

# 쌍동선 연결부의 횡강도 구조안전성 평가기준 개발(I)

## Development of Standard for Transverse Strength of Cross Deck in Catamaran

권수연<sup>†\*</sup>, 이장현<sup>\*\*</sup>

Soo-Yeon Kwon<sup>†\*</sup>, Jang-Hyeon Lee<sup>\*\*</sup>

### 요 약 문

본 연구에서는 쌍동선 연결부의 횡강도와 관련하여 국내기준 및 국제표준, 선급 기준의 관련 내용을 조사하고 각 하중에 대한 계산식 및 관련 계수들에 영향을 미치는 외력 등을 비교 분석하며 샘플선박에 대한 구조계산 및 해석을 수행하여 국내에 적합한 쌍동선 연결부의 횡강도 구조안전성 평가기준을 제시하고 국제표준에 대한 대응방안을 마련하고자 한다.

※ Keywords : 쌍동선(Catamaran), 구조(Structure), 횡강도(Transverse Strength)

## 1. 서 론

최근 몇 년간, 단동선형보다 갑판면적이 넓어 승선인원이 많이 산정되고 복원성능이 뛰어난 쌍동선형 선박의 건조가 증가되고 있으며, 특히 고강도 및 경량화에 적합한 복합재료 및 접착제 등의 신소재 개발과 진공적층 등의 신공법 출현에 따라 FRP

쌍동선의 건조가 증가되어지는 추세이다.

쌍동선의 경우 선수의 형상에 따라 상이할 수도 있지만, 보통 단동체와 단동체를 연결하는 부위에 선박의 항주시 생기는 파가 그대로 부딪쳐 손상 위험이 있으므로 적절한 보강과 구조강도가 요구되어지며 이러한 이유로 연결부 부재 계산시 허용치보다 부재치수를 높여 설계하는 경우가 많으나

\* 선박안전기술공단 기술연구팀

\*\* 인하대학교 공과대학 조선해양공학과

† 논문주저자

증가된 중량에 따른 건조비 증가와 견현확보 등의 문제가 있으며 이는 선박의 속력 등에 영향을 미치게 된다.

현재 국내에는 선질별로 구조기준이 제정되어 있으나, 쌍동선과 같은 다동선의 연결부에 대한 내용은 “알루미늄선의 구조기준”을 제외하고는 포함되어 있지 않으며, 선질에 상관없이 쌍동선 연결부의 강도계산에 대해서는 “알루미늄선의 구조기준”이 사용되고 있다.

“알루미늄선의 구조기준”에는 KR(한국선급)의 “고속경구조선규칙”을 바탕으로 한 쌍동선형에 대한 구조기준이 삽입되어 있으며, KR(한국선급)의 “고속경구조선규칙”은 DNV(노르웨이선급)의 구조기준을 바탕으로 하여 제정된 것이다.

그러나 같은 내용의 기준을 적용하는데 있어 KR(한국선급) “고속경구조선규칙”의 경우 강, 알루미늄, FRP 재료의 고속경구조선에 적용하는 것으로 범위가 지정되어 있는 반면, “알루미늄선의 구조기준”에는 적용하는 범위가 지정되어 있지 않으므로 이에 대한 검토가 필요하다.

“알루미늄선의 구조기준”에서 쌍동선 연결부 구조계산을 위한 각 하중에 대한 규정과 현재 국제표준으로 제정을 위해 논의중인 “ISO TC188 12215-7(안)”의 하중에 대한 규정을 비교해 보면 계산식이나 계산에 사용되어지는 계수 등 상당부분의 내용이 다르기 때문에 단순한 식의 비교보다는 규정의 배경이나 내용 등에 대한 자세한 조사 및 이해가 필요하다.

또한 쌍동선 연결부의 강도를 계산하는 기준인 “알루미늄선의 구조기준”과 국제표준 “ISO TC188 12215-7(안)”이 선박의 재료에 구해 받지 않고 계산에 적용되고 있으므로, 국내기준을 제안할 시 선질의

영향에 대한 검토가 필요하며, 쌍동선 연결부에는 항해구역별 풍속이나 유효파고, 각 단동체들의 움직임에 따른 영향, 파도의 영향에 따른 선박내 부재의 움직임 등에 따른 변형 등 외력의 영향이 많이 발생하고 있으므로 이 외력에 대한 자세한 검토가 필요하다.

그리고 논의되고 있는 “ISO TC188 12215-7(안)”의 경우 국제표준으로 제정이 되면 국가표준으로 수용되어질 것이며 향후 국내기준에도 영향을 줄 것으로 예상되므로 이에 대한 정확한 조사 및 분석을 통해 대응방안을 마련해야 한다.

## 2. 쌍동선의 국내외 건조현황

쌍동선은 두개의 선체를 일정한 간격을 두고 갑판 위에서 결합한 선박으로 주로 청항선이나 어장정화 선등을 목적으로 건조하다가 20세기 부터는 여객선, 유람선 및 낚시나 해양스포츠를 즐기기 위하여 건조가 증가되기 시작하였다.

쌍동선은 갑판면적이 넓고 복원성이 뛰어나기 때문에 단동선에 비해 많은 여객을 승선시킬 수 있고 같은 마력의 엔진을 사용하여 효율을 높일 수 있으며 얕은 흘수에서도 단동형처럼 기울지 않고 Fig.1처럼 수평으로 정박할 수 있는 장점이 있으므로 조석간만이 큰 서해안에서도 즐길 수 있는 장점이 있다.



Fig.1 정박사진

## 2.1 국 외

국외에서는 해양레저를 즐기는 인구가 다수이고 관심 또한 높기 때문에 요트 등의 건조방법이나 설계수준이 국내보다 많이 앞서 있으며, 보통 요트는 단동선으로 건조되어 사용되고 있으나 여가시간에 가족단위로 해양레저를 즐기는 경우가 많으므로 단동선보다 승선원이 많으며 승선감이 좋은 쌍동선이 차터요트로 많이 사용되고 있다.

## 2.2 국 내

국내에서는 최근 해양레저산업에 대한 관심이 증가하면서 정부나 지자체에서 해양레저와 관련된 정책이나 사업 등에 대해 지원이 다양해지고 있으며 이에 따라 대학이나 산업체에서 국내 해양레저 수요에 맞추어 다양한 해양레저장비를 개발하고 있다.

국내에서 쌍동선형 선박은 청항선과 같이 바다에서 기름이나 오염물질을 제거하는 선박으로 주로 건조되었으며, 2002년도에 공단에서 연구개발된 국내최초의 FRP쌍동선형 낚시전용어선이 건조된 후로 2007년도 이전에는 해양관광이나 해양레포츠 사업 등을 이유로 하여 국내에서 건조되어진 쌍동선을 찾아 볼 수 없다.

그러나 2007년도 6월에 부산에 있는 광동에프알피산업에서 순수 국내기술로 쌍동선형 요트인 샹그릴라1호를 건조하고 퍼시픽랜드가 사업자가 되어 중문관광단지에서 운항을 시작하였으며, 목포에서는 푸른중공업이 쌍동선 알루미늄 요트개발에 관심을 갖고 수출을 목표로 개발을 수행하여 알루미늄 요트를 국내에 보급하는데 기여하는 등 점차적

으로 쌍동선에 대한 관심 및 건조가 급증하고 있는 추세이다.



Fig. 2 김녕요트클럽의 BONA



Fig. 3 샹그릴라



Fig. 4 수상택시

국내 해양레저산업의 활성화를 반영하듯 국내 최고의 관광지인 제주도에는 해양관광과 해양 레포츠를 즐기기 위하여 애월읍에 리바요트 클럽의 크루즈 요트, 김녕에 푸른중공업에서 건조한 알루미늄 요트인 김녕 요트투어의 BONA, 중문에 광동에프알피산업에서 건조한 퍼시픽 랜드의 상그리라 1, 2호가 운항중이며 작년 2009년에 상그리라 3호가 건조되어 운항되고 있다.

또한 2009년도 인천세계도시축전때 사용된 수상택시의 경우도 쌍동선으로 건조되었으며, 2009년도에 인천 연안부두에 쌍동선형 유람선이 도입되어 운항중이다.

### 3. 선 질

#### 3.1 국 외

국내처럼 여객선으로 등록되어 단체로 특정한 코스를 도는 유람을 목적으로 사용되기 보다는 보편적으로 해양레저가 발달되어 개인이나 가족 단위로 해양레포츠를 즐기기 위해 개인이 보유하고 사용하는 경우가 대다수이므로 쌍동선보다는 단동선형이 주를 이루고 있다.

따라서 개개인의 취향에 맞는 디자인들이 많이 개발되어 있고 수요가 많기 때문에 디자인별로 대량 생산을 할 수 있도록 강화플라스틱(FRP)을 사용하여 건조하고 있으며, 선질이 알루미늄인 요트는 일반적으로는 찾아보기가 어렵고 호화요트나 규모가 큰 요트의 경우 간혹 사용되고 있으며 가격도 매우 높은 것으로 조사되었다.

강화플라스틱(FRP)을 사용하여 건조되어지는 생산 기술은 국내에 비해 매우 발달되어 있으며

생산기술에 따른 재료들도 다양하게 개발되어 있다.

최근에는 국내에서 이런 기술 및 재료에 대한 관심이 증가되고 있어 국제적인 보트쇼나 잡지를 통해 기술정보를 습득하고 있으며 일부 재료는 수입이 되어 실제 생산하는데 활용하고 있다.

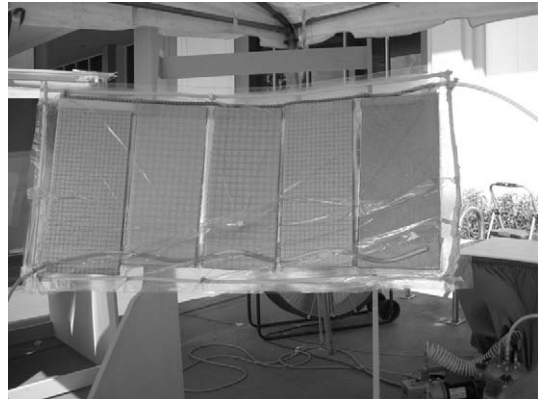


Fig. 5 진공적층 재료에 대한 실험 (마이애미보트쇼)

#### 3.2 국 내

앞에서 조사된 바와 같이 국내의 쌍동선형 선박은 거의 모두 여객선으로 등록되어 운항되고 있으며, 선박의 타입은 범선과 일반여객선(크루즈)으로 나눌 수 있다.

쌍동선형 범선의 경우는 전체규모가 작은 편으로, 내부공간에 대한 활용을 위해 선수는 V자 형이지만 선미로 갈수록 U자 형과 비슷하다. 따라서 강이나 알루미늄으로 작업할 경우 곡이 있는 모양을 나타내는데 공수가 많이 들며, 특히 알루미늄의 경우 용접작업을 하는데 어려움이 많으므로 건조작업도 편리하며 하나의 몰드로 같은 디자인을 대량으로 건조할 수 있는 강화플라스틱(FRP)이 거의 주재료로 쓰이고 있다. 또한 범선이기 때문에 엔진이 있으나

주로 세일을 이용하여 항해하므로 속력에 구애 받지 않는다.

일반여객선(크루즈)의 경우는 제품에 대한 특성화가 필요하기 때문에 같은 디자인을 대량 생산하지 않으며 승선원도 범선에 비해 매우 많고 승선원에 대한 여러 편의시설도 구비해야 하므로 규모도 매우 크다. 또한 먼거리를 고속으로 운항하는 경우가 많으므로 무게가 가벼워야 하며 범선에 비해 항해시간도 길기 때문에 강화플라스틱(FRP)을 사용하지 않고 주로 알루미늄을 사용하여 건조한다.

## 4. 국내 기술현황

### 4.1 국내 선박의 구조기준

국내 선박의 구조기준은 “강선의 구조기준”, “강화플라스틱(FRP)선의 구조기준”, “알루미늄선의 구조기준”, “목선의 구조기준” 등 선질별로 나누어져 정의되어 있으며, 쌍동선 연결부에 대해서는 “알루미늄선의 구조기준”에만 정의되어 있으므로 현재 국내에서 건조되어지는 쌍동선에 대해서는 “알루미늄선의 구조기준”에 따라 강도계산을 수행하고 있다.

또한 최근 해양레저산업의 활성화로 범선이나 플레저보트의 건조가 증가함에 따라 “범선의 구조 및 설비에 대한 기준”과 “플레저보트를 위한 검사 지침”이 제정되어 해당 선박에 대해 이를 적용하고 있다.

특히 “플레저보트를 위한 검사지침”의 경우, 일부 내용이 국제표준을 국가표준으로 수용하지 않은 상태에서 바로 국내기준으로 수용하여 적용하고

있는 현실이며, 국내 선박의 구조기준 중 “알루미늄선의 구조기준”의 경우 KR(한국선급)의 기준을 그대로 수용한 것이므로 각 기준에 대한 자세한 검토 및 분석이 필요하다고 할 수 있다.

### 4.2 기술현황

앞에서 본 바와 같이 해양레저에 대한 관심의 증가로 국내 쌍동선의 건조 및 관심이 증가하고 있으며 건조된 쌍동선들 모두 사업자들이 인수하여 승선료를 받고 즐길 수 있는 체계로 운항되고 있다.

따라서 해양레저를 즐기기는 하지만 플레저보트가 아닌 여객선으로 등록이 되어 운항하고 있으며, 현재 운항되고 있는 FRP쌍동선들의 경우 다동형 범선타입으로 건조되어 돛과 엔진을 모두 사용하여 추진하고 있는 실정이다.

범선타입이 아닌 경우는 선질에 따른 구조기준을 적용하고 범선타입의 경우 “범선의 구조 및 설비 등에 관한 기준”에 따라 구조 및 강도의 적합여부를 평가받고 있으며, 해양레포츠를 즐기는 플레저보트의 경우 “플레저보트 검사지침”에 따라 국제표준을 적용하여 구조 및 강도의 적합여부를 확인하고 있다.

또한 플레저보트나 범선타입이 아닌 쌍동선의 경우 연결부에 대한 강도확인을 위해서 선질에 상관없이 “알루미늄선의 구조기준”에 나타나 있는 쌍동선 연결부 관련 규정을 적용하여 적합여부를 확인하고 있는 실정이다.

## 5. 기준의 비교 및 분석

쌍동선 연결부 관련 구조기준 및 외력들에 대해



조사하고 내용을 정리하여 국내기준, 선급기준, 국제표준에 대한 내용을 살펴보았다.

국내기준 및 선급기준의 경우 각 기준이 적용되어지는 범위에 속하는 쌍동선 연결부에 대한 횡굽힘모멘트와 전단력, 비틀림모멘트에 대한 산식이 명확히 나타나 있는 반면, 국제표준에서는 세일링 및 파워 다동선으로 나누어 굽힘모멘트와 전단력의 계산식을 정의하고 있고, 파워 다동선의 경우 선체길이에 대한 위치에 따른 굽힘모멘트 및 전단력을 계산하도록 되어 있으며 세일링 다동선의 경우 마스트빔에 대한 와이어들의 장력까지 고려하고 있어, 직접적인 산식의 비교를 통한 기준간의 차이로 판단하는 것은 어려울 것으로 판단되어진다.

따라서 샘플선을 선정하고 각 기준별 산식에 따른 계산을 수행하여 그 결과에 대한 분석을 수행하여 비교하는 것이 보다 정확한 기준간의 차이를 얻을 수 있을 것이며, 이로 인하여 쌍동선 연결부의 횡강도 구조안전성 평가기준을 개발하는데 구체적인 방향을 제시할 수 있을 것으로 생각되어진다.

## 5.1 구조기준의 분류 및 적용범위

DNV, Lloyd등의 선급기준 및 국제표준과 국내 기준을 비교했을시 가장 크게 나타나는 차이점이 선박구조기준의 분류이며 이에 따라 적용범위도 상당한 차이가 있다.

### 5.1.1 선 급

DNV, Lloyd의 경우 구조기준이 선박의 타입 및 길이에 따라 분류되어 정의되고 있으며 앞에서 언급되지 않았지만 CE인증을 하고 있는 Rina

(이탈리아선급)의 경우에도 선박의 타입 및 길이 등에 의해 적용기준이 상이하다.

KR에는 선질별로 구조기준이 정의되어 있으나 쌍동선과 관련해서는 “고속경구조선규칙”에서 정의하고 있다.

적용범위를 살펴보면 DNV, Lloyd 및 KR 등 선급의 경우 고속경구조선, 경구조선에 대한 정의와 기준이 적용되어지는 선박의 타입에 대해 매우 다양하고 구체적으로 정의하고 있으며 이런 선박에 대한 강, 알루미늄, FRP등 선질에 대해서도 언급하고 있다.

### 5.1.2 국내기준

국내 구조기준은 강선, 알루미늄선, 강화플라스틱선, 목선과 같이 선질별로 나누어져 있으며 알루미늄선의 구조기준에 다동선의 구조에 대한 기준 및 알루미늄 선질을 갖는 선박과 고속경구조선과 경구조선에 대한 정의도 포함되어 있어 기준을 적용하는데 혼란을 줄 수 있다.

플레저보트의 경우에는 단동선과 다동선 등 선형을 세부하게 나누어 정의하고 있지 않으며 길이로 소형플레저보트를 나누어 정의하고 있고 선질별로 나누어져서 따로 정의되어 있지는 않다. 범선 역시 마찬가지다.

### 5.1.3 국제표준

“ISO TC188 12215-1”부터 10까지가 구조와 관련된 표준으로 재료, 단동 및 다동선의 설계 응력 구조계산, 러더 등 상세히 나누어 정의하고 있으며 “ISO TC188 12215-7”에는 다동선과 관련된 구조기준이 정의되어 제정될 예정으로 현재 문서를 검토중에 있다.

다동선에 대한 표준인 “ISO TC188 12215-7(안)”을 살펴보면 다동선을 motor craft와 sailing craft로 나누고 배수량형인지 활주형인지에 따라 정의하고 있다.

Table 1 구조기준의 적용범위

기준	구 조 기 준	
	구 분	범 위
DNV	SHIPS	Volume 1: 100m 이상, 100m 미만 Volume 2 : 업종별타입 (여객선, 화학물운반선 등)
	HSLC and NSC	선박의 타입 및 속력
Lloyd	ship const.(gen.)	일반적인 형태의 단동형 선박에 적용
	ship const.(types)	선박의 업종별 타입
	SSC	선박의 타입 및 길이
KR	강선의 규칙 등	선박의 선질 및 업종별 타입
	고속경구조선규칙	선박의 타입 및 속력
국내 기준	강선의 구조기준 등	선박의 선질
	플레저보트	선박의 타입 및 길이
국제 표준	12215-5, 7	선박의 타입

## 5.2 구조 기준 적용대상

선급이나 국제표준의 관련 기준은 선체 길이, 배수량, 속도 등에 따라서 설계 규정의 적용 대상을

달리 정의하고 있다.

KR의 “고속경구조선의 규칙”은 크게 배수량과 속도로서 적용대상을 구분하고 있으며, “ISO TC188 12215-5, 7(안)”은 선체길이로써, Lloyd의 SSC(SPECIAL SERVICE CRAFT)에는  $L_H$ (선체 길이) 150m이하에서 제한 조건별(속도, 배수량 등) 선종에 따라 Table 1과 같이 구조 기준을 구분하고 있다.

국내기준의 경우 우선 선질에 따라 적용대상이 정의되어 있으며, 앞에서 말한 바와 같이 KR의 “고속경구조선의 규칙”이 “알루미늄선의 구조기준”에 일부 적용되고 있으므로 배수량과 속도로서 적용대상을 정의하고 있다고 하겠다.

“범선의 설비 및 규칙”에서는 세일링이 주목적인 범선에 대해 단동선 및 다동선에 관계없이 적용하도록 되어 있으며, Table 2에서 보는 바와 같이 국내구조기준중 하나인 “강화플라스틱선의 구조기준”에서는  $L_H$  24m 미만의 스포츠 또는 레크레이션 선박에 대해 “ISO TC188 12215-5” 규정을 따르도록 하고 있다.

그러나  $L_H$  24m 미만 중 스포츠나 레크레이션 용을 제외한 특수 선체구조의 선박과  $L_H$  24m 이상의 특수 선체의 FRP선에 대한 별도의 국내 규정이 없는 상태이기 때문에 이에 대한 규정 마련도 필요한 상황이다.

Table 3에는 각 기준에 대해 쌍동선의 선질에 대한 적용대상을 나타내어 보았다.

Table 3에서 보듯이, 선급과 국제표준과는 달리 국내기준에서는 쌍동선의 선질이 알루미늄인 경우에 대해서만 정의가 되어 FRP 및 강에 대한 규정 마련이 필요한 상황이다.

Table 2 각 기관별 쌍동선 설계 규정 적용 대상 비교

기준	구 조 기 준	
	구 분	주 요 항 목
KR	고속경구조선의 규칙	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 배수량 : 만재배수량이 <math>(0.135 \times L \times B)^{1.5}</math> ton 이하인 선박</li> <li>· 속도 : 고속경구조선(25knots보다 크거나 <math>7.16 \times \nabla^{0.1667}</math>knots 또는 <math>3.7 \times \nabla^{0.1667}</math>m/s 이상인 선박)</li> <li>· 선박의 선질 : 강재, 알루미늄 합금, FRP</li> <li>· Environmental Conditions : 항행구역별 피항지로부터 최대거리</li> </ul>
ISO	12215-5, 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 선체길이 : 24m 이내</li> <li>· 속도 : Maximum speed 50knots이하</li> <li>· 선체의 형태 : Monohulls, Multihulls</li> <li>· 선박의 선질 : FRP, 알루미늄합금 or 강재, 적층목재 or 합판</li> <li>· Environmental Conditions : 유의 파고 및 Beaufort Force</li> </ul>
Lloyd	SPECIAL SERVICE CRAFT	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 선체길이 : 150m 이하</li> <li>· 속도 : High speed craft(<math>v=7.19 \times \nabla^{1/6}</math> knots 이상)</li> <li>· 배수량 : Light displacement craft (<math>\Delta=0.04 \times (LR \times B)^{1.5}</math>ton미만)</li> <li>· 선체의 형태 : Mono-hulls, Multi-hulls</li> <li>· 선박의 선질 : 강재, 알루미늄, 복합재료</li> <li>· Environmental Conditions : 피항지로부터 최대거리</li> <li>※ <math>\Delta</math> = 만재흘수선에 대한 배수량(외판 등 부가물 포함)(ton)</li> <li>※ <math>\nabla</math> = 설계수선 하부의 배수용적(<math>m^3</math>)</li> </ul>

Table 3 각 규정의 쌍동선 선체 재료 반영 현황 (2010년 기준)

	KST	KR	ISO	Lloyd
알루미늄	○ 알루미늄선의 구조기준 (2009. 7)	○ 고속경구조선(2010. 3)	○ ISO 12215-5&7(2008. 4)	○ SPECIAL SERVICE CRAFT(2008. 7)
FRP	× (단동선만 정의됨) 강화플라스틱선의 구조 기준(2009. 9)	○ 고속경구조선(2010. 3)	○ ISO 12215-5&7(2008. 4)	○ SPECIAL SERVICE CRAFT(2008. 7)
STEEL	× (단동선만 정의됨) 강선의 구조기준 (2009. 10)	○ 고속경구조선(2010. 3)	○ ISO 12215-5&7(2008. 4)	○ SPECIAL SERVICE CRAFT(2008. 7)



Table 4 각 규정의 쌍동선 설계 하중 비교

	주요 부위의 국부 압력	선체거더의 하중	쌍동선체 연결부 하중
ISO 12215-5 & 7	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Bottom pressure</li> <li>· Side pressure</li> <li>· Deck design pressure</li> <li>· Superstructure design pressure</li> <li>· Wet deck pressure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Longitudinal bending moment</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Twisting moment</li> </ul>
KR 고속 경구조선	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 선저 설계 슬래밍압력</li> <li>· 선저에 작용하는 중요슬래밍 압력</li> <li>· 선수측부 및 선수부충격압력</li> <li>· 해수압력</li> <li>· 쌍동선 연결구조의 슬래밍 압력</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 고속항해시 충격하중에 의한 굽힘모멘트</li> <li>· 호강 및 새강 굽힘모멘트</li> <li>· 종굽힘에 의한 전단력</li> <li>· 전후동요에 의한 축하중</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 쌍동선체 중비틀림 모멘트</li> <li>· 횡방향굽힘모멘트</li> <li>· 중심선상에서의 수직전단력</li> <li>· 쌍동선체 횡비틀림 모멘트</li> </ul>
Lloyd SPECIAL SERVICE CRAFT	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Combined hydrostatic and hydrodynamic</li> <li>· Pressure on weather and interior decks</li> <li>· Bottom impact pressure</li> <li>· Forebody and bow slamming pressure</li> <li>· Cross deck impact pressure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Vertical wave bending moments including</li> <li>· Dynamic bending moment including wave</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Twin hull transverse bending moment</li> <li>· Twin hull torsional connecting moment</li> <li>· Vertical shear force at the cross-deck</li> </ul>

### 5.3 각 규정 별 설계 지침 비교

본 절에서는 쌍동선형 요트 설계에 대한 국내 기준과 국제표준, Lloyd의 기준에 의한 설계 하중 및 설계된 구조 부재의 강도 요구사항을 비교하였다.

Table 4는 각 국제표준, KR 및 Lloyd 구조기준에서 정한 쌍동선 설계 하중의 종류를 정리한 것이다.

국제표준은 종굽힘 모멘트와 비틀림 모멘트만을 고려하고 있으나, KR 및 Lloyd의 규정은 전단력 및 횡방향 굽힘 모멘트, 횡방향 비틀림 모멘트

및 슬래밍에 의한 충격 압력을 별도로 산정할 수 있도록 규정하고 있는 차이점이 있다.

각 기준의 비교를 위해 현재 건조되어 국내에서 운항 중인 쌍동선 한척을 예제로 정한 후에 주요 요목을 정리하였다.

예제 선박은 단판의 FRP로 제작된 쌍동선 선박으로, 주요 요목의 정의는 국제표준인 “ISO 12215-7(안)”에서 정의한 것을 기준으로 삼았으며, Fig. 6에 각 주요 요목의 정의를 그림으로 표시하였다.

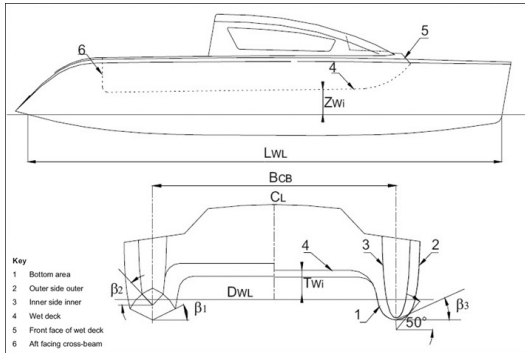


Fig. 6 Dimensions of a catamaran

Table 5 Principal dimension of example

Dimension	value
$L_H$ (m)	16.02
$B_{WL}$ (m)	5.8
$L_{WL}$ (m)	13.3
$B_{CB}$ (m)	6.8
$Z_{wi}$ (m)	0.8
Depth(m)	2.95
Draft(m)	0.8
$m_{LDC}$ Displacement(kg)	13,700

### 5.3.1 동하중 계수(가속도 계수)비교

각 규정에서 정의하고 있는 동하중 계수(가속도 계수)는 쌍동선 부재에 작용하는 압력 산출 시 사용된다.

#### 가. ISO 규정

ISO 규정은 크게 단동선과 다동선으로 동압력 계수를 구분하고 있다.

- ① 다동선의 동압력 계수(Dynamic load factor)는  $L_{WL}$ (흘수선상에서 배의 길이)와  $B_{WL}$ (흘수선면상에서의 선체들의 폭의 합),  $V$ (최대 속도)에서  $m_{LDC}$ (배수량)을 나누어서  $n_{CGMH}$ (Dynamic load factor)를 구한 후 각

부재에 작용하는 압력 산출시 사용된다.

$$n_{CGMH} = \frac{1.25 \times L_{WL} \times B_{WL} \times V^2}{m_{LDC}} \quad (1)$$

#### 나. KR 규정

KR 규정은 설계 가속도 계수를 이용하여 각 부재에 작용하는 슬래밍 압력 산출시 사용된다.

##### ① 설계수직가속도( $a_{cg}$ )

가속도 계수 및 항행 범위에 따라 정하고 있으며  $f_g$ (선종과 항행범위 제한부호에 따라 구분된 가속도 계수)와  $g_0$ (중력 가속도)를 이용하여 가속도 값을 구한다.

$$a_{cg} = \frac{V}{\sqrt{L}} \frac{3.2}{L^{0.76}} f_g g_0 \quad (2)$$

##### ② 허용 속도(V)

(2)식을 통해 구한 설계 수직 가속도 계수를 이용하여 (3)식의  $H_s$ (유의파고)와  $\beta_{cg}$ (선박 무게중심에서 선저경사각도),  $B_{WL}$ ,  $k_h$ (선체형상에 따른 형상계수)들의 상관관계를 이용하여  $V$ (허용 속도)를 구한다.

$$a_{cg} = \frac{k_h g_0}{1,650} \left( \frac{H_s}{B_{WL}} + 0.084 \right) (50 - \beta_{cg}) \left( \frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 \frac{L B_{WL}^2}{\Delta} \quad (3)$$

##### ③ 종방향의 설계 가속도( $a_l$ )

속도 및 길이, 가속도, 그리고 파랑 계수  $C_w$ ( $L$ 이 100m 이하일 때 0.08L)를 이용하여 종방향 가속도 계수를 구한다.

$$a_l = 2.5 \frac{C_w}{L} \left( 0.85 + 0.25 \frac{V}{\sqrt{L}} \right)^2 g_0 \quad (4)$$

##### ④ 횡방향의 설계 가속도 ( $a_r$ )

횡요주기  $T_R$ (4.0 이상일 때는 4.0)와 최대횡요의 기울기( $\theta$ ),  $h_w$ (최대속력의 0.7배를 유지할 수 있을

때의 최대파고로서  $0.6C_w$  이상이어야 함),  $r_r$  (횡요중심으로부터 고려하는 위치까지의 높이. 다만 추정이 어려울 경우 쌍동선=홀수선, 단동선= $0.5D$ )를 이용하여 횡방향 설계 가속도 계수를 구한다.

$$a_t = \left(2 \frac{\pi}{T_R}\right)^2 \theta_r r_r \quad (5)$$

$$T_R = \frac{\sqrt{L}}{1.05 + 0.175 \frac{V}{\sqrt{L}}} \quad (6)$$

$$\theta_r = \frac{\pi h_w}{2L} \quad (7)$$

다. Lloyd 선급 규정

Lloyd 선급은 상대 수직 운동 속도와 배의 주행 상태에 따른 수직 가속도 계수를 이용하여 슬래밍 압력을 계산하고 있다.

① 상대 수직 운동 계수( $H_{rm}$ )

상대 운동에 의한 파정 압력계수로서 선체 외판에 작용하는 파정 압력을 구하는데 사용하고 있다. 이때  $k_r$ (선체 형상에 따른 파도 압력 계수),  $x_{M}$  ( $0.45-0.6F_n$ ),  $C_w$ (선두파),  $x_{WL}$ (선미에서부터  $L_{WL}$  선상에서의 특정  $x$ 까지의 길이),  $L_{WL}$ (홀수선의 길이),  $C_b$ (방형 비척 계수),  $F_n$ (Froude Number) 등을 이용하고 있다.

$$H_{rm} = C_{w,\min} \left(1 + \frac{k_r}{(C_b+0.2)} \left(\frac{x_{WL}}{L_{WL}} - x_m\right)^2\right) \quad (8)$$

$$C_{w,\min} = \frac{C_w}{k_m} \quad (9)$$

$$k_m = 1 + \frac{k_r(0.5 - x_m)^2}{(C_b+0.2)} \quad (10)$$

$$C_w = 0.0771L_{WL}(C_b+0.2)^{0.3} e^{(-0.0044L_{WL})} \quad (11)$$

② 활주형 선체에서의 수직 가속도 계수

선체의 수직운동에 의한 동하중 계수로서 선체 외판에 작용하는 충격하중이나 압력하중을 구하는데 사용된다. 이때  $a_v(LCG$ (중방향 무게중심)에서의 중력가속도( $9.81m/sec^2$ )에 대한 수직 가속도),  $fa$ (선체 형상 가속 계수),  $BM$ (선체들의 총 폭),  $H_{1/3}$ (허용 유의 파고),  $\theta_b(LCG$ 에서의 선저 기울기 각도),  $\Gamma$ (Taylor Quotient),  $\Delta$ (배수량) 등이 사용된다.

$$a_v = \frac{faL_{WL}}{\Delta} (B_M H_{1/3} + 0.084B_M^2)(5 - 0.1\theta_b) \Gamma^2 \times 10^{-3} \quad (12)$$

③ 배수량형인 선체에서의 수직 가속도 계수( $a_v$ ) 수직 가속도( $a_v$ )는  $\Gamma$ 와  $L_{WL}$ 의 함수를 이용하여 계산하고 있다.

$$a_v = 0.2\Gamma + \frac{34}{L_{WL}} \quad (13)$$

④ 선미로부터 특정 위치  $x_a$ 에서의 수직 가속도 계수( $a_x$ )

갑판위에 화물이 있을 때 그 지점에서의 갑판에 작용하는 압력을 계산할 때 사용된다. 이때  $x_a$ (만재 홀수선에서의 선미로부터 수직 가속도를 계산한 지점까지의 거리)를 이용하여 값을 구한다.

$$a_x = a_v \left(0.86 - 0.32 \frac{x_a}{L_{WL}} + 1.76 \left(\frac{x_a}{L_{WL}}\right)^2 + \xi_a\right) \quad (14)$$

$$\xi_a = 0.14 + 0.32 \frac{x_{LCG}}{L_{WL}} - 1.76 \left(\frac{x_{LCG}}{L_{WL}}\right)^2 \quad (15)$$

여기서,  $\xi_a$ 는 특정 위치에서의 수직 가속도 보정 계수로 추정된다.

### 5.3.2 쌍동선 연결 부위의 국부 압력 비교

Table 4에 쌍동선의 설계 하중들에 대해 정리

하였으나 본 절에서는 특히 각 규정들의 쌍동선 연결부의 국부 압력에 대해서만 비교하고자 한다.

가. 국제표준

연결 부분에 작용하는 압력은 흘수선으로부터 deck까지의 옆면에서의 압력으로서 식동하중 계수에 종길이 방향 압력 계수와 수직 방향 계수의 곱으로서 (16)과 (17)중 더 큰 값으로 한다.

① Wet deck / cross beam 압력

$K_{DC}$ (쌍동선체의 해상 상태 계수),  $k_{AR}$ (판넬 또는 보강재 크기에 따른 압력 감소 계수),  $k_{LWD}$ (Wet deck에서의 종길이 방향 압력 감소 계수),  $k_{ZWD}$ (wet deck에서 수직 방향 압력 교정 계수)를 통해 구한다.

$$P_{WDMH} = P_{WDMHBASE} \times k_{DC} \times k_{AR} \times k_{LWD} k_{ZWD} \quad (16)$$

$$P_{WDMHMIN} = 11 \times k_{LWD} \times k_{DC} \times \sqrt{L_{WL}} \quad (17)$$

$$P_{WDMHBASE} = 3 \times n_{CGMH} \cdot m_{LDC}^{0.33} \quad (18)$$

나. KR 기준

선박길이 방향 계수와 수직 길이 계수, 수직 가속도 계수를 이용하여 압력을 구하도록 되어 있다.

① 쌍동선의 연결구조(flat cross structure)에 작용하는 슬래밍 압력( $P_{si}$ )

$P_{si}$ 는 A(고려하는 부재의 설계하중 작용면적),  $H_C$ (흘수선으로부터 하중 작용점까지의 수직거리),  $k_t$ (슬래밍 압력의 선박 길이 방향 분포 계수),  $H_L$ (흘수선으로부터 슬래밍을 피하기 위한 하중 작용점까지의 필요한 수직 거리),  $k_c$ (선체형상에 따른 계수)를 이용하여 구한다.

$$P_{si} = 2.6k_t \left( \frac{\Delta}{A} \right)^{0.5} a_{cg} \left( 1 - \frac{H_C}{H_L} \right) \quad (19)$$

$$H_L = 0.22L(k_c - 0.0008L) \quad (20)$$

다. Lloyd 기준

연결부에서의 흘수선까지의 수직 길이와 종길이 방향 분포 계수에 허용 유의 파고 높이에 흘수선 길이를 나눈 값으로부터 구해진 상대 수직 속도 ( $V_R$ )에 연결부 밑면의 충격 보호 계수 등을 조합하여 충격압력을 구하도록 되어 있다.

① 쌍동선의 연결구조 밑면에 작용하는 충격 하중( $P_{pc}$ )

$P_{pc}$ 는  $K_{pc}$ (종길이 방향 분포 계수),  $G_A$ (air gap),  $H_{O3}$ (생존 파도 높이),  $\nabla_{pc}$ (cross-deck 충격 계수),  $V_R$ (상대 수직 속도)를 이용하여 구한다.

$$P_{pc} = \nabla_{pc} K_{pc} V_R V \left( 1 - \frac{G_A}{H_{O3}} \right) \quad (21)$$

$$V_R = \frac{8H_{1/3}}{\sqrt{L_{WL}}} + 2 \quad (22)$$

5.3.3 각 기준의 연결부에 작용하는 하중 비교

본 절에서는 특히 각 규정들의 쌍동선 연결부의 하중에 대해 비교하고자 한다.

가. 국제표준

기본적으로 종길이 방향의 비틀림 모멘트에 대해 정확히 정의되어 있다. 또한 참고문헌 (3)의 Annex B에 외팔보의 처짐량 공식을 통해서 연결부의 특정 위치에서의 대략적인 전단력과 굽힘 모멘트를 계산할 수 있는 식이 소개되어 있다. 본 절에서는 정확히 정의된 Twisting moment만 기술하였다.

① Twisting moment

$L_{WL}$ (흘수선상에서 배 길이)에  $m_{LDC}$ (배수량)과  $n_{CGMH}$ (Dynamic load factor) 곱하여 배 종길이 방향의 비틀림 모멘트를 구한다.

$$T = 1.25 \times L_{WL} \times m_{LDC} \times n_{CGMH} \quad (23)$$

나. KR 기준

KR 규정에 의해 연결부에 작용하는 하중으로는 횡방향 굽힘 모멘트 및 수직전단력, 종비틀림 모멘트, 횡비틀림 모멘트 등으로 비교한 규정들 중에서 가장 세분화 되어 있다.

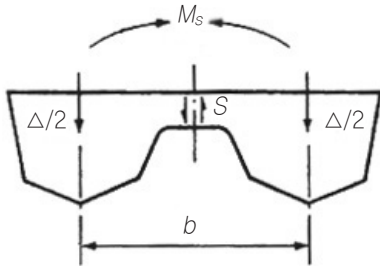


Fig. 7 횡방향 수직 굽힘 모멘트 및 전단력

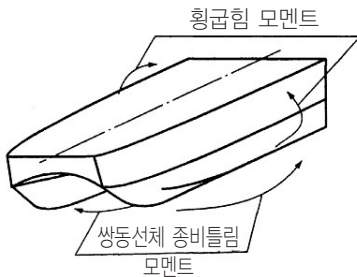


Fig. 8 쌍동선체 종비틀림 모멘트

① 쌍동선체 연결구조의 횡방향 굽힘 모멘트 ( $M_s$ ) 및 수직전단력( $S$ )

$V/\sqrt{L} \geq 3.0$ ,  $L \leq 50m$ 인 경우에 설계 수직 가속도에 배수량을 곱해서 양 선체의 무게 중심사이의 거리를 나누어 주었다.

$M_s$ 와  $S$ 는  $\Delta$ (배수량),  $a_{cg}$ (설계 수직 가속도),  $b$ (쌍동선체 중심선간의 길이,  $s$ (항행범위에 따른 계수),  $q$ (항행구역에 따른 계수)를 이용하여 구한다.

$$M_s = \frac{\Delta a_{cg} b}{s} \tag{24}$$

$$S = \frac{\Delta a_{cg}}{q} \tag{25}$$

② 쌍동선체 종비틀림 모멘트( $M_p$ )

선체길이에 배수량과 수직 가속도에 8로 나누어 선체 종 길이 방향의 모멘트를 구하였다.

$$M_p = \frac{\Delta a_{cg} L}{8} \tag{25}$$

③ 쌍동선체 횡비틀림 모멘트( $M_t$ )

배수량, 설계수직 가속도, 양선체의 무게중심 사이의 거리를 4로 나누어 횡방향의 비틀림 모멘트를 구한다.

$$M_t = \frac{\Delta a_{cg} b}{4} \tag{26}$$

다. Lloyd 기준(반잠수형)

Lloyd 같은 경우 먼저 단동, 다동의 기준으로 나누어져 있고 완전잠수형과 반잠수형 선박에 따라 세분화 되어 있다.

① 연결부에 작용하는 횡굽힘 모멘트( $M_B$ )

각 선체 사이의 거리에 수직가속도와 배수량을 곱해서 연결부에 작용하는 횡굽힘 모멘트를 구하도록 되어 있다.

$G_f$ (운항 제한 거리 계수),  $b$ (각 선체 사이의 거리),  $a_v$ (수직 가속도),  $\Delta$ (배수량)을 이용하여 구한다.

$$M_B = G_f b \Delta a_v \tag{27}$$

② 연결부에 작용하는 종 비틀림 모멘트( $M_T$ )

선체길이에 수직가속도와 운항 제한거리 계수를 곱해서 연결부에 작용하는 종방향 비틀림 모멘트를 구하도록 되어 있다.



$L_R$ (롤 길이),  $G_f$ (운항 제한 거리 계수),  $a_v$ (수직 가속도)를 이용하여 구한다.

$$M_T = G_f \Delta L_R a_v \quad (28)$$

③ The vertical shear force( $Q_T$ )

$G_f$ (운항 제한 거리 계수),  $\Delta$ (배수량),  $a_v$ (수직 가속도 계수)를 곱하여 구한다.

$$Q_T = G_f \Delta a_v \quad (29)$$

## 5.4 하중 및 부재 계산 예

### 5.4.1 쌍동선 연결부의 압력 계산 결과

선미를 기점으로 종길이 방향으로 7m, 홀수선으로부터 하중점까지의 수직거리 0.8m에서의 보강재 간격 0.95m, 보강재 스패의 길이 0.95m인 판재의 슬래밍 압력을 계산하였다. 결과에 따르면 KR의 계산 결과가 가장 낮게 나타났으며 ISO와 Lloyd는 비슷한 결과가 나왔다. KR의 연결부에 작용하는 압력 계산 시  $H_C$ (홀수선으로부터 하중점까지의 수직거리) 값에 따라 연결부 밑면의 슬래밍 압력 값이 매우 민감하게 변화함을 알 수 있었다.

그러나 Table 6과 같이 굽힘모멘트 및 비틀림 모멘트의 값은 큰 차이를 보이고 있지는 않다. 또한 Table 7과 같이 연결부 최소 두께도 큰 차이를 보이고 있지는 않다.

Table 6 쌍동선 연결부 압력 계산 결과( $kN/m^2$ )

I	슬래밍 압력
ISO	21.25
KR	5.35
Lloyd	23.52

### 5.4.2 쌍동선 연결부 하중 계산 결과

Table7 쌍동선 연결부 하중 계산 결과( $kN \cdot m$ )

	횡방향굽힘 모멘트	종비틀림 모멘트	횡비틀림 모멘트
ISO	없음	314.20	없음
KR	133.21	313.82	266.42
Lloyd	138.55	285.24	없음

### 5.4.3 쌍동선 연결부 위치에서의 판넬두께

각 규정들은 모두 최소 관성 모멘트, 최소 단면적 계수, 최소 판넬 두께 등을 정의하고 있다. 이에 따라 단면 계수 값이 최소 요구치를 만족하도록 두께와 부재의 위치를 적절히 배치한다. 이때 FPR 단판의 인장 및 굽힘 강도는  $100N/mm^2$ 으로 하였다.

Table 8 쌍동선 연결부에서의 최소두께(mm)

	단판의 최소 두께
ISO	7.61
KR	7.8
Lloyd	8.29

## 6. 쌍동선 연결부의 구조해석

현재 진행 중인 연구는 쌍동선 연결부의 강도 평가 기준을 제시하기 위한 선행 연구로써, 유한 요소 해석을 통해 앞장에서 서술한 기준별 하중을 비교하고 평가하는 것을 목표로 하고 있으며, 본 연구에서 대상으로 하는 예제 선박에 ISO 규정에서 정한 설계 하중을 적용하는 작업을 수행 중에 있다.

예제 선박의 구조 모델을 Fig. 9에 나타냈다.

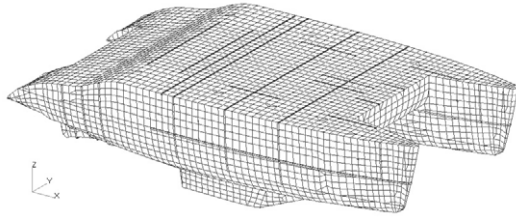


Fig. 9 예제 쌍동선의 유한요소 모델

### 6.1 유한요소 모델

대상 선박의 도면에서 구조 형상과 판넬의 두께 및 배치 정보를 얻었으며, 구조 모델 작성을 위한 상용 유한요소 해석 프로그램은 MSC.Patran/Nastran을 사용하였다.

판넬로 구성된 선체 부재는 4-Node Shell 요소를 사용하였으며, 보강재는 Beam 요소를 사용하여 해석하였다. 판넬 구조가 모두 샌드위치 재료로 구성되어 있으나, 복합재료 구조로 해석을 수행하는 대신, 등가 재료 물성 정보로 치환하여 사용하였으며, 이를 Table 9에 나타내었다.

Table 9 Material properties of sandwich

Material Properties	Sandwich
탄성 계수(Mpa)	10,524
Poisson 비	0.25
밀도(kg/mm <sup>3</sup> )	$0.93 \times 10^{-6}$
인장 항복응력(Mpa)	115
압축 항복응력(Mpa)	124

하중은 ISO 기준의 선측 및 선저에 작용하는 슬래밍 압력만을 우선적으로 적용해 보았다. 선체 전체가 아닌 길이방향의 중심부에 한 격벽 간격만큼 압력을 적용하였으며 이를 Fig. 10에 나타내었다.

슬래밍 압력은 각 판넬의 위치를 고려한 값으로 전체 판넬에 40kN/m<sup>2</sup>의 값을 적용하였다.

해석을 위한 변위조건은 선수 및 선미부 각각 선저면의 6절점을 완전 구속하였으며 이를 Fig. 11에 나타내었다.

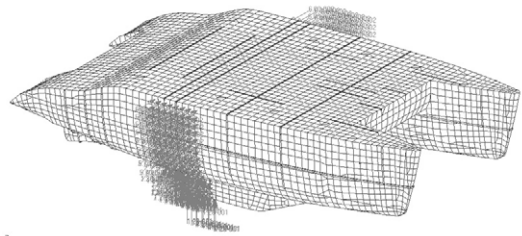


Fig. 10 적용된 슬래밍 압력

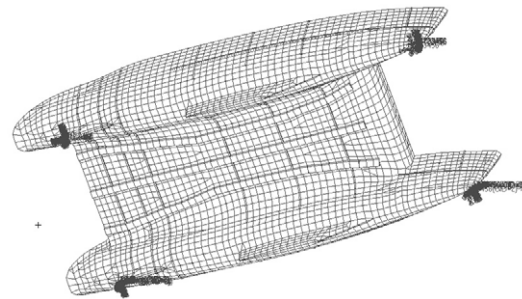


Fig. 11 변위 경계 조건

### 6.2 해석 결과

Fig. 12와 13의 결과는 슬래밍 설계 하중을 적용한 후 선측 및 선저부의 응력 결과를 나타내고 있다. 슬래밍 압력이 선체의 길이 방향의 중심부에만 적용되어 응력이 압력 적용부에 집중되어 있으며 선측 및 쌍동체의 연결부인 크로스데크 부위에 주로 응력이 집중되어 있다. 선측에 최대 58Mpa 가량의 응력이 나타나고 있으며 크로스데크에는 약 20~40MPa 가량의 응력이 분포하고 있다.

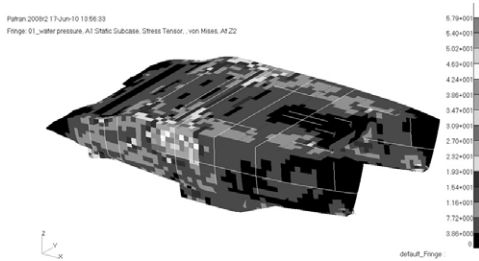


Fig. 12 Von-Mises 응력(선측)

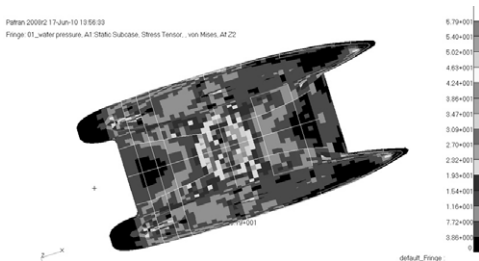


Fig. 13 Von-Mises 응력(크로스데크)

## 7. 향후 연구 계획

본 연구는 2010년 12월까지 진행될 예정이므로 앞에서는 현재까지 진행된 내용에 대해 정리하여 기술하였다. 현재는 기준제시를 위한 방향을 설정하여 각 항목별로 각 선급의 기준과 국내기준, 국제표준에 대한 비교 및 분석이 진행되고 있으며 구조해석부분은 국제표준 및 KR에서 정한 절차에 따라 하중을 산정하고, 유체 동압력에 의한 응력을 평가하고 있다. 이후에는 국제표준 “ISO TC188 12215-7 (안)”의 슬래밍 압력 이외의 설계 하중에 따른 응력 및 변형율, 구조 안전성을 평가할 계획이며, KR 및 Lloyd 기준에 따른 설계 하중 값을 산정하여

각 기준별로 구조 안전성을 평가할 예정이다.

이 결과를 바탕으로 쌍동선체 연결부의 유한요소 해석을 통한 강도평가를 위한 기준을 제시하고 구조강도 평가 방법을 도출하여 최종목표인 쌍동선 연결부에 대한 횡강도 구조안전성 평가기준을 제시할 예정이다.

## 참고문헌

- (1) 선박기술안전공단, “강화플라스틱(FRP)선의 구조기준”, 2009. 9.
- (2) International Organization for Standardization, “Small craft-part5”, 2008.
- (3) International Organization for Standardization, “Small craft-part7”, 2009.
- (4) Korean Register, “고속경구조선 규칙”, 2010.
- (5) Korean Register, “FRP선 규칙”, 2010.
- (6) Lloyd’s Register, “Rules and regulations for the classification of special service craft”, 2008.
- (7) 고재용 외, “38피트급 보급형 고속 카타마란 요트의 구조해석”, 2008년도 해양환경안전학회 추계학술발표대회 논문집, 2008.
- (8) 박주신 외, “유한요소해석을 이용한 강선요트의 국부강도 평가”, 해양환경안전학회, 제11권, 제2호, pp. 77-82, 2005. 12.
- (9) 조상래 외, “고속쌍동선의 합리적 구조설계에 관한 연구”, 한국과학재단 연구보고서, 1994. 8.

이 논문은 2010년 선박안전기술공단 자체연구 중 일부 내용임을 밝힙니다.