

돛이 소형선박 횡동요 감소에 미치는 영향

최찬문[†] · 안장영

([†] 제주대학교)

Influence of Sail on the Reduced Rolling Motion of Small Ship

Chan-Moon CHOI[†] · Jang-Young AHN

[†] Jeju National University

(Received October 21, 2008 / Accepted January 28 2009)

Abstract

In this study it will be discussed how to solve the problem of discomfort from rolling motion on the small fishing boats. Up to now, the equipments of reducing rolling system can be examined by various case, but difficult to apply small vessel by function, space and costly establishment. A way of improving the feeling of getting on a boat through the equipped sail at stern edge of bulwark top was researched and developed. The author has tested the sailing performance of the experimental skiff boat, from the signals obtained by the inclinometer in irregular waves and compared with the results got in sail on and off mode operation for 10 minutes duration at the conditions of stop and underway. These data has been analyzed in the application statistical methods. Eventually we summarize the analyzed results obtained from the vessel while stationary and underway for two cases, the vessel with a sail and the vessel without a sail. The field test was done in Jeju outer harbor. The ratio of the motion responses at resonance for the sail with and without cases indicate that under given conditions the motion was reduced by the efficiency of diminution is 4.726%, 2.792% in the stopping and 11.663%, 3.282% in the underway and mean rolling periods are 2.158, 2.142, 2.421, 2.412sec. and 1.968, 1.963, 2.089, 2.051sec. respectively.

Consequently the efficiency of diminution was higher when the ship is underway and rolling periods got longer in the equipped sail.

Key words : Small fishing boat, Inclinometer, Stop and underway, Statistical method, Efficiency diminution, Mean rolling period, Sail

I. 서론

1. 연구의 필요성

선박은 파랑이 항상 존재하는 해상에서 운항됨으로써 불규칙적인 운동을 하게 된다. 이러한 선박의 운동은 승객, 승무원, 화물 및 선박 자체의

안전에 큰 영향을 미칠 뿐만 아니라 해상에서의 각종 조업활동의 정확도와도 긴밀한 관계를 가지고 있다. 선박의 횡동요 감소장치는 일반적으로 선체가 동요함에 따라 발생하는 모우멘트를 이용해서 동요를 감소시키는 것으로 제어방법에 따라 수동(Passive)형과 능동(Active)형으로 나누며, 현

[†] Corresponding author : 064-754-3493, cmchoi@cheju.ac.kr

* 이 논문은 2006학년도 제주대학교 학술연구지원 사업에 의하여 연구되었음.

재까지 장치로는 Bilge keel, Anti-rolling tank, Fin stabilizer, 타 감쇠 장치 등이 있다(Yamaguchi et al., 1993 ; Kim, 2002 ; Park, 2000).

특징을 살펴보면, Bilge keel는 종 방향으로 선체 선체길이의 25 - 50%에 해당하는 핀(fin)을 선박의 측면에 설치한다. 비교적 값이 싼 편이나 핀의 부착으로 인하여 선체저항을 증가시키는 단점이 있으며 선속이 증가함에 따라 그 효과도 증가한다. 그리고 Anti-Rolling tank는 저속 영역에서도 횡동요 억제효과를 얻을 수 있다는 것이 장점이며 반면에 Meter center 높이의 감소와 탱크를 설치 할 공간이 필요하다. Fin stabilizer는 선박이 어느 범위의 저속으로 항해하지 않은 한 상당히 뛰어난 횡동요 억제효과를 얻을 수 있는 장치라고 할 수 있다. 최근에는 Rudder - Roll stabilizer(RRS)는 선박에 설치되어 있는 타를 이용하기 때문에 Fin stabilizer에 비해 경제적인 부담감이 적으면서도 비슷한 효과를 얻을 수 있으나 정지 중에는 그 효력이 전혀 없다. 선체의 동요를 감소시킬 수 있는 방법으로는 여러 가지가 검토될 수 있었으나, 기능적인 면과 공간적인 면은 물론이고 고가의 설치비용도 고려되어야 하기 때문에 소형선박에서는 적용하기가 대단히 어려운 것이 현실이다.

본 연구에서는 소형선박에 적절할 것으로 생각되는 돛을 이용하여 횡동요 억제효과를 검토하려고 한다. 선체에 대한 돛의 역할에 대해서는 Masuyama et al.,(1993)은 지구 환경보존을 위한 연료 소모량을 줄이는 목적으로 풍력 에너지를 이용하면 추진력의 향상과 부가적인 효과로써 선체의 동요가 감소한다는 것을 수학적 메커니즘을 통하여 규명하였고, Masuyama et al.,(1994)은 수조 실험에서 그 결과를 이용하여 고속선이 항주 시 돛의 각을 제어함으로 횡 동요를 줄일 수 있음을 이론 해석과 수조실험을 통해서 논의 하였다. 또한 돛을 선미에 설치하여 선박의 위치정점을 유지하면서 특정의 포인트를 겨냥하기 위한 어로를 하는 낚시 어선에 선수를 풍상으로 항

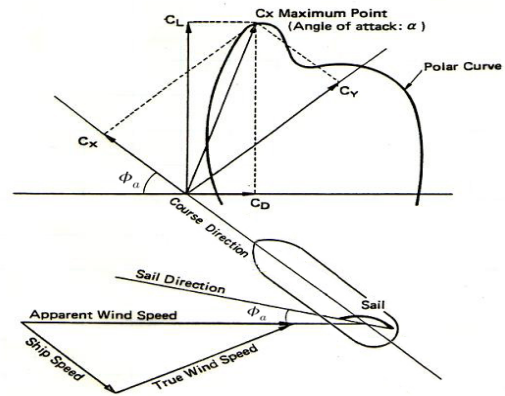
하고, 침로를 안정시키려는 목적 이외에 선체의 동요를 감소시킨다는 이점이 있다는 것을 경험을 통해서 전하고 있다(Yoshimura et al., 2003). 그런데 구체적으로 해상에서 시험선을 통해 횡동요 감소에 대해서 연구된 바는 없었으므로, 그 효과를 검토하기 위하여 이론적인 규명과 더불어 소형선박의 선미 최단에 돛을 설치하여 해상 실험을 통해 검증하였다.

II. 재료 및 방법

1. 이론

돛의 공력(空力)특성은 공기의 흐름에 직각방향으로 움직이는 힘인 양력(Coefficient of Lift force : C_L)과 평행하게 작용하는 힘인 항력(Coefficient of Drag force : C_D)으로 나눌 수 있다.

[Fig. 1]은 기범선(機帆船)이 양각(Angle of attack) ϕ_a 로 항진중일 때 선체의 전후방향 C_x , 횡 방향 C_y 로 나누어 식(1)과 같이 정리할 수 있으며 여기에 C_x Maximum point는 양력이 최대인 점에서 양각을 나타낸다(Morwood, 1953).



[Fig. 1] Basic concept of the sail system for small ship

$$C_X = C_L \sin \phi_a - C_D \cos \phi_a$$

$$C_Y = C_L \cos \phi_a + C_D \sin \phi_a \dots\dots\dots(1)$$

그리고 횡 방향성분을 유 차원(有次元)으로 표현하면 식(2)처럼 나타낼 수 있다.

$$Y_S = \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot C_Y \cdot U_a^2$$

$$= \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot U_a^2 (C_L \cos \phi_a + C_D \sin \phi_a) \dots\dots(2)$$

여기에 A_S , U_a , ρ_a 는 돛의 면적, 상대풍속, 공기밀도로 나타내고 있다.

선체가 횡동요 할 경우 횡 경사각의 각속도를 $\dot{\phi}$, 돛의 힘이 작용하는 위치를 중심(重心) Z_s 에 있다고 가정하고 이때의 진 풍속을 U_{a_0} 이라고 하면 상대풍속 U_a 는 식(3)처럼 쓸 수 있다.

$$U_a = U_{a_0} - Z_s \dot{\phi} \dots\dots\dots(3)$$

이 때 돛으로 인해 발생하는 횡경사 모우멘트 K_s 는 식(4)처럼 나타낼 수 있다.

$$K_s = \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot (C_L \cos \phi_a + C_D \sin \phi_a) \cdot Z_s \cdot (U_{a_0} - Z_s \dot{\phi}) \cdot (U_{a_0} - Z_s \dot{\phi}) \dots\dots(4)$$

여기서 $U_{a_0} > Z_s \dot{\phi}$ 이므로 식(4)는 식(5)처럼 다시 정리 할 수 있다.

$$K_s = \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot U_a (C_L \cos \phi_a + C_D \sin \phi_a) \cdot Z_s$$

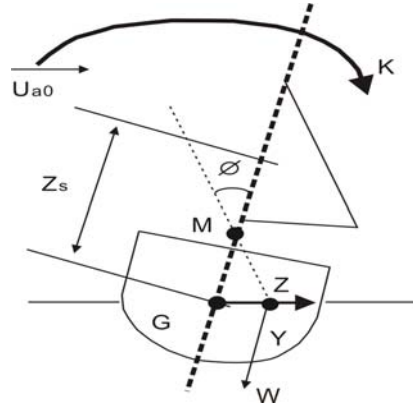
$$= \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot (C_L \cos \phi_a + C_D \sin \phi_a) \cdot Z_s \cdot (U_{a_0} - Z_s \dot{\phi}) \cdot (U_{a_0} - Z_s \dot{\phi})$$

$$= \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot (C_L \cos \phi_a + C_D \sin \phi_a) \cdot Z_s \cdot (U_{a_0}^2 - 2U_{a_0}Z_s\dot{\phi} + Z_s^2\dot{\phi}^2) \dots\dots\dots(5)$$

평수(平水) 중 동일한 모양의 파랑에서 직진상태로 기범선이 항진중일 때의 선체운동은 전후동요(surge : x축), 좌우동요(sway : y축), 선수동요

(yawing : z축), 선회로 인한 횡경사 K_s 에 대해서 논의할 필요가 있다.

[Fig. 2]처럼 선박이 경사했을 때는 복원 모우멘트 $= W \cdot \overline{GZ} = m \cdot g \cdot \overline{GM} \sin \phi$ 이다.



[Fig. 2] Co-ordinate of sail on board

선박의 횡동요를 수학적으로 간결하게 모델링하기 위해 몇 가지 가정을 하여보면, 첫째 횡동요는 선박 중심(重心)에 대해 발생하고 다른 자유도와의 연성(連成)효과는 무시하며, 둘째 횡동요 경사각은 미소하다는 것이다. 그리고 셋째는 선박에 작용하는 감쇠는 등가 점성 감쇠로 가정한다. 이러한 가정으로부터 I_{xx} , J_{xx} 는 횡 경사축에 대해 2차 관성모멘트 및 부가 관성모멘트, k_1 , k_2 는 각각 선형, 비선형 항 감쇠계수, m 는 선체질량, g 는 중력가속도, ϕ 는 횡동요 경사각의 진폭, \overline{GM} 를 횡 메타센터로 각각 나타내어 선박의 횡동요를 1자유도계로 표현하면 식(6)처럼 정리할 수 있다(Yoshimura et al., 2003).

$$I_{xx} \ddot{\phi} = -J_{xx} \dot{\phi} - k_1 \dot{\phi} - k_2 \dot{\phi} \dot{\phi} \dots\dots\dots(6)$$

$$- m \cdot g \cdot \overline{GM} \phi + K_s$$

여기서 식(5)식을 식(6)에 대입하여 정리하면 식(7)처럼 쓸 수 있다.

$$(I_{xx} + J_{xx})\ddot{\phi} + k_1\dot{\phi} + k_2\phi^2 + m \cdot g \cdot \overline{GM}\phi$$

$$= \frac{\rho_a}{2} A_S \cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) \dots\dots(7)$$

$$\cdot Z_s \cdot (U_{ao}^2 - 2U_{ao}Z_s\dot{\phi} + Z_s^2\dot{\phi}^2)$$

위 식의 k_1 는 순수한 횡동요 선형감쇠계수이며, k_2 는 2차 감쇠계수로 좌우동요속도에 기인되는 계수로 나타내고 있다. 그리고 Δk_1 , Δk_2 만큼 증가한다면 식(7)을 식(8)처럼 표현할 수가 있다.

$$(I_{xx} + J_{xx})\ddot{\phi} + k_1\dot{\phi} + \Delta k_1\dot{\phi} + k_2\phi + \Delta k_2\phi^2 + \overline{GM}\Delta\phi = K_w \dots\dots\dots(8)$$

여기에서

$$\Delta k_1 = \rho \cdot A_S \cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) \cdot U_{ao} \cdot Z_s^2$$

$$\Delta k_2 = -\frac{\rho}{2} \cdot A_S \cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) \cdot Z_s^3$$

$$K_w = \frac{\rho}{2} \cdot A_S \cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) \cdot Z_s \cdot U_{ao}^2 \text{이다.}$$

그리고 k_1 , k_2 감쇠계수 및 *Froude*의 감쇠계수와의 관계는 식(9)과 같다.

$$a = \frac{1}{4} k_1 \frac{T_n}{I_{xx} + J_{xx}},$$

$$b \doteq \frac{4}{3} k_2 \frac{1}{I_{xx} + J_{xx}} \dots\dots\dots(9)$$

여기에 a , b , T_n 는 감쇠 및 선체 고유주기로 각각 나타내고 있다. 따라서 돛에 의한 감쇠계수의 증분 Δa 는 식(10)처럼 나타낼 수 있다.

$$\Delta a = \frac{1}{4} \Delta k_1 \frac{T_n}{I_{xx} + J_{xx}}$$

$$= \frac{1}{4} \frac{T_n}{I_{xx} + J_{xx}}$$

$$\cdot \rho \cdot A_S \cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) U_{ao} \cdot Z_s^2 \dots\dots\dots(10)$$

즉 Δk_2 는 $U_{ao} > Z_s\dot{\phi}$ 의 영역에서는 $\dot{\phi} \dot{\phi}$ 이 없기 때문에 감쇠효과는 없게 되지만 $U_{ao} \approx 0$ 의 영역에서는

$$K_s = -\frac{\rho}{2} A_S \cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) \cdot Z_s^3 \cdot \dot{\phi} \dot{\phi}$$

Δb 는 식(11)처럼 정리 할 수 있다.

$$\Delta b = \frac{4}{3} \Delta k_2 \frac{1}{I_{xx} + J_{xx}}$$

$$= \frac{2}{3} \frac{1}{I_{xx} + J_{xx}} \cdot \rho \cdot A_S \dots\dots(11)$$

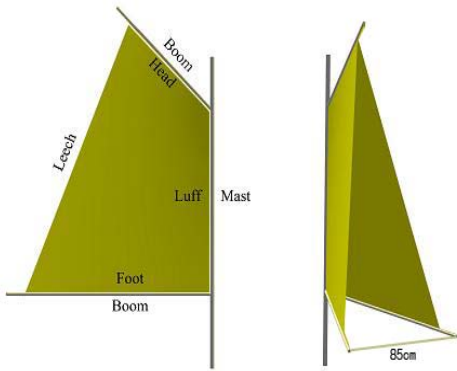
$$\cdot (C_L \cos\phi_a + C_D \sin\phi_a) \cdot Z_s^3$$

따라서 식(1)에서 식(11)을 통해 선박에 돛을 설치하므로 풍속 U_{ao} 가 크고 각속도 $\dot{\phi}$ 가 상대적으로 적은 범위에서는 a 계수가 증가되어 그 증분 Δa 는 범 면적과 풍속에 비례하여 크게 되며 Δa 는 선박의 고유주기에 비례하고 주기가 길수록 감쇠 계수는 컸다. 그리고 $U_{ao} \approx 0$ 의 범위 내에서는 감쇠효과는 횡동요 속도로 인해 돛 중심에 작용하는 힘이 증가하므로 b 계수가 크므로 감쇠 효과가 있는 것을 이론적으로 규명할 수 있었다.

2. 측정 장치 및 실험

시험선은 제주대학교 실습선인 아라호의 부속선으로, 선망작업 시 본선의 보조선으로 이용되고 있는 선체길이 7.190m, 폭 3.051m, 깊이 1.400m인 스킵보트(skiff boat)로 선정하였고, 실험에 사용한 돛은 직삼각형의 정점을 잘라버린 변형4각형으로 새가 날개를 펼치는 모양으로 두 장의 캔버스를 서로 봉합한 구조이며 일명 종범(縱帆) 또는 Spinnaker라고 한다.

[Fig. 3]에서처럼 주요부분은 돛의 정점을 나타내는 것을 Head, 풍 하측 전연(前緣)을 Luff라 하며, 그리고 후연(後緣)을 Leech, 폭 방향의 길이를 Foot(Chord)이라 각각 불리고 있으며, 제원은 <Table 2>와 같다. 설치 위치는 선미 최단 중앙부에 설치하였으며, 펼쳐진 각은 약 18°를 유지하기 위하여 양쪽 끝은 줄로 고정하였다.



[Fig. 3] Configurations of sailing canvas of the experimental boat

선박의 횡동요 경사각 측정은 미국의 PNI사에서 제작된 Magnetic compass TCM3를 사용하였으며, 선수 방향각과 횡 · 종동요 경사각을 동시에 측정할 수 있는 3축의 경사계를 시험선 중앙에 설치하여 이 경사계에 의해서 돛을 장착하였을 때(Sail on)와 돛을 장착하지 않았을 때(Sail off)로 나누어 횡동요 경사각(Rolling angle)은 0.07sec., GPS에 의한 선수방위와 선속은 1sec. 간격으로 각각 자동 수신하였다. 시험해역은 제주항 북동쪽 약 1마일 떨어진 외항에서 실시하였으며, 해상 상태 및 항주 위치는 <Table 3>과 같으며 10분 간 정지 및 항주는 동일한 위치, 선수방위, 선속을 유지하는 가운데 2회에 걸쳐 비교하였다.

<Table 2> Dimensions of the equipped sail of the experimental boat.

Item	Specification
Sail	Leech length : 3.06m
	Head length : 1.03m
	Luff length : 1.97m
	Foot length : 2.18m
	Mast length and size : 3.34m, $\Phi 5.0\text{cm}$
	Boom of upper length and diameter : 1.35m, $\Phi 3.5\text{cm}$
	Boom of lower length and diameter : 2.55m, $\Phi 3.5\text{cm}$
Aspect ratio : 1.24	
Area : 5.57 m^2	

2. 분석방법

불규칙한 해상 상태에서는 기상이 수시로 변하는 것을 감안하여 가능한 동일한 해상조건을 반영하기 위하여 측정시간을 10분 동안 각각 계측하였다. 수신·계측된 데이터는 통계적 처리, 식 (12)에 의한 Rayleigh 분포 및 스펙트럼 해석을 통해 전반적으로 돛이 횡동요 감소에 미치는 효과에 대하여 상호 비교 분석하였다.

$$p(\phi_i) = \frac{2\phi_i}{8m_0} e^{(-\frac{\phi_i^2}{8m_0})}$$

$$m_0 = \int_0^\infty S(w_e) dw_e \dots\dots\dots (12)$$

여기에서 n 는 전체 자료 수, $p(\phi_i)$ 는 임의

<Table 3> Sea trial conditions of stop and underway

구분	해역	항주 위치	평균선속	선수방위	풍향	풍속	수심
1st	제주 외항	Sail on	Fr: 33°-32'.061"N, 126°-32'.380"E To: 33°-32'.179"N, 126°-32'.960"E	5.461kt's	073°	NW	20-30m
		Sail off	Fr: 33°-32'.044"N, 126°-32'.130"E To: 33°-32'.021"N, 126°-32'.640"E	5.389kt's			
Sail on		Fr: 33°-32'.095"N, 126°-32'.937"E To: 33°-32'.367"N, 126°-32'.973"E	5.532kt's	100°	NNE		
Sail off		Fr: 33°-32'.138"N, 126°-32'.140"E To: 33°-32'.396"N, 126°-32'.170"E	5.509kt's				

횡동요 진폭이 일어날 비율, $\overline{\phi_i^2}$ 는 평균제곱 ($\overline{\phi}$: (rms : root mean square)), $f(\phi_i)$ 는 횡동요 진폭이 일어난 회수, m_o 는 임의 횡동요 진폭 평균제곱, m_o 는 응답 스펙트럼 면적, $S(w_e)$: Spectral 밀도로 나타낸다. 그리고 돛에 의한 횡동요 감소 효율은 식(13), (14)에 의해서 평가했다.

$$R(\%) = \frac{\text{Mean of one-third highest motions } (\phi_{\frac{1}{3}}) \text{ at the stabilized case}}{\text{Mean of one-third highest motions } (\phi_{\frac{1}{3}}) \text{ at the unstabilized case}} \cdots (13)$$

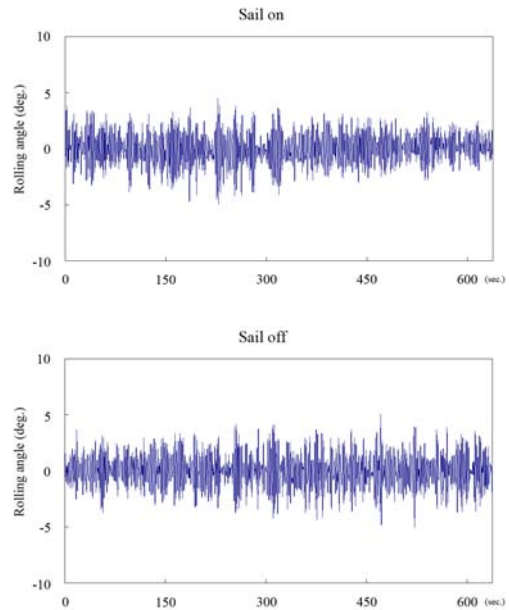
$$e^{-F\phi^2} = \frac{e^{-\phi/2m_{os}}}{e^{-\phi/2m_{ow}}}$$

$$F = \frac{1}{2m_{os}} \left(1 - \frac{2m_{os}}{2m_{ow}}\right) \cdots \cdots \cdots (14)$$

식(14)에서 $e^{-F\phi^2}$ 는 주어진 횡동요 각이 초과 될 누적확률, m_{os} 는 돛을 장착 했을 때 횡동요 각 평균제곱 값, m_{ow} 는 돛을 장착하지 않았을 때 횡동요 각 평균제곱 값으로 나타내고 있다(Rameswar Bhattaacharyya, 1978).

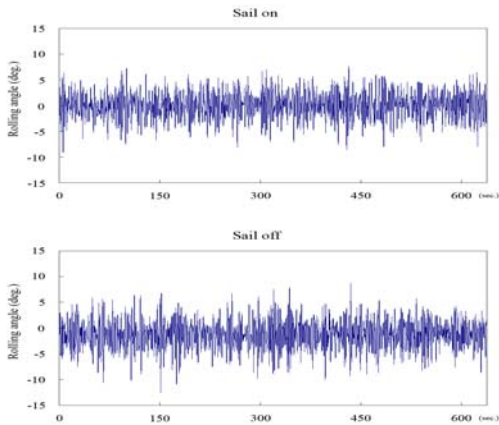
III. 결과 및 고찰

[Fig. 4]은 2차 실험 시, 정지 중 돛을 장착 했을 때(Sail on)와 하지 않았을 때(Sail off)에 횡동요 각의 진폭을 나타낸 결과로서 1, 2차 평균 횡동요 경사각 높이(Mean height of rolling angle)는 3.355°, 3.696° 및 5.635°, 5.727°이었고, 불규칙 파 중에서 통계적인 처리를 통해 파의 진폭을 표현하기 위한 횡동요 유의(有義)각 진폭(Significant amplitude of rolling angle)은 1, 2차 각각 $\phi_{\frac{3}{3}}$ 3.447°, 3.618° 및 4.073°, 4.190°로 나타났다.



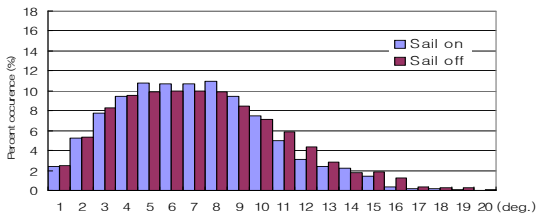
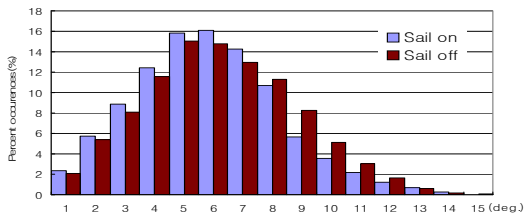
[Fig. 4] Time histories of the amplitude of rolling angles in sail on and off, in irregular waves at the stop engine condition from the second experiment

[Fig. 5]은 1차 실험 시, 항주 중 돛을 장착 했을 때와 그렇지 않았을 때를 동일한 조건에서 비교하기 위한 것이다. 이 때 1차, 2차 선수방위는 073°, 100°, 평균 선속 5.5 kt's로 각각 10분 간 횡동요 각의 진폭을 나타낸 결과로서, 1차 및 2차의 평균 횡 경사각 높이(Mean height of rolling angle)는 3.193°, 3.891° 및 5.913°, 6.590°이었고, 그리고 불규칙 파 중에서 통계적인 처리를 통해 파의 진폭을 표현하기 위한 횡동요 유의(有義)각 진폭(Significant amplitude of rolling angle)은 1,2차 각각 3.128°, 3.541° 및 4.361°, 4.509°로 나타나, 정지 했을 때와 같이 돛을 장착 했을 때가 횡경사각의 높이는 낮고, 유의각 진폭이 적었다. 이상의 평균, 유의 값의 결과에서 돛이 횡동요 미치는 영향이 있음 알 수 있었다.



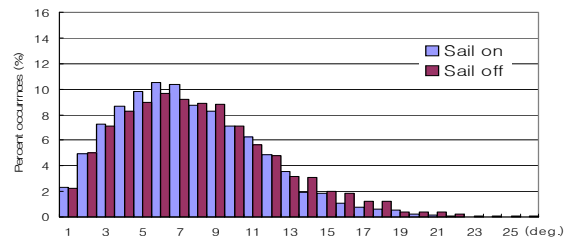
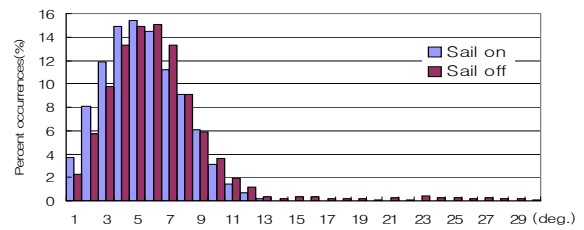
[Fig. 5] Time histories of the amplitude of rolling angles in sail on and off, in irregular waves at the underway condition from the first experiment

[Fig. 6]은 1, 2차 실험 시, 정지 된 상태에서 횡 동요 각의 진폭에 대한 일어날 빈도수 결과로 돛을 장착 했을 때가 1, 2차 횡동요 각의 진폭은 2.5° - 3.0°, 3.5° - 4.0°에서 16.126%, 10.963%, 하지 않았을 때 2.0° - 2.5°, 2.5° - 3.0°에서 15.042%, 9.966%로 가장 빈도수가 컸다.



[Fig. 6] Histogram of rolling motion of sail on and off, stopping in an irregular seaway from the first and second experiment

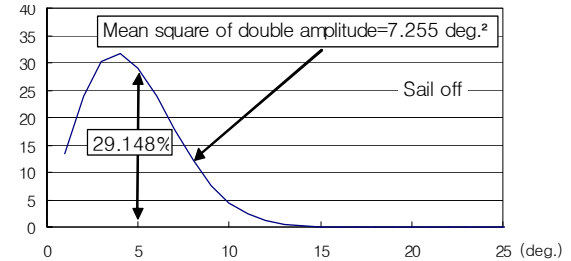
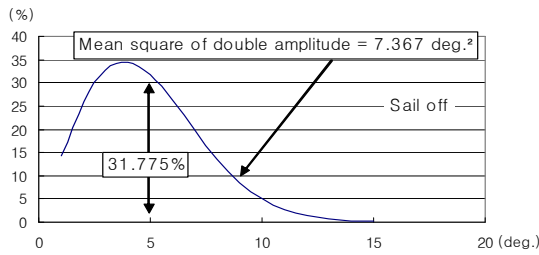
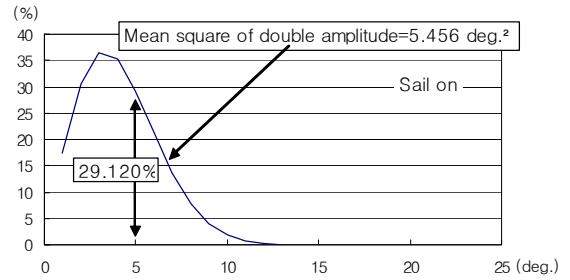
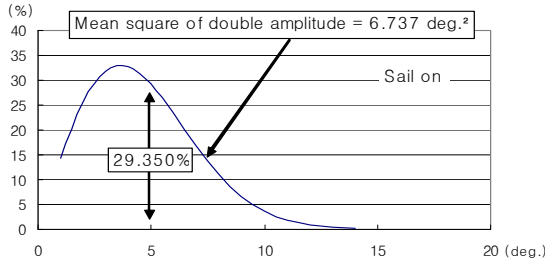
[Fig. 7]은 1, 2차 실험 시, 항주 중 횡동요 각의 진폭에 대한 일어날 빈도수 결과로서 돛을 장착 했을 1, 2차 횡동요 각의 진폭은 2.0 - 2.5°, 2.5 - 3.0°에서 15.391%, 10.500%, 하지 않았을 때 2.5 - 3.0°, 2.5 - 3.0°에서 15.092%, 9.656%로 가장 일어날 빈도수가 컸으며, 전반적인 경향은 정지 때 결과는 같았다. 이상의 결과에서 돛을 장착 하지 않았을 때가 전반적으로 그 진폭의 범위가 넓었고, 클수록 일어날 빈도가 높아, 횡동요 각이 크지 않을 때는 미치는 영향이 적지만, 경사각의 진폭이 클수록 일어날 빈도수가 줄어들므로, 돛으로 인한 감소 효과가 있을 것으로 판단되었다.



[Fig. 7] Histogram of rolling motion of sail on and off, underway in an irregular seaway from the first and second experiment

[Fig. 8]은 1, 2차 실험 시, 정지 중 식(12)에 의한 Rayleigh 분포 결과를 나타낸 것으로, 돛을 장착 했을 때의 평균제곱 진폭(Mean square of amplitude)은 6.737, 8.846°, 하지 않았을 때는 7.367, 9.191°이었고, 횡동요 각 진폭 2.5° 이상에서 초과 될 비율을 시뮬레이션 한 결과는 29.350, 31.775, 27.560, 27.885%로 각각 나타났다.

돛이 소형선박 횡동요 감소에 미치는 영향



[Fig. 8] Rayleigh distributions of rolling motion of sail on and off, stopping in an irregular seaway from the first and second experiment

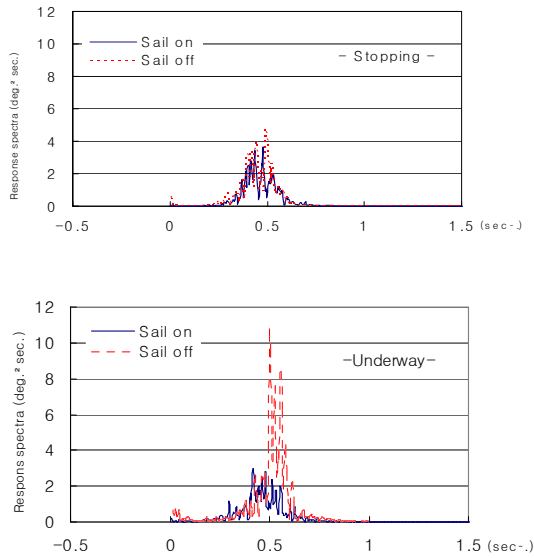
[Fig. 9] Rayleigh distributions of rolling motion of sail on and off, underway in an irregular seaway from the first and second experiment

[Fig. 9]는 1, 2차 실험 시, 정지 때와 동일한 방법으로 항주 시 결과를 나타낸 것으로 돛을 장착했을 때의 1, 2차 평균제곱 진폭은 5.456°, 10.004°, 하지 않았을 때는 7.255, 10.749°이었고, 시뮬레이션 한 결과는 29.120, 29.148, 26.006, 26.759%로 각각 나타났으며 정지, 항주 중 결과에서 돛을 장착했을 때가 진폭이 크지 않았고 시뮬레이션 비교 결과에서도 초과 될 비율이 돛을 장착하지 않았을 때가 큰 것으로 나타나 돛의 영향이 미치고 있음을 알 수 있다.

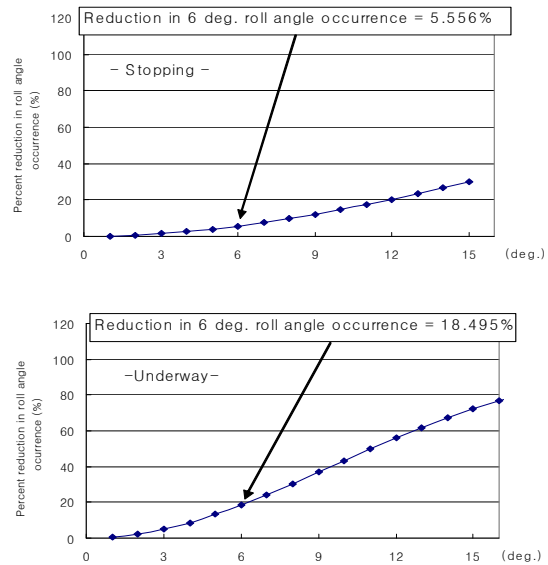
[Fig. 10]은 2차 실험 시 정지, 항주 중 횡동요 각 주파수에 따른 스펙트럼을 비교 분석한 결과를 나타낸 것으로 주파수 0.5 기점으로 해서 돛을 장착했을 때가 낮은 주파수에서 많이 나타났고, 동일한 같은 주파수에서도 돛을 장착하지 않았을 때가 응답이 크게 보였으며, 정지 상태에

서 1, 2차 평균 횡동요 주기(Mean period of rolling angle)는 2.158, 2.142sec. 및 2.421, 2.412 sec.이었고 또한, 항주 중에는 1.968, 1.963 sec. 및 2.089, 2.05sec.로 각각 보여서 돛을 장착했을 때에 횡동요 주기가 길기 때문에 돛에 의한 감소 계수가 큰 것으로 분석되었다.

[Fig. 11]은 1차 실험 시 정지, 항주 상태에서 10분 간 횡동요 각 진폭의 시간적 변동량을 Rayleigh분포에 의한 감소 정도를 식(14)에 의한 결과를 나타낸 것으로 임의의 횡동요 각 진폭 3°에서 감소율을 비교하여 보면 돛 설치로 인하여 1, 2차 5.556%, 1.889% 및 18.495%, 3.070% 줄어드는 것을 알 수 있었다.이상의 결과에서 돛을 설치하므로 평균 12.026%, 2.480%정도 감소됨을 알 수 있었으며, 정지 때 보다 항주 시가 감소율이 큰 것으로 나타났다.



[Fig. 10] Comparisons of the spectra roll responses of sail on and off, stopping, underway in an irregular seaway from the first experiment



[Fig. 11] Percentage reduction in roll angle occurrence of sail on and off, stopping, underway in an irregular seaway from the first experiment

두 차례에 걸쳐 동일한 측정방법으로 정지, 항주 그리고 돛을 장착 했을 때와 하지 않았을 때 나누어 측정한 자료를 기초로 식(13)에 의한 횡동요 감소 효과를 분석한 결과 정지 시에는 4.726%, 2.792%였으나, 반면에 항주 중에는 11.663%, 3.282%로 돛으로 인하여 횡동요 각을 감소시킬 수 있음을 분석하였다.

Woo et al(1974); Moon et al(2005)에 의한 U-tank 및 부가질량을 이용한 수동형 및 능동형의 저감효과는 50 - 80%, 20 - 50%의 결과와 비교하여 보면 다소 낮게 나타나고 있지만 공간적인 면과 비용 측면에서 고려하여 보면 돛을 소형 선박의 선미에 설치하므로 공간적으로 많은 구애를 받지 않을 뿐 만 아니라 저 비용으로 그 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각되며, 그리고 수동형인 돛을 능동형으로 제어한다면 연료를 절감 효과가 기대된다.

IV. 요약

제주대학교 실습선 아라호에 선망 작업 중 보조선으로 이용하는 스키프 보트(Skiff boat)의 선미 최단부에 돛을 설치하여 횡동요 감소효과를 검토하기 위해서 두 차례에 걸쳐 동일한 방법으로 정지, 항주 그리고 돛을 장착 했을 때와 하지 않았을 때로 나누어 측정한 자료를 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정지 시 돛의 유·무에 따른 평균진폭의 높이는 3.355°, 3.696° 및 5.635°, 5.727°, 항주 시는 3.139°, 3.891° 및 5.913°, 6.590°이었고 정지 시와 동일하게 돛을 설치하는 경우의 진폭이 낮았다.
2. 정지 및 항주 시 돛의 유·무에 따른 횡동요 각의 진폭은 3.447°, 3.618°, 4.073°, 4.190° 및 3.128°, 3.541°, 4.361°, 4.508°이므로 돛을 장착 했을 때가 유의진폭이 적었으며, 횡동요 감소

올은 정지 시는 4.726%, 2.792%이었고, 항주 중에는 11.663%, 3.282%였어 정지 보다 선속이 있는 경우가 감소율이 높은 것으로 나타났다.

3. 돛의 유·무에 따른 통계 및 스펙트럼 분석 결과에서도 평균주기는 1.968sec, 1.963sec 및 2.089sec, 2.051sec, 2.158sec, 2.142sec 및 2.421sec, 2.412sec이 나타나, 돛이 횡동요 각 진폭에 미치는 영향을 파악 할 수 있었으며, 돛을 장착하였을 때 횡동요 주기가 길어서 감소 효과가 있는 것으로 판단되었다.

이상의 요약에서 불규칙한 파도에 의해서 소형선박에 작용하는 횡동요 운동은 돛에 의해서 감소시킬 수 있을 것으로 생각되며, 그리고 항주 중 GPS에 의한 선속 변화에서도 돛을 장착 했을 때와 않았을 경우의 평균선속은 각각 5.46kt's, 5.38kt's로 나타나 돛을 장착 한 경우 0.08kt's정도 빨라서 양력과 항력을 조절하면 연료비 절감 효과가 있을 것으로 기대되고 채낚기어선에 물돛(sea anchor)과 병행함으로써 침로 유지에 많은 도움이 될 것으로 예상되어 이와 병행하는 추가적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

Rameswar Bhattaacharyya,(1978). Dynamics of marine vehicles, John Wiley & Sons, Inc. New york, 121~125, 305~307.
 Masuyama Y., Nakamura I., Tatano H., Takagi K., and Miyakawa T.,(1993). Sailing performance of ocean cruising yacht by full-scale sea test(Steady sailing performance and dynamic performance in waves), Journal of The

Society of Naval Architects of Japan 172, 349~364.
 Masuyama Y., Nakamura I., Tatano H., Sakaguchi K., and Kanekiyo T.,(1994). Sailing performance of ocean cruising yacht by full-scale sea test(Maneuverability and tacking performance), Journal of The Society of Naval Architects of Japan 174, 377~388.
 Moon, S.J J.A. Jeong, H.K. Yoon, G.J., Lee and S.P., Ann,(2005). An experimental study on mass driving anti-rolling system for ships, Journal of the Society of Naval Architects of Korea 42(6), 666~672.
 Morwood J.,(1953). Sailing Aerodynamics. F. J. Parsons Ltd, London, 28~39.
 Park, J.W.,(2000). Development of the new Chine hull -form for stability of coastal small fishing-vessel, Development of practical technology. Ministry of Maritime Affairs & Fisheries Report. 35~36.
 Kim, Y.B.,(2002). A study on rudder-roll stabilizer system design for ship, The society of Mechanical Engineers of Korea 26(2), 329~339.
 Woo, B.K., C.H. In and J.D. Koo,(1974). On the Performance of the anti rolling tank(2), Socirty of Naval Architects of Korea 11(1), 17~26
 Yamaguchi, S., A. Shinki and Y. Ogawara, (1993). On a Feedback control system of ship's rolling motion by an activated anti rolling tank, Journal of The Society of Naval Architects of Japan 126, 203~210.
 Yoshimura Y., Kuroda T., Kikumoto M., Igarashi Y.,(2003). Roll-damping control by sail-angle, Journal of The Society of Naval Architects of Japan Symposium Proceeding 2, 85~86.