

선급 및 ISO에 나타난 설계충격 하중에 관하여

On the Design Impact Pressure in the Rules and Regulations of ISO and Classification Societies

이준^{†*}

June Lee^{†*}

Abstract

The slamming impact pressures at the bottom area of the Open60' are evaluated by the rules and regulations of various organizations - ISO and classification societies. The enhanced performance of the modern racing yacht in terms of speed which achieves well over 20 knots needs special consideration. The calculated design impact pressures are compared a experimental results. Severe difference can be found in these calculation results but the final conclusion shall be obtained after the scantling calculation under the evaluated design impact pressure so far

※ Keywords : ISO, Classification societies, Slamming, Impact pressure, Rules and regulations

1. 서 언

우리나라는 아직 선진국과 비교하지 못할 수준의 요트를 보유하고 있고, 선진국에 수출을 하는 역량도 여러모로 부족한 것이 현실이다. 국가가 보유하고 있는 요트의 척수나 직접 배를 타는

실력도 그러하지만 그 이면에 내재되어 있는 관련 기술의 수준이나 해양 문화 또한 마찬가지다. 그 일면으로 보트나 요트의 설계, 건조, 유통에 관한 규정을 살펴보아도 비슷한 양상을 발견할 수 있다. 배를 설계하고 건조하는데 필요한 기술을 고민하는 조선공학자로서 보트와 요트 시장의

* 인하공업전문대학 선박해양시스템과 교수

† 논문주저자

대부분을 점유하고 있는 유럽과 미국의 규정을 살펴보고 나아가 우리가 어떤 철학을 가지고 이에 임해야 하는지를 생각해보지 않을 수 없다.

규정과 관련된 내용들은 여러 가지가 있겠다. 배 자체를 설계하고 건조하는 것도 있겠지만, 배에 들어가는 각종 자재, 기자재, 부품, 장비 등의 설계, 제작과 건조 방법에 관한 것도 있다. 우선 유럽을 살펴보면 크게 국제표준과 각 국가의 선급 규정 그리고 국가별 해운, 해상안전을 담당하는 기관의 규정이 있다. 미국 또한 유사하여 선급과 해상보안청의 규정이 있다. 그 일례를 보면, 유럽의 ISO TC188, 프랑스 선급(BV), 이탈리아 선급(RINA), 독일 선급(GL), 영국 선급(LR), 노르웨이 선급(DNV), 영국해상보안청(MCA), 국제세일링 연맹(ISAF) 등이 명문화된 규정을 가지고 있고, 미국에서는 미국 선급(ABS)과 미국해상보안청(USCG)이 있다.

이런 여러 가지 규정이 있지만, 대형선이 아닌 소형선을 이야기함에 있어서 가장 몸에 와 닿는 규정은 ISO TC188: Small craft과 TC188/SC1: Personal safety equipment이다. 기본적으로 ISO TC188은 약 120여 권의 소책자로 구성되어 있으며 이 방대한 규정을 모두 파악하는데는 많은 시간과 노력이 필요할 것이다. ISO TC188은 기본적으로 2.5미터부터 24미터까지의 소형선을 다루고 있고 유럽에 이러한 배를 유통시키기 위해서는 이 규정에 의해야 하며 나아가 관련 인증을 받아야 한다. 예를 들면 필자가 관심 있어 하는 Fig. 1의 Open 650이라는 6.5미터 크기의 Category A급 소형요트는 유럽에서도 제작이 되고 있기도 하지만, 지금은 경제성이나 자국용으로 사용하기 위해 미국이나 아르헨티나에서도 제작되어 유럽에 수출되고

있다. 크기가 작은 배이긴 하지만 제조사들은 유럽에 이 배를 수출하기 위해서 ISO에 의거하여 배를 설계, 건조하고 CE 인증을 획득하여야 한다. 배 자체의 가격은 35,000~55,000달러 정도이지만, 배에 들어가는 여러 장비들을 포함하면 100,000달러 이상이 된다는 점을 생각할 때, 배만 만드는 것에 주력할 것이 아니라 배와 관련된 여러 부품, 장비에 대해서도 관심을 가져야 할 필요가 있다. 이에 따라 ISO standard의 중요성은 간과할 수 없게 된다. 덧붙여 세계 요트계는 이미 보다 빠르고 큰 배를 만드는 경쟁체제에 돌입하였다. 이러한 배들은 때때로 ISO 표준이나 선급의 관련 규정을 벗어나고 있어 이에 대한 연구가 진행되어 표준이나 선급 규정으로 업데이트 되고 있다. 이러한 유럽의 지속적인 움직임은 수출을 지향하는 우리에게 시사하는 바가 크다.



Fig. 1 4500마일 대서양 횡단 경기용 1인승 요트인 Open 650

본 원고에서는 TC188중에서 구조설계를 규정하는 ISO 12215와 영국 선급, 프랑스 선급, 노르웨이 선급, 미국 선급의 규정을 비교해 보려 한다. ISO 12215와 선급 규정들은 크게 두 가지로 구성되어 있다. 첫째는 하중을 계산하는 것이고, 둘째는 계산된 하중을 기초로 구조설계를 하는 것이다. 필자가 이 연구를 할 당시 두 가지 후회스러운 것이 있었다. 하나는 시간상의 문제로 하중 계산까지 할 수 있었다는 것이고, 다른 하나는 이탈리아 선급과 독일 선급의 규정을 살펴보지 못한 것이다. 언젠가 이 모자란 부분들을 통괄하여 다시 검토하고 우리나라의 규정과 비교하여 큰 틀을 마련할 기회가 있었으면 한다.

ISO 12215와 상기의 선급 규정은 서로 많은 유사한 점을 찾을 수 있다. 우선 구성 자체가 하중 부분과 구조 계산 부분으로 나누어져 있다는 것이다. 계산된 하중만으로는 큰 의미가 없으며 (사실, 이 부분은 간혹 논쟁의 대상이 되기도 한다) 이 하중은 구조 계산에 사용하기 위한 중간 역할 정도로, 구조의 치수들을 계산하는 용도로 사용된다는 점도 특징이다. 또한, 배도 파워보트와 세일보트로 구분하고 있다. 이 부분은 최근 출현하는 활주형

세일보트(planing sailboat)로 인해 연구가 진행되는 부분이기도 하다. 배의 크기로 인해 종강도 계산보다는 선저의 국부강도를 우선하고 있으며, 그 중에서도 슬래밍(slamming)에 의한 충격 압력(impact pressure)이 가장 큰 역할을 한다는 것이다.

2. 슬래밍에 의한 선저부의 설계충격 압력(Design bottom impact pressure)

여기서는, 때때로 20노트 이상의 속력을 내는 고속 활주형 세일요트인 Open 60을 대상으로 한다. 비록 세일요트는 바람과 해상상태에 따라 성능이 좌우되지만, 보다 빠른 배를 만들기 위한 최근의 노력들로, 고성능 요트는 활주형으로 설계되어 기존의 배수량형의 범주에서 벗어나는 경향이 있다. Fig. 2, Fig. 3은 그러한 배들의 한 예로, Open 시리즈(Open 650, 30, 40, 60, 70)에서 많이 볼 수 있다.

Open 60에 적용되는 규정은 IMOCA Open 60, ISAF offshore special regulations와 EC recreational craft directive Category A, ABS



Fig. 2 IMOCA



Fig. 3 Open 60

ORY 또는 ISO 12215 Category A이다. ISO 12215나 선급 규정에서 슬래밍에 의한 설계충격 압력의 계산은 비슷한 방법론을 사용하고 있는데 배의 가속도와 여러 인자들을 조합하여 특정 구조 요소에 해당하는 정압력(static pressure, 슬래밍 자체가 동적 현상인데도 불구하고 정압력을 사용한다는 점에 주의가 필요하다)을 계산한다는 것이다. 구조요소로는 판넬 플레이트, 거더, 프레임 등이

있겠고, 설계자가 구조요소들의 간격(span, spacing)을 선택함에 따라 압력값도 달라진다. 앞서 언급 했지만, 기존 규정은 파워보트와 세일보트로 구분하고 파워보트도 활주형과 배수량형으로 나누고 있다. 현재로써는 활주형 세일보트를 지원할 수 있는 규정이 없는 상황이다. Table 1부터 Table 6은 앞서의 각 규정을 Open 60에 적용할 때의 상황을 정리한 것이다.

Table 1 ISO규정에 의한 Open60 설계시 주의사항

기 관	ISO
적용 규정	12215 Small craft - Hull construction and scantlings
정의된 선박	Planing motor craft / Sailing craft
선체길이 규정	2.5~24m
경 계	$V/\sqrt{L_{wl}} > 3.6$ for planing craft $\frac{10L_{wl}}{m_{LDC}^{0.33}} < 5.1 + 0.08 L_H$ for Category A and B sailing craft
기 본 식	$P_{BM} = \frac{0.1m_{LDC}}{L_{wl} B_c} (1 + n_{CG} k_{DC}) k_{AR} k_L$ for planing craft $P_{BS} = (2m_{LDC}^{0.33} + 18) k_{SLS} k_{DC} k_L k_{AR}$ for sailing craft
특 징	- slamming에 의한 Sailing craft pressure correcting factor k_{SLS} - 구조요소와 그 설계면적이 반영되는 Area pressure distribution factor k_{AR}
가속도 인자	- Planing craft는 공식에 의함 - Sailing craft는 기 결정된 수치 3을 적용
Open60에 적용에의 문제	- Planing motor craft 규정을 적용하기 위해서는 Open 60의 선속이 15knots 이상이 되어야 함 - Sailing craft 규정을 적용하기 위해서는 Open 60의 배수량이 20,848kg 이상이 되어야 함
규정의 한계	- Open 60의 선속은 15knots를 능가함 - Open 60의 배수량은 약 10,000kg 정도

Table 2 영국 선급(LR) 규정에 의한 Open60 설계시 주의사항

기 관	LR
적용 규정	Special Service Craft (SSC)
정의된 선박	Displacement mode / Non-displacement mode
선체길이 규정	제한 없음, 요트의 경우 24m 이상
경 계	<ul style="list-style-type: none"> - $V/\sqrt{L} > 3$: non-displacement mode - $V = 7.19 \nabla^{1/6}$ in knots : high speed craft - $\Delta = 0.04(LB)^{1.5}$ in tonnes : light displacement craft
기 본 식	<ul style="list-style-type: none"> - $P_{db} = \frac{f_d \Delta \Phi(1+a_v)}{L_{WL} G_o}$: non-displacement mode craft - $P_{dh} = \Phi_{dh} \left(19 - 2720 \left(\frac{T_x}{L_{WL}} \right)^2 \right) \sqrt{L_{WL} V}$: displacement mode craft
특 징	<ul style="list-style-type: none"> - Bottom impact pressure by slamming for modes - Design pressure of bottom shell from bottom impact pressure by slamming multiplied by various factors - Service restriction and service type - Forebody or bow slamming pressure is defined for each modes
가속도 인자	각 모드별 공식에 의함
Open60에 적용에의 문제	<ul style="list-style-type: none"> - Service area restriction: yacht having unrestricted service - Service type notation: yacht
규정의 한계	Yacht notation을 사용할 경우 길이 제한에 걸림

Table 3 프랑스 선급(BV) 규정에 의한 Open60 설계시 주의사항

기 관	BV
적용 규정	Yachts
정의된 선박	High speed motor yacht / sailing yacht
선체길이 규정	최대 100m까지
경 계	$V > 7.16 \Delta^{1/6}$ in knots for high speed motor yacht
기 본 식	$- P_{sl} = 70 \left(\frac{\Delta}{S_r} \right) k_1 k_2 k_3 a_{CG}$ for high speed motor yacht $- P_{sl} = 70 \left(\frac{\Delta}{S_r} \right) k_2 k_3 a_v$ for sailing yacht
특 징	<ul style="list-style-type: none"> - Factor for the type of design F_{oc} - Factor for the sea condition S_{oc} - High speed motor yacht와 sailing yacht에 다른 가속도 공식 적용
가속도 인자	<ul style="list-style-type: none"> - a_{CG} for high speed motor yacht at CG which is the function of velocity - a_v for sailing yacht at forward of CG which is the function of location
Open60에 적용에의 문제	<ul style="list-style-type: none"> - 경기용 요트는 이 규정을 적용하지 않음 - Maximum pitch vertical acceleration at fore perpendicular for sailing yacht, $a_{PFP} = 3a_H$ is given for information only
규정의 한계	<ul style="list-style-type: none"> - a_{PFP} - 경기용 요트는 이 규정을 적용하지 않음

Table 4 노르웨이 선급(DNV) 규정에 의한 Open60 설계시 주의사항

기 관	DNV
적용 규정	High Speed Light Craft and Naval Surface Craft (HSLC)
정의된 선박	Light craft (LC) / High speed light craft (HSLC)
선체길이 규정	길이 제한 없음
경 계	<ul style="list-style-type: none"> - $\Delta < (0.20LB)^{1.5}$: LC yacht - $\Delta < (0.16LB)^{1.5}$ and $V = 3\sqrt{L}$: HSLC yacht - $V \geq 25\text{knots}$: HSLC - $V < 25\text{knots}$: LC
기 본 식	<ul style="list-style-type: none"> - $P_{sl} = 1.3k_l \left(\frac{\Delta}{nA} \right) T_o^{0.7} \left(\frac{50 - \beta_x}{50 - \beta_{CG}} \right) a_{CG}$: 선저의 slamming pressure - $P_{slp} = \frac{21}{\tan\beta_x} k_a k_b C_w \left(1 - \frac{20T_L}{L} \right)$: 선저의 pitch slamming pressure - $P_{sl} = \frac{0.7LC_L C_H}{A^{0.3}} [0.6 + 0.4 \frac{V}{\sqrt{L}} \sin\gamma \cos(90^\circ - \alpha) \times \frac{2.1a_o}{CB} \sqrt{0.4 \frac{V}{L} + 0.6 \sin(90^\circ - \alpha)(x/L - 0.4)}]^2$: forebody side와 bow impact pressure
특 징	<ul style="list-style-type: none"> - Service area restriction notation 설정 - Type and service notation 설정 - Design vertical acceleration은 extreme value로 1% probability 고려 - Longitudinal (serge) acceleration 고려
가속도 인자	<ul style="list-style-type: none"> - $a_{cg} = \frac{V}{L^{0.5}} \frac{3.2}{L^{0.76}} f_g$ - $a_{cg} = \frac{k_h g_0}{1650} \left(\frac{H_s}{B_{WL/2}} + 0.084 \right) (50 - \beta_{cg}) (V/\sqrt{L})^2 \frac{LB^{2WL/2}}{\Delta}$
Open60에 적용예의 문제	없음
규정의 한계	없음

Table 5 미국 선급(ABS) 규정에 의한 Open60 설계시 주의사항

기 관	ABS
적용 규정	High Speed Craft (HSC)
정의된 선박	HSC (planing craft)
선체길이 규정	130m이하 단동선
경 계	$V/\sqrt{L} > 2.36$
기 본 식	$- P_{bcg} = \frac{N_1 \Delta}{L_W B_W} (1+n_{cg}) F_D$ $- P_{bxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_W B_W} (1+n_{xx}) \left(\frac{70 - \beta_{xx}}{70 - \beta_{cg}} \right) F_D \text{ for craft less than 130m}$ $- P_{bxx} = \frac{N_1 \Delta}{L_W B_W} (1+n_{cg}) F_D F_v \text{ for craft less than 61m}$
특 징	<ul style="list-style-type: none"> - Semi-planing, planing high speed craft로 한정 - Vertical acceleration distribution factor k_v, F_v
가속도 인자	$- n_{cg} = N_2 \left(\frac{12 h_{1/3}}{B_W} + 1.0 \right) \gamma (50 - \beta_{cg}) \frac{V^2 B^{2W}}{\Delta}$ $- n_{xx} = n_{cg} k_v$
Open60에 적용	라운드형 빌지를 가지는 요트에 대한 deadrise 각도에 정의가 모호함
규정의 한계	Guide

Table 6 미국 선급(ABS) 규정에 의한 Open60 설계시 주의사항

기 관	ABS
적용 규정	Offshore Racing Yacht (ORY)
정의된 선박	Offshore Racing Yacht
선체길이 규정	30.5m 이하
경 계	없음
기 본 식	$P=0.01Fh$
특 징	Design head and design head reduction factor
가속도 인자	없음
Open60에 적용	없음
규정의 한계	Guide

Table 6까지는 각 규정의 대강을 나타낸 것으로 실제 압력을 계산하는 데 있어서는 규정집을 자세하게 살펴 복잡한 계산을 수행해야 한다. 같은 구조를 가지는 Open60을 대상으로 선저 슬래밍 압력을 계산하면 아래 Table 7, Table 8, Fig. 4부터 Fig. 10과 같은 분포가 나타난다.

실험결과는 선수부의 선저에 pressure transducer와 pressure panel을 설치하여 Peak치를 예측한 값이며 95%의 prediction bounds of confidence level하에서 처리되었다[6].

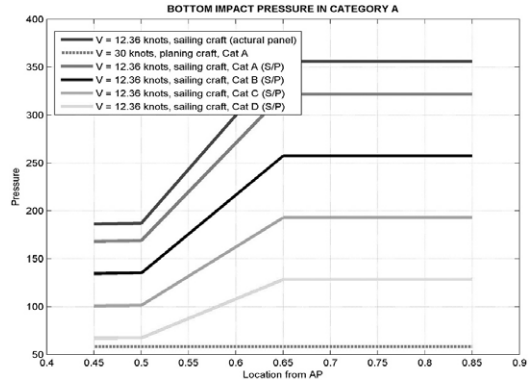


Fig. 4 ISO에 의한 설계선저충격압력 계산결과 (Unlimited service, kPa)

Table 7 Limited service인 Category C일 때 선저부의 압력 (단위: kPa)

기 관	선수부의 설계 압력 (xL_{WL})					제한사항
	LCG	0.5	0.65	0.75	0.85	
ISO	100.9	101.3	192.9	192.9	192.9	Category C sailing craft
LR	18.2	40.4	40.4	50.5	44.0	$H_s=1.4m, V=12.36knots$
BV	16.2	20.5	31.6	33.9	27.7	Category C sailing yacht
DNV	231.0	76.5	52.8	34.1	17.5	$V \geq 12.36$ knots
ABS-HSC	16.3	16.8	17.9	18.2	17.4	$H_s=1.4m, V=12.36knots$
BS-ORY	49.1	49.1	44.2	41.0	37.7	Offshore racing yacht

Table 8 Unlimited service일 때 선저부의 압력 (단위: kPa)

기 관	선수부의 설계 압력 (xL_{WL})					제한사항
	LCG	0.5	0.65	0.75	0.85	
ISO	186.2	186.2	356.1	356.1	356.1	Category A sailing craft
LR	206.6	463.7	463.7	579.6	463.7	$H_s=4m, V=30knots$
BV	22.0	27.7	42.8	45.9	37.5	Category A sailing yacht
DNV	573.3	191.4	132.2	85.4	43.7	$V \geq 12.36$ knots, R0 Yacht
ABS-HSC	233.5	252.7	304.5	319.4	318.3	$H_s=4m, V=30knots$
ABS-ORY	61.9	61.9	55.7	51.6	47.4	Offshore racing yacht

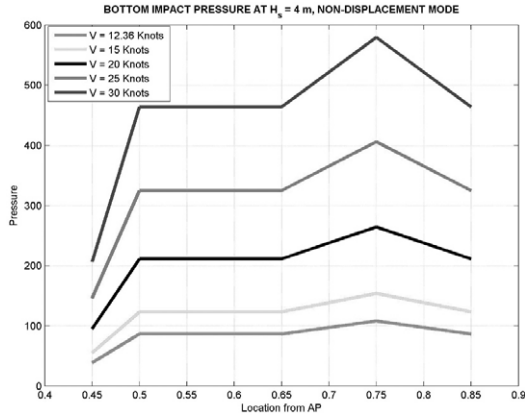


Fig. 5 LR에 의한 설계선저충격압력 계산결과 (Unlimited service, kPa)

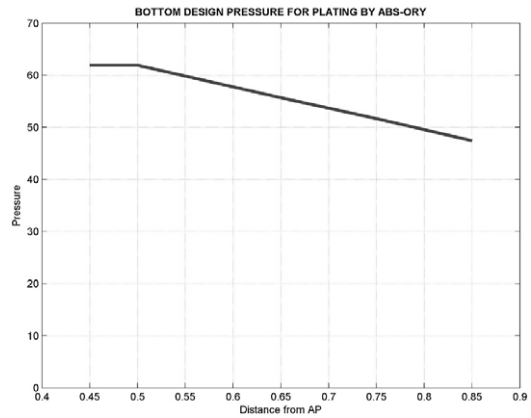


Fig. 8 ABS-ORY에 의한 설계선저충격압력 계산 결과 (Unlimited service, kPa)

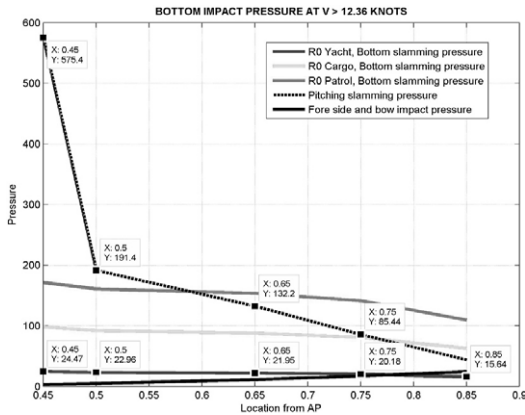


Fig. 6 DNV에 의한 설계선저충격압력 계산결과 (Unlimited service, kPa)

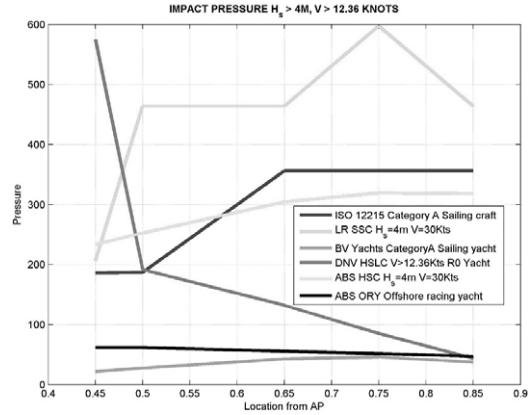


Fig. 9 Unlimited service에 대한 6개 규정 계산 결과의 비교 (kPa)

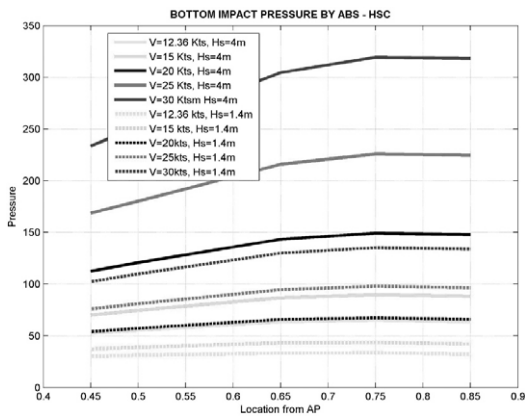


Fig. 7 ABS-HSC에 의한 설계선저충격압력 계산 결과(Unlimited service, kPa)

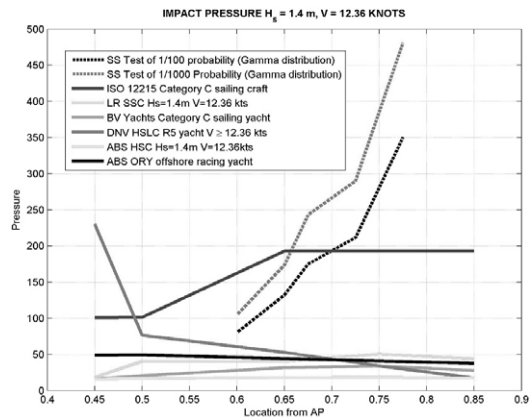


Fig. 10 Limited service에 대한 6개 규정의 계산 결과 및 실험 결과와의 비교 [6]

3. 결 언

이상과 같이 6개 규정에 따라 슬래밍에 의한 선저 압력을 계산하였다. Open60이라는 배가 가지는 성능에 의거해, 최대한 적용 가능한 규정을 이용하였으며 이에 따른 선저부의 설계충격압력이 계산되었다. Fig. 9에서와 같이 제한이 없는 항해를 하는 unlimited service의 경우 선급마다 계산된 정하중에 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 앞서 언급했듯이 이 하중이 다르다고 해서 문제가 있는지의 여부는, 구조계산에 하중을 적용하여 나온 부재의 치수를 비교해 봐야 알 수 있을 것이다.

나아가 Category C의 limited service에서도 ISO와 선급의 계산결과에 큰 차이가 있음을 알 수 있고 나아가 실험결과와도 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 실험에서 사용된 파는 regular wave로 heave/pitch운동의 공진상태가 고려되었기 때문인데 실 해상에서는 이와 같은 일은 드물다. 따라서, 이 부분에 대한 실험도 실상은 실해상 상태를 고려해야 보다 정확한 값을 얻을 수 있을 것으로 보인다. 하지만 2009년도 Volvo Ocean Race의 Open70은 슬래밍에 의해 경기에 참가한 모든 배들이 심각한 구조파괴를 겪은 바 있고 crew들의 가장 큰 관심은 어떻게 슬래밍을 피하도록 배를 조종하느냐 하는 점이었던 것을 감안했을 때 연구의 필요성은 더 힘을 얻게 된다[1]. 우리나라도 최근 보트와 요트에 대한 관심이 높아지는 실정을 감안하면 향후 각종 규정과 나아가 설계에 필요한 하중 및 구조설계에 대한 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- (1) Elaine Bunting and Matthew Sheahan, Broken by design?, Yachting World, Page 66-79, April, 2009
- (2) Guide for Building and Classing Offshore Racing Yachts, ABS, 1994
- (3) Guide for Building and Classing High-Speed Craft, ABS, 2001
- (4) ISAF Offshore Special Regulations 2008/9, ISAF, 2008
- (5) ISO 12215 Hull Construction - Scantlings - Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination, ISO, 2005
- (6) June Lee, Ph.D thesis, Hydro-impact, fluid-structure interaction and structural response of modern racing yacht, University of Southampton, 2009
- (7) Open 60' ISAF International Class Rules - 2008, IMOCA, 2008
- (8) Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft, LR, 2004
- (9) Rules for the Classification and the Certification of Yachts, BV, 2008
- (10) Rules for Classification of High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft, DNV, 2005