

모형시험을 통한 플로팅 도크게이트 운동성능 평가

신현경^{†*}, 김민성^{*}, 노철민^{*},
양승호^{**}, 조진욱^{**}, 김종욱^{**}, 김삼룡^{**}, 양영철^{**}, 김봉민^{**}

울산대학교 조선해양공학부^{*}/ 현대중공업(주)^{**}

Model Test and Numerical Simulation of the Behaviour of Dock-Gate in Waves

Hyunkyong Shin^{†*}, Min-Sung Kim^{*}, Cheol-Min Noh^{*}, Seung-Ho Yang^{**}, Jin-Woog Cho^{**},
Joung-Wook Kim^{**}, Sam-Ryong Kim^{**}, Young-Chul Yang^{**} and Bong-Min Kim^{**}

School of Naval architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan^{*}
Hyundai Heavy Industry Co. Ltd., Ulsan, Korea^{**}

Abstract

In most shipyards Floating Dock-gate System is adapted for dry docks. For the safe launching of ships in dry docks, smooth operation of dock-gate must be guaranteed. So it is very important to grasp its behavior in waves for securing the high productivity and the safety of workers. Its seakeeping ability was estimated numerically at the floating conditions and the free roll decay and the seakeeping model tests of dock-gate was carried out with bilge-keels of 3 different widths which have a scale of 1 to 20. More than 20% decrease of roll motion was observed in irregular beam seas by applying a bilge-keel system to the dock-gate that is long and narrow.

※Keywords : Model test(모형시험), Numerical simulation(수치해석), Behaviour in waves(내항성능), Dock-gate(도크-게이트), Bilge-keel(발지-킬)

1. 서론

일반적으로 선박은 드라이-도크 내에서 블록을 탑재, 조립한 후 진수하게 된다. 건조된 선박을 진수하기 위하여 도크의 물막이 장치인 도크-게이트

의 물을 빼 띄움으로써 외부의 바닷물이 도크 내로 유입되고, 띄워진 도크-게이트는 예인선에 의해 인근 안벽에 정박된 후 선박은 진수된다. 이와 같은 물막이 장치의 운용방식을 플로팅 도크-게이트 시스템이라 한다. 현재 대부분의 조선소에서 이러한 시스템을 운용 중이며, 진수 및 작업자의 안전성과 도크 회전율을 향상시키기 위하여 도크-게이트의 원활한 운전성이 확보되어야 한다. 따라

접수일: 2008년 8월 13일, 승인일: 2008년 11월 26일
†교신저자: hkshin@mail.ulsan.ac.kr, 052-259-2696

서 도크-게이트가 운용되는 지역에서의 파랑 중 운동성능을 정확히 파악하고, 우수한 운동성능을 갖는 도크-게이트 형상을 설계하는 것이 중요하다. 특히 길이가 길고 폭이 좁은 형상인 도크-게이트는 횡동요가 선박에 비해 크고 예측이 어려우므로 횡동요에 대한 정확한 예측이 요구되고 있다.

횡동요를 억제하기 위해서는 선형의 개량, 빌지-킬 및 stabilizing 핀 부착, stabilizing 탱크의 설치 등 여러 가지 방법이 강구되어져 왔다(Chun et al. 2000).

본 연구에서는 이러한 요구에 대응하기 위하여 도크-게이트에 빌지-킬을 부착하여 파랑 중 플로팅 상태에서의 운동성능을 수치적으로 예측하고 모형시험을 통한 검증은 수행하였다. 수치해석은 해양구조물 관련 범용 소프트웨어인 MOSES를 사용하여 빌지-킬의 유무에 따른 파랑 중 운동응답을 계산하였고, 모형시험은 1:20 상사 비를 갖는 모형을 이용하여 파랑 중에서의 운동시험을 수행하였다. 또한 빌지-킬의 폭을 달리하여 수행한 횡동요 자유감쇠시험을 통해 얻은 등가 감쇠계수를 비교하였다. 마지막으로 수치해석과 모형시험의 결과를 비교하고 빌지-킬에 따른 횡동요의 감쇠효과를 논한다.

2. 모형시험

2.1 시험 개요

설계된 도크-게이트의 빌지-킬 유무에 따른 운동성능을 확인하고자 횡동요 자유감쇠시험과 파랑 중 운동성능 평가를 위한 모형시험을 울산대학교 해양공학관폭수조(30m x 20m x 2.5m)에서 수행하였다.

대상 도크-게이트의 주요 제원은 Table 1 과 같고 종동요 관성반경은 관성 그네의 육상시험을 통하여 얻는 반면에, 횡동요 관성반경은 수상에서의 횡동요 고유주기를 이용하여 계측하였으므로, 부가관성모멘트의 영향을 고려하였다(Yoon et al. 2006).

빌지-킬은 폭을 0.5m, 1.0m, 1.5m 로 구분하여 각각의 시험에서 선택적으로 사용하였으며, 도크-게이트에 부착된 모습은 Fig. 1 에 보여준다.

모형시험을 통한 플로팅 도크게이트 운동성능 평가

Table 1 Principal dimensions of a Dock-gate (scale = 1/20)

Item	Prototype	Model
Length overall (m)	91.6	4.58
Breadth (m)	8	0.4
Depth (m)	13.3	0.65
Draft (m)	7.2	0.36
Displacement (ton)	3,153.1	0.3942

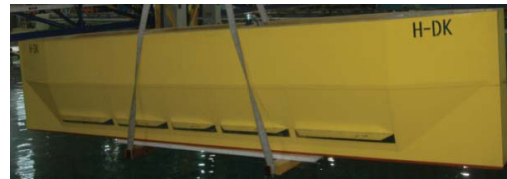


Fig. 1 Bilge-keel

2.2 횡동요 자유감쇠시험

빌지-킬 폭에 따른 등가감쇠계수를 얻기 위하여 횡동요 자유감쇠시험을 수행하였다. 시험조건은 빌지-킬 없을 때와 폭 0.5m, 1.0m, 1.5m 의 빌지-킬을 부착한 네 가지 경우이며, 초기 각 5~15° 범위에서 시험하였다.

시험을 통한 횡동요 등가감쇠계수(B_{eq})는 Eq. (1)의 선형(B_{linear})과 비선형($B_{quadratic}$) 감쇠계수를 고려하여 최소자승법으로 추정하였다(Kim 2002, Journee and Massie 2001).

$$B_{eq} = B_{linear} + \frac{8}{3\pi} \cdot \omega \cdot \phi_{HS} \cdot B_{quadratic} \quad (1)$$

where ω : angular frequency

ϕ_{HS} : significant amplitude of roll angle

2.3 파랑 중 운동시험

파랑 중 운동시험에 앞서 입사 파의 조건을 검증해야 한다. Fig. 2 와 같이 파고계를 설치하여 도크-게이트가 없는 상태에서 규칙파 및 불규칙파의 파고와 주기를 계측하고 확인하였다. 또한 운동시험 중 표류하지 않도록 Fig. 2 와 같이 모형에 와이어를 연결하고 수조 벽과의 연결부위는 스프링을 사용하였다. 이때 스프링의 고유주기가 모형의 고유주기와 충분한 차이가 발생하도록 고려하였다.

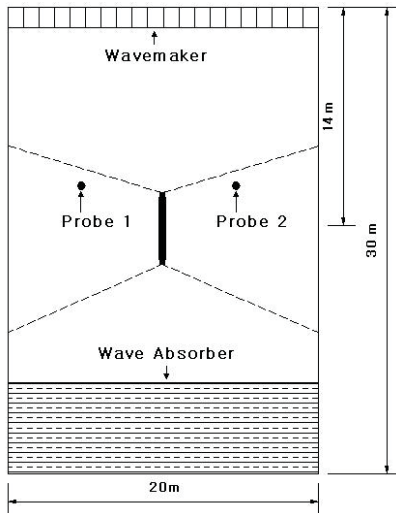


Fig. 2 Configuration of motion test in waves

Table 2 Target of irregular condition

Condition	Spectrum	Hs ¹ (m)	T _m ² (sec)
Design	ISSC	1	9.5

1 : significant wave height, 2 : mean period

Table 3 Target of regular condition

	Wave height(m)	Period(sec)	Freq.(rad/s)
Reg 1	1	4.47	1.41
Reg 2	1	6.71	0.94
Reg 3	1	9.39	0.67
Reg 4	1	10.29	0.61
Reg 5	1	11.18	0.56

파는 설계조건에 맞도록 ISSC 스펙트럼을 사용하여 불규칙파를 구현하였고, 규칙파는 주어진 ISSC 스펙트럼의 평균주기를 기준으로 5 개의 주기를 일정한 간격으로 선택하였으며, 각 파의 조건에 따라 운동응답을 계측하였다.

Tables 2~3 에 각각 불규칙파와 규칙파를 파고와 주기에 따라 나타내었으며 이를 모형의 상사비에 맞추어 시험하였다

시험은 발지-킬의 유무에 따른 횡동요의 차이를 비교하기 위하여 발지-킬 없을 때와 1.0m, 1.5m 발지-킬을 부착하였을 때로 나누어 세 가지 경우로 수행하였다.

Eq. (2)를 이용하여 규칙파의 운동응답과 불규칙파의 운동응답 스펙트럼을 비교하였다. 단, 회전 운동의 운동응답은 ϕ / kA 로 정의하였다(Jung et al. 2007). 여기서 ϕ 는 운동 진폭, k 는 파수, A 는 파의 진폭이다.

$$\sqrt{\frac{S_j(\omega)}{S_w(\omega)}} = \frac{|\eta(\omega)|}{A(\omega)} \quad (2)$$

where $S_j(\omega)$: motion response spectrum
 $S_w(\omega)$: wave spectrum
 $\eta(\omega)$: response amplitude
 $A(\omega)$: wave amplitude

3. 수치해석

수치해석은 부유식 해양구조물의 분석과 설계과정에서 널리 사용 되는 범용 해석시스템인 MOSES(Multi-Operational Structural Engineering Simulator; Ultramarine 2005)를 이용하였다.

도크-게이트의 형상은 선수, 선미 부분을 제외 하면 폭이 일정하므로 Plane 으로 3 차원 모델링 하였다. 메쉬 간격은 3m, 수심은 모형시험결과와 비교를 위하여 모형의 흘수와 수조 깊이를 상사비에 맞추어 50m 로 하였다. 파랑조건은 주기 2~25 초 사이의 단위파고에 대한 운동응답과 해당 불규칙파에 대한 운동응답 스펙트럼을 계산하였다. 각각은 발지-킬 유무에 따라 선수각 0°, 45°, 90°에 대하여 수치해석을 수행하였다.

발지-킬의 영향은 도크-게이트와 발지-킬을 함께 형상 모델링 한 후 Tanaka 상수(Schmitke 1978)를 고려하지 않은 방법과 도크-게이트만 모델링 한 후 Tanaka 상수의 값을 달리하는 방법을 고려해 볼 수 있다. 발지-킬을 모델링 한 경우, Fig. 3 과 같이 횡동요에 대한 시험 결과와 경향은 유사하나 최고점에서 큰 차이를 보인다. 반면에 Tanaka 상수로 고려한 경우, Fig. 4 와 같이 경향과 최고점이 시험 결과와 유사하므로 본 연구에서는 Figs. 4~9 와 같이 Tanaka 상수를 달리하여 발지-킬의 영향을 고려하였다.

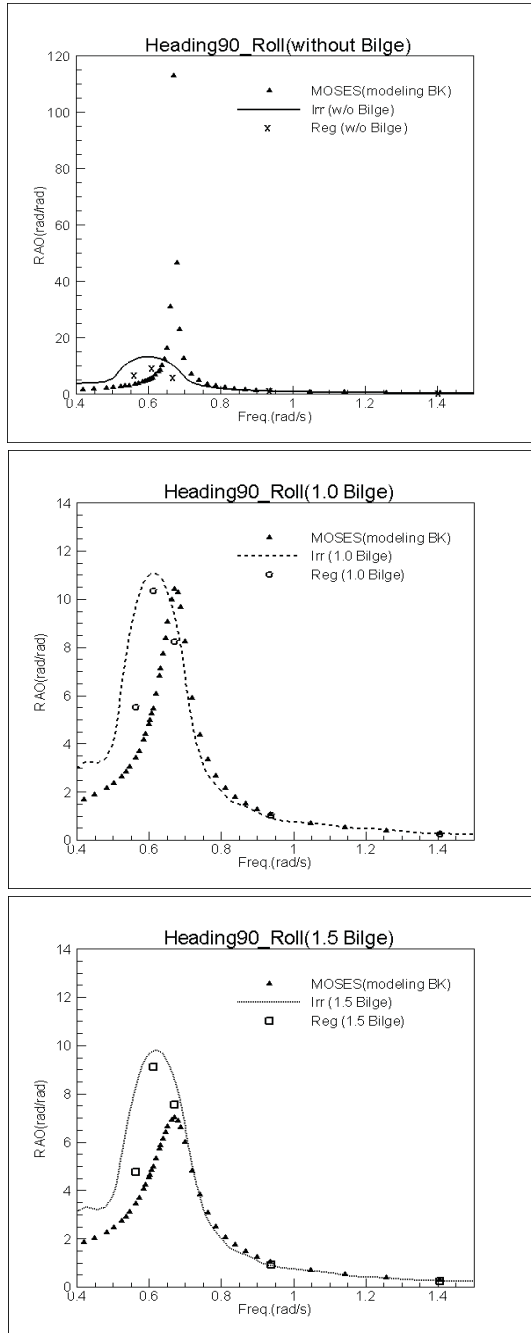


Fig. 3 Comparison of roll test results with MOSES roll simulations in regular and irregular beam seas considering geometric modeling of bilge-keels

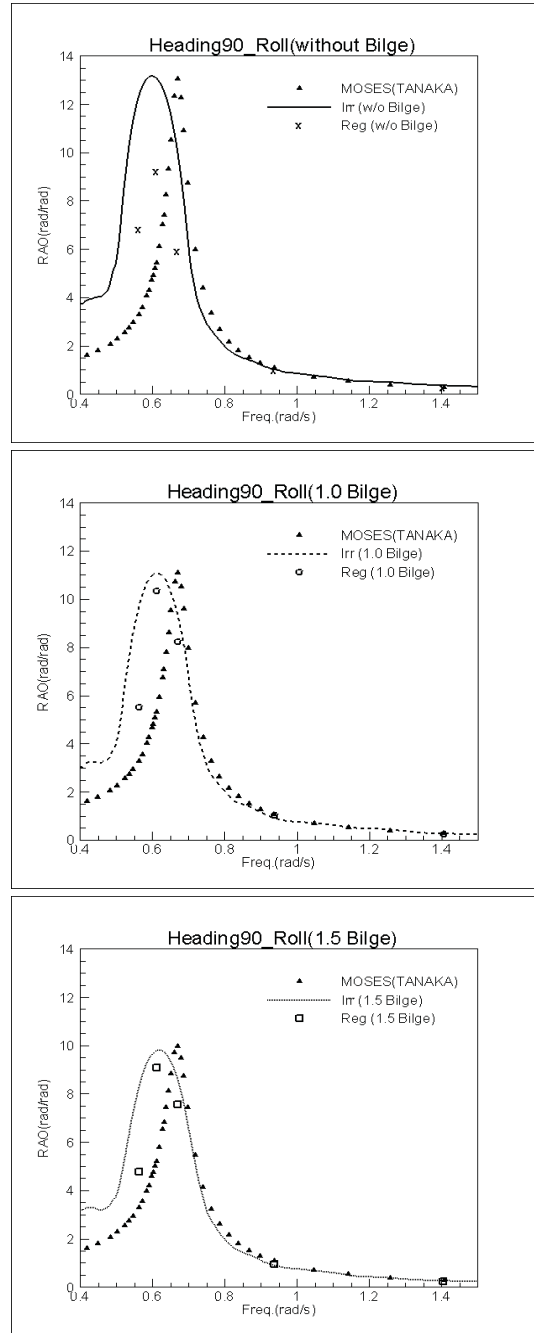


Fig. 4 Comparison of roll test results with MOSES roll simulations in regular and irregular beam seas considering Tanaka coefficient for bilge-keels

4. 결과 및 고찰

4.1 횡동요 자유감쇠시험

빌지-킬의 폭에 따른 횡동요 고유주기(T_n), 등가 감쇠계수(B_{eq}), 임계 감쇠계수에 대한 비율 (B_{eq}/B_{cr})을 Table 4 에서 보여준다.

빌지-킬의 폭이 증가할수록 등가감쇠계수가 증가함을 알 수 있고, 특히 빌지-킬 폭 1.5m 일 때 감쇠력이 급격히 증가함을 확인하였다.

4.2 파랑 중 운동시험 및 수치해석

시험결과는 빌지-킬이 없을 때와 폭 1.0m, 1.5m 빌지-킬이 있을 때, 파 입사각 0°, 45°, 90°로 나누어 각각의 6 자유도 운동응답을 파의 조건에 따라 Table 5 에서 보여준다. 결과값은 불규칙파에 대한 운동응답 스펙트럼의 면적을 이용하여 운동 진폭의 상위 1/3 까지의 평균값으로 구하는 유의 진폭이며, 실선에 대한 값으로 나타내었다.

빌지-킬의 효과가 가장 클 것으로 예상되는 sway 와 roll 상태에서 빌지-킬의 폭이 증가할수록 유의

진폭이 감소함을 보여준다. 특히 빌지-킬이 없을 때와 폭 1.5m 일 때를 비교하면 횡동요에 대해서 약 23%의 감쇠효과를 나타낸다.

Figs. 4~9 는 모형시험과 수치해석(MOSES)에 의한 빌지-킬 폭에 따른 규칙파와 불규칙파의 운동응답을 파입사각 별로 구분하여 비교하였다. 단, 수치해석의 불규칙파에 대한 운동응답 스펙트럼은 단위파고에 의한 운동응답과 거의 일치하므로 규칙파에 대한 운동응답만을 Figs. 4~9 에 나타내었다. 또한 수치해석에서 빌지-킬 영향을 고려하였을 때, roll 을 제외한 모든 운동에서 빌지-킬의 영향이 나타나지 않으므로 roll 의 경우에만 빌지-킬의 폭에 따라 수치해석의 결과를 구분하여 Fig. 4 와 Fig. 8 에서 나타내었다. 모형시험과 수치해석의 결과를 비교해 볼 때, roll 은 시험결과에 비해 최고점이 단주기 방향으로 다소 치우쳐 있으나 최고점과 전체적인 경향을 잘 나타내며, roll 이외의 5 자유도에 대한 운동응답에서도 잘 일치한다.

그러나 Table 3 에서 나타난 Reg 4 와 Reg 5 의 운동응답이 불규칙파에 대한 결과와 차이를 보이고 있으며, 특히 0°의 pitch, 45°의 heave, yaw, 90°의 roll 에서 다소 큰 차이가 발생한다. 그리고 Fig. 7 과 Fig. 9 에서 Reg 3 의 roll 운동응답의 경우, 빌지-킬 폭의 증가에 따라 운동응답이 커졌고, 반복 시험의 경우도 같은 결과를 보여준다. 이와 같이 모형시험 중 파의 주기가 길어질수록 규칙파의 운동응답이 불규칙파의 운동응답과 차이를 보이고, 특정 주파수에서 빌지-킬의 영향이 없는 것에 대한 근거를 확인할 필요가 있다.

Table 4 Result of free decay test

Breadth(m)	T_n (sec)	B_{eq}	B_{eq}/B_{cr} (%)
Without Bilge	10.32	1.86×10^6	1.69
0.5 m	10.17	2.04×10^6	1.85
1.0 m	10.06	2.35×10^6	2.14
1.5 m	10.18	5.94×10^6	5.40

Table 5 Significant motion amplitude in design condition (unit : m & degree)

Dir ³	B ⁴	surge	sway	heave	roll	pitch	yaw
0°	0	0.32	-	0.30	-	0.69	-
	1.0	0.32	-	0.31	-	0.69	-
	1.5	0.35	-	0.34	-	0.76	-
45°	0	0.33	0.50	0.37	4.93	0.62	0.52
	1.0	0.36	0.53	0.37	4.54	0.65	0.48
	1.5	0.44	0.28	0.46	3.80	0.63	0.45
90°	0	-	0.58	0.59	8.60	-	-
	1.0	-	0.49	0.50	7.34	-	-
	1.5	-	0.54	0.51	6.64	-	-

3 : wave direction, 4 : width of bilge-keel

5. 결론

보통의 선박에 비해 길이가 길고 폭이 좁은 도크-게이트의 파랑 중 운동응답을 예측하기 위해 수치해석을 실시하고, 빌지-킬의 부착유무에 따른 횡동요 감쇠효과를 모형시험을 통해 확인하였다.

MOSES 에 의한 수치해석의 파랑 중 운동응답은 모형시험 결과와 대부분 잘 일치하며, 횡동요의 경향을 잘 표현하므로 초기 설계단계에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

횡동요 자유감쇠 및 파랑 중 운동시험을 통해

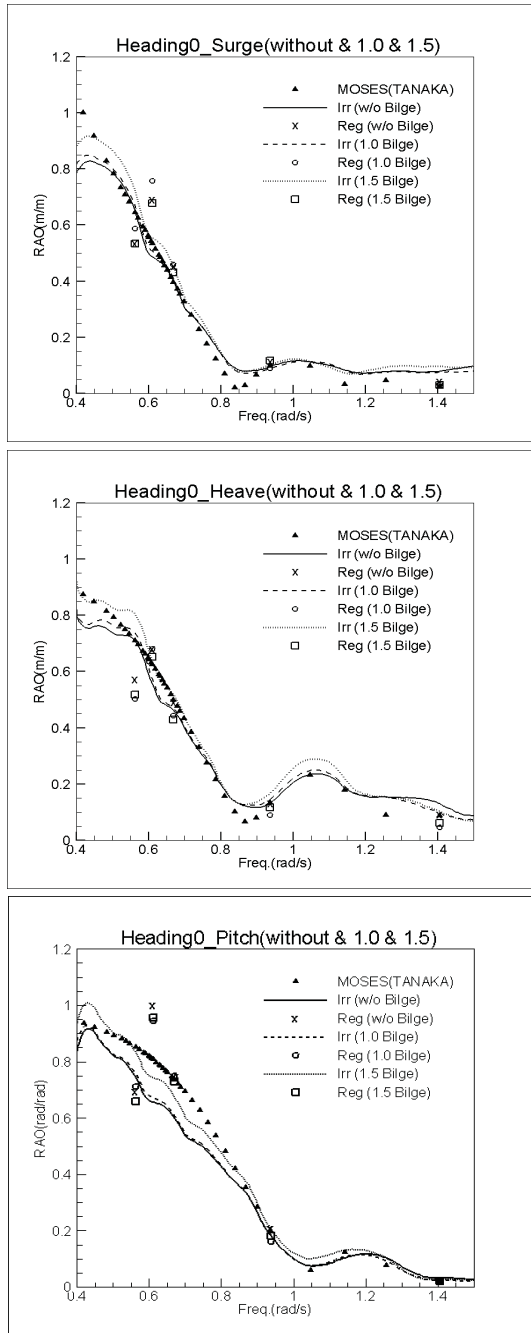


Fig. 5 Comparison of motions in regular and irregular head seas, when bilge-keel width = 0.0, 1.0, and 1.5m

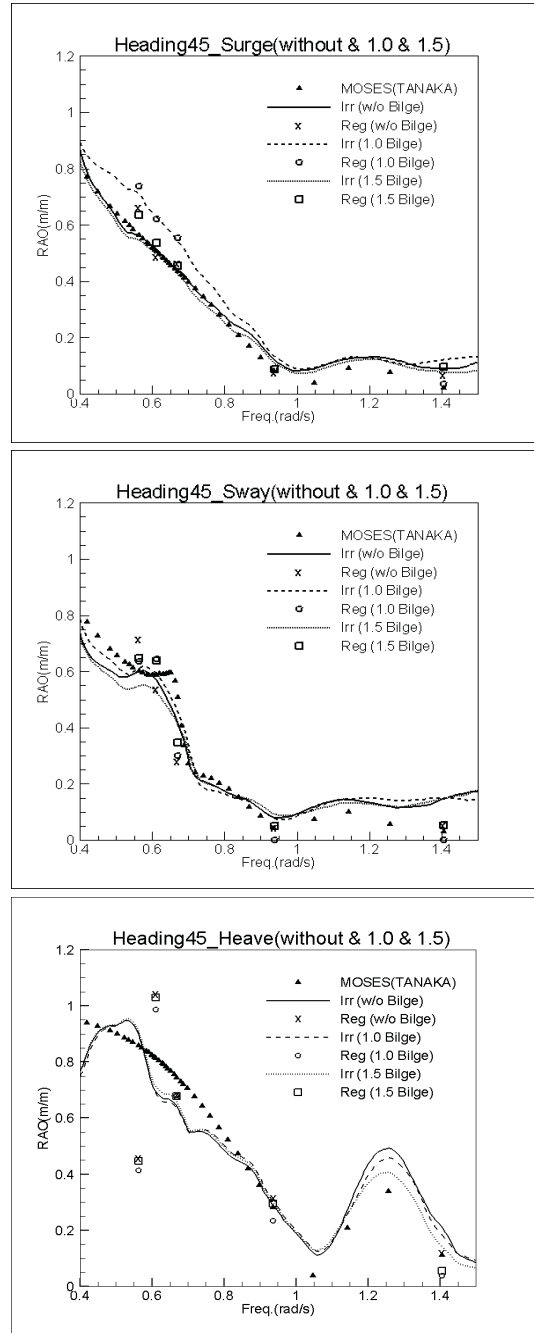


Fig. 6 Comparison of translational motions in regular and irregular bow quartering seas, when bilge-keel width = 0.0, 1.0, and 1.5m

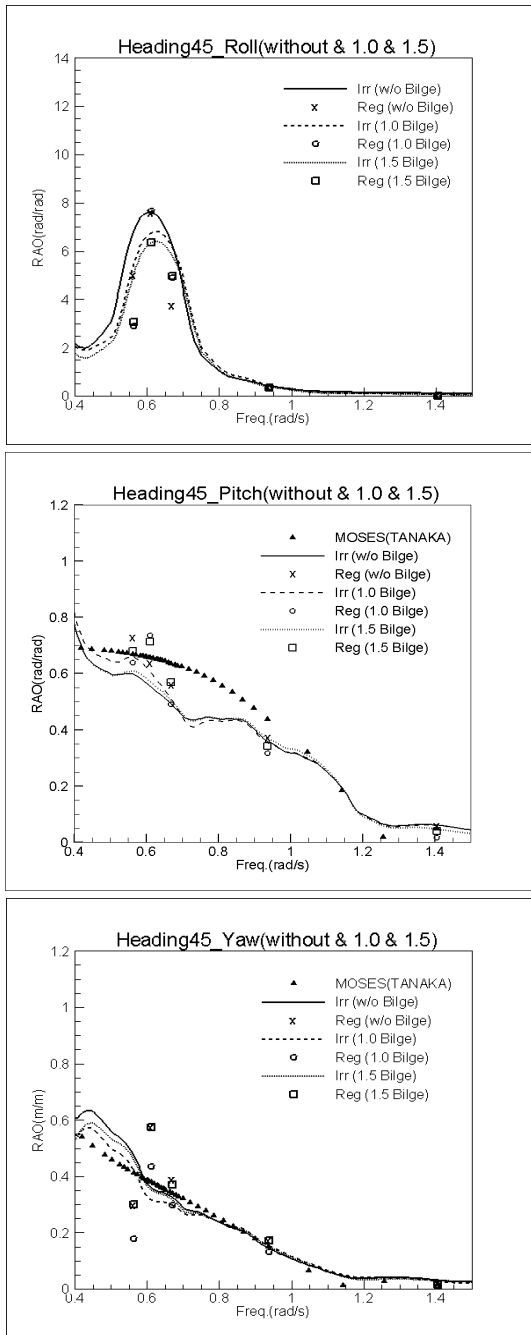


Fig. 7 Comparison of rotational motions in regular and irregular bow quartering seas, when bilge-keel width = 0.0, 1.0, and 1.5m

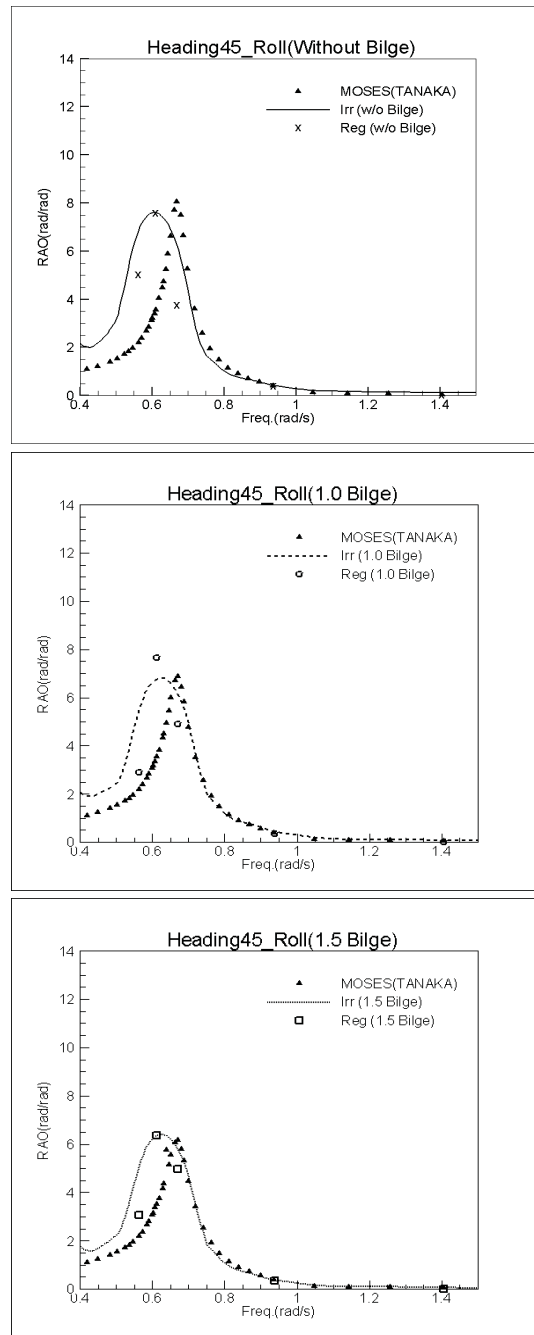


Fig. 8 Comparison of roll test results with MOSES roll simulations in regular and irregular bow quartering seas, when bilge-keel width = 0.0, 1.0, and 1.5m

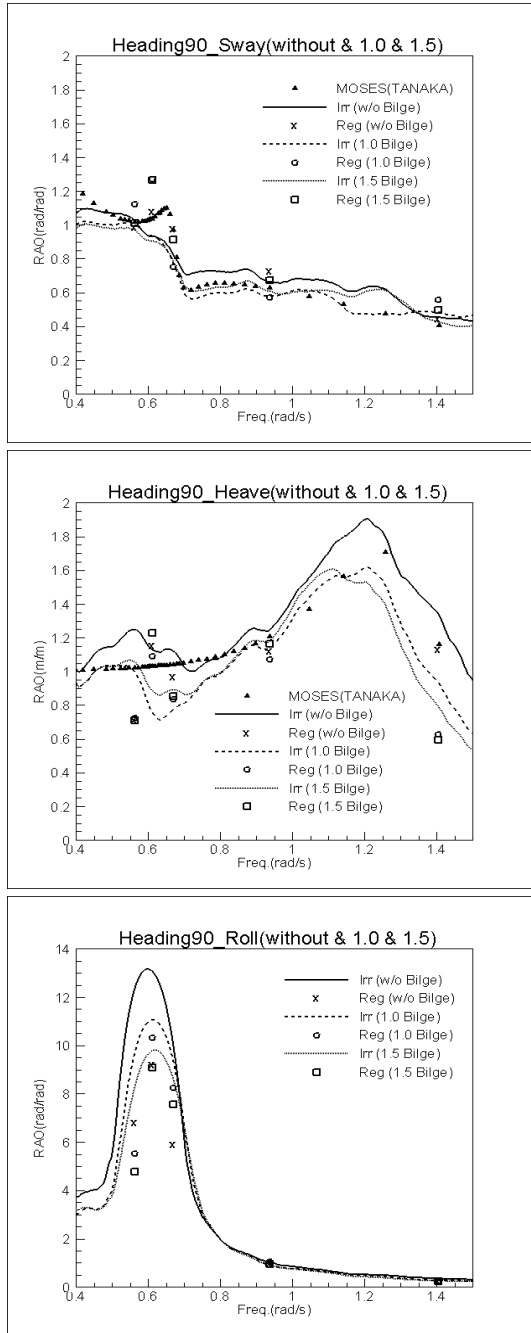


Fig. 9 Comparison of motions in regular and irregular beam seas, when bilge-keel width = 0.0, 1.0, and 1.5m

빌지-킬 폭이 넓어짐에 따라 횡동요에 대한 감쇠 계수가 증가하고, 파랑 중 운동응답이 작아짐을 알 수 있다. 특히 빌지-킬의 폭 1.0m에 비해 1.5m일 때, 횡동요에 대한 감쇠력이 급격히 증가함으로써 빌지-킬 폭의 증가가 감쇠력을 향상시키는데 큰 영향을 미침을 보여준다. 이로써 도크-게이트와 같이 자항 능력이 없는 해양구조물의 경우, 운영 및 작업상의 제한 조건을 만족하는 범위 내에서 빌지-킬의 폭을 충분히 크게 함에 따라 횡동요 감쇠에 대한 빌지-킬의 효과를 극대화할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Chun, H.H., Chun, S.H. and Kim, S.Y., 2000, "Roll Damping Moment of a Small Fishing Vessel by Free Rolling Test in Calm Water," Journal of Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 1, pp. 1-9.
- Journee, J.M.J and Massie, W.W., 2001, "Offshore Hydromechanics," Delft University of Technology
- Jung, K.H., Suh, S.B. and Chun, H.H., 2007, "Experimental Study on Eddy Making Damping Effect at the Roll Motion of a Rectangular Barge," Journal of Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 3, pp. 267-278.
- Kim, T.M., 2002, Motion Analysis of Low Frequency Surge of a Turret Moored Vessel, A Master's Degree in Engineering from University of Ulsan, pp. 7-15.
- Schmitke, R.T., 1978, "Ship Sway, Roll, and Yaw Motions in Oblique Seas," SNAME Transactions, Vol. 86, pp. 26-46.
- Ultramarine, inc., 2005, Reference Manual for MOSES, www.ultramarine.com.
- Yoon, H.K., Kim, S.Y., Kim, J.H., Kim, Y.S. and Hong, S.Y., 2006, "A Review and Analysis on the Interim Guidelines for Alternative Assessment of the Weather Criterion by Drifting and Motion

Test in Waves,” Journal of Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 5, pp. 529-537.



< 신현경 >



< 김민성 >



< 노철민 >



< 양승호 >



< 조진욱 >



< 김종욱 >



< 김상룡 >



< 양영철 >



< 김봉민 >