의 비(접합방향 응력 / 선체종방향 응력 = $5.40 / 11.8$)는 0.458이 된다.

즉 외판이 전달할 수 있는 인장하중의 50%미만이 접합선을 벌리려는 방향으로 작용하는 것으로 나타나므로, 비틀 하중에 대하여서도 제안하는 접합방식이 충분함을 확인 할 수 있다. 또한 격벽

과 횡 늑골을 배치하게 되면 이들이 비틀 하중을 전달하게 됨으로 이들이 설치되지 아니하였던 상태에서 전달하던 비틀 하중에 의한 응력도 이완될 것이 예상된다. Fig.14보인 예에서도 선체 중앙부에 하나의 횡부재를 설치한 경우를 보이었는데 선저 경사 외판사이에서 발생하던 응력에서 큰 이완 효과가 일어나고 이로 인하여 접합면을 벌려서 파단 시키는 하중도 크게 완화되는 것이 확인되었다. 이와 같은 사실들은 전개외판을 사용하여 부분 선체형상을 만들고 이 부분선체 형상들을 접합하여 전체 선체모양을 만들고 내부에 추가 적층하여 선체를 완성하는 새로운 FRP선박 건조 공법은 구조상으로는 전혀 결함이 없을 것으로 판단된다.

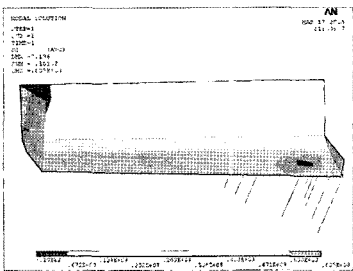


Fig. 14 Analysis result of torsional stress

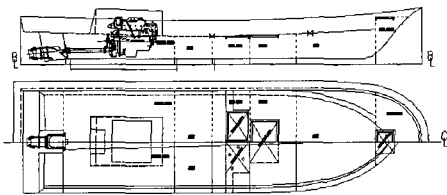


Fig. 15 G/A of parent fishery boat

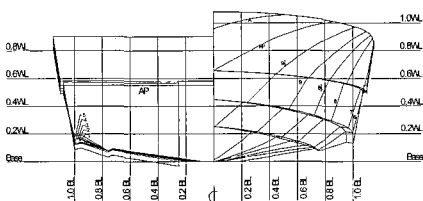


Fig. 16 Body plan of parent hull

5. 시제선의 건조

제안된 FRP선박건조방법을 실선건조에 실질적으로 활용할 수 있음을 확인하기 위하여 서해안에서 어패류 채취용 갯벌조업에 적합하다고 알려진 Fig. 15와 같은 일반배치로 구성된 배수량 3ton급 작업어선을 새로운 공법으로 시험 건조 하였다.

5.1 기준선형의 단면형상 변환과 전개

시제선형의 단면형상은 Fig. 16의 선체 정면선도에 보인 것처럼 차인 부분에 작은 스프레이스트립이 붙어있어서 이를 제외하면 선체의 한쪽 면은 4개의 외판으로 나누어 전개하여야 하는 것이 합리적이다. 그러나 시제선 건조에서 핵심이 되는 전개법의 검증과 동시에 전개외판의 이차 접합길이를 줄이는 것도 매우 중요함으로 정면선도를 설계자의 직관에 의하여 변환하는 것을 생각하였다.

선체 정면도 상에서 선저외판에 붙여지는 스프레이 스트립을 제거하고 선저가 곡선을 이루며 차인 라인까지 연장되는 것으로 생각하고 차인 부분에서는 선저외판과 선측외판이 차인 라인에서 불연속적으로 교차하도록 하였다. 또 선측외판과 현측 외판은 갑판과 연결에 편리하도록 일정한 폭의 단을 지어 선측상부외판과 연결하고 있었으나 단의 중심위치에서 선측외판과 현측 외판이 만나는 것으로 선체 정면도를 수정하여 Fig. 17을 얻었다.

수정된 선형을 원추정적법과 점선추적법을 함께 사용하는 복합전개방법으로 Fig. 17과 같이 전개하여 기준선형과 가장 가까운 선형을 선정하였다.

전개결과에서 선저를 2개의 판으로 나누고 선측외판과 선측상부외판을 통합한 하나의 판으로 전개하면 비교적 합리적인 Fig.18과 같은 선체형상이 된다. 이때 얻어진 선체 선도에 스프레이 스틱

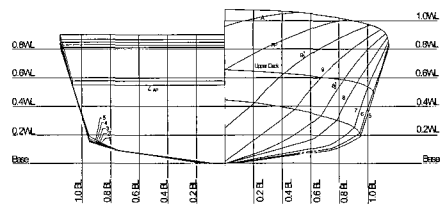


Fig. 17 Body plan of modified hull

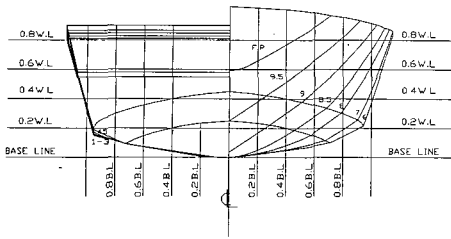


Fig. 18 Body plan of developed hull

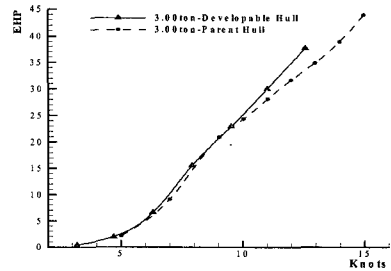


Fig. 19 Comparison of EHP

트립을 부가물로 붙이면 기준선형에 상당히 가까운 선형이 될 것이다.

5.2 전개선형의 유체역학적 성능

기준선형과 전개선형은 Fig. 16과 Fig. 18에서 선수형상을 비교하면 알 수 있듯이 전개선형의 선수부의 물가름각이 커진 것을 알 수 있으며 갑판 면적도 실제 사용되고 있는 선형을 따라가지 못하고 있음을 확인된다. 물가름각은 선박의 저항성능에 직접적으로 영향을 미치므로 선형시험 수조에서 모형시험을 실시하면, 유효마력은 Fig. 19와 같아진다. 제한된 FRP선박건조방법을 실선건조에 활용하기 위하여 서해안에서갯벌조업에 사용되는 어패류 채취용 작업선은 실제의 사용상태에서 수심 등의 조건으로 시운전속도보다 낮은 속도로 운항되고 있으며 어획물 적재 등으로 배수량이 증가하면 더욱 낮은 속도에서 운항된다는 조건을 염두에 두었을 때 기준선형과 저항 특성이 거의 동일한 것으로 판단되어 이 선형을 채택하였다.

5.3 새로운 공법에 의한 시험용 선박의 건조

새로운 공법으로 실선을 시험 건조하는 핵심 주요공정은 Fig. 20과 같다. 첫 단계에서는 작업정반 위에 전개외판을 그려놓고 윤곽선 내부에만 적층하여 전개외판을 제작한다. 사진에는 윤곽선 바깥쪽에 얇은 비닐 필름을 붙여서 불필요한 부분에 적층하지 않는 경계가 분명히 나타나있다. 매트 적층작업에서는 윤곽선을 따라서 scarf-step 이음이 되도록 단을 지으며 적층하고 윤곽선을 따라서 재단한다. 다음 단계에서는 선체의 형상을 나타내기 위하여 핀 지그를 배치하고 끝에는 전개외판을 받쳐줄 수 있도록 선 요소들을 붙여서 선체 형상

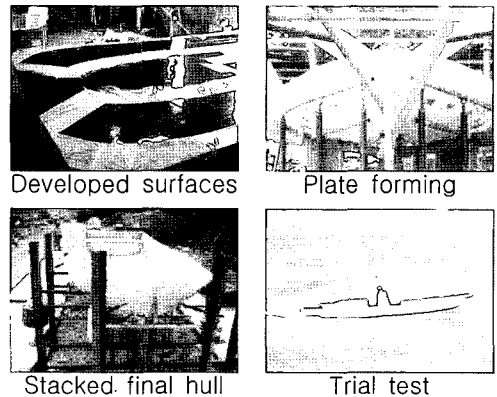


Fig. 20 New FRP boat production method

을 나타낸다. 다음으로 전개외판을 핀 지그와 직선 요소들을 사용하여 선체 형상으로 변형시킨다. 이어서 인접한 전개외판사이의 첫 번째 매트 층까지를 탈크 가루와 에폭시 수지를 반죽하고 경화제를 타서 만든 충전접착제로 접착하고 그 위층에서는 매트 strip을 적층함으로써 scarf-step 이음이 되도록 연결한다. 마지막 단계에서는 전개외판들을 결합하여 하나의 선체를 형성한 후에 그 내부를 설계상 요구되는 두께가 되기까지 추가로 적층한다. 선체내부에 선체구조 부재를 배치하고 통상의 FRP선박 건조공법과 같이 연속작업으로 보강한다. 경화가 끝난 선체를 들어내어 외부 표면을 다듬고 도장하여 선박을 완성한다(권중오 등 2001b).

6. 결론

FRP선박을 설계하여 건조할 때 설계 선형을 전개 가능한 선형으로 변환하고 전개 외판을 이용하

여 형틀을 만들지 않고 선박을 건조하는 방법을 제시하였다. 공법의 핵심은 선체 형상을 복합 전개방법에 의하여 평면으로 전개하되 평판 상에서 적정한 두께로 적층하고 전개 윤곽선에 따라 재단하여 전개 외판을 만들어 이를 선체 표면에 접하는 직선으로 판을 받치거나 힘을 가하여 선체 형상으로 굽히고 이들을 연결하여 선체형상으로 만든 후 내면을 적층 보강하여 선박을 완성하는 것이다.

따라서 이 방법은 특정 목적으로 사용되고 있는 선박의 선형변화가 지속되고 있는 상태에서 신속하게 선박을 건조한 후 시험 운항하여 성능을 평가 받는데 매우 유리하므로 선형 개발단계에 활용도가 높을 것으로 판단된다.

후 기

이 연구는 해양수산부의 수산특정연구과제로 수행되었으며 첨단조선공학연구센터(ASERC)의 지원이 있었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- 권종오, 2002, 전개형 FRP선박의 건조공법에 관한 연구, 서울대학교 공학석사학위논문
- 권종오, 김재성, 김효철, 이재규, 2001a, “새로운 생산 시스템을 이용한 복합재료 선박의 시험 건조와 성능에 관한 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 100-103.
- 권종오, 김재성, 이재규, 김효철, 2001b, “복합재료 선박의 혁신적인 생산 시스템,” 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 220-223.
- 김극천, 1970, “한국 연근해어선에 대한 전개가능 곡면 선형의 응용,” 대한조선학회지, 제 7권, 제 1호, pp. 100-103.
- 김극천, 1971, “한국 연근해어선의 특징,” 대한조선학회지, 제 8권, 제 1호, pp. 67-94.
- 김효철, 이상홍, 2002, 조절 가능한 형틀을 이용하는 복합재료 선박제조방법, 특허 0352149
- 윤상현, 이승희, 이영길, 2000, “전개가능 곡면을 가지는 어선의 선형 개발,” 대한조선학회 춘계

- 학술대회 논문집, pp. 88-91.
- 이재규, 김재성, 권종오, 김효철, 2000, “가변모 울드를 이용한 복합재료 선박 생산 시스템,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 84-87.
- 장창두, 2005, 경정의 성능 및 구조안전성 향상을 위한 기초연구, 서울대학교 발전기금 연구과제 결과보고서.
- 한국산업규격, 1989, 유리섬유 강화 플라스틱의 인장 시험 방법(KSM3381).
- 한국선급, 2001, 강화플라스틱(FRP)선의 선체 구조기준.
- 해양수산부, 2001, Mouldless FRP 신공법개발과 공법적용 고효율 어선의 개발에 관한 연구.
- 황인성, 2005, 유한요소해석을 이용한 LNG선 선미부 하단블록의 최적설계, 서울대학교 대학원 공학석사학위논문.
- Cho, S.H., Jung, H.S. and Kim, H.C., 2004, “Topology optimization method applied to fabrication of developable ship hulls,” International Journal of Vehicle Design, Vol. 35, No. 4, pp. 307-316.
- Hatch, G.N., 1964, “Conic Boat-Part(1)-(5),” Ship and Boat Builder International, March~July
- Kilgore, U., 1966, “Developable Hull Surface,” Fishing Boat of the World, Vol. 3, FAO
- Kwon, J.O., Kim, J.S., Suh, J.C., Kim, H., Lee, S.H., Lee, Y.G., Kim, K., Lee, J.W., Lew, J.M., Lee, S.H., Lee, J.K., Kang, D.S. and Chung D.S., 2001, “New Production System for Vessels of Composite Materials Using an Adjustable Mould,” The 8th International Conference on Practical Design of Ship and Other Floating Structures: PRADS '2001, pp. 367-372.
- Piegl, L. and Tiller, W., 1992, The NURBS Book, Springer
- Scott, R.J., 1996, Fiberglass Boat Design and Construction, SNAME