

해상계측용 소형 부표 설계를 위한 수치 시뮬레이션

류연철* · 성유창**† · 이경우***

*, *** 목포해양대학교 조선해양공학과, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부

Numerical Simulation for New Marine Instrumentation Buoy

Youn-Chul Ryu* · Yu-Chang Seong**† · Gyoung-Woo Lee***

*, *** Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime Uni, Mokpo, 530-729, Korea

** Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime Uni, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 현재 우리나라에서 사용되고 있는 등부표의 종류는 10가지 정도이며, 부표 설계 및 개발의 대부분을 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 해상 계측 등이 가능한 소형 등부표의 개발을 목표로 소형 부표의 설계안을 제시하고 그 안전성을 수치적으로 검토하였다. 구체적으로는 다양한 실제 해상환경과 유사한 조우각과 선속 변화에 따른 내항성과 관련된 응답 진폭비, 부가저항 등의 값을 수치적으로 시뮬레이션하였다. 설계된 부표의 응답해석 결과, 중요응답비가 조우주파수의 증가에 따라 전체적으로 감소하는 특성을 확인하였다. 횡파에 대한 부가저항이 가장 크게 나타나는 것으로 분석되었고, 최종적으로 제시된 부표가 일정 조건하에서 응답 특성이 확보됨을 확인하였다.

핵심용어 : 해상계측형 등부표, 부표 설계, 운동성능, 조우주파수, 부가저항

Abstract : There are currently 10 types of buoy, mostly which' design and development is dependent on foreign technology. In this study, it is aimed at the development of small instrumentation buoy and at the design proposal presented a numerically safety. The numerical method has the simulation of variety of marine environments, such as wave response amplitude ratio and each flux changes. Through the numerical simulation of buoy's kinetic movement, it is analyzed that Pitching motion increases by the frequency response of encounter and Added resistance appears to be the most significant on transverse waves. Finally, the proposed buoy is confirmed with the response' safety under simulation' conditions.

Key Words : Marine instrumentation buoy, Buoy' Design, Kinetic movement, Encounter frequency, Added resistance

1. 서 론

현재 우리나라에서 사용되고 있는 등부표의 종류는 10가지 정도이며, 가장 작은 등부표가 LT-10이고, 길이 1 m로 해상환경에 열악한 현실이다. 따라서 등부표 1.0 m의 LT-10와 4.4 m의 LL-26 사이의 소형 크기이며, 제작 비용 및 유지 보수가 용이한 등부표의 개발이 필요한 시점이다.

우리나라의 경우 관측용을 포함한 부표 개발의 대부분을 외국 기술에 의존하고 있는 실정이며, 4-5개의 외국 전문 업체가 세계 시장을 장악하고 있는 구도이다. 반면 우리나라의 부표 관련 기술 수준은 현재로써 외국 설계를 단순히 모방하는 수준에 그치고 있다(Kim et al., 2009).

한편 항로의 설정과 항만시설 설치, 준설 및 해양사고로 인한 침선 등 부표시스템의 적용범위는 용도에 따라 다양하며, 항만 입·출항시 적용되었던 부표시스템이 연안 해역에서도 항해 원조를 위해 그 수요가 날로 증가하고 있다. 국제 항로표지 협회에서는 97%이상의 부표시스템의 운영률을 유지하도록 권고하고 있어 부표류의 운동학적 안정성면에서 유체역학적인 연구가 필요하다(Gim, 2008).

특히 주변의 환경적 외력으로 인한 고정표지만큼 신뢰도가 떨어지기 때문에 유실, 위치 이동 등의 사고에 대비하기 위한 안정성 검토가 필요한 특징을 가지고 있다.

본 연구에서는 해상계측을 포함한 소형 부표의 개발을 위해 먼저 안정성 확보를 검토하고자 하였다. 다양한 해상환경에서 조우각과 선속변화에 따른 내항성능 특성을 응답진폭비, 부가저항계수 등의 수치해석을 시행하였다(Han et al., 2012; Gim et al., 2010).

* First Author : maxfly1000@mmu.ac.kr, 061-240-7141

† Corresponding Author : smileseong@mmu.ac.kr, 061-240-7180

이를 위하여 소형 크기의 등부표를 제시하고 이에 따른 안정성 확보를 위해 조우각과 해상환경에 따른 운동성능에 대한 수치해석을 통해 그 안정성을 검토하였다.

2. 등부표 개념설계

해상 계측용 부표의 설계를 위해 노출되어질 환경과 유사한 수심 10 m, 풍속 45 m/s, 조류 2 kt, 파고 1.5 m 이내의 자연 조건에서 항만 및 어항설계(제13편 항로표지 시설)을 참고하였다(MOF; Ministry of Oceans and Fisheries, 2012).

2.1 설계계산

등부표의 중요한 요소중 하나인 중심 위치 결정을 위해 등부표의 세부 항목의 중량과 기준선에서 각 세부 항목의 중심까지의 거리를 선정하여 1차모멘트 및 관성모멘트를 구하여 Table 1에 정리하여 나타내었다.

Table 1. The details of Buoy

Particular	Weight (kgf)	Statical moment (kgf·m)	Moment of inertia (kg·m ²)
Lantern	3.00	5.64	10.59
Lantern plate	5.98	10.76	19.37
Steel tower	7.03	10.19	14.76
Lattice	5.40	5.83	6.26
Lattice plate	5.98	6.39	6.81
Life eye	1.49	1.81	2.20
Chamber/Hull	27.61	16.01	9.11
Central pipe	44.25	15.48	5.31
Bolt & Nut	14.01	1.54	0.14
Stopper	2.33	0.81	0.27
Balance weight	66.73	-24.69	8.67
Chain	29.63	-12.44	5.03
Total	213.44	37.33	88.52

Table 1의 중량과 모멘트를 식(1)을 통해 등부표의 중심위치값 도출하였다.

$$KG = MC/W \quad (1)$$

여기서, KG : 기준선에서 중심까지의 거리(m)

M_C : 중량의 모멘트(kgf)

W : 총중량(kgf)

식(2)를 통하여 등부표의 주요제원중 하나인 흘수 값을 도출하였다.

$$\begin{aligned} d &= d_1 + d_2 \\ d_2 &= V' = A' \\ V' &= V - V_1 - V_2 \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, d : 흘수(m)

d_1 : 표체의 하부의 경사부의 높이(0.03 m)

d_2 : 수직부 표체의 수면 아래쪽 깊이(0.01 m)

V' : 수직부 표체의 공간(0.02 m³)

V_1 : 미통과 중추의 체적(0.02 m³)

V_2 : 표체의 경사부공간(0.16 m³)

A' : 수직부 표체의 단면적(1.13 m²)

식(3)과 (4)를 통해 부심중심위치 값을 도출하였고, 식(2), (3), (4)를 통해 도출된 KG, KB, BM으로 GM 값을 도출 확인 할 수 있었다.

$$KB = M_B/V \quad (3)$$

여기서, KB : 기준선에서 부심까지의 거리(m)

M_B : 각 부위 배수체적의 기준면에 대한 모멘트 (m⁴)

V : 배수체적(m³)

$$BM = I_x/V \quad (4)$$

여기서, BM : 부심으로부터 경심까지의 높이(m)

I_x : 표체 흘수면의 단면 2차모멘트(m⁴)

R : 표체 흘수면의 반지름(0.6 m)

V : 배수체적(m³)

또한 바람에 의한 경사각은 식(5), 조류에 의한 경사각은 식(6), 조류에 의한 경사각은 식(7)으로 각각 도출하였다.

$$F_a = 1/2 \times P_a C_D A_a V_a^2 \quad (5)$$

여기서, P_a : 공기의 밀도(0.125 kgf·S²/m⁴)

V_a : 풍압을 받는 부재에 대한 풍속(31.50 m/s)

A_a : 풍압을 받는 부재의 투영면적(m²)

C_D : 부재의 항력계수

$$F_c = 1/2 \times P_w C_D V_c^2 \quad (6)$$

해상계측용 소형 부표 설계를 위한 수치 시뮬레이션

여기서, P_w : 해수의 밀도($105 \text{ kgf}\cdot\text{S}^2/\text{m}^4$)
 V_c : 조류력을 받는 부체에 대한 조류속(1.02 m/s)
 A_c : 조류력을 받는 부체의 투영면적(m^2)
 C_D : 부체의 항력계수

$$\theta_{2MAX} = \frac{\alpha}{1 - t^2/T^2} \quad (7)$$

$$\tan \alpha = \text{과고}/\text{과장}/2$$

$$\text{과장} = \frac{9.8T^2}{\pi \times 2}$$

여기서, Θ_2 : 수직선에 대한 경사각도
 α : 과경사의 최대각도
 T : 과의주기(8.00 sec)
 t : 부표의 진동주기(3.02 sec)
 H : 과고(1.50 m)

등부표의 각 세부 항목의 1차모멘트 및 관성모멘트를 통하여 얻어진 값과 수치계산을 통해 주요제원을 도출하였다.

2.2 주요제원 및 선형

등부표의 구성은 Lantern, Tower, Buoy body, Weight balance 로 총 4가지의 파트로 구분 하였으며, Tower의 최상단에서 Weight balance의 최하단까지의 길이가 2.1 m이며, Buoy body의 최대 폭이 1.2m인 부표의 주요제원은 Table 2와 같고, 주요제원이 적용된 등부표의 도면은 Fig. 1과 같다.

Table 2. Dimension of buoy

Particular	Sign	Value
Center of gravity	KG(m)	0.17
Center of buoyance	KB(m)	-0.15
Metacenter	GM(m)	0.50
Diameter of buoy	d(m)	1.2
Frequency of vibration	t(sec)	3.02
Draft	d(m)	0.40
Tilt by wind	$\Theta_1(^{\circ})$	28.69
Tilt by current	$\Theta_2(^{\circ})$	0.21
Chain length	L(m)	28.00
Length of ejaculation	S(m)	22.00
Sinker weight	Ws(kg)	0.50
body weight	W(kg)	213.44

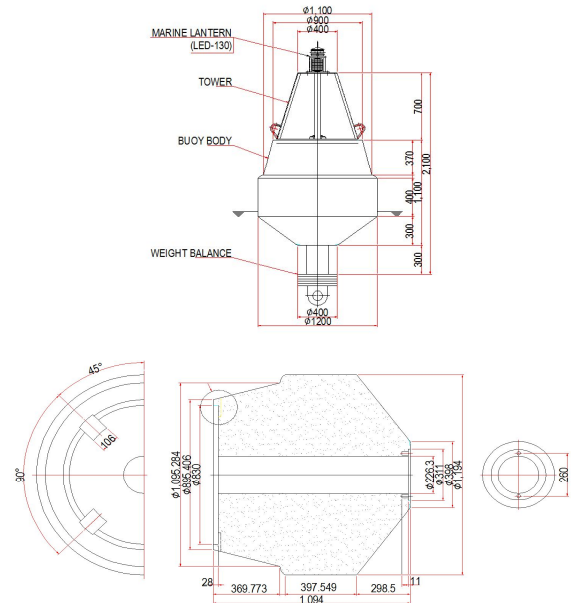


Fig. 1. Drawing of buoy.

3. 해석조건

등부표의 선형적 특성으로 좌·우 대칭형 구조이기 때문에 모든 입사파에 대한 해석을 하지 않고 항파, 선수사파, 횡파에 대해서만 해석을 실시하였다(Ryu, 2013).

또한, 등부표 개념 설계시 고려되었던 해상조건과 동일한 해상조건을 해석조건으로 제시하였고, 조류력을 표현하기 힘들기 때문에 선속으로 대체하였다. 해상 계측용 부표는 최악의 해상 환경에도 대처해야 하기 때문에 잠잠한 해상에서 강한 바람이 부는 해상환경까지 노출시켰으며, 불규칙파는 ITTC 스펙트럼을 사용하였다. 해석프로그램은 Maxsurf 17 과 Seakeeper을 이용하였고, 세부적인 해석조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Sea state and encounter angles

	Beaufort No	U(m/sec)	$H_{1/3}$ (m)	T(sec)
Beaufort Scale	2. Light	2.50	0.2	1.73
	4. Moderate	6.75	1.0	3.86
	6. Strong breeze	12.35	3.0	6.69
Encounter angle (deg)	Head seas (180)			
	Head & Bow seas (135)			
	Beam seas (90)			
Tidal current (kt)	0, 1, 2			

4. 수치해석 결과

4.1 응답진폭비

Fig. 2와 Fig. 3은 조류와 조우주파수에 따른 상하동요 및 종동요에 대한 운동응답 진폭비에 대하여 비교한 결과이다. Fig. 2의 상하 진폭비를 보게 되면, 향파와 선수사파에서는 상하동요 0.8 값을 유지하다가 조우주파수 1.8~4.0 부근에서 미소하게 증가하는 것을 확인하였다.

횡파에서는 조우주파수 1.8~2.0 사이에서 미소하게 감소하나 상하동요 0.8 값을 유지하는 것을 확인하였다.

Fig. 3의 종요 진폭비를 보게 되면, 전체적으로 0에서 최대값을 보이며, 감소하는 경향을 보이며, 조류가 0kt에서는 종요 진폭비가 매우 미소한 것을 확인 할 수 있었다. 향파 및 선수사파에서는 조우 주파수 0에서 최대값을 보이며, 조우 주파수 증가에 따라 값이 감소하는 경향을 보이나 조우주파수 2.0~2.2 미소하게 증가하는 것을 확인하였다.

횡파에서는 조우주파수 0에서 최대값을 보이며, 조우주파수 증가에 따라 값이 감소하는 것을 확인하였다.

4.2 부가저항 계수

Fig. 4는 해상조건에 따른 부가저항에 대한 결과 해석값이다. 전체적으로 조류가 2kt로 강하고 향파에 노출되었을 때의

부가저항 계수 값이 가장 높게 나타나는 것을 확인 하였다.

뷰포드 스케일 2와 뷰포드 스케일 4에서는 향파이고, 조류가 강할 경우에 가장 큰 값을 보였고, 입사각이 180°에서 90°로 진행됨에 따라 부가저항계수 또한 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

뷰포드 스케일 6에서는 뷰포드 스케일 2, 4와 비슷한 경향을 나타내지만 입사각이 90도이고 조류가 0.5~1.3 kt 사이에서 높은 부가저항값을 나타내었다.

Table 4는 해상조건에 따른 최대 부가저항값을 나타내는 조우각 및 조류상태에 대하여 정리하여 나타내었다.

Table 4. Max. values of added resistance

Beaufort scale	Encounter angle	Tidal current	Added resistance
No. 2	160°~180°	1.6~2.0 kt	0.00737 kN
No. 4	170°	1.6~2.0 kt	0.0375 kN
No. 6	170°	1.8~2.0 kt	0.0656 kN

4.3 RMS Motion

Fig. 5와 Fig. 6은 해상조건에 따른 상하 RMS Motion과 종요 RMS Motion 해석 값이다.

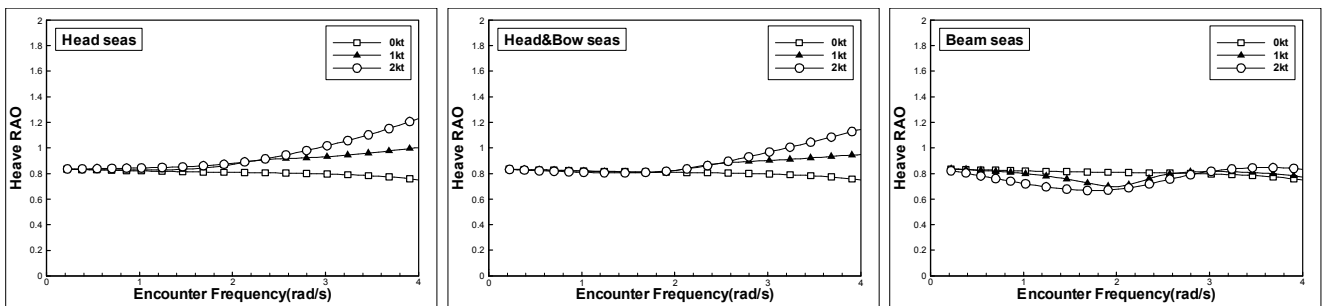


Fig. 2. Heave RAO as a function of speeds and encounter frequency.

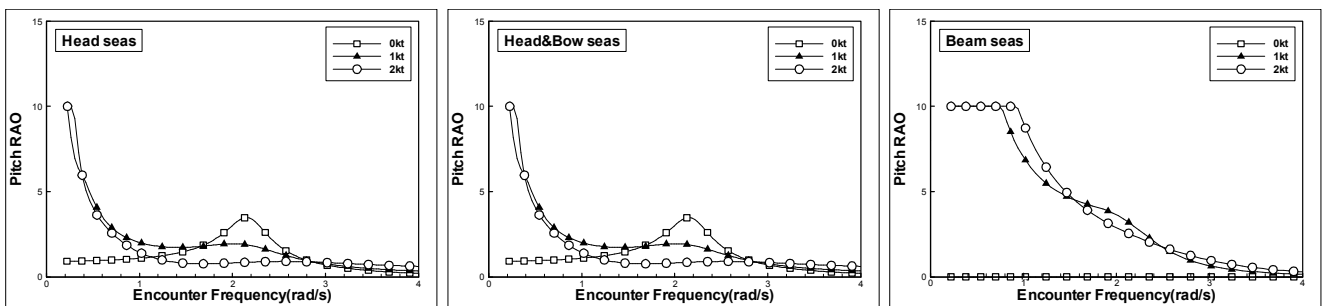


Fig. 3. Pitch RAO as a function of speeds and encounter frequency.

해상계측용 소형 부표 설계를 위한 수치 시뮬레이션

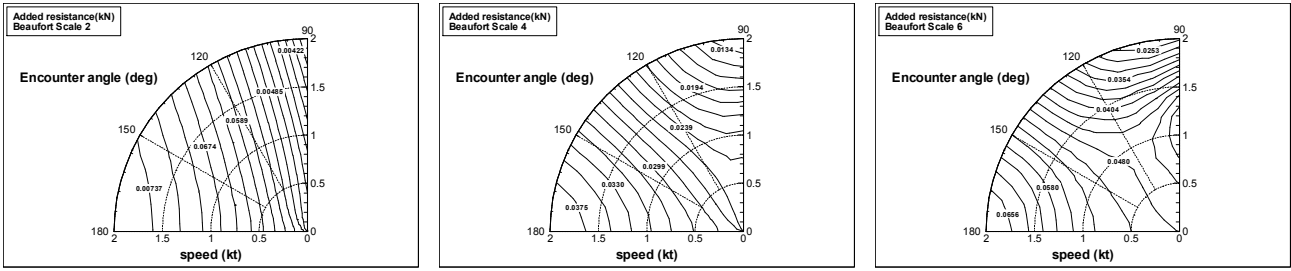


Fig. 4. Added resistance as a function of Beaufort scales.

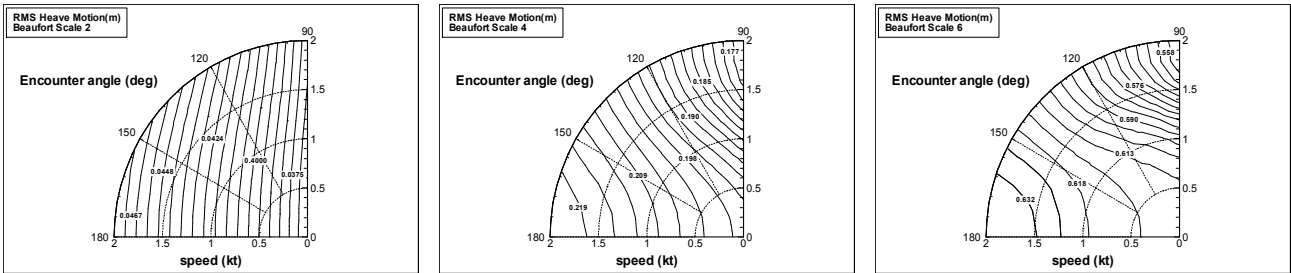


Fig. 5. RMS Heave motion as a function of speed and encounter frequency.

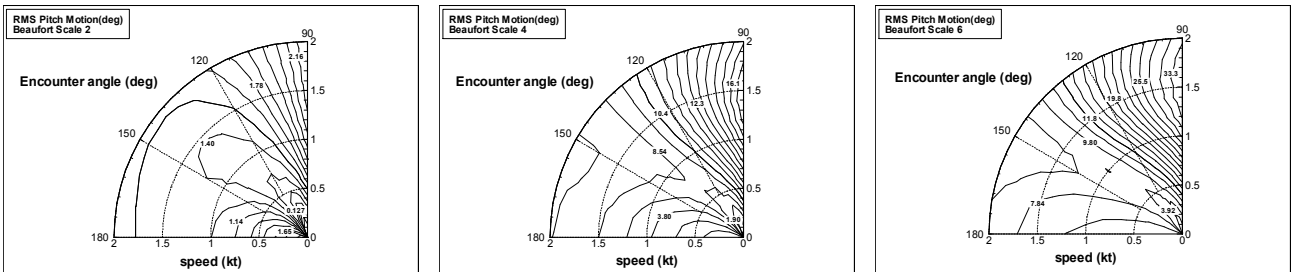


Fig. 6. RMS Pitch motion as a function of speed and encounter frequency.

Fig. 5는 뷰포드스케일 2, 4, 6에서 조류가 강하며, 조우각이 90°에서 180°로 이동 할수록 RMS 값이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 6는 조우각이 90°이고 조류가 강할 경우에 중요 RMS Motion이 강하게 나타나는 특성을 확인 하였으며, 뷰포드스케일 2,4,6에 따라 응답치의 최대값은 증가하는 추세를 보였으나, 응답치에 대하여 매우 유사한 경향을 나타내는 것을 확인하였다.

조우각이 180°이며, 조류가 강할 경우에 작은 응답치를 보였으며, 조류가 약할 경우에 높은 응답치를 보였다.

조우각 120°에서 90°로 이동함에 따라 응답치가 증가하는 것을 확인 할 수 있었으며, 조우각이 90°이고 저속인 구역에서 매우 작은 응답치를 나타내는 것을 확인하였다.

Table 5와 Table 6은 해상조건에 따른 최대 RMS 값을 나타내는 조우각과 조류에 대하여 정리하여 나타내었다.

Table 5. Max. values of RMS Heave motion

Beaufort scale	Encounter angle	Tidal current	Heave motion
No. 2	160°~180°	1.8~2.0 kt	0.0467 m
No. 4	160°~180°	1.6~2.0 kt	0.219 m
No. 6	170°~180°	1.5~2.0 kt	0.632 m

Table 6. Max. values of RMS Pitch motion

Beaufort scale	Encounter angle	Tidal current	Heave motion
No. 2	90°	1.3~2.0 kt	2.16 deg
No. 4	90°	1.2~1.9 kt	16.10 deg
No. 6	90°	1.2~1.9 kt	33.33 deg

5. 결 론

본 연구에서는 소형인 표준형 등부표에 대한 설계에 대한 방향을 제시하였고, 도출된 주요목과 선형을 통해 수치 시뮬레이션으로 안정성을 우선 검토하였다.

1. 현재 표준형 등부표 LT-10과 LL-26의 중간 크기인 1.2 m의 등부표에 대하여 중량 및 모멘트, 수치 계산을 통해 주요목 및 적정 선형을 제시할 수 있었다.
2. 상하동요 응답 진폭비는 조우주파수에 무관하게 0.8의 응답의 영역에서 거의 일정하게 나타났으며, 중요 응답 진폭비는 조우주파수 0에서 가장 높게 나타나고 조우주파수 2.0~2.2에서 소폭 상승하지만 조우주파수 증가에 따라 전체적으로 감소하는 운동응답 특성을 보였다.
3. 부가저항계수는 조류가 상대적으로 강하며 향파에서 높은 값을 나타냈으며, Heave RMS Motion은 조류가 강하며, 향파일 경우 Pitch RMS Motion은 조류가 강하며, 횡파일 경우 가장 높은 값을 보였다.

본 연구는 소형인 등부표 개념설계를 위해 수치해석을 통하여 안정성을 우선 검토하였다. 향후 연구과제로는 제안된 등부표를 목업 제작하여 실제 수조실험을 통한 실험값과 수치해석 값을 비교하고, 제안된 등부표의 안정성에 대한 신뢰도 확보가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Gim, O. S.(2008), A Study on the Flow Control behind the Marine Cylindrical Floating Structures, PhD Thesis.

[2] Gim, O. S., W. J. Oh, C. B. Shon and G. W. Lee(2010), Characteristics on the Motion Response of a Catamaran Power Yacht, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 6, pp. 447-452.

[3] Han, S. J., I. C. Kim, D. K. Oh, G. W. Lee and O. S. Gim(2012), Longitudinal Motion Analysis in Multi-Directional Irregular Waves for a Training Ship using Commercial Code, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 2, pp. 153-159.

[4] Kim, T. W., D. M. Keum, D. S. Han, W. B. Lee and J. M. Lee(2009), Design of Oceanography Buoy-Part I : Structural Integrity of Hull, Journal of The Korean Society of Ocean Engineers, Vol. 23, No. 1, pp. 81-88.

[5] Ministry of Oceans and Fisheries(2012), the features and specifications based on Aids to Navigation.

[6] Ryu, Y. C., C. W. Lee, O. S. Gim and G. W. Lee(2013), Prediction on the Seakeeping Characteristics of Offshore Support Vessel, Proceeding of Korean Society of Marine Environment&Safety, pp. 219-221.

원고접수일 : 2013년 08월 01일
 원고수정일 : 2013년 09월 27일 (1차)
 2013년 10월 07일 (2차)
 게재확정일 : 2013년 10월 25일