

다축선의 프로펠러 레이싱 추정에 관한 연구

박종헌

부경대학교 조선해양시스템공학과

Propeller racing of ocean-going ships with multiple screw propellers

Jong-Heon PARK

*Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering,
Pukyong National University, Busan 608 – 737, Korea*

This paper represents a basic statistical examination on the navigability of ocean-going ship from the point of estimating the time lasting period when propeller racing occurred by using the basic probability theory and the statistics. The propeller racing is one of the most important seakeeping qualities in relation to the safety of the main engine and shafting system. The trend of the racing has been mainly investigated in order to estimate allowable maximum propeller diameter, operation of ocean-going ships, etc.. In those studies, the propeller racing generally and mainly means the situation (propeller exposed) in which the relative motion amplitude between ship hull and wave surface would exceed a depth of point in rotary disk propeller. Therefore, it seems that the magnitude of the amplitude and its exceeding frequency of propeller racing have been examined as a principal subject of study as usual. However, the time during which the amplitude exceeds the depth of point, that is, the propeller exposes in the air, must be also one of most important factor affecting the trend of propeller racing. Then, this paper proposes a new practical method for estimating the time lasting of exposed propeller related to propeller racing in rough-confused seas on the basis of the linear strip theory and the statistics. And, numerical examples of estimating the propeller racing probability are given for four wide ship forms. Finally the usefulness of the proposed method for predicting propeller racing based on the time lasting period is discussed.

Key words : Propeller racing, Propeller exposure, Exceeding time lasting, Multiple screw propellers, Long-term prediction

*Corresponding author: kajetani@dreamwiz.com, Tel: 82-51-620-6480, Fax: 82-51-620-6480

서 론

항천을 항해하는 선박이 격렬한 선체운동으로 프로펠러(propeller) 일부 또는 전부가 파면에 노출되어 프로펠러공전을 일으키는 현상을 프로펠러 레이싱(propeller racing)이라고 한다(Fukuda, 1969). 프로펠러 레이싱의 특성은 선박 설계의 측면에서 최대 프로펠러직경과 배의 가동률 추정 등으로 조사되어 왔지만, 최근에는 선체와 파면의 상대운동이 프로펠러 회전면에 대해 어떤 깊이를 초과하는 상태, 즉 프로펠러가 공기 중에 노출되는 정도로써 프로펠러 레이싱 발생을 판정하는 예가 일반적이다. 이와 관련된 연구로서 Park(2007)은 2축선의 프로펠러 레이싱 검토 시, 설계지침의 구축이 용이할 수 있도록 2축선의 스크루(screw) 프로펠러 폭방향 위치, 프로펠러직경 등을 연속적으로 변화시켜 수치계산을 하였다. 따라서 본 연구에서는 선체운동의 진폭이 어떤 크기를 초과하고 있는 시간(프로펠러가 해상의 공기 중에 노출되어 있는 지속시간)에 초점을 두고, 여러 선형의 선박이 항천항해를 한다고 가정하여 각 선형에 따른 프로펠러 레이싱 특성을 조사하였다.

이를 위해 문헌(Shinkai et al., 1997)에서 얻은 성과를 재검증하고 프로그램의 점검, 수정, 개량을 시도하였다. 또한 프로펠러 레이싱의 특성을 보다 명확히 하기 위해, 1축선 선형은 물론 2축선, 3축선 선형도 포함하여 통계적 추정법을 이용하여 고찰하고, 그 결과를 도출하였다.

재료 및 방법

규칙파 중의 응답함수 계산 및 단기불규칙파 중의 스펙트럼(spectrum) 계산

배는 파의 평균진행방향에 대하여 일정한 평균 만나는 각도 x 와 일정한 평균속도 V 를 유지하고, 상하동요 ζ , 종동요 θ , 좌우동요 η , 선수동요 ψ , 횡동요 ϕ 의 5자유도의 연성운동을 하면서 항주하는 것으로 가정한다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 공간고정좌표계 $O - XYZ$ (OX: 배의 진

행방향)와 $O - X_1Y_1Z_1$ (OX₁: 파의 진행방향) 그리고 선체고정좌표계 $o - xyz$ (ox: 배의 길이방향)를 정하였다. 배 중심의 전후방향위치 x_G 에서 선수방향으로 $(x - x_G)$ 의 거리의 전후방향위치 x 와 선체중심선에서 선측 폭방향으로 y 의 위치(x, y)에서 수직방향상대운동(변위) Z_r 은 $Z_r = \zeta - (x - x_G)\theta + y\phi - h$ (h : 파의 표면용기량)에 의하여 계산된다.

프로펠러 레이싱의 발생을 프로펠러 노출로써 판정할 때, 지금까지의 연구에서는 프로펠러의 끝단노출, 1/3직경노출, 축노출 등의 정의가 이용되어 왔다. 각 노출의 정의를 수식으로 나타내기 위해 Fig. 2와 같이 정하였다.

프로펠러직경을 D (프로펠러 반경 $R \times 2$), 정수면에서 프로펠러축 중심까지의 깊이를 I , 정수

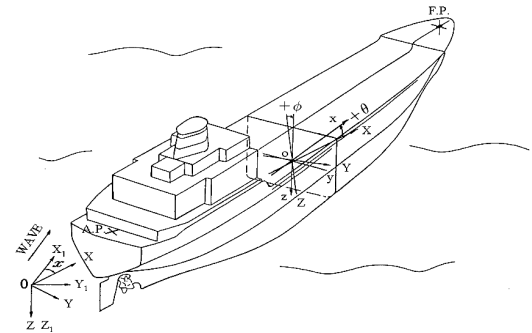


Fig. 1. Coordinate systems of ship's motions in regular waves.

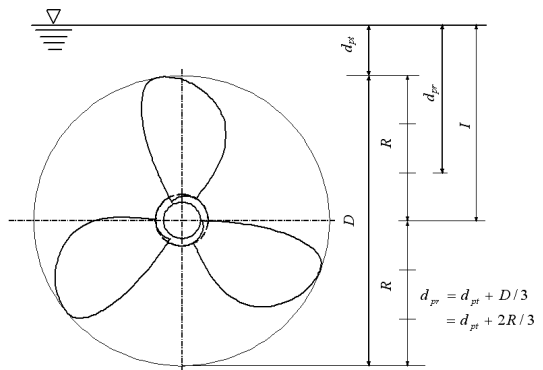


Fig. 2. Dimensions of propeller exposure for exceeding time lasting.

면에서 프로펠러 끝단까지 깊이를 d_{pi} 라고 하면, 정수면에서 프로펠러 직경의 1/3위치까지의 깊이는 $d_{pr} = d_{pi} + D/3 = d_{pi} + 2R/3$ 으로 얻을 수 있다. 2축선, 3축선 선형 등에서도 같은 방법으로, 끝단 노출에 따른 프로펠러 레이싱은 수직방향의 상대변위 Z_r 의 크기가 d_{pi} 를 초과하는 상태($Z_r > d_{pi}$)로써, 1/3 프로펠러직경노출에 따른 프로펠러 레이싱은 Z_r 의 크기가 d_{pr} 를 초과하는 상태($Z_r > d_{pr}$)로써, 축노출에 따른 프로펠러 레이싱은 Z_r 의 크기가 I 를 초과하는 상태($Z_r > I$)로써 판정한다.

이후부터는 프로펠러노출의 확률·통계적 특성을 기술할 때 모든 식을 간략화하기 위해서 $r = r(t) = Z_r(t)$ 로 나타내고, $r(t)$ 는 정상정규불규칙함수로 가정하며, 시간 t 에 관한 1계 미분을 $\dot{Z}_r = dZ_r(t)/dt = dr(t)/dt = \dot{r}$ 로 나타낸다.

단기불규칙과 중의 좌표계를 Fig. 3과 같이 정하면, 선체응답, 즉 수직방향상대변위 r , 시간 t 에 대한 1계 미분 \dot{r} 등의 분산 $\sigma^2(\sigma_r^2, \sigma_{\dot{r}}^2)$ 등은 선형중첩이론에 근거한 선체응답 스펙트럼 계산에 의하여 다음의 식 (1)로 구할 수 있다.

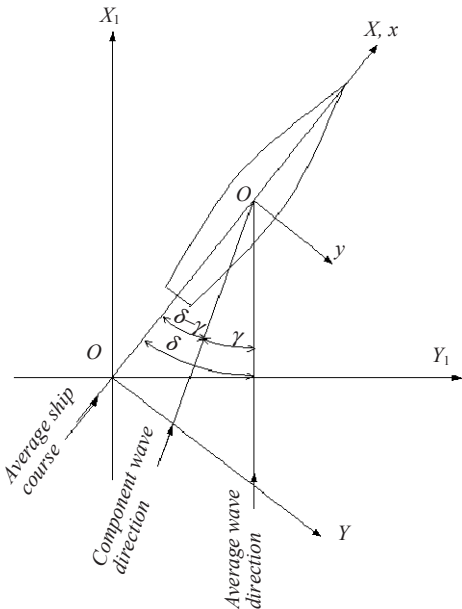


Fig. 3. Coordinate systems in irregular waves.

$$\sigma^2 = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^{\infty} [f(\omega)]^2 [A(\omega, \delta - \gamma)]^2 \cos^2 \gamma d\omega d\gamma \quad (1)$$

여기서, σ : standard deviation of a ship response in short crested irregular waves from the direction of δ (for example, σ_r or $\sigma_{\dot{r}}$)

$[A(\omega, \delta - \gamma)]$: response amplitude of a ship in regular waves from the direction of $(\delta - \gamma)$

δ : average heading angle against the average wave direction

γ : angle between the average wave direction and a component wave direction

그리고 파의 원주파수 확률밀도함수 $f(\omega)$ 는 다음의 식으로 구한다.

$$[f(\omega)]^2 = 0.11 H^2 \omega_r^{-1} (\omega/\omega_r)^{-5} \exp[-0.44(\omega/\omega_r)^{-4}]$$

여기서, H 는 유의파고(significant wave height), $\omega_r = 2\pi/T$, T 는 평균파주기이다.

프로펠러노출의 발생지속시간

프로펠러 레이싱의 발생지속시간이 앞에서 기술한 프로펠러직경 상 임의의 위치가 노출되고 있는 시간으로써 정의된다면, 수직방향의 상대변위 r 가 프로펠러직경 상 임의의 위치 d_{pr} 를 지속적으로 초과하고 있는 시간을 말한다. 이 현상을 수직방향상대변위 r 의 시각력 표시로 나타내면 Fig. 4의 개념도와 같다. 이 그림에서는 r 이 시각 t_1 에서 d_{pr} 를 초과하여 시각 t_2 까지 지속되고

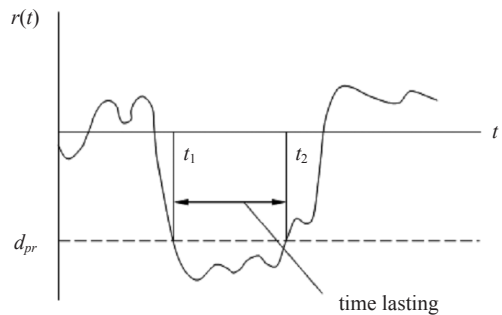


Fig. 4. The behavior of exceeding time lasting for relative motion to exceeding d_{pr} .

t_2 의 시각 이후 d_{pr} 을 초과하고 있지 않음을 나타내고 있으며, $t_1 \leq t < t_2$ 의 시간간격을 초과지속시간(time lasting)이라 부른다. 프로펠러노출의 확률·통계적 특성을 기술하기 위하여 필요한 정상불규칙함수 r 및 \dot{r} 에 관한 모든 식은 다음과 같다(Shinkai et al., 1997; Wan and Shinkai, 1996).

관측기간 D 내에서 레벨(Level) r 의 초과회수 기대치는 r 과 \dot{r} 의 결합확률밀도함수 $p(r, \dot{r} | t)$ 또는 $p(r, \dot{r})$ 을 이용하여 다음과 같은 식 (2)로 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{n}_r &= E[N_r] = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n f_+(r | t_j) dt_j \\ &= \int_0^D \int_0^\infty p(r, \dot{r} | t) \dot{r} dr dt = D \int_0^\infty p(r, \dot{r}) \dot{r} dr \quad (2) \end{aligned}$$

여기서, $f_+(r | t_j) dt_j$ 는 dt_j 동안 레벨 r 을 초과할 확률이다.

$$D = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^n dt_j = \int_0^D dt$$

관측기간 D 내에서 레벨 r 보다 초월할 때의 평균계초과지속시간은 r 의 확률밀도함수 $p(r | t)$ 또는 $p(r)$ 을 이용하여 다음의 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\bar{t}_r = \int_0^D \int_r^\infty p(r | t) dr dt = D \int_r^\infty p(r) dr \quad (3)$$

또한, 관측기간 D 내에서 평균단위(초과회수 1회당)의 초과지속시간은 식 (2)와 (3)를 이용하여 식 (4)로 추정할 수 있다.

$$\bar{t}_r = \frac{\bar{t}_r}{\bar{n}_r} = \frac{\int_r^\infty p(r) dr}{\int_0^\infty p(r, \dot{r}) \dot{r} dr} \quad (4)$$

여기서 정상불규칙함수 r 및 \dot{r} 에 관해서는 일반적으로 정규성을 부여하는 것이 가능하기 때문에 각각의 확률밀도함수, 결합확률밀도함수 등을 식 (4)에 대입하여 다음의 식 (5)를 얻는다.

$$\bar{t}_r = \pi \frac{\sigma_r}{\sigma_{\dot{r}}} \exp \left\{ -\frac{r^2}{2\sigma_{\dot{r}}^2} \right\} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{r}{\sqrt{2}\sigma_r} \right) \right] \quad (5)$$

여기서, $\operatorname{erf}(a)$ 은 다음의 의미를 가진다.

$$\operatorname{erf}(a) \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^a \exp(-x^2) dx$$

따라서 프로펠러노출의 발생지속시간을(발생 비율) \bar{rc} 은 [관측기간 D]에 대하여 [초과회수의 기대치 \bar{n}_r × 발생지속시간의 대표치 \bar{t}^*]의 비율로서 다음의 식 (6)으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \bar{rc} &= \bar{n}_r \times \left(\frac{\bar{t}^*}{D} \right) \times 100(\%) \\ &= \bar{t}^* \frac{\sigma_{\dot{r}}}{2\pi\sigma_r} \exp \left\{ -\frac{r^2}{2\sigma_{\dot{r}}^2} \right\} \times 100(\%) \quad (6) \end{aligned}$$

여기서, 식 (6)에서의 1회당 프로펠러노출의 발생지속시간의 대표치 \bar{t}^* 는 $\bar{t}^* = \bar{t}_r |_{r=dpt \text{ or } dpr}$ 을 이용하여 배와 파가 만나는 각도 δ , 평균파주기 T , 유의파고 H 등에 의해 변화하는 것으로 한다.

프로펠러노출의 장기예측

배가 어떤 해역을 장기간에 걸쳐 파의 평균진행방향에 대하여 항상 일정한 속도와 각도를 유지하며 항해한다고 가정하면, 그 해역의 장기파랑발현확률, $p(H, T)dHdT$ 을 이용하고, 프로펠러노출의 단기발생비율, \bar{rc} 에 근거하여 프로펠러노출의 장기발생비율(평균지속시간의 비율: 프로펠러 레이싱 발생률)은 다음의 식 (7)에 의하여 구할 수 있다.

$$\overline{RC} \equiv \overline{RC}(H) = \int_{T=0}^\infty \bar{rc}(T) p(T | H) dT \quad (7)$$

여기서, $p(T | H)$ 는 파고 H 가 주어졌을 때 파주기의 조건 확률밀도함수이다.

그리고 프로펠러노출의 장기누적발생비율은 다음의 식 (8)로 얻어진다.

$$Q_{\overline{RC}} = \int_{H=0}^\infty \overline{RC}(H) p(H) dH \quad (8)$$

여기서, $p(H)$ 는 파고의 주변 확률밀도함수이다.

결과 및 고찰

적용선형과 계산조건

배 길이 $L = 150\text{m}$ 인 5척의 Roll on/off 컨테이

Table 1. Principal particulars

Item	R016	R017	R018	R019	R020
$L_{pp}(m)$	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
$B(m)$	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
$d(m)$	6.667	6.667	6.667	6.667	6.667
$\nabla(m^3)$	17485.88	17523.00	17479.13	17469.00	17516.25
L_{pp}/B	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000	6.0000
B/d	3.7498	3.7498	3.7498	3.7498	3.7498
$lcb(\% L_{pp})$	-2.3320	-2.3370	-2.3700	-2.2900	-2.4020
C_b	0.6995	0.7008	0.6991	0.6987	0.7006
C_p	0.7139	0.7152	0.7135	0.7131	0.7150

Table 2. Propeller conditions

Item	R016	R017	R018	R019	R020
$I(m)$	4.1670	4.1670	4.1670	Center S & P 4.1670 4.3670	4.1670
$R(m)$	Center S & P 2.3500	2.3500	2.3500	2.3500 2.1250	2.3500
Dist. from C.L. $y(m)$		3.7500	7.5000	5.0000	7.5000
$d_{pi}(m)$	1.8170	1.8170	1.8170	Center S & P 1.8170 2.2420	1.8170
$d_{pr}(m)$	3.3837	3.3837	3.3837	Center S & P 3.3837 3.6587	3.3837

너선을 선정하여 프로펠러노출의 장기발생시간 비율, 장기누적발생시간비율 등을 계산하였다. 적용한 선형의 주요치수는 Table 1과 같다. 그리고 각 선형에 부착되어 있는 프로펠러에 관한 주요치수는 Table 2에 나타난 바와 같다. 각각의 선형은 문헌(SR200-9, 1981)에서 채용된 선형들 중에서 5척(R016, R017, R018, R019, R020)을 추출한 것으로 선형 R016은 통상의 1축 컨테이너선의 폭/홀수비를 크게 하고, 방형계수를 조금 증가시킨($C_b=0.6995$) 것이다. 이 선형 R016을 원형(1축 재래선형)으로 하여, 이 선형의 선체 전반부는 동일하게 하고, 선체 후반부를 변화시켜 2축 멀티선미 형상을 가진 R017, 3축 멀티선미 형상의 R018, 보싱(bossing)이 있는 3축 재래선형 R019, 보싱이 있는 3축 플랫폼(flat) 선미선형 R020으로 하였다.

선체에 대한 프로펠러의 위치는 프로펠러노출의 특성에 상당한 영향을 미치는 것으로 생각되지만, 본 논문에서는 간략화하기 위해, 선미수

선(A.P.)의 위치에서 프로펠러노출을 검토하였다. 그러나 선형 R017에 대해서는 실제 프로펠러 위치에서도 검토하여 결과를 나타내었다.

계산조건으로서, 파의 평균진행방향에 대한 배의 각도 $\delta=0, 22.5, 45, 67.5, 90, 112.5, 135, 157.5, 180^\circ$ ($\delta=0^\circ$: 추파상태) 및 모든 각도를 고려한 경우(All headings)의 10가지, 그리고 선속은 Froude number, $F_n=0.094, 0.134, 0.161, 0.174, 0.188, 0.194, 0.201, 0.228, 0.255, 0.281$ 의 10가지로 하였다.

장기예측계산에 이용한 장기의 파랑통계데이터는 Table 3에 나타난 바와 같이 복원수정(Shinkai and Wan, 1995)한 일반상선에 의한 관측데이터(GWS: global wave statistics)(Hogben et al., 1986)의 전체년도, 전 파도 방향의 데이터를 이용하였다. 본 논문에서의 계산결과는 북태평양해역에서 항로1(North Pacific 1)[GWS의 소해역 No. 29, 30, 19, 20, 14, 13으로 구성되었다.]에 바탕을 둔 것으로서 북미서안항로의 북방향로

Table 3. Scatter diagram for the North Pacific 1(Corrected GWS, Whole year & All directions)

Significant wave height(m)	Zero crossing period(sec)											Total
	< 4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13 >	
0-1	0.67	9.44	27.08	28.47	15.62	5.58	1.50	0.33	0.06	0.01	-	88.76
1-2	0.02	2.25	26.37	75.01	82.55	47.20	17.08	4.48	0.93	0.16	0.03	256.08
2-3	0.01	0.76	11.98	47.99	77.00	65.50	35.60	14.04	4.39	1.16	0.34	258.77
3-4	-	0.15	3.71	21.41	46.38	50.67	33.97	16.01	5.82	1.75	0.59	180.46
4-5	-	0.03	1.00	7.98	22.32	29.85	23.50	12.57	5.05	1.64	0.60	104.54
5-6	-	0.01	0.35	3.04	9.56	14.59	13.26	8.24	3.86	1.47	0.66	55.04
6-7	-	-	0.09	1.07	4.13	7.25	7.16	4.65	2.20	0.82	0.35	27.72
7-8	-	-	0.04	0.42	1.68	3.17	3.46	2.53	1.37	0.59	0.31	13.57
8-9	-	-	0.01	0.14	0.68	1.50	1.83	1.43	0.81	0.36	0.19	6.95
9-10	-	-	-	0.05	0.28	0.70	0.95	0.81	0.49	0.23	0.13	3.64
10-11	-	-	-	0.02	0.11	0.32	0.48	0.44	0.29	0.14	0.08	1.88
11-12	-	-	-	0.01	0.06	0.19	0.31	0.31	0.22	0.11	0.07	1.28
12-13	-	-	-	-	0.02	0.06	0.11	0.12	0.09	0.05	0.03	0.48
13-14	-	-	-	-	0.01	0.05	0.09	0.10	0.08	0.05	0.03	0.41
14	-	-	-	-	0.01	0.04	0.08	0.10	0.09	0.05	0.04	0.41
Total	0.70	12.64	70.63	185.61	260.41	226.67	139.38	66.16	25.75	8.59	3.45	1000.00

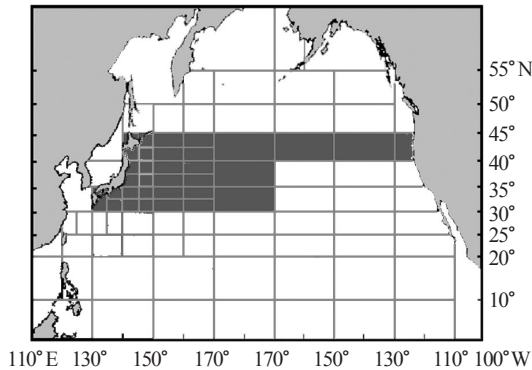


Fig. 5. Map of coasting area subdivision.

를 상정하여 설정한 해역(이후 해역1로 칭함)이다(Fig. 5).

수치계산 결과

앞에서 언급한 계산조건과 계산방법을 바탕으로 프로펠러 레이싱 특성을 계산하였으며, 그 주요한 수치계산 결과를 Fig. 6-12에 나타내었다. 선박의 재화상태는 만재상태(full load)이며, 파고는 유의파고로, 적용해역은 북태평양해역이다.

Fig. 6은 1축 선형 R016에 대한 프로펠러 1/3노출의 장기발생비율의 계산결과를, Fig. 7은 2축 선형 R017의 풍상현(weather side)과 풍하현

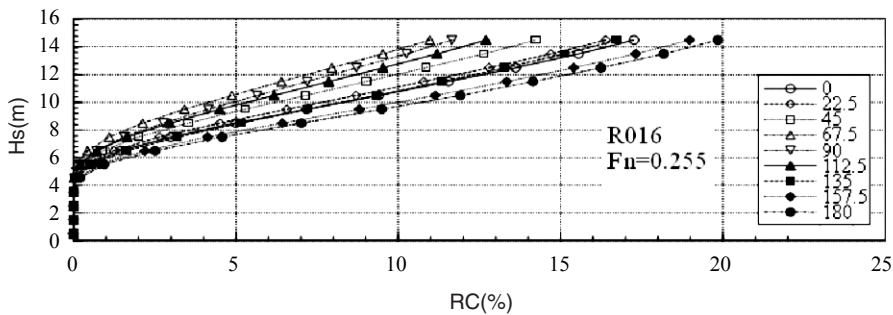


Fig. 6. Long-term exceeding lasting rate of propeller racing(R016).

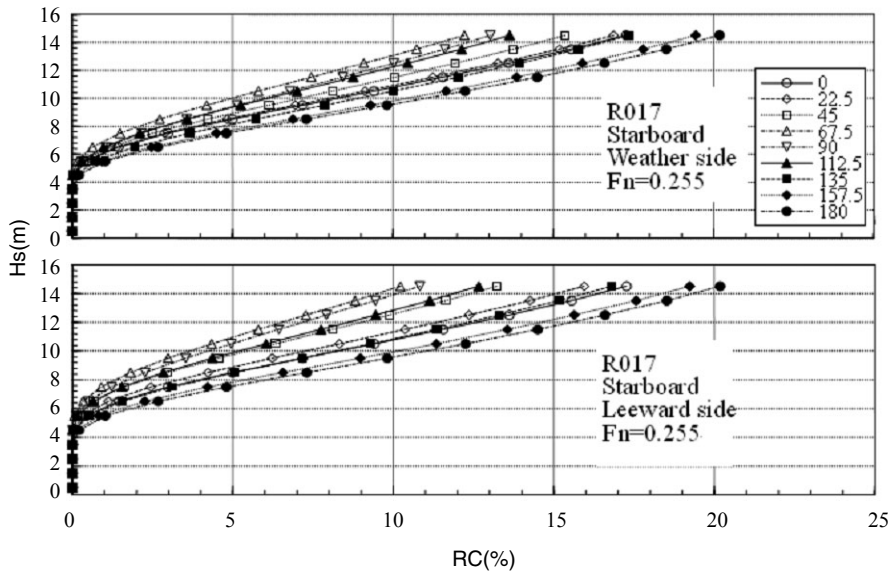


Fig. 7. Long-term exceeding lasting rate of propeller racing(R017 in case of starboard weather side and leeward side).

(leeward side)의 양현 프로펠러 위치에서의 프로펠러 1/3노출의 장기발생비율 계산결과이다. 이들 그림은 해역1, 선속 $F_n=0.255$ 에 대한 만재상태의 프로펠러노출 장기발생비율 $\overline{RC}(\%)$ 을 유의파고 H 의 함수로서 파와 만나는 각도를 매개변수로 하여 나타내었다. 유의파고 H 가 높아짐에 따라 노출의 장기발생비율이 증가하고 있고, 프로펠러발생비율이 유의한 값(0이 아닌 어떤 값)을 가지게 되는 유의파고의 한계크기가 잘 나타나 있다. 한계의 유의파고는 선형 R016에서 약 4.5m, 선형 R017에서는 약 4.2m이다. 한계의 유의파고보다 큰 경우의 프로펠러노출비율은 R016, R017의 풍하현, R017의 풍상현의 순서로 순차적으로 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 2축 선미선형 R017과 3축 멀티선미선형 R018에 대하여 우현 풍상현에서의 프로펠러 1/3노출 장기누적발생비율 $Q_{RC}(\%)$ 을 파와의 만나는 각도와 선속(F_n)을 매개변수로 하여 나타낸 것이다. 프로펠러노출 장기누적발생비율은 선형 R017의 경우, 향파(head seas)와 선수사파(bow seas)에서 큰 값을 나타내고, 추파(following

seas) 및 추사파(quartering seas)와 횡파(beam seas)에서는 작은 값을 가진다. 선형 R018에서는 횡동요 ϕ 의 영향으로 추사파와 횡파에서 큰 값을 가지고, 향파와 선수사파에서는 작은 값을 나타내고 있다. 향파, 선수사파, 횡파, 추사파, 추파의 어느 쪽도 선속이 증가함에 따라 대체적으로 장기누적발생비율의 크기가 감소함을 알 수 있고, 특히 선속 0.13 - 0.18에서 감소비율이 높았다. 이는 3축 멀티선미 형상을 가지면서 양현의 프로펠러축 위치가 선체중심선에서 선측 폭방향으로 다른 선형에 비해 멀리 떨어져 있기 때문에 저속일 때, 파도의 영향을 많이 받게 되고, 고속으로 넘어가는 시점에서 다소 급격히 변화하는 것이 그 원인으로 보인다.

선형 R017의 경우, 선체중심선에서 선측 폭방향으로의 프로펠러축 위치 y 의 영향에 대하여 검토한 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 이 그림에서는 풍상현과 풍하현의 프로펠러 1/3노출 장기누적발생비율의 값이 y 를 매개변수로 하여 나타나 있다. $y=3.75m$ 가 실제 값이고, $y=5.0, 6.25, 7.5m$ 는 가상의 값이다. $y=7.5m$ 는 선형 R018의

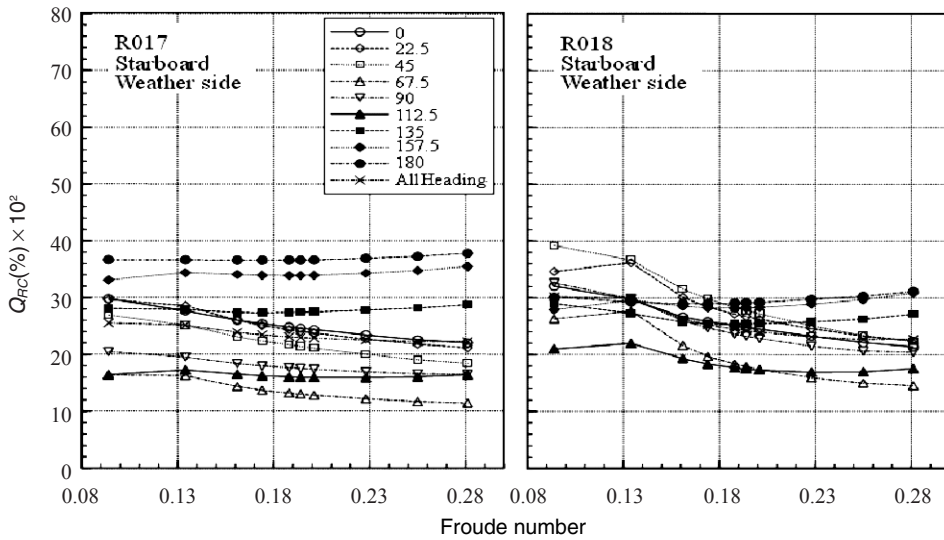


Fig. 8. Long-term accumulate time rate of propeller racing according to the encounter wave angle and ship's speed.

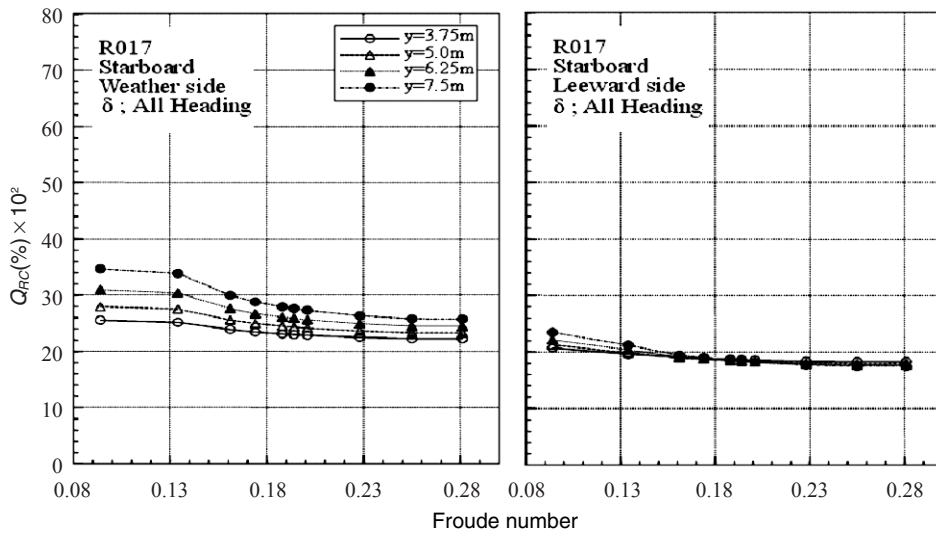


Fig. 9. Long-term accumulate time rate of propeller racing according to the distance of y from center.

경우와 동일한 값을 선정하였다. 장기누적발생 비율은 선체중심선에서 선측 폭방향으로의 프로펠러위치 y 가 멀어질수록 증가하고 있으며, 선속이 느려질수록 풍상현인 경우에 이러한 경향이 두드러짐을 알 수 있다. 이는 저속 시에, 풍상현이 파도의 영향을 직접적으로 많이 받게 되고, 프로펠러 끝단노출이 아닌 1/3노출의 결과가

기 때문으로 보인다.

Fig. 10은 보싱이 있는 3축 재래선형 R019에 대하여 우현 풍상현과 풍하현의 양현 프로펠러 위치와 중심에서의 프로펠러 1/3노출 장기누적 발생비율 결과를 나타낸 것이다. 선형 R019는 보싱이 있는 3축 재래선형이므로 선미형상이 3축 멀티선인 R018과 조금 다르고, 또한 Table 2

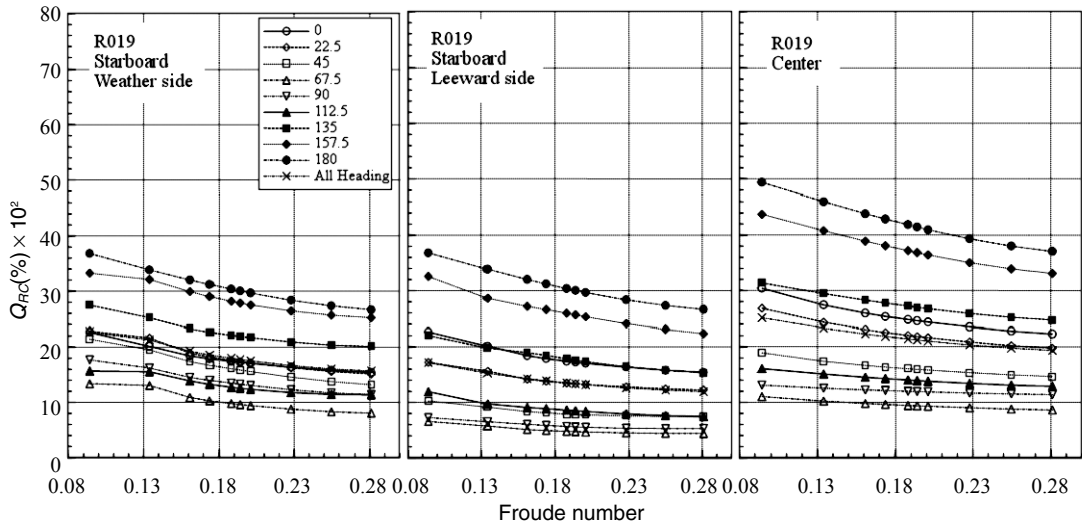


Fig. 10. Long-term accumulate time rate of propeller racing according to the direction of wind.

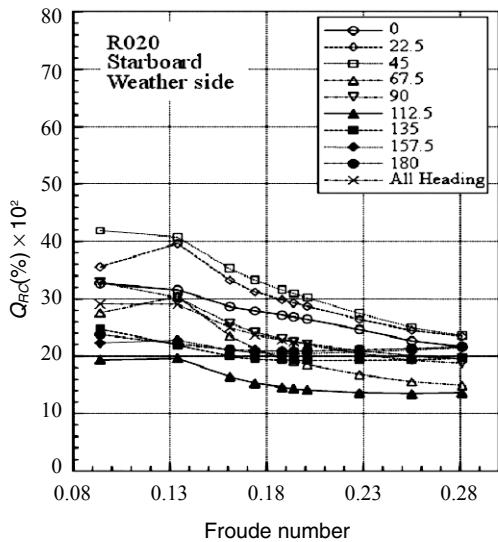


Fig. 11. Long-term accumulate time rate of propeller racing(R020 at starboard weather side).

에 나타난 바와 같이, 중심의 프로펠러직경은 선형 R018과 같은 반면에, 양현의 것은 작기 때문에 정수면에서 프로펠러직경의 1/3위치까지의 깊이를 나타내는 d_{pr} 이 상대적으로 증가하였고, 선체중심선에서 선측 폭방향으로의 프로펠러축 위치 y 가 7.5에서 5.0m로 작아졌다. 이러한 영향

으로 프로펠러노출 장기누적발생비율이 선형 R018의 경우와 달리 항파와 선수사파에서 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. Fig. 11은 보상이 있는 3축 플랫폼 선미선형 R020에 대하여 우현 프로펠러의 풍상현에서의 프로펠러 1/3노출 장기누적발생비율 결과를 나타낸 것이다. 선형 R020은 선체중심선에서 선측 폭방향으로의 프로펠러축 위치 y 와 프로펠러의 주요치수가 선형 R018과 동일하지만 선미형상이 크게 다르기 때문에, 선형 R018의 결과와 비교해 보면 선속의 전 범위에 걸쳐 추파 및 추사파와 횡파에서 대체적으로 큰 값을 나타냄을 알 수 있다.

Fig. 12는 선형 R017에 대하여 프로펠러의 선체에 대한 위치관계를 검토해보기 위하여 선미수선(A.P.) 위치와 실제 위치에서의 프로펠러 1/3노출 장기누적발생비율을 각각 구하고, 실제 위치에서의 값을 분모로, 선미수선에서의 값을 분자로 하여 그 비를 나타낸 것이다. 이 그림에는 풍상현과 풍하현의 우현 프로펠러 위치에서의 프로펠러 1/3노출 장기누적발생비율이 실제 위치에 비하여 선미수선(A.P.) 위치에서의 경우가 선속의 전 범위에서 조금씩 커지만 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

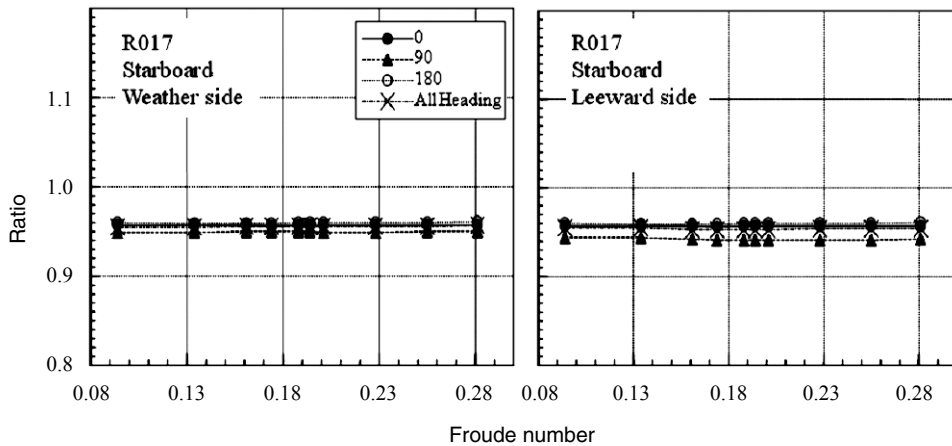


Fig. 12. The ratio of long-term accumulate time rate of propeller racing at a assumed location (A.P.) and a practical location.

결론

다축선의 프로펠러 레이싱을 프로펠러공전 발생지속시간 추정의 관점에서 통계적으로 예측하는 방법을 연구하였다. 또한 이 통계적 예측법의 프로그램을 검증, 수정, 개량을 시도하였다. 배 길이 $L=150\text{m}$ 인 5척의 Roll on/off 컨테이너선, 즉 1축 재래선형, 2축 멀티선미 형상을 가지는 선형, 3축 멀티선미 형상의 선형, 보싱이 있는 3축 재래선형, 보싱이 있는 3축 플랫폼 선미선형을 선정하여 프로펠러노출의 장기발생시간비율, 장기누적발생시간비율 등을 계산하였다. 이 계산 결과를 통하여 프로펠러 레이싱의 특성을 명확히 알 수 있었고, 5자유도 선체운동 시 프로펠러노출에 대한 타당한 추정치를 얻을 수 있음을 확인하였다. 그리고 프로펠러노출을 검토할 때, 간략화하기 위해 선체에 대한 프로펠러의 위치를 선미수선에 있는 것으로 가정하였는데 실제 위치에서의 계산결과와 비교해 본 결과, 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 다축선의 실용화를 위해 프로펠러 레이싱의 관점에서 프로펠러를 포함한 기관의 배치를 충분히 검토하는 것이 중요하다. 본 논문에서 밝힌 추정법을 선속저하의 문제와 결부시켜 적용해 보는 것 등의 연구가 앞으로 계속 이루어져야 할 것으로 생각한다.

참고문헌

- Fukuda, J., 1969. Statistical prediction of ship responses. Symposium on seakeeping qualities, SNAJ, 99 – 119.
- Hogben, N., L.F. Dacunha and G.F. Olliver, 1986. Global wave statistics, British maritime technology, Unwin brothers limited, London, 137 – 418.
- Park, J.H., 2007. Propeller racing of ocean-going ships with twin screw propellers. Journal of the Korean Society for Power System Engineering, 11(1), 98 – 106.
- Shinkai, A. and S. Wan, 1995. The statistical characteristics of wave data and long-term predictions of the ship response. Transactions of the west-Japan society of naval architects, 89, 223 – 231.
- Shinkai, A., S. Wan and Y. Konishi, 1997. Propeller racing of ocean-going ships. Journal of the society of naval architects, 182, 435 – 444.
- SR200-9, 1981. Research on the development of wide ship forms. The report of the shipbuilding research association of Japan, 95.
- Wan, S. and A. Shinkai, 1996. On the prediction of deck wetness of ocean-going ships. JSNAJ, 180.

2007년 5월 10일 접수
2007년 6월 27일 수리