

## 폴리에틸렌 보트의 구조강도 평가에 관한 연구

조석수<sup>1\*</sup>, 곽원민<sup>2</sup>, 함범식<sup>3</sup>, 조영철<sup>3</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 자동차공학과, <sup>2</sup>강원대학교 대학원 자동차공학과,

<sup>3</sup>(주) 누리텍 해양레저산업기술연구소

## A Study on Structural Strength Assessment of Polyethylene Boat

Seok-Swoo Cho<sup>1\*</sup>, Won-Min Kwak<sup>2</sup>, Bum-Sik Ham<sup>3</sup> and Young-Chul Jo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Deptment of Vehicle Engineering, Kangwon National University

<sup>2</sup>Deptment of Vehicle Engineering, Graduate School, Kangwon National University

<sup>3</sup>Ocean Leisure Industry Laboratory, Nuritec Co.,Ltd.

**요 약** 플레저 보트나 요트는 FRP나 알루미늄으로 제작되고 있으나 FRP는 해양환경오염으로, 알루미늄은 낮은 가격 경쟁력으로 인하여 해당 제품의 시장 지배력이 약화되고 있다. 따라서 본 연구에서는 선체를 폴리에틸렌으로 제작하여 일본소형선박검사사무규정세척에서 제안하고 있는 소형선체에 대한 구조 안전성 평가 방법을 통하여 폴리에틸렌 선체의 구조 안전성을 확인한 결과, 폴리에틸렌 보트가 FRP 보트보다 매우 높은 구조 안전성을 보였다.

**Abstract** Boat or yacht hull has been built mainly by FRP composite materials. FRP boat hull manufacturing begins to be restricted after the year 2000 under international regulation on ocean environment safety. The alternative of FRP has been proposed by many boat builders and high strength aluminium is considered as its standard material. But high strength aluminium is very expensive as boat hull material. In this study, boat hull is considered to be built by high density polyethylene and its structural strength is estimated by longitudinal strength test method on small craft. Tensile strength of polyethylene boat hull material is higher than that of FRP boat hull material. But safety factor of polyethylene boat hull is more than that of FRP boat hull. These study results indicate structural integrity and quality control of polyethylene boat is better than those of FRP boat.

**Key Words** : FRP(Fiber Reinforced Plastics), HDPE(High Density Polyethylene), Boat Hull, Structural Strength, Longitudinal Strength Bending Test, Safety Factor

### 기호설명

$a$  : 선미 지점에서 중앙 선미축 다이얼 게이지까지의 거리  
 $d_1$  : 용골 변위  
 $d_2$  : 폭 변위  
 $d_3$  : 깊이 변위  
 $l$  : 지점 거리  
 $L$  : 보트 전장

### 1. 서론

플레저 보트나 요트 제작업체는 2012년 현재까지 선체 재료로 부피에 비해 강도가 큰 FRP를 이용하고 있으나 2000년대에 들어오면서 FRP 선체에 대한 환경오염 및 해양안전에 관한 법적 규제가 강화되고 있다. 즉, FRP는 재활용이 불가능하며 폐기시 자연에서 분해되는 데 100년 이상 걸리는 매우 반환경적 특성을 가지고 있다. 또한, FRP 선체는 불완전하게 적층되면 수분이 코어에 쉽게 흡수되어져 일본의 경우 FRP 선체 사용 수명을 15

\*Corresponding Author : Seok-Swoo Cho(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-570-6394 email: [sscho394@kangwon.ac.kr](mailto:sscho394@kangwon.ac.kr)

Received July 9, 2012 Revised (1st September 5, 2012, 2nd December 17, 2012, 3rd December 24, 2012, 4th March 6, 2013)

Accepted March 7, 2013

년 이하로 제한하고 있다. 따라서 세계 각국에서는 FRP 선체의 대체 재료로서 다양한 재료를 제안하고 있다. 그 중 가장 대표적 재료가 알루미늄으로 국내의 경우 규격 화까지 진행되었다. 그러나 알루미늄은 플레저 선박으로는 선체 가격이 너무 비싸 대중화하기에는 아직 이르지 않다 [1].

일반 선체 재료로서는 한국 선급의 경우 강, 알루미늄, FRP를 제안하고 있으며 이에 따른 구조설계규격 및 재료 설계강도를 제안하고 있다. 따라서 국내의 학회에서도 기존 재료에 대한 파랑 하중이나 내구설계방법등에 대한 구조설계 방법론이 많이 연구되었다[2-4]. 그러나 소형 선박에 적합한 얇가 재료에 대한 연구는 전혀 진행되지 않고 있으며 단지 소형조선산업에서 카누나 카약 선체를 폴리에틸렌을 이용하여 제작하여 판매하고 있다[5,6].

한편, 선체재료로 강, 목재, 알루미늄, FRP등을 이용하는 경우 선체 각부분 치수를 한국선급규격에 의하여 결정할 수 있다. 그러나 선체를 폴리에틸렌으로 제작하게 되면 한국선급규격에 의하여 선체 구조 안전성을 확신할 수 없다.

일본소형선박검사사무규정세칙[7]에서는 플레저 보트의 선체 강도를 외판두께측정에 의한 선체구조강도시험, 등분포하중에 의한 종강도굽힘시험, 로드셀에 의한 종강도굽힘시험, 낙하시험등과 같은 다양한 방법으로 평가하고 있다. 국내의 경우 섬유강화플라스틱 선체의 구조기준 [8]에서 선체 외판 두께 측정에 의한 선체구조강도시험과 낙하시험에 의한 구조강도시험을 제안하고 있다. 그러나 플레저 보트 건조에 다양한 신소재와 새로운 건조공법의 출현등에 따라 판두께 측정 및 낙하시험방법만으로는 선체의 구조강도를 확인하는 것은 공학적 이론 및 현실적 측면에서 매우 어렵다. 이러한 어려움을 극복하기 위하여 신소재로 건조되는 선박을 대상으로 선체구조강도에 대한 편리한 시험방법이 도입되어야 한다.

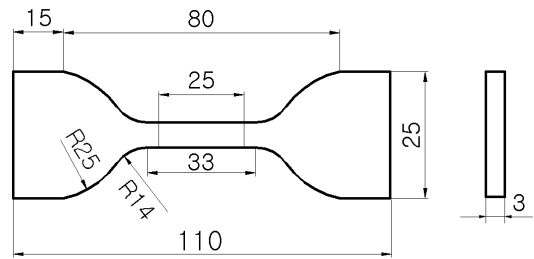
본 연구에서는 일본소형선박검사사무규정세칙에서 제안하고 있는 소형선체에 대한 종강도굽힘시험을 이용하여 15년 이상 근해에서 사용되고 있는 폴리에틸렌 보트 선체의 안전성 평가에 이용될 수 있음을 보이고자 한다.

## 2. 선체 구조강도시험

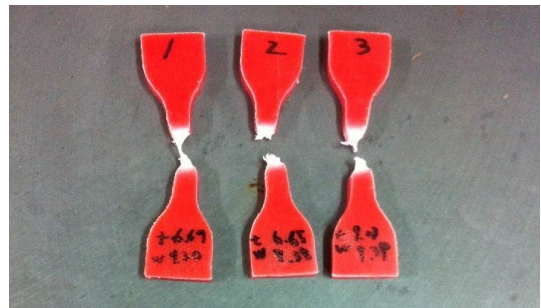
### 2.1 인장시험

Fig 1은 대형 용기 및 연료탱크로 사용되는 고밀도폴리에틸렌 (Daclimpoly 4670UV)을 인장시험하기 위한 인장시험편을 나타낸 것으로 KS M 3022[9]에 규정된 형상

과 치수를 이용하여 제작하였다. Fig 2는 인장시험 후 파단된 인장시험편의 사진이다. Table 1은 고밀도 폴리에틸렌의 인장시험결과와 FRP 선체용 재료에 대한 인장시험결과를 동시에 나타내었다. FRP 선체용 재료의 인장강도는 폴리에틸렌 선체용 재료의 인장강도에 비하여 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있다.



[Fig. 1] Dimension of tension specimen



[Fig. 2] Fracture photograph of tension specimen

### 2.2 시험선 제원

본 연구에서는 고밀도폴리에틸렌을 이용하여 보트를 설계 및 제작하기 위하여 실적선을 기초로 선체의 선형을 완성한 뒤 ISO 12215-5[10]의 소형 선체에 대한 구조설계기준을 적용하여 선체 치수를 결정하였다. 그리고 회전성형방법을 이용하여 폴리에틸렌 보트를 제작하였으며 이미 15년간 실제 근해에서 사용되고 있다. 또한, 완성된 폴리에틸렌 보트 시험선은 Fig. 3과 같으며 주요 제원과 하중 조건은 Table 2와 같다. Table 3은 기존의 FRP 선체와 폴리에틸렌 선체에 대한 구조 강도를 비교 평가하기 위하여 FRP 선체에 대한 주요제원과 하중조건을 나타낸 것으로 권등[11]이 수행한 FRP 선체에 대한 종강도굽힘 시험결과를 이용하였다.

[Table 1] Mechanical properties of high density polyethylene and multi-axial fiber glass

Material		Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Yielding strength (MPa)	Elongation (%)	
HDPE (Daelimpoly 4570UV)		21	2.2	11.9	83.5	
Multi-axial fiber glass	Bi-axial	LT600	173	10.9	-	-
	Double-bias	DB400-E06	99.4	7.88	-	-
		DB600-E06	107	8.43	-	-

[Table 2] Main dimensions and load conditions of polyethylene boat

Light load	Length (m)	Width (m)	Depth (m)	Speed (knot)	Load (kg)					
					Hull	Engine	Battery	Etc.		
	5.4	2.03	0.21	25	420	100	19	531		
Full load	Light load (kg)			Maximum load of people on board (kg)	Fuel load (kg)					
	1070				600				100	

[Table 3] Main dimensions and load conditions of FRP boat

		FRP <sub>1</sub>	FRP <sub>2</sub>	FRP <sub>3</sub>	FRP <sub>4</sub>	FRP <sub>5</sub>
Length (m)		5.53	5.53	7.26	4.46	4.20
Width (m)		2.15	2.15	2.61	2.00	1.20
Depth (m)		1.30	1.30	1.48	0.80	0.60
Speed (knot)		30	30	46	30	25
Light load	Hull (kg)	906	760	1400	730	230
	Engine (kg)	110, 190	110, 190	200	100, 190	50
	Battery (kg)	20	20	50	20	20
Full load	Light load (kg)	1036, 1116	890, 970	1650	850, 940	300
	Maximum load of people on board (kg)	420, 700	420, 700	350, 700	420, 700	140, 350
	Fuel load (kg)	80	80	300	20	20

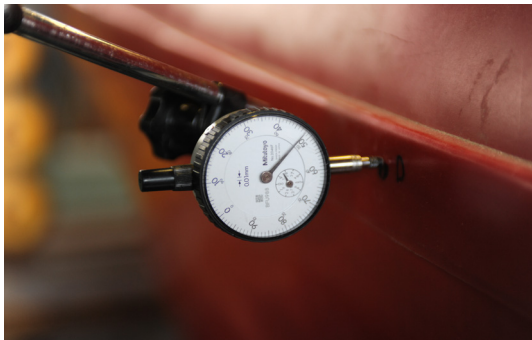
### 2.3 시험장치



[Fig. 3] Photograph of polyethylene boat



(a) Distribution load



(b) Dial gage

[Fig. 4] Structural strength test of polyethylene boat

폴리에틸렌 보트의 구조강도시험은 일본소형선박검사사무규정세칙의 FRP선 강도시험방법을 기초로 수행한다. 구조강도시험은 크게 등분포하중시험과 로드셀에 의한 하중시험 및 판두께계측시험방법으로 나눌 수 있다. 시험선 재료가 폴리에틸렌이기 때문에 판두께 계측시험 방법으로는 폴리에틸렌 선체에 대한 구조강도를 평가할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 폴리에틸렌 보트에 대한

구조강도평가방법으로 등분포하중시험만 사용하기로 한다.

Fig. 3은 구조강도시험에 사용한 폴리에틸렌 보트를 나타낸 것으로 전장이 5.4m이고 해양작업선 및 인명 구조선으로 사용하고 있다.

Fig. 4는 등분포하중에 의한 폴리에틸렌 보트 선체의 구조강도시험장치를 나타낸 것이다. Fig. 4 (a)에 등분포하중에 의한 종강도굽힘시험에 사용하는 단위 하중과 시험장치를 나타내었다.

단위하중은 25kg의 폴리에틸렌 펠렛 포대이며 크레인을 이용하여 갑판에 균등하게 분포된다. 또한 종강도굽힘 시험동안 발생하는 변위는 7개 장소에서 다이얼 게이지(Dial gauge)를 이용하여 계측하였으며 Fig. 4 (b)에 변위 계측 사진을 나타내었다.

### 2.4 측정위치 및 방법

등분포하중에 의한 종강도굽힘시험은 경하상태의 선박에 지지대를 받쳐 각 시험조건에 알맞게 산정된 하중을 등분포로 하여 최대변위차이를 측정하는 시험방법으로 우선적으로 지지대를 받치는 지점 거리를 계산하여야 한다. 선체 두 지점 거리는 선박의 길이의 60%이상 되도록 하여야 하며 지점 거리  $\ell$ 은 다음 식 (1)로 구한다.

$$\ell = 0.6 \times L \quad (1)$$

단,  $L$ :보트 전장 (m)

따라서 시험 폴리에틸렌 보트의 선체구조강도시험 지점 거리는 선체 전장이 5,400mm이므로 본 연구에서는 선체 전장의 61%를 취하였으며 그 값은 3,300mm이다.

등분포하중 시험에 필요한 시험하중  $W$ 는 다음 식 (2)로 구한다.

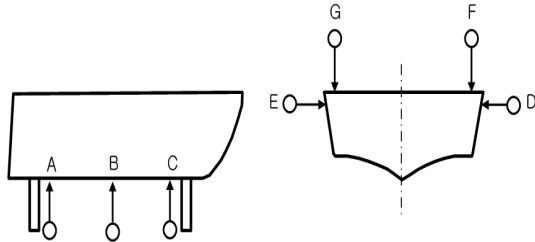
$$W = 1.25(1.00) \times W_{FL} - W_{LL} \quad (2)$$

단,  $W_{FL}$ :만재하중 (kg),  $W_{LL}$ :경하하중(kg)

따라서 폴리에틸렌 보트 선체의 구조강도시험에 필요한 시험하중  $W$ 는 Table 2의 보트 제원에서 파악할 수 있으며 만재하중  $W_{FL}$ 가 1,770kg이고 경하하중  $W_{LL}$ 이 1,070kg인 것을 고려하면 1,142.5kg이다.

등분포하중에 의한 종강도굽힘시험에 필요한 다이얼 게이지는 Fig. 5와 같이 선저부 최대변위차이(용골변위)를 측정하기 위하여 선저 용골부의 선미, 중앙, 선수부에 3개소에, 선체 폭 방향의 최대변위차이(폭 변위)를 측정하기 위하여 양현의 횡방향 2개소에, 선체 깊이 방향의

최대변위차이(깊이 변위)를 측정하기 위하여 블워크 (Bulwark) 상부의 2개소에 각각 설치함으로써 선체 전체에 총 7개의 다이얼 게이지를 설치한다.



[Fig. 5] Dial gage position in longitudinal strength test by distribution load method

단위 하중은 개당 무게가 정확한 철 블록, 콘크리트 블록, 모래, 수지통 등으로 하고 하중은 지점간에 등분포하중이 되도록 적재판 또는 플로어 위에 편심하중이 되지 않도록 적재하여 부하한다. 시험시 기관 그 외의 경하상태에 산입될 만한 기기가 미탑재되었을 때는 그 질량에 상당하는 대체 하중을 그 장소에 탑재한다. 또한 하중을 선저에 적재하는 경우에는 선저부에 설치된 다이얼 게이지 3개소에 해당하는 길에 직접적으로 영향을 미치지 않도록 늑골간에 판을 놓고 그 위에 하중을 적재한다.

계측방법은 선체 지점간에 지지대를 받치고 하중을 걸기 전에 무하중 시의 다이얼 게이지 값을 측정한다. 하중이 지점간사이에 등분포하중이므로 적재된 상태에서 5분 후와 하중을 제거한 상태에서 3분 후에 계측한다. 변위는 선체에 하중을 가하기 전인 무하중시 계측한 다이얼 게이지 값과 선체에 균등한 하중을 걸고 5분 후에 계측한 다이얼 게이지 값에서 두 값의 변위 차이를 구하고, 이 값을 Table 4의 식에 의거하여 용골과 폭 및 깊이 변위로 계산한 값이 선체 각 위치에서의 실측값의 수정값이며, 이 수정값이 선체구조강도의 최종 합격 판정에 사용되는 값이 된다.

[Table 4] Modified displacement equations in longitudinal strength test by distribution load method

Hull position	Modified displacement Equations
Keel	$B-1/2(A+C)$
Width	$D+E$
Depth	$B+1/2(F+G)$

Table 5는 선체 각 위치별 변위에 대한 허용범위를 나타낸 것으로 소형선박에 사용되는 선체 구조 강도에 대한 만족 여부를 판정하는 데 이 값을 사용한다.

[Table 5] Allowable displacement for polyethylene boat hull subject to distribution load

Hull position	Limit
Keel	Smaller than $\ell/500(mm)$
Width	Smaller than $\ell/250(mm)$
Depth	Smaller than $\ell/500(mm)$

즉, 폴리에틸렌 선체의 각 부분 변위인 Table 4의 값이 Table 5의 값의 이하에 있으면 소형선박으로 사용되는 데 전혀 문제가 없으나 Table 5의 값을 초과하면 소형선박으로 사용하는 데 구조 안전성을 확신할 수 없다. 따라서 Table 5의 허용 변위 계산식에 의하면 폴리에틸렌 보트 선체가 구조 안전성을 확보하려면 구조강도시험시 선체 용골과 깊이 변위는 선체 전장의  $\frac{1}{500}$  이하의 변위여야 되고 선체 폭 변위는 선체 전장의  $\frac{1}{250}$  이하의 변위여야 된다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 선체의 종강도굽힘시험 결과

Table 6은 Fig. 4의 폴리에틸렌 보트 선체의 종강도굽힘시험결과를 나타낸 것으로 시험 하중에 대하여 각 측정 다이얼 게이지에서의 변위를 나타내고 있다.

다이얼 게이지 D 위치 변위가 가장 적게 발생되고 다이얼 게이지 B 위치 변위가 가장 많이 발생된다. 이러한 결과는 선체 종강도굽힘시험이 3점굽힘시험을 그대로 모사한 것이기 때문이다. 즉, 3점 굽힘시험에서는 변위가 중앙단면에서는 많이 생기고 측면 위치에서의 변위는 매우 적게 발생해야 하나 본 시험선의 경우 다이얼 게이지 D 위치가 닫힌 단면이 아닌 일부 열린 단면이기 때문에 다이얼 게이지 D 위치 변위는 다이얼게이지 B 위치 변위의 대략 40%에 도달할 정도 크게 나타나고 있다.

[Table 6] Load and displacement data for longitudinal strength test

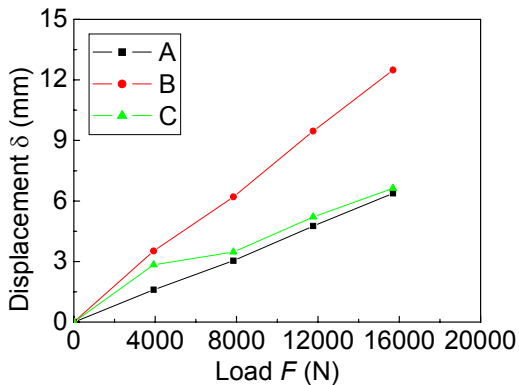
Load (N)	Gages						
	A	B	C	D	E	F	G
3,920	1.6	3.52	2.84	1.03	1.56	2.72	2.66
7,840	3.04	6.2	3.47	1.58	2.83	4.81	5.25
11,760	4.76	9.46	5.21	3.55	4.34	8.1	7.8
15,680	6.38	12.49	6.63	4.89	5.12	11.16	10.46

3.2 종강도굽힘시험에 의한 선체 구조강도 평가

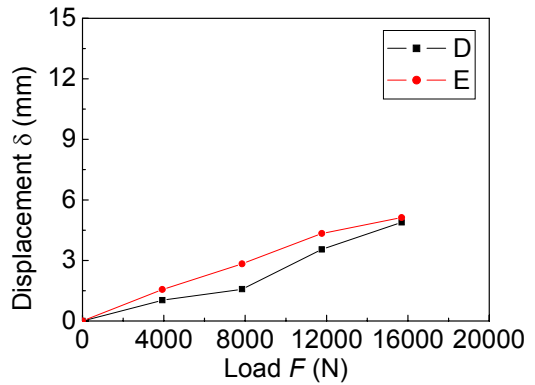
3.2.1 폴리에틸렌 보트

Fig. 6과 Fig. 7 및 Fig. 8은 은 용골과 폭 및 깊이 방향에서의 등분포하중에 의한 종강도굽힘시험 결과를 보이는 것으로 하중과 변위의 관계를 3,920N의 등간격으로 나타낸 것이다. 그림들에서 A, B, C, D, E, F, G는 Fig. 5의 다이얼 게이지 위치를 나타낸 것이다.

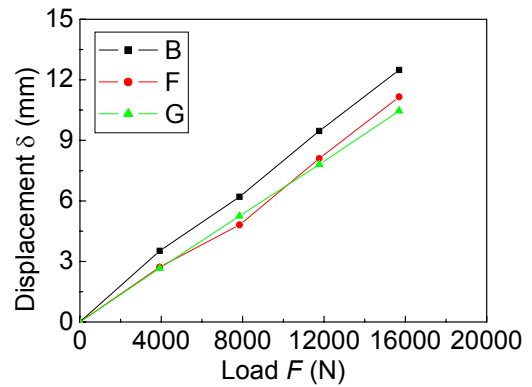
Fig. 6에서 변위는 B, C, A 순으로 크며 특히, A와 C 변위는 큰 차이를 보이지 않지만 B 변위는 A와 C 변위에 비하여 하중 크기에 따른 변위의 증가가 매우 크게 나타나고 있다. 이러한 결과는 하중이 증가할수록 B지점의 굽힘 곡률이 A와 C 지점의 굽힘 곡률에 비하여 더 크게 증가하기 때문이다. 또한, Fig. 7에서 D와 E 위치에서의 변위는 거의 비슷하며 약간의 실험 오차를 동반하고 있다. Fig. 8에서 F와 G 위치에서의 변위는 거의 동일하나 B 위치에서의 변위는 F와 G 위치에서의 변위보다 약간 크다.



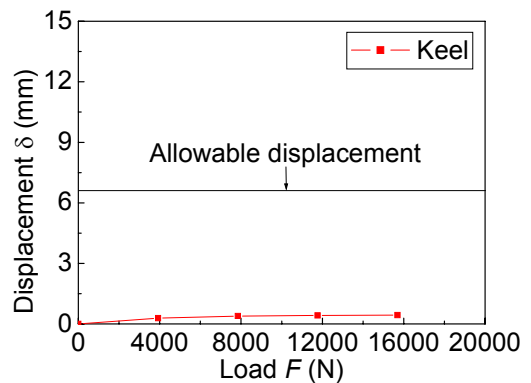
[Fig. 6] Relationship between distribution load and displacement on polyethylene boat keel



[Fig. 7] Relationship between distribution load and displacement on polyethylene boat width



[Fig. 8] Relationship between distribution load and displacement on polyethylene boat depth

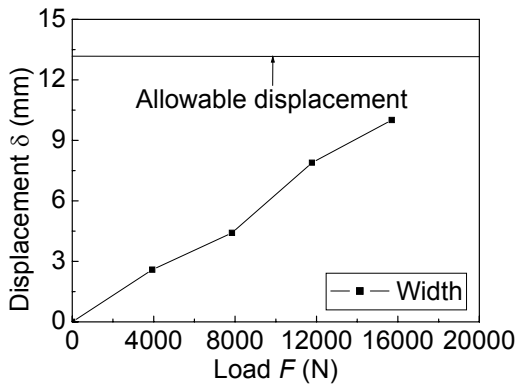


[Fig. 9] Allowable displacement of polyethylene boat keel

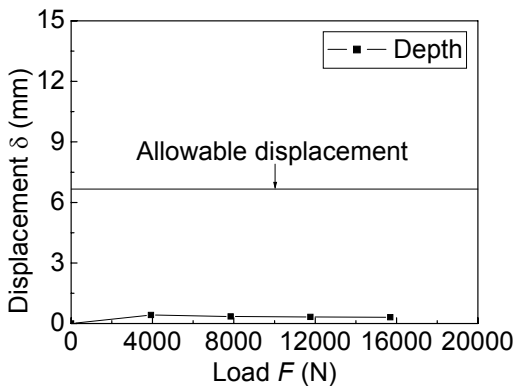
Fig. 9와 Fig. 10 및 Fig. 11은 등분포하중에 의한 종강도굽힘시험 결과에서 나온 A, B, C, D, E, F, G 변위를 Table 4의 수정 변위 식에 대입하여 구한 용골과 폭 및 깊이 변위와 Table 5에서 구한 용골과 폭 및 깊이의 허용

변위를 동시에 나타낸 것이다. 모든 하중 범위에서 폴리에틸렌 선체의 용골과 폭 및 깊이 변위는 용골과 폭 및 깊이의 허용 변위 아래에 있어 폴리에틸렌 선체가 수직 하방 하중에 대하여 용골과 폭 및 깊이 방향에 대한 충분한 구조강도를 가지고 있음을 알 수 있다.

분포하중을 받는 폴리에틸렌 선체의 종강도급힘시험에 의하면 폭 방향 변위가 가장 크게 발생되며 용골과 깊이 방향 변위는 매우 적게 나타나고 있어 폴리에틸렌 선체가 용골과 깊이 방향 변위를 잘 제어하고 있으나 폭 방향 변위는 일본소형선박검사사무규정세칙에는 만족되거나 용골과 깊이 방향에 비하여 상대적으로 많은 변위를 발생시키고 있어 추후 폴리에틸렌 설계 및 제작에서는 이에 대한 약간의 구조적 보강이 필요할 것으로 생각된다.



[Fig. 10] Allowable displacement of polyethylene boat width

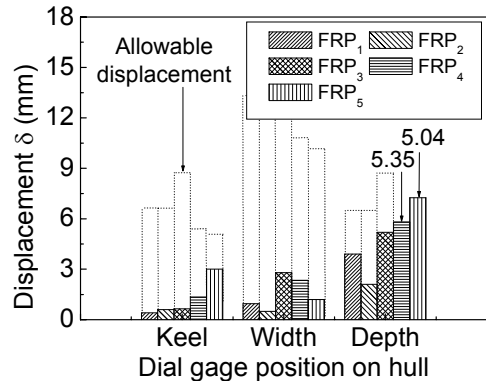


[Fig. 11] Allowable displacement of polyethylene boat depth

### 3.2.1 FRP 보트

Fig. 12는 FRP 선체의 등분포하중에 의한 종강도급힘 시험결과를 나타낸 것이다. 선도에서 점선은 허용 변위를 나타낸 것이고 숫자 5.35와 5.04로 표시된 FRP 선체는

허용변위를 벗어난 것을 의미하며 그 숫자가 선체 깊이 방향에서 발생하는 변위를 나타낸 것이다. FRP 선체의 경우는 폴리에틸렌 선체와는 다르게 깊이 방향 변위가 용골 및 폭 방향 변위에 비하여 상대적으로 크게 발생되고 있으며 FRP<sub>4</sub>와 FRP<sub>5</sub> 선체의 깊이 변위는 일본소형선박검사사무규정세칙의 깊이 방향의 허용 범위를 벗어 나고 있다. 따라서 상기의 FRP 선체를 두께측정방법에 의하여 구조강도를 평가하게 되면 모두 합격되는 선체이지만 등분포하중에 의한 종강도급힘시험은 통과하지 못해 기존의 소형선체 구조강도 측정 방법인 두께측정방법에 심각한 문제가 있음을 알 수 있다[11]. 즉, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 FRP 선체 제작과정에 대한 감독이 훨씬 더 엄격하게 적용되어져 FRP 선체제작과정에 대한 정밀한 품질 관리가 수행되어져야 한다.



[Fig. 12] Displacements in FRP boat hull

### 3.2 보트의 안전성 평가

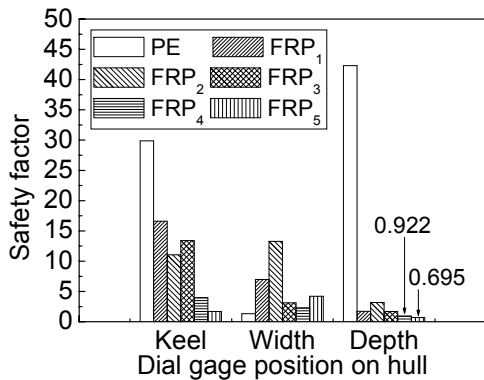
이상의 Fig. 6 ~ Fig. 12에서 등분포하중에 의한 종강도급힘시험결과를 분석하였다. 본 절에서는 폴리에틸렌과 FRP 선체에 대한 안전성을 정량적으로 평가하기 위하여 다음 식 (3)의 부분 안전계수  $S_{Partial}$ 를 도입하였다 [12,13].

Fig. 13은 등분포하중에 의한 종강도급힘시험결과인 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12와 식 (3)을 이용하여 선체 각 위치에서의 안전계수를 평가하였다.

$$S_{Partial} = \frac{Directional\ displacement}{Allowable\ directional\ displacement} \quad (3)$$

그림에서 숫자(0.922, 0.625)는 안전계수가 1이하인 상태를 나타내고 있다. 폴리에틸렌 보트의 경우 폭 방향의 안전계수는 1.3으로 용골 및 깊이 방향의 안전계수 30과 42에 비하여 매우 낮은 값을 보이고 있으나 일본소형선

박 검사사무규정세칙의 허용 범위를 만족하고 있다. 한편, FRP 선체의 경우 FRP<sub>4</sub>와 FRP<sub>5</sub> 선체에서 깊이 방향 안전계수가 0.922와 0.625으로 일본소형선박검사사무규정세칙의 깊이 방향에 대한 허용 범위를 만족시키지 못하고 있어 FRP 선체의 경우 품질관리에 상당한 비용을 지불해야 되는 것으로 생각된다.



[Fig. 13] Partial safety factors of polyethylene and FRP boats by uniform load method

또한, Table 6은 선체에 대한 전체 안전계수  $S_{Total}$ 를 나타낸 것으로 선체에 대한 전체 안전계수는 용골, 폭, 깊이 에 대한 안전계수를 더하여 평균화 값으로 정의한다. Table 6에서 전체 안전계수는 폴리에틸렌 선체의 경우는 24.5이고 FRP 선체의 경우는 5.6으로서 폴리에틸렌 선체의 구조강도가 FRP 선체의 구조강도에 비하여 4.4배 더 크다. 즉, 폴리에틸렌 선체는 FRP 선체에 비하여 재료 강도는 낮지만 구조적 우수성과 품질관리의 용이성으로 인하여 훨씬 더 우수한 선체로 제작됨을 알 수 있다. 현재 시험 폴리에틸렌 보트 선체가 15년 이상 구조 안전성을 확보한 선체라는 사실과 Fig. 13과 Table 6의 결과를 종합적으로 분석해 보면 폴리에틸렌 보트의 구조시험규격으로 FRP 선박구조강도시험규격을 사용해도 폴리에틸렌 보트의 구조 안전성을 판단하는 데 전혀 문제가 되지 않는다. 단지 폴리에틸렌 보트 선체에 대한 적합한 구조기준을 만들기 위해서는 Table 5의 허용변위에 대한 기준 값을 Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11의 결과를 종합적으로 고려하여 새롭게 제시할 필요가 있다.

[Table 6] Total safety factor of polyethylene and FRP boats by uniform load method

Boat type	Total safety factor $S_{Total}$
Polyethylene	24.5
FRP	5.6

#### 4. 결론

본 연구에서는 종강도굽힘시험을 이용하여 15년 이상 근해에서 사용되고 있는 폴리에틸렌 보트 선체에 대한 시험 결과를 도출하고 이것을 토대로 폴리에틸렌 선체에 대한 안전성을 평가한 뒤 기존의 FRP 선체에 대한 구조 강도시험과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폴리에틸렌 선체의 수평 용골과 폭 및 깊이 변위는 용골과 폭 및 깊이의 허용 변위 아래에 있어 폴리에틸렌 선체가 수직 하방 하중에 대하여 용골과 폭 및 깊이 방향에 대한 충분한 구조강도를 가지고 있다.
2. 폴리에틸렌 선체의 경우 폭 방향 변위가 가장 크게 발생되며 용골과 깊이 방향 변위는 매우 적게 나타나고 있어 폴리에틸렌 선체가 수직 하중에 대한 변위를 잘 제어하고 있다.
3. FRP 선체의 경우 폴리에틸렌 선체와는 다르게 깊이 방향 변위가 용골 및 폭 방향 변위에 비하여 상대적으로 크게 발생되고 있으며 일부 선체의 깊이 변위는 일본소형선박검사사무규정세칙에서 제시하는 깊이 허용 범위를 벗어나고 있다.
4. FRP 선체를 두께측정방법에 의하여 구조강도를 평가하게 되면 모두 합격되는 선체이지만 등분포하중에 의한 종강도굽힘시험은 통과하지 못해 기존의 소형선체 구조강도 측정 방법인 두께 측정방법에 심각한 문제가 있다.
5. 폴리에틸렌 선체는 FRP 선체에 비하여 재료 강도는 낮지만 구조적 우수성과 품질관리의 용이성으로 인하여 훨씬 더 우수한 선체로 제작될 수 있다.

#### References

- [1] H.B.Moraes, J.M.Vasconcellos and P.M.Almeida, "Multiple Criteria Optimization applied to High Speed Catamaran Preliminary Design", *Ocean Engineering*, Vol.34, pp.133~147, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2005.12.009>
- [2] N. Z. Chena and C. Guedes Soares, "Longitudinal Strength Analysis of Ship Hulls of Composite Materials under Sagging Moments", *Composite Structures*, Vol.77, pp. 36~44, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.06.002>
- [3] B.K.Hong, "A Study on the Standard of Ship Hull Construction for Aluminium Alloys Fishing Boats", *The*



*Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol.12, No.1, pp.22~88, 2000.

- [4] N. Z. Chena and C. Guedes Soares, "Reliability Assessment for Ultimate Longitudinal Strength of Ship Hulls in Composite Materials", *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol.22, Issue 4, pp. 330~342, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.probengmech.2007.05.001>
- [5] B.Y.Kang, "Build Wooden Canoe Myself", Mannam Press, pp.103~108, Seoul, Korea, 2007.
- [6] C.K.Park, M.G.Kim and S.S.Cho, "Study on Structural Analysis and Manufacturing of Polyethylene Canoes", *Trans. of the KSME(A)*, Vol.35, No.3, pp.309-316 2011.
- [7] JCI, "Rules and Regulations for Inspection of Japan Small Craft", JCI, Tokyo Japan, 2007.
- [8] Minister of land, transport and maritime affairs, "Structural Design Guide for FRP Ship", MLTMA, Seoul Korea, 2007.
- [9] KS M 3022, "Testing Method for Tensile Creep of Plastics", KS, Seoul Korea, 2008.
- [10] ISO 12215-5, "Small Craft-Hull Construction and Scantlings - Part 5: Design Pressures for Monohulls, Design Stresses, Scantlings Determination", ISO, Geneva Switzerland, 2008.
- [11] H.K.Choi and S.Y.Kwon, "A Study on Structural Strength Assessment in FRP Ship", *JKSTA*, pp.46~63, 2010.
- [12] W.B.Kim, Corrosion, "Fatigue Crack Propagation Behaviour of TMCP Steel Plate at Ballast Tank of Ship Structure under the Condition of Cathodic Overprotection", *JKAICS*, Vol.13, No.6, pp.2465~2471, 2012.
- [13] J.S.Lee, "Structural Analysis of Hydraulic Valve Meter", *JKAICS*, Vol.13, No.4, pp.1447~1452, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.4.1447>

**조 석 수(Seok-Swoo Cho)**

[정회원]



- 1993년 2월 : 동아대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 동아대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 1997년 8월 : 창원문성대학교 기계과 전임강사
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대 자동차공학과 교수

<관심분야>  
재료강도학, 구조최적설계

**곽 원 민(Won-Min Kwak)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 강원대학교 자동차공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 대학원 자동차공학과 재학 (공학석사)
- 2011년 6월 ~ 현재 : (주)누리텍 해양레저연구소 연구원 근무

<관심분야>  
자동차공학, 구조해석 및 설계

**함 범 식(Bum-Sik Ham)**

[정회원]



- 2004년 2월 : 삼척대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 강원대학교 산업과 학대학원 (공학석사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : (주)누리텍 해양레저연구소 연구소장 근무

<관심분야>  
기계공학

**조 영 철(Young-Chul Jo)**

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 자동차과 (공학석사)
- 2011년 6월 ~ 현재 : (주)누리텍 해양레저연구소 연구원 근무

<관심분야>  
자동차공학