

Rolling Motion Spectrum 에 의한 해난 발생의 원인 분석에 관한 연구

윤 점 동* · 이 동 섭**

A Study about Analysis of Cause of several Capsized Sea Accidents by Rolling Motion Spectrum

Jeom-Dong Yoon · Dong-Sup Lee

目 次

Abstract	
1. 서 론	3.1 Irregualr sea에서의 Rolling motion
2. 이 론	3.2 계산에 사용된 선박
2.1 Rolling 에 대한 운동방정식	4. 결 론
2.2 Motion spectrum에 의한 통계적 처리	참 고 문 헌
3. 수 치 계 산	

Abstract

Marine casualties in the high sea are mainly classified into the breakage of hull and capsized, of which the latter occurs frequently to a small craft and container vessels by extreme rolling.

The aim of this study is to develop shiphandling techniques for the prevention of ship's large rolling by way of evaluating dangerous degree of rolling in heavy weather.

In this study, rolling motion is analyzed by using statistical method as follow :

(1) 8 sample ships is presented for calculation.

(2) Analized sea state are Beaufort scale 7 and 10(wind velocity 30kts and 50kts

* 正會員, 韓國海洋大學

** 正會員, 韓國海技研修院

respectively) and significant wave height is put as 5.2m and 11.2m.

(3) The formula recommended by International Towing Tank Conference (ITTC) is used to calculate the wave spectrum.

The results of this study are as follow :

(1) Most of the vessels with beam of 20 meters or less was found to be capsized in the waves abeam under the sea condition of Beaufort scale 11(50kts) and imminent danger under the sea condition of Beaufort scale 7(30kts).

(2) For the vessels range 20m to 30m was found safe under the sea condition of Beaufort scale 7(30kts) and imminent danger under the sea condition of Beaufort scale 11(50kts).

(3) It is proved that any vessel could be capsized by heavy rolling regardless of vessel's size whenever the motion is synchronized with waves abeam.

This study concludes that the navigator, especially at night, must anticipate the exact wave direction, referring to the weather report and coastline, not to lay the vessel in the serial wave abeam.

<Nomenclature>

a	: Virtual mass moment of inertia	K_{xx}	: Radius of gyration for rolling
B	: Breadth	K'_{xx}	: Added radius of gyration for rolling
B_n	: Strip mass	K''_{xx}	: Virtual radius of gyration for rolling
b	: Damping moment coefficient	L_w	: Wave length
c	: Restoring moment coefficient	M_o	: Exciting moment
ϵ_r	: Phase angle	m_o	: Area
GM	: Metacentric height	$S\zeta(w_w)$: Wave spectrum
g	: Gravity acceleration	$S\zeta(w_r)$: Encountering wave spectrum
$(h_w)_{av}$: Average wave height	$S_r(w_r)$: Rolling motion amplitude spectrum
$(h)_{1/3}$: Significant wave height	T	: Rolling period
$(h_w)_{10\%}$: Average of 10% wave height	T_w	: Wave period
$(h_w)_{1\%}$: Average of 1% wave height	t	: Time
I_{xx}	: Moment of inertia along x-axis	V	: Ship velocity
K	: Nondimensional damping coefficient		
k	: Wave number		

- ρ : Density ($kg \cdot sec^2/m^4$)
- ω_e : Encountering wave frequency
- ω_w : Natural wave frequency
- ω_φ : Rolling frequency
- α_m : Maximum wave slope
- α'_m : Effective wave slope
- Δ : Displacement
- ζ_a : Wave amplitude
- A : Tuning factor
- μ : Encountering angle to wave propagation
- μ_a : Magnification factor for rolling
- ν : Decaying factor
- φ : Angular displacement of rolling
- φ_a : Rolling amplitude
- φ_{st} : Static rolling amplitude
- $(\varphi)_{av}$: Average rolling angle
- $(\varphi)_{1/3}$: Significant rolling angle
- $(\varphi)_{1/10}$: 1/10 rolling angle
- $(\varphi)_{1/100}$: 1/100 rolling angle

1. 서 론

선박이 대양을 항해하는데 있어서 급변하는 해상 상태와 선박의 조종성능에 따라 해상위험에 직면하게 되는데 이것은 소형선 및 Container선에서 자주 일어나는 선체전복사고와 산적화물선이나 원유선과 같은 대형선에서 일어나는 선체파괴사고로 크게 나눌 수가 있다.

본 연구의 목적은 선박의 정횡방향 또는 거의 정횡방향에서 파랑을 받을때 일으킬 수 있는 대각도 Rolling을 방지하는 조선편을 개발하는데 목적이 있다.

Rolling운동은 Heaving 및 Pitching과 상관되지만, 여기서는 Heaving과 Pitching은 논하지 않고 Rolling에 국한시키며 그것도

거의 정횡방향 (상대방위(250-270도))에서 오는 파랑에 대한 Rolling운동만 다루기로 한다.

그 동안 Rolling운동에 대한 검토는 선박의 설계를 위해서는 있었어도 이와 관련한 대양항해시 안전조건에 대한 것과 관련된 검토는 거의 없었다.

그러나 최근 Container선박의 전복 조난 사고가 빈번히 발생하여 본 연구의 필요성이 절실하게 되었다. (예 : 한진인천호, 웨스턴호프호 등의 조난사고)

Rolling운동은 Regular sea에서의 Rolling과 Irregular sea에서의 그것으로 구별하여 취급할 수 있다.

본 연구에서는 Irregular sea에서 선박의 Rolling운동을 연구하였으며, 그 방법으로 Strip method에 의하여 8척의 Sample선박의 Rolling damping을 구하여 Motion spectrum에 의하여 처리하는 방법을 택하였다.

즉, 대양에서의 황천의 상태를 Wave spectrum에 의하여 처리하고 여기에 Response Amplitude Operator(R. A. O)를 적용하는 방법으로 선박의 Rolling motion을 통계적으로 파악하는 방법을 취하였고, Rolling운동의 크기는 선박의 크기와 이에 따르는 GM값의 크기, 그리고 속력별로 계산하는 방법을 취하였다.

2. 이 론

2-1. Rolling에 대한 운동방정식

Rolling에 대한 운동방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$a \frac{d^2\varphi}{dt^2} + b \frac{d\varphi}{dt} + c\varphi = M_o \cos \omega_e t \dots\dots\dots (1)$$

(1) Added mass moment of inertia

$$\begin{aligned} a &= I_{xx} + \delta I_{xx} = \Delta/g \cdot K^2_{xx} + \delta I_{xx} \\ &= \frac{\Delta}{g} K^2_{xx} + \frac{\delta \Delta}{g} K^2_{xx} = \left(\frac{\Delta + \delta \Delta}{g} \right) K^2_{xx} \\ &= \frac{\Delta'}{g} K^2_{xx} \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

여기에서 부가질량관성 moment는 실험
치로써 실제 선박의 질량관성 moment의 10
%에서 20% 정도이다. 즉,

$$\Delta' = \Delta + \delta\Delta (\delta\Delta \text{는 } \Delta \text{의 약 } 10\sim 20\%)$$

$$a = I_{xx} + \delta I_{xx} = \Delta/g \cdot K'^2_{xx} + \Delta/g \cdot K''^2_{xx}$$

$$= \Delta/g \cdot (K'^2_{xx} + K''^2_{xx}) = \Delta/g \cdot K''^2_{xx} \dots (3)$$

단, $0.33B \leq K''_{xx} \leq 0.45B$

(2) Damping moment coefficient

Rolling운동중 선박에 작용하는 Damping
force의 요인은

- ①발생과 ②선박에 대한 물의 마찰저항
- ③Bilge Keels, Skeg 또는 다른 부가물 ④
- 공기저항 ⑤횡요시 발생열에 의한 에너지
- 손실 ⑥표면장력등에 의한 것이다.

Rolling damping coefficient b는 다음과
같이 구해질 수 있다.

선체중방향 단위길이에 대한 Damping c
oefficient는

$$b_n = \frac{\rho g^2}{\omega_e^3} \left(\frac{Bn}{2} \right)^2 \frac{1}{A_\varphi^2} \dots (4)$$

$$\frac{1}{A_\varphi^2} = \frac{\zeta_a}{\varphi_a (Bn/2)} = d\varphi \left(\frac{\omega_e^2 Bn}{2g} \right)^2$$

(단, $\frac{\omega_e^2 Bn}{2g} \leq 0.3$) \dots (5)

$$b = \int b_n d\xi \text{이다.} \dots (6)$$

(3) Restoring moment coefficient

Rolling운동중 선체복원력은

$$C_\varphi = \Delta GZ \simeq GM_T \sin\varphi \simeq \Delta GM_T$$

$$= \rho g \Delta GM_T \varphi = \rho g \Delta GM_T \dots (7)$$

로 나타낸다.

(4) Exiting Moment for rolling

선체길이에 비해 큰 파장의 파를 가정할
때 파에 의한 moment는 다음식으로 표시된
다.

$$\tan \varphi = z/y, \quad z = y \cdot \text{slope}$$

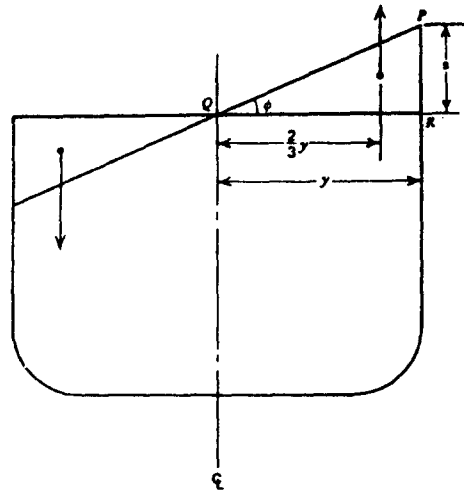


그림1 Rolling exciting moment

$$\Delta PQR = y \cdot y \cdot \text{slope} \cdot 1/2 \dots (8)$$

$$\Delta M\varphi = 2\rho g (\Delta PQR) 2/3y = 2\rho g (1/2 y^2 \tan\varphi dx)$$

$$2/3y = 2/3 y^3 \cdot \text{slope} \cdot \rho g \cdot dx$$

$$= 2/3 \rho g y^3 \partial\zeta/\partial y \cdot dx \dots (9)$$

$$\zeta = \zeta_a \cos(k_x \cos\mu - \omega_e t) \dots (10)$$

$$\partial\zeta/\partial y = \text{wave slope} = \alpha' m \cos(k_x \cos\mu)$$

$$= k \zeta_a \sin\mu \cos(k_x \cos\mu) \dots (11)$$

$$M_\varphi = [2/3 \cdot \rho g \cdot k \cdot \zeta_a \sin\mu \int_{-L/2}^{L/2} \cos(k_x \cos\mu) y^3 dx] \sin\omega_e t$$

$$= M_o \sin(\omega_e t + \epsilon_1) \text{ (단, } \epsilon_1 = -\pi/2) \dots (12)$$

$$\sin\theta = \cos(\theta - \pi/2) \quad M_o = 2/3 \cdot \rho g \cdot k \cdot \zeta_a$$

$$\sin\mu^2 \int_{-L/2}^{L/2} \cos(k_x \cos\mu) y^3 dx \dots (13)$$

(5) Magnification factor

tuning factor $\Lambda = \omega_e/\omega_\varphi$

$$\omega_\varphi = \sqrt{\frac{g \cdot GM}{K''_{xx}}} \dots (14)$$

nondimensional damping coefficient $K = v/\omega_\varphi$

여기서 $0.035 \leq K \leq 0.10, \quad v = \frac{\delta \cdot g}{2\Delta K''_{xx}} \dots (15)$

Amplitude for rolling 진폭은

$$\varphi_a = \alpha' m / \sqrt{(1 - \Lambda^2)^2 + 4K^2 \Lambda^2} \dots (16)$$

Phase angle $\tan \epsilon_2 = 2K\Lambda / 1 - \Lambda^2$

Magnification factor μ_φ 는

$$\mu_\varphi = \frac{\varphi_a}{\varphi_{st}} = \frac{\varphi_a}{\alpha' m} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \Lambda^2)^2 + 4K^2 \Lambda^2}} \quad (17)$$

(6) Ratio of rolling amplitude to wave amplitude (φ_a/ζ_a)

$$\frac{\varphi_a}{\zeta_a} = \frac{\varphi_a}{\alpha'm} \cdot \alpha'm \cdot \frac{1}{\zeta_a} = \mu_\varphi \frac{2\pi\zeta_a}{L_w} \sin \mu \frac{1}{\zeta_a} \quad (18)$$

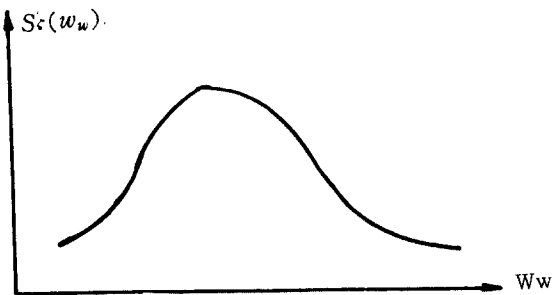
$$\alpha'm = \alpha m_i \cdot \sin \mu, \quad \varphi_a/\alpha'm = \mu_\varphi$$

$$\begin{aligned} \frac{\varphi_a}{\zeta_a} &= \mu_\varphi \frac{2\pi}{L_w} \sin \mu = \mu_\varphi \frac{\omega_w^2}{g} \sin \mu \\ &= \mu_\varphi \cdot \frac{\omega_w^2}{g} 57.3 \sin \mu \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

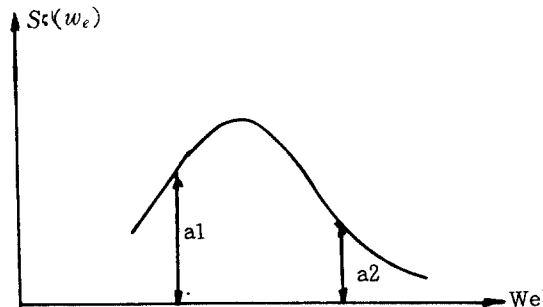
$$(L_w = 2\pi g/\omega_w^2, \quad 1 \text{ rad} = 57.3)$$

2-2. Motion spectrum에 의한 통계적 처리

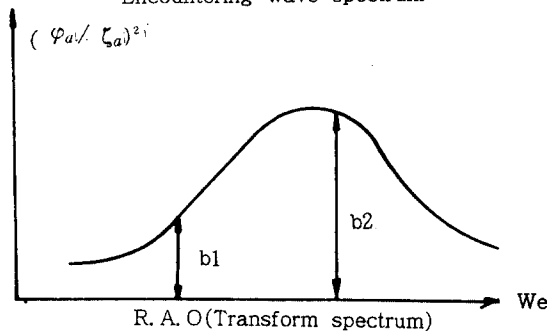
(1) Spectral density



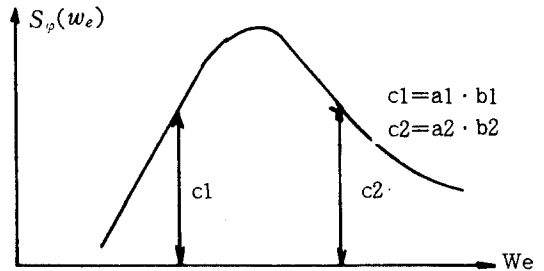
Wave spectrum



Encountering wave spectrum



R. A. O (Transform spectrum)



(Motion amplitude spectrum)

그림2 Motion spectrum.

ω_w 로 부터 wave spectrum $S_\zeta(\omega_w)$ 를 I TTC기준식을 적용하여 만들고, ω_e 의 범위를 확인한다.

ω_w 에 대응하는 ω_e 는 다음 식으로 계산된다.

$$\omega_e = \omega_w - \omega_w^2 \cdot V \cdot \cos \mu / g \dots\dots\dots (20)$$

계산된 ω_e 의 범위 내에서 면적계산을 위한 simpson's rule을 적용시키기 위하여 다시 ω_w 를 일정간격의 ω_e 에 대응시켜 계산하고, $S_\zeta(\omega_w)$ 를 산출하고 Encountering wave spectrum $S_\zeta(\omega_e)$ 를 계산한다.

여기에 대한 식은 다음과 같다.

$$\omega_w = \frac{g}{2V \cdot \cos \mu} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{4V \cdot \cos \mu \cdot \omega_e}{g}} \right) \dots (21)$$

$$S_\zeta^*(\omega_e) = \frac{S_\zeta^*(\omega_w)}{\sqrt{1 - 4V \cdot \cos \mu \cdot \omega_e / g}} \dots\dots\dots (22)$$

그런데, 여기서 spectrum을 계산하다보면 (-)의 값이 산출되는 경우가 있는데 Energy spectrum은 (+)값을 가지므로 (-) spectrum이 나오는 ω_w 의 값은 고려하지 않아도 된다.

(2) R. A. O(Response Amplitude Operator) 적용 및 횡요운동계산 $(\varphi_a/\zeta_a)^2$

횡요운동의 통계적 처리방법으로 R. A. O를 적용시킨다.

횡요운동 spectrum은 다음 식으로 구한다.

$$S_\varphi(\omega_e) = S_\zeta^*(\omega_e) \times RAO \dots\dots\dots (23)$$

여기서 Simpson's rule을 적용시켜 면적

(m_0)을 계산하고 Root Mean Square(RMS : m_0)를 구한다.

평균 횡요각은

$$(\varphi)_{av} = 1.253 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(24)$$

1/3 횡요각은

$$(\varphi)_{1/3} = 2.000 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(25)$$

1/10 횡요각은

$$(\varphi)_{1/10} = 2.545 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(26)$$

1/100 횡요각은

$$(\varphi)_{1/100} = 3.336 \sqrt{m_0} \dots\dots\dots(27)$$

로 계산한다.

3. 수치 계산

3-1. Irregular sea에서의 Rolling motion
해면상태파악은 ITTC spectrum공식을 사용하였으며 계산에 적용한 해면 상태는 Beaufort scale 7과 10으로 각각의 풍속(Wind speed)을 30Knots, 50Knots 로 하고 유의파고는 각각 17.2ft(5.2m), 36.6ft(11.

2m)로 하였다.

3-2. 계산에 사용된 선박

수치계산용으로 사용된 선박들은 표1과 같으며 부가관성능률은 20%, 선체중축에 대한 회전반경(Radius of gyration for rolling)은 선폭의 0.36으로 계산하였다. 또한, GM은 선폭에 대해 5%, 7%, 8%의 3가지 경우를 상정하였다.

Damping coefficient b 는

$$b = \int b_n d\xi \left(단, b_n = \frac{\rho \beta_n^5 d \phi^2 \omega_e^2}{64g^2} \right)$$

의 식을 사용하였고

9척의 Sample선박에 대하여 Strip method를 사용하여 모든 계산은 전산처리 하였고 그결과는 그림 3-1, 3-2, 3-3, 3-4 와 같고 동조 Rolling에 관한 결과는 표 2-1, 2-2, 3과 같다. 횡요각 계산에서 Correction Factor(C.F)는 ITTC권고식을 사용 하였으므로 1.0으로 간주하였다.

표 1 계산에 사용된 선박

선명 \ 요목	TYPE	LBP(M)	B (M)	DRAFT(M)	DISPLACEMENT (Tons)	Cb
H - Y	TANKER	58.0	10.0	4.029	1734	0.7100
J - K	CONTAINER	62.0	15.3	4.800	3928	0.8000
J - R	LOG/BULK	120.0	19.6	8.252	15250	0.7450
J - M	BULK	150.0	24.6	9.932	29684	0.7500
J - C	CONTAINER	198.0	32.2	12.000	45412	0.5566
B - D	BULK	241.0	40.8	15.000	124500	0.8307
B - O	ORE/BULK	315.0	53.0	19.200	274800	0.8380
H - K	TANKER	330.0	50.0	20.000	300000	0.8400

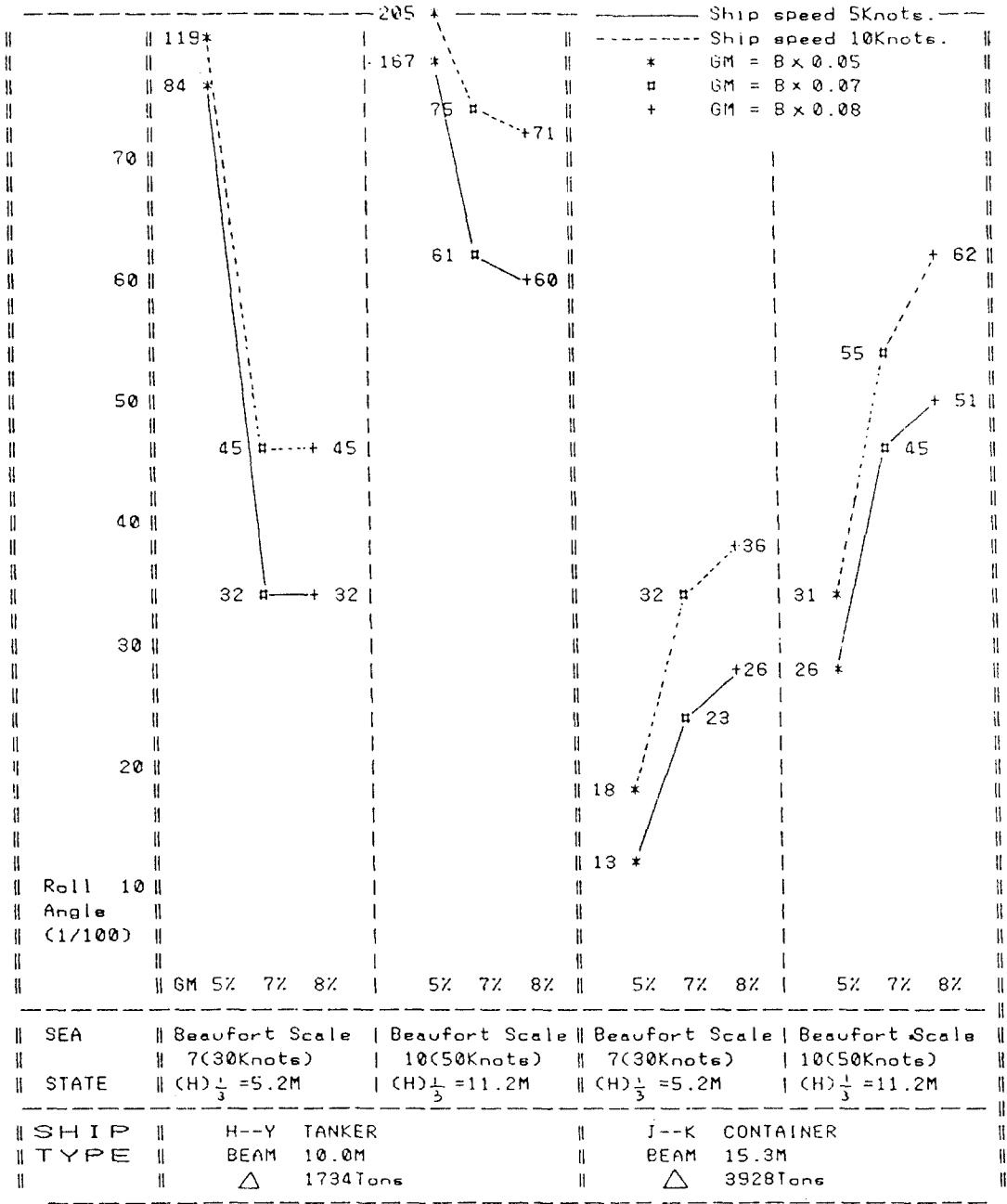


그림 3-1

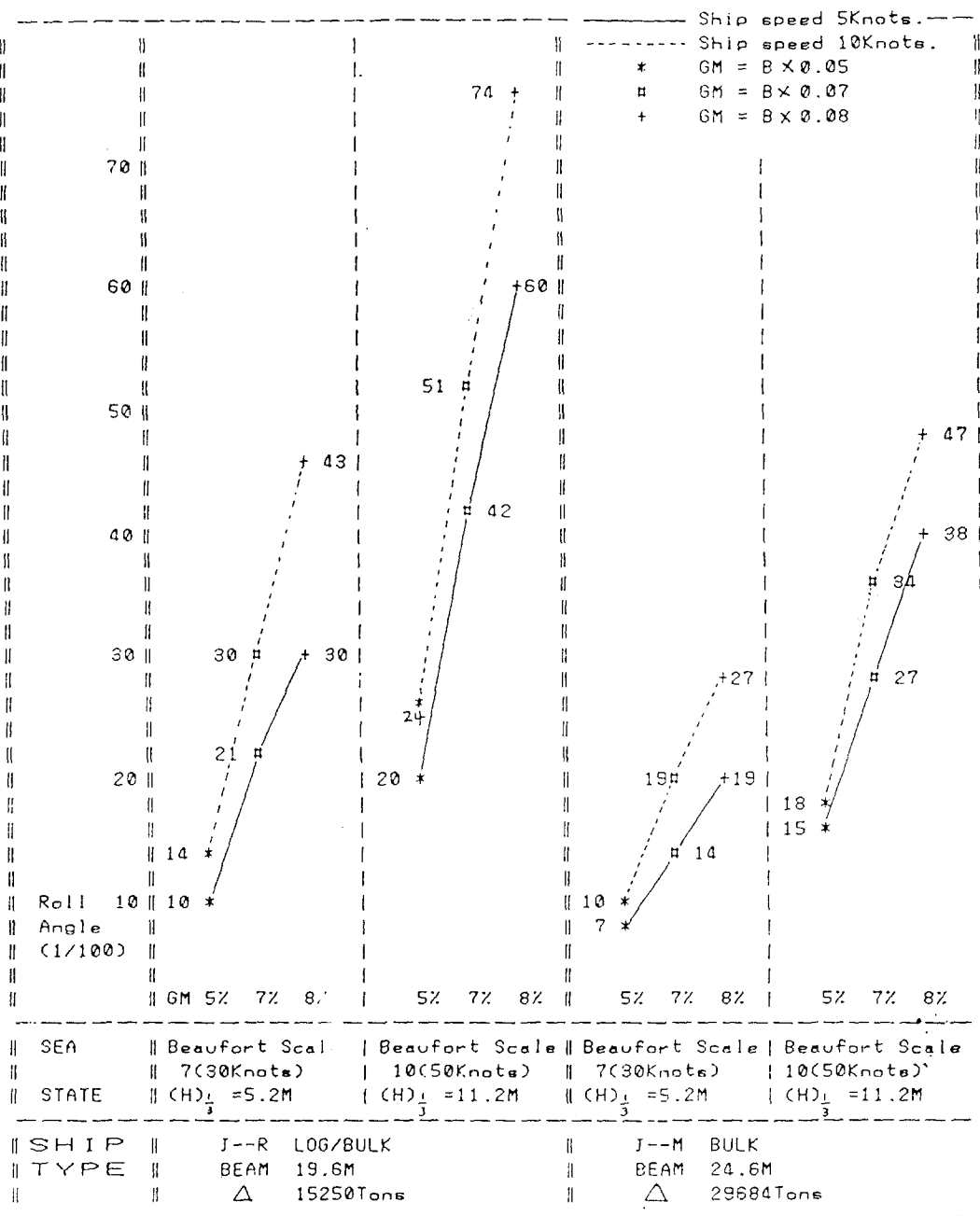


그림 3-2

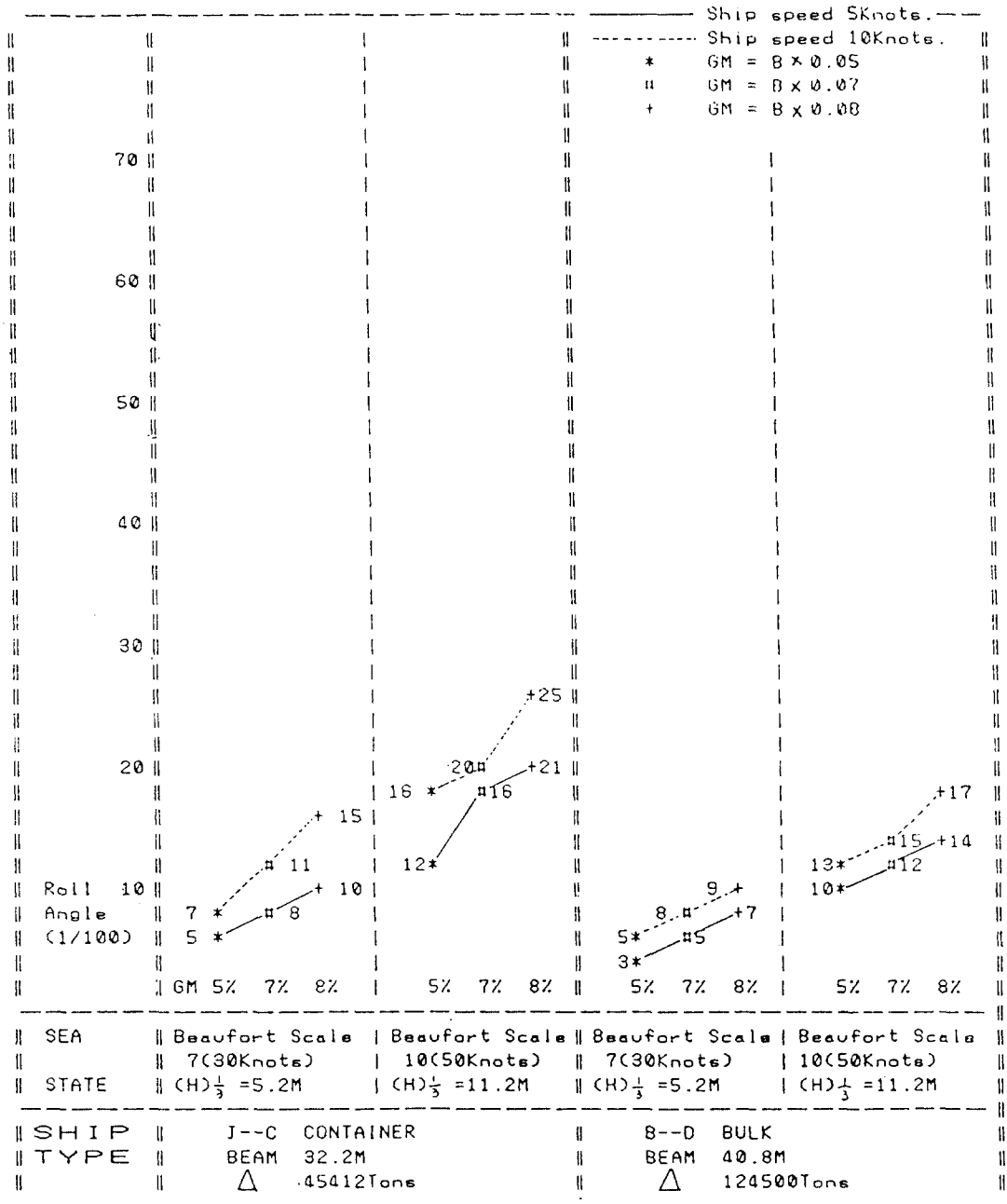


그림 3-3

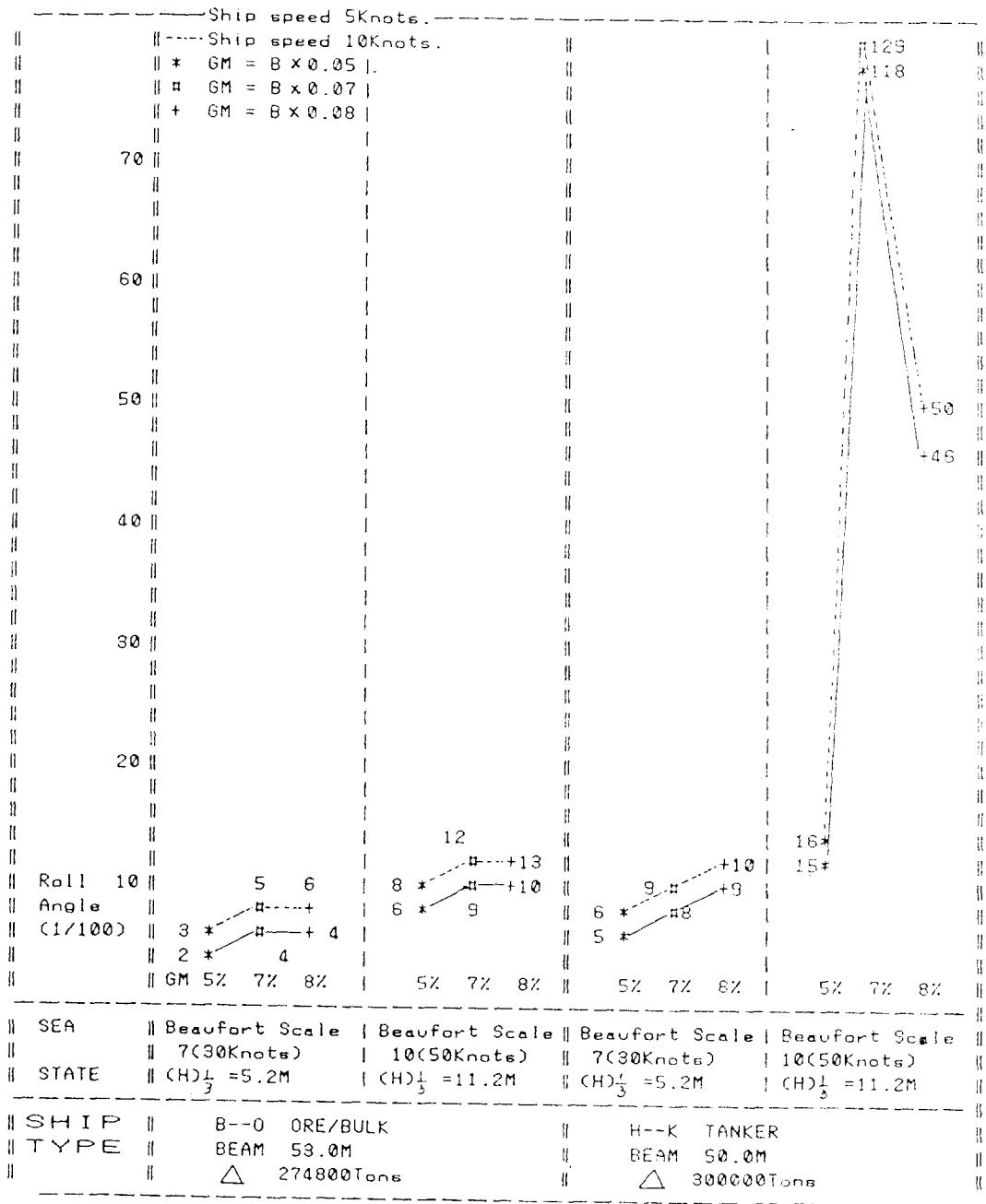


그림 3-4

표 2-1 동조 현상으로 인한 대각도 횡요의 예

Ship Name =	<h-k>
The result of Ship Breadth =	50.000 m
Displacement =	300000.0 ton
GM =	3.50 m
Radius of gyration for Roilling =	18.0 m

Significant wave height at that sea = 11.2 m
 Encoutering angle to wave = 270.0 deg
 Ship Velocity = 5.0 Kts

Lw	Ww	S ζ (Ww)	We	S ζ (We)	RAO	S σ (We)
683.93	0.3001	14.6554	0.3000	14.6533	168.2402	2465.210
171.13	0.5998	8.2585	0.6000	8.2562	0.4662	3.8492
76.04	0.8999	1.2689	0.9000	1.2683	0.3349	0.4248
42.78	1.1997	0.3093	1.2000	0.3091	0.3017	0.0932
27.39	1.4995	0.1021	1.5000	0.1020	0.2879	0.0294
19.02	1.7993	0.0412	1.8000	0.0411	0.2808	0.0115
13.98	2.0988	0.0191	2.1000	0.0191	0.2763	0.0053
10.70	2.3986	0.0098	2.4000	0.0098	0.2738	0.0027
8.46	2.6982	0.0054	2.7000	0.0054	0.2719	0.0015
6.85	2.9980	0.0032	3.0000	0.0032	0.2707	0.0009
5.66	3.2975	0.0020	3.3000	0.0020	0.2697	0.0005
4.76	3.5970	0.0013	3.6000	0.0012	0.2689	0.0003
4.06	3.8966	0.0009	3.9000	0.0006	0.2683	0.0002
3.50	4.1959	0.0006	4.2000	0.0006	0.2677	0.0002
3.05	4.4954	0.0004	4.5000	0.0004	0.2674	0.0001
2.68	4.7947	0.0003	4.8000	0.0003	0.2670	0.0001
2.37	5.0940	0.0002	5.1000	0.0002	0.2667	0.0001
2.12	5.3933	0.0002	5.4000	0.0002	0.2664	0.0000
1.90	5.6923	0.0001	5.7000	0.0001	0.2661	0.0000
1.72	5.9916	0.0001	6.0000	0.0001	0.2669	0.0000
1.56	6.2906	0.0001	6.3000	0.0001	0.2667	0.0000
Root Mean Square of Rolling Angle = 35.4490 deg						
Average Rolling Angle = 44.4176 deg						
Singificant Rolling Angle = 70.8980 deg						
One - tenth Rolling Angle = 90.2177 deg						
One - hundredth Rolling Angle = 118.2579 deg						

표 2-2 동조 현상으로 인한 대각도 횡요의 예

Ship Name	=	<h-k>
The result of Ship Breadth	=	50.000 m
Displacement	=	300000.0 ton
GM	=	3.50 m
Radius of gyration for Roilling	=	18.0 m

Significant wave height at that sea = 11.2 m
 Encoutering angle to wave = 270.0 deg
 Ship Velocity = 10.0 Kts

Lw	Ww	Sc(Ww)	We	Sc(We)	RAO	S _p (We)
684.52	0.2990	14.6096	0.3000	14.6055	167.9540	2453.0580
171.13	0.5998	8.2585	0.6000	8.2539	0.4662	3.8481
76.08	0.8996	1.2706	0.9000	1.2695	0.3346	0.4248
42.81	1.1993	0.3098	1.2000	0.3094	0.3047	0.0932
27.40	1.4990	0.1023	1.5000	0.1021	0.2875	0.0294
19.04	1.7985	0.0412	1.8000	0.0412	0.2803	0.0115
13.99	2.0979	0.0191	2.1000	0.0191	0.2760	0.0053
10.71	2.3974	0.0098	2.4000	0.0098	0.2733	0.0027
8.47	2.6966	0.0055	2.7000	0.0054	0.2783	0.0015
6.86	2.9958	0.0032	3.0000	0.0032	0.2699	0.0009
5.67	3.2950	0.0020	3.3000	0.0020	0.2688	0.0005
4.77	3.5940	0.0013	3.6000	0.0013	0.2680	0.0003
4.06	3.8929	0.0009	3.9000	0.0009	0.2673	0.0002
3.50	4.1918	0.0006	4.2000	0.0006	0.2667	0.0002
3.05	4.4906	0.0004	4.5000	0.0004	0.2662	0.0001
2.68	4.7893	0.0003	4.8000	0.0003	0.2658	0.0001
2.38	5.0879	0.0002	5.1000	0.0002	0.2654	0.0001
2.12	5.3864	0.0002	5.4000	0.0002	0.2650	0.0000
1.91	5.6849	0.0001	5.7000	0.0001	0.2647	0.0000
1.72	5.9833	0.0001	6.0000	0.0001	0.2645	0.0000
1.56	6.2816	0.0001	6.3000	0.0001	0.2642	0.0000

Root Mean Square of Rolling Angle = 30.7764 deg
 Average Rolling Angle = 48.5869 deg
 Singificant Rolling Angle = 77.5529 deg
 One - tenth Rolling Angle = 98.6861 deg
 One - hundredth Rolling Angle = 129.3582 deg

표 3. GM에 따른 최대 회오각을 일으키는 파랑

선박	선박			파랑			max (deg)	선종					
	BEAM [M]	D.P.M. [Ton]	GM [M]	W. [sec ⁻¹]	Ts [sec]	Ww [sec ⁻¹]			Lw [M]	Hw [M]	Tw [sec]	(α)max (deg)	
H-Y	10.0	1734	0.500	0.561	11.2	0.561	195.75	9.8	11.2	7.2	8.35	60.12	TANKER
			0.700	0.6649	9.5	0.664	189.7	7.0	7.0	9.5	7.2	8.35	
J-K	15.3	3928	0.800	0.710	8.8	0.710	122.1	6.1	8.8	7.2	8.35	60.12	CONTAINER
			0.765	0.454	13.8	0.454	298.7	14.9	13.8	13.8	7.2	8.35	
J-R	19.6	15250	1.071	0.537	11.7	0.537	213.5	10.7	11.7	7.2	8.35	60.12	LOG/BULK
			1.224	0.574	10.9	0.574	186.9	9.3	10.9	9.3	10.9	7.2	
J-M	24.6	29684	0.980	0.401	15.7	0.401	382.9	19.1	15.7	7.2	8.35	60.12	BULK
			1.372	0.474	13.3	0.474	274.1	13.7	13.3	13.3	7.2	8.35	
J-C	32.2	45412	1.568	0.507	12.4	0.507	239.5	12.0	12.4	7.2	8.35	60.12	CONTAINER
			1.230	0.358	17.6	0.358	480.4	24.0	17.6	17.6	7.2	8.35	
B-D	40.8	124500	1.722	0.423	14.9	0.423	344.1	17.2	14.9	7.2	8.35	60.12	BULK
			1.968	0.453	13.9	0.453	300.1	15.0	13.9	13.9	7.2	8.35	
B-O	53.0	274800	1.610	0.313	20.1	0.313	628.5	31.4	20.1	7.02	8.35	58.62	ORE/BULK
			2.254	0.370	17.0	0.370	449.5	22.5	17.0	17.0	7.02	8.35	
H-K	50.0	300000	2.576	0.396	15.9	0.396	392.7	19.6	15.9	7.02	8.35	58.62	TANKER
			2.040	0.278	22.6	0.278	796.7	39.8	22.6	22.6	7.02	8.35	
			2.856	0.329	19.1	0.329	568.9	28.4	19.1	7.02	8.35	58.62	
			3.264	0.352	17.8	0.352	497.0	24.9	17.8	17.8	7.02	8.35	
			2.650	2.244	25.8	0.244	1034.3	51.7	25.8	7.02	8.35	58.62	
			3.710	0.288	21.8	0.288	742.4	37.1	21.8	21.8	7.02	8.35	
			4.240	0.308	20.4	0.308	649.1	32.5	20.4	7.02	8.35	58.62	
			2.500	2.251	25.0	0.251	977.4	48.9	25.0	25.0	7.02	8.35	
			3.500	0.297	21.2	0.297	698.1	34.9	21.2	7.02	8.35	58.62	
			4.000	0.318	19.8	0.318	609.0	30.5	19.8	19.8	7.02	8.35	

*. $W\phi = \sqrt{g \cdot GM/1.2 \cdot (0.36B)^2}$ * ($\mu\phi$)max = $1/2K \sqrt{1-K^2}$ * $Ts = 2\pi/w\phi$ * $Ts = 2\pi/g/W\phi$ * $Lw = 2\pi g/W\phi$ * $Hw = Lw/2l$

*. 유효경사각 γ 는 Beam@10-24.6M 인 선박 0.8, Beam@ 32.2~53.0M 인 선박 0.78((α) max = 9도)

4. 결 론

1. Beam 20M 이하의 선박은 정횡파를 받을때 Beaufort Scale 7(30 Knots)에서 위험상태에 직면하게 되고 Beaufort scale 11(50Knots)에서는 거의 전복 되었다.

2. Beam 20M 이상 30M이하의 선박은 정횡파를 받을때 Bearfort Scale 7(30knots)에서는 안전하나 Beaufort Scale 11(50Knots)이상에서는 위험에 직면하게 되었다.

3. Beam 30M 이상의 선박은 정횡파를 받을때 계산상으로는 안전했으나 동조 Rolling에서는 위험에 직면할 수 있다.

4. 모든 선박이 동조 Rolling에 직면하면 위험할 수 있으므로 항해자는 황천시의 야간항해에 대비하여 사전에 기상도를 정확히 분석하고, 지형과 상관된 파 진향방향을 고려하여 항해에 임해야할 것이다.

참 고 문 헌

(1) Rameswar Bhattachayya, "Dynamics of Marine Vechicles" Jhon

Wiley & Sons Co., New York p75~p136

(2) Edward V. Lewis "principles of Naval Architecture" SNAME, New York, 1955 p 669~693

(3) 尹点東, "船舶 運用의 理論과 實務 (操縱論)" 第一文化社, 釜山, 1982, p143~204

(4) K. J. Rawson & E. C. Tupper "Basic Ship Theory" R. C. N. C., London & New York, 1971, {P. 473-490

(5) W. Muckle "Naval Architecture for Marine Engineers" Butterworth & Co. Ltd., 1975. P. 137-147

(6) 岩井聰 著 "操船論" 海文堂, 東京, 1972, P. 156-163

(7) 杉原喜義 著 "理論 運用學 (船體 運動編)" 海文堂, 東京, 1967, P. 131-137

(8) 谷初藏 著 "VLCC に関する十 (操船のポイント)" 成山堂書店, 東京, 1979, P. 100-101