횡파 중 대경사에 따른 소형어선의 동요응답 특성에 관한 연구

박노식* · 김성근** · 이진복*

*울산대학교 조선해양공학부

**제주대학교 기계에너지시스템공학부

Study on Motion Response Characteristics for Large Inclined State of Small Fishing Vessel in Beam Sea Condition

Ro-Sik Park*, Seong-Gun Kim** and Jin-Bok Lee*

*School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Univercity of Ulsan, Ulsan, Korea

**Department of Nuclear and energy Engineering, Univercity of Jeju, Jeju, Korea

KEY WORDS: Hydrodynamic forces 유체력, Three-dimensional Source Distribution Method 3차원 특이점 분포법, Beam sea 횡파, Damping coefficient 감쇠계수, Motion of response 동요응답

ABSTRACT: This study conducted wide-tank experiments and numerical calculations for a vessel in various positions such as upright and inclined by 2 and 4 degrees, with the goal of investigating the motion amplitude response of a small damaged fishing boat subject to a beam sea. Numerical calculations were conducted based on the three-dimensional source distribution method. The good agreement of the numerical calculation and experimental results confirmed that the present calculation method can be efficiently used for the initial design of a small fishing boat. In addition, while the chine-line type has been frequently adopted to improve a ship's resistance performance in the design of a small fishing boat, it is considered that the possibility of a deterioration in rolling performance should be thoroughly considered.

1. 서 론

최근 우리나라 연안 어선어업은 한일어업협정, 한중어업협정에 따른 어장축소, WTO 체제에 따른 수산물 시장의 전면개방, 연안어장의 환경오염, 어획량 감소, 면세유의 지급 중단과 고유가 등 급격한 환경변화로 연안 어선어업의 경영수지가 극도로 악화되고 있다(정우철 등, 2002). 이에 새로운 어선어업 환경에 적합한 친환경적이고, 수익을 보장할 수 있는 어선의 개발 및 보급이 시급히 필요한 실정이다(이승건과 이용원, 2002; 박노식, 1997; 박노식 등, 2010a).

또한, 해양안전심판원에서 조사한 지난 5년간(2006~2010) 국내의 해양사고사례를 보면, 5톤 미만의 소형어선의 사고 발생률은 14.3%를 차지한다. 어선의 사고를 종류별로 살펴보면 기관손상(40.3%), 충돌(17.7%), 좌초(5.8%), 침몰(2.7%)등의 순서로 발생하였다. 그중에서도 복원성능과 관련된 전복, 침몰은 사고유형에서 5.4%로 낮은 편이지만 인명피해에 부분에서는 27%로 사고발생 빈도에 비해 높은 편이다(해양안전 심판원, 2010).

본 연구에서는 친환경적이고 조업능률이 좋은 1톤급 및 3톤급 소형전기추진어선 2척을 개발하여(박노식 등, 2010b), 대경사 선형에 따른 동요성능 및 안정성을 검토하기 위하여 횡파 중에 있어서 경사시의 동요응답에 대한 실험 및 수치계산을 실시하

였다(박노식과 김상동, 2001; 김병남 등, 2009; 임장곤과 서성부, 2010).

그 결과 공시모형과 같이, 건현이 작은 소형 선박에서는 선형 결정에 있어서 Chine line이 있는 경우, 저항성능 측면과 동요 특성을 함께 검토하여야 함을 알 수 있었다.

2. 기초 이론

본 연구에서 수치계산은 3차원 특이점 분포법(Three-dimensional source distribution method)을 이용하였으며, 기초이론을 정리하면 다음과 같다.

2.1 유체력

x축의 정 방향으로부터 입사하는 파에 의하여 어선이 동요 원진동수 ω 로 조화운동을 한다고 고려하면, 이때의 물체 주위의 유동장은 속도 Potential로 나타낼 수 있다.

$$\Phi(x, y, z; t) = \text{Re}[\phi(x, y, z)e^{i\omega t}] \quad (1)$$

속도 Potential Φ 는 Laplace equation을 만족하며, Free surface, Bottom, Radiation 및 Boundary condition을 만족하고 있다(Newman, 1974).

이때의 속도 Potential을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_0 + \phi_7 + i\omega \sum_{j=1}^6 \xi_j \psi_j \quad (2)$$

$$\phi = \frac{g \zeta_a}{\omega} e^{K_z + iK(x \cos \alpha + y \sin \alpha)} \quad (3)$$

ζ_a : 파의 진폭

K : Wave number

ξ_j : 운동진폭 ($j=1, 2, \sim, 6$)

ϕ_0 : 입사파 속도 Potential

ϕ_7 : Diffraction 속도 Potential

ψ_j : j 방향의 단위 진폭운동에 의한 radiation potential ($j=1, 2, \sim, 6$)

또한 각 경계조건을 만족하는 속도 Potential $\phi(p)$ 는 Laplace equation의 해를 Green function $G(x, y, z; x', y', z')$ 라고 하면,

$$\phi(p) = \iint_S \sigma(Q) G(P, Q) ds(Q) \quad (4)$$

다음과 같이 표시되고, $P(x, y, z)$ 는 유체 중의 임의의 점 $Q(x', y', z')$ 는 물체표면 S 상에 분포시킨 Source 위치, $\sigma(Q)$ 는 점 Q 의 물체표면 S 상에 분포시킨 Source strength이다.

물체표면조건을 이용하여 점 P 를 물체표면 S 상의 점 Q 에 접근 시키면 $\sigma(Q)$ 가 미지수인 다음의 적분방정식이 된다.

$$\frac{\partial \Phi(P)}{\partial n} = -2\pi\sigma(P) + \iint_S \sigma(Q) \frac{\partial}{\partial n} G(P, Q) ds(Q) \quad (5)$$

여기서 무한수심인 경우에 있어서 Green함수 $G(P, Q)$ 는

$$G(P, Q) = \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + 2K \oint_0^\infty \frac{e^{k(z+z')} J_0(kR)}{k-K} dk + i2\pi K e^{k(z+z')} J_0(kR) \quad (6)$$

이다.

2.2 유체력 계수

부가질량계수 A_{ij} 와 조파감쇠계수 B_{ij} 는 부유체가 I모드($i=1, 2, \sim, 6$)의 운동을 하고 있을 때 단위 진폭 속도 Potential을 Ψ_j ($j=1, 2, \sim, 6$) 라 하면 j 방향의 부가질량 A_{ij} 및 조파감쇠계수 B_{ij} 는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$A_{ij} = -\rho Re \left[\iint_S \Psi_j n_i ds \right] \quad (7)$$

$$B_{ij} = \rho \omega Im \left[\iint_S \Psi_j n_i ds \right] \quad (8)$$

$Re[\cdot], Im[\cdot]$: 복소수의 실수부와 허수부

2.3 파 강제력

파강제력은 Haskind-newman의 관계를 이용하였으며, 파 강제력 식은 다음과 같다(Faltinsen, 1990)

$$F_{7j} = \rho g \zeta_a \iint_S \left(\Psi_0 \frac{\partial \Psi_j}{\partial n} - \Psi_j \frac{\partial \Psi_0}{\partial n} \right) ds \quad (9)$$

($j=1, 2, \sim, 6$)

2.4 운동방정식

파랑 중에 있어서 동요진폭은 다음과 같은 6자유도 선형운동 방정식을 사용하였다(Morison, 1950);

$$[d_{ij}][\ddot{Y}_j] = [F_i(t)] \quad (10)$$

여기서

$$d_{ij} = (m_{ij} + M_{ij}) \frac{d^2}{dt^2} + N_{ij} \frac{d}{dt} + K_{ij}$$

N_{ij} : 조파감쇠계수, K_{ij} : 복원력계수, $F_i(t)$: 파강제력

(11)

이다.

3. 수치 계산

3.1 공시선형

공시선형은 본 연구에서 개발한 1ton급(M9001)과 3ton급(M0015) 낙지잡이 어선을 택하였다. 본 선박은 조업지역의 특성을 고려하여, 조업조건을 향상시키고 초기 복원력을 좋게 하기 위하여 다른 어선에 비하여 폭이 넓고, 깊이가 낮으며, Freeboard가 작은 특징이 있다.

Fig. 1 Lines of two hull form of the small fishing vessel

Fig. 2 Mesh subdivision of hull form of M9001 on patran

Fig. 3 Mesh subdivision of hull form of M0015 on patran

Table 1 Principle dimensions

Item	M9001	M0015
LPP (m)	7.20	7.00
B (m)	1.83	2.28
D (m)	0.80	1.00
dm (m)	0.28	0.50
GM	0.60	0.75
Cb	0.66	0.62
Displacement(ton)	2.44	4.80
W.S.A (m ³)	10.77	14.00

3.2 수치계산

수치 계산에서 분할 요소수는 선체단면을 M9001은 582개, M0015는 622개로 분할하였다. 수치계산은 손상시의 동요응답을 검토하기 위하여, M9001은 Even keel 상태, 1도, 2도 및 3도 경사 시, M0015는 모델은 even keel 상태, 2도, 4도 및 6도 경우에 대하여 유체력 및 동요응답을 계산 하였다.

4. 동요응답 실험

4.1 모형선

실험은 Fig. 4 ~ 5에 나타난 M9001과 M0015 2척의 모형선으로 실시하였다. 모형선의 축척비는 실제 소형전기추진어선에 대하여 1 : 7.2, 1 : 7로 축소하였다. 모형선은 FRP로 제작하였고, 모형선의 중심(KG)은 경사시험으로부터 구하였다.

4.2 동요 실험

모형선의 동요시험은 울산대학교 해양공학수조에서 수행하였으며, 파장비가 0.2~2.0 범위의 횡 파의 조건에서 수행하였다. 수심은 Deep sea로 가정하였고, Table 2에 나타난 조건을 이용하여 M9001과 M0015에 대하여 0도에서 6도까지 횡 경사를 주어 실시하였다.

본 실험은 Table 2 및 Fig 7에 나타난 것과 같이 Main computer로 조파기를 작동시켜 Wave를 생성 후 Wave Amplitude는 파고계를 이용하여 측정하였으며, 그 후 3축 Gyro를 이용하여 계측된 모형선의 Motion amplitude를 통해 DAQ로 전송하여

실험 모형선의 거동을 Lab view를 통하여 실시간 측정하였다. Wave amplitude 및 Motion amplitude는 초당 100개의 데이터를 계측하였다.

Fig. 4 Picture of M9001 hull form experiment model

Fig. 5 Picture of M0015 hull form experiment model

Table 2 Experiment wave condition

No.	λ	k	w	f
1	0.2	31.42	17.56	2.79
2	0.4	15.71	12.41	1.98
3	0.6	10.47	10.14	1.61
4	0.8	7.85	8.78	1.40
5	1.0	6.28	7.85	1.25
6	1.2	5.24	7.17	1.14
7	1.4	4.49	6.64	1.06
8	1.6	3.93	6.21	0.99
9	1.8	3.49	5.85	0.93
10	2.0	3.14	5.55	0.88

실험 시 모형선을 반사파의 영향을 적게 받을 수 있도록 하고, 조파기로부터 규칙파가 형성되는 시간을 고려하여 설치하였다. 실험 모형선은 수조 중앙부에 설치하였고, 계측장비는 3축 Gyro를 사용하였다. 3축 Gyro는 Fig 6에 나타난 것같이, 6자유도 운동 중 Sway, Heave, Roll 운동을 동시에 계측하였다. 3축 Gyro는 Sway는 최대 $\pm 300\text{mm}$, Heave는 최대 $\pm 250\text{mm}$, Roll은 최대 $\pm 85^\circ$ 까지 계측 가능하다. 또한 파고계는 모델로부터 5m 전방에 설치하였으며, 조파기는 모델로부터 12m전방에 위치하였다.

Fig. 6 Coordinate system of the small fishing vessel

Fig. 7 Setting of motion capture system

Fig. 8 Picture of 3D Wide tank

Fig. 11 Experimental data M9001 2deg $\lambda/L=0.2$

Fig. 12 Experimental data M9001 1deg $\lambda/L=0.8$

Fig. 9 Pictures of Experiment

또한 측정된 규칙파의 정확성을 검증하기 위하여 $\lambda/L=0.8$ ($T=1.89$) 구간에 대한 FFT(Fast fourier transform)를 실시한 결과 Frequency가 1.4라는 값을 얻어 일정한 주파수로 파가 생성되는 것을 확인하였고, 이를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10 FFT(Fast Fourier Transform) $\lambda/L = 0.8$

5. 결과 및 고찰

5.1 동요응답

Sway, Heave 및 Roll에 대한 동요응답의 수치계산 및 실험 결과를 Fig. 11(a) - Fig. 16(b)에 나타내었다.

Fig. 14의 (a)와 (b)는 Sway motion amplitude에 대한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 M9001과 M0015의 경우, 수치계산 결

Fig. 13 Experimental data M0015 2deg $\lambda/L=2.0$

과와 실험결과는 전반적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 또한 모든 주파수 영역에서 경사각이 커짐에 따라 동요응답의 진폭이 증가하고 있으며, 그 크기는 경사각에 비례하지 않고 단면형상의 변화에 따른 영향이 큰 것을 알 수 있었다.

Fig. 15의 (a)와 (b)는 Heave motion amplitude에 대한 결과이다.

M9001모델의 경우 $\lambda/L=0.3$ 인 경우 불규칙영역이 예상되며, 동조주기보다 주기가 길어지면 chine line과 경사단면의 영향을 받아 Evenkeel 상태가 상하동요 진폭이 크게 나타나고 있다. 이는 경사각이 커짐에 따라 상하방향의 단면적의 변화에 의한 것으로 예상된다. 이는 소형선박의 설계 시 chine line 형상 결정에 있

(a) Comparison of M9001

(b) Comparison of M0015

Fig. 14 Sway motion amplitude

(a) Comparison of M9001

(b) Comparison of M0015

Fig. 15 Heave motion amplitude

(a) Comparison of M9001

(b) Comparison of M0015

Fig. 16 Roll motion amplitude

어서 상하동요의 측면에서 검토가 필요한 것으로 생각한다.

M0015의 경우, 주파수 전역에서 경사상태에 대한 영향은 크게 나타나지 않았다. 그러나 M9001 선형은 주기가 커지면 상하동요의 크기가 감소하여, 상반되는 결과가 나타남을 알 수 있었다. 이는 경사상태에 따른 Chine line의형상변화에 따른 영향으로 판단된다.

Fig. 16의 (a)와 (b)는 Roll motion amplitude에 대한 결과이다. Roll motion amplitude(90°) 경우, M9001은 본 실험 영역에서는 크게 영향을 받고 있지 않으나, M0015에서는 경사각에 따라서 동조 주기의 영역이 변화하고 있다. 이는 Even keel 상태의 응답의 크기에 비교하여, 2도, 4도, 6도의 모든 영역에서 작게 나타나고 있다.

이는 Chine line을 가진 선형에서는 Chine line의 형상 위치가 동요에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 소형어선의 설계 시, 저항감소 뿐만 아니라 동요특성도 고려하여 단면형상을 결정하여야 함을 알 수 있었다.

6. 결 론

이상의 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소형어선의 선체설계 시 형상을 저항특성만을 고려한 Chine line 형상이 주를 이루고 있으나, 이는 손상 시 동요성능 부분에서 성능저하를 가져올 수 있어 소형 어선 선형설계 시 저항특성과 동요특성을 동시에 고려해야 할 것으로 생각한다.

(2) 소형선박 설계 시 본 연구에서 개발한 수치계산 방법을 이용하여 안정성이 우수하고, 동요성능이 좋은 계통적 소형선박 선형 개발에 활용 할 수 있음을 확인하였다.

후 기

본 논문은 농림수산식품부와 울산대학교의 지원을 받아 수행되었으며, 위 기관의 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Faltinsen O.M. (1990). *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*, Cambridge University
- Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W. and Schaaf, S.A. (1950). "The Force Exerted by Surface Waves on Piles", *Pet. Trans.*
- Newman, J.N. (1974). "Second Order Slowly Varying Forces on Vessels in Irregular Waves, Inter. Symp. on Dynamics Marine Vehicles and Offshore Structures in Waves", London
- 김병남, 김우진, 유재훈 (2009). "고속 활주선 모형 주위의 유동 해석" 한국해양공학회지, 제23권, 제4호, pp 38-46
- 박노식 (1997). "초대형 부유식 해양구조물에 작용하는 유체력 추정에 관한 근사계산법의 연구", 한국해양공학회지, 제11권, 제1호, pp 74-83
- 박노식, 김상동 (2001). "실린더형 스파부이의 안정성에 관한 연구", 한국해양공학회 2001년도 추계학술대회 논문집, pp 174-178
- 박노식, 김성근, 오상진 (2010b). 손상 시 소형어선의 형상 변화에 따른 운동응답 특성에 관한 연구, 울산대학교, 학위논문
- 박노식, 김성근, 정우철 (2010a). 연료비 절감을 위한 소형전기 어선 추진시스템개발 연구, 농림수산식품부 보고서
- 이승건, 이용원 (2002). "소형어선의 GM 추정에 관한 이론적 연구" 한국해양학학회지 제26권, 제2호, pp 189-192
- 임장곤, 서성부(2010). "보급형 윈드서핑 장비 개발을 위한 보드 형상 특성 연구" 한국해양공학회지 제24권, 제4호, pp 47-52
- 정우철, 박찬원, 김도정, 김영준, S. Matsui (2002). "소형 연안어선의 저항성능에 관한 실험적 연구", 한국해양공학회 2002년도 추계학술대회 논문집, pp 251-256
- 해양안전심판원(2010), 해양사고 통계.

2011년 11월 28일 원고 접수

2011년 12월 5일 심사 완료

2011년 12월 23일 게재 확정