

선체 휘핑 해석 전용 프로그램의 개발

박성환*, 이재경, 오상헌, 송재명, 권승민

A Development of Whipping Analysis Program for Ship Hulls

Seong-Whan Park*, Jai-Kyung Lee*, Sang-Heon Oh**,
Myung-Jae Song** and Seung-Min Kwon**

요 약

선체 휘핑 해석 전용 프로그램은 모멘텀 슬래밍 이론을 사용하여 비선형 유체충격력을 추정하였으며, Timoshenko 보이론에 기초하여 선체 hull girder를 탄성체로 모델링하고 있다.

개발된 프로그램에 대하여 슬래밍 충격력의 효과, 유탄성해석의 효과 그리고, 선속, 파고, 파장 등 각종 설계 변수가 미치는 효과 등에 관한 검증 계산을 수행하였고, 실제 선박 설계에의 적용 예를 보임으로써 본 프로그램의 설계 활용성을 확인하였다. 본 프로그램은 각종 입출력자료의 GUI 처리 및 선박 운동에 대한 시뮬레이션 제공 등 다양한 기능과 특성을 가지고 있다.

※Keywords: whipping analysis(휘핑해석), slamming(슬래밍), hull strength(선체강도), GUI(사용자 그래픽 인터페이스)

Abstract

A special purposed program for ship hull strength analysis considering whipping phenomena is developed. In this program, the non-linear hydrodynamic impact force is considered using the momentum slamming theory and the hull girder is modeled as elastic body on the base of Timoshenko's beam theory. The numerical verifications are conducted in the view points that the effect of slamming impact force, the effect of hydro-elastic formulation, and the effect of various design parameters such as ship speed, wave amplitude, wave length and others. By the application of a real ship design process, the availability of the program is proved. This program has a GUI function for many I/O data process as well as the function to show the 2-D ship motion in the graphic window, and has other available functions for the whipping analysis.

접수일자: 2002년 4월 13일, 승인일자: 2002년 6월 17일

* 정회원, 한국기계연구원 구조연구부(E-mail:swpark@kimm.re.kr)

** 정회원, 대우조선해양(주) 선박해양기술연구소

1. 서언

대파고 파랑중을 항해하는 선박은 슬래밍 충격 하중을 받을 수 있고, 슬래밍 충격력이 발생하면 선체 hull girder는 휘핑 현상을 피할 수 없다. 휘핑이 발생하게 되면 선체 종강도의 안전성이 위협 받을 수 있으며, 따라서, 최근 이를 고려한 선체 설계 기법의 필요성이 증가되고 있다.

휘핑을 고려한 선체 종강도 해석 기법에 관하여는 국내에서도 신구균 등(1992), 감사수 등(1993), 박성환 등(2000)이 이미 관련 연구를 수행한 바 있다.

본 논문에서는 참고문헌(박성환 2000)에서 개발된 프로그램을 보다 개선함으로써 실제 선박 설계에의 적용 가능성을 검토하였고, 다양한 해석 파라메타에 대한 휘핑 해석 결과를 분석함으로써 개발된 프로그램의 특성 및 휘핑현상을 면밀히 분석하였다.

2. 휘핑 해석 기법

선체 휘핑 해석에 관한 연구분야에서 가장 핵심적인 기술은 적용되는 보 해석 모델의 형태와 유체력 산정기법이라 할 수 있다. 본 논문에서는 해석 대상파를 정면파로 국한하였으며 따라서, 보 해석 모델은 간단한 Timoshenko 보 해석 이론을 적용하였다. 유체력의 산정은 스트립이론에 기초한 모멘텀 슬래밍 이론(Yamamoto 1978)을 적용하였다. 한편, 대파고 대운동을 전제로 하고 있으므로 유체력 산정시에는 일반적인 선형 운동체 이론에 덧붙여 대파고 운동에 따른 물체 경계의 변화를 고려한다. 즉, 매시간 유체력의 평가시 배의 운동과 파도의 상대변위로부터 물수부의 형상을 정확하게 추정하여 물수체의 비선형 경계 조건이 만족되도록 한다.

이하에서는 이들 해석이론에 관한 전개와 함께, 최종적인 비선형 운동방정식의 수치해석적 방법 등에 관하여 간단히 기술하기로 한다.

먼저, 선체는 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 파장 λ , 파 진폭 A의 정현파에 대하여 조우각 π 를

이루면서 (정면파로 국한) x방향으로 평균 속도 U로 전진한다고 본다.

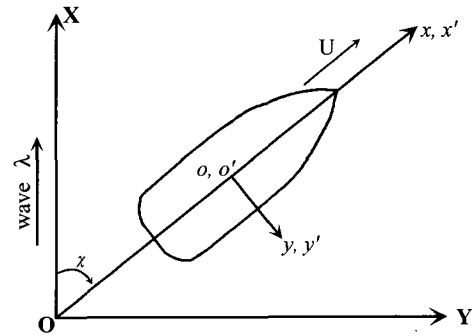


Fig. 1. Coordinates and wave direction

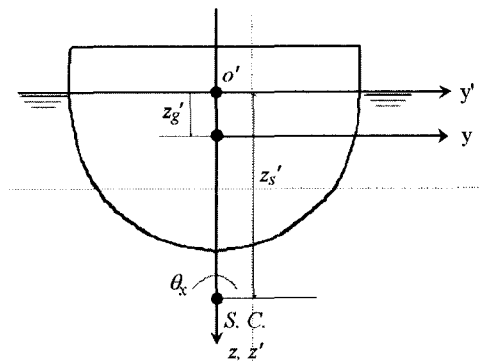


Fig. 2. Coordinates within section

스트립 이론에 근거하여 선체의 단면에 작용하는 수직 방향 (Fig. 2의 z 축) 유체력은 다음 (1) 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\delta F_z = \delta F_{Dz} + \delta F_{Sz} \tag{1}$$

여기서, δ 는 단위 길이 당 각 단면에 작용하는 유체력을 의미하며, 첨자 D는 동유체력, 첨자 S는 정유체력과 Froude-Krylov 유체력의 합력을 의미한다.

모멘텀 충격이론과 스트립이론을 배경으로, 단면에 작용하는 동유체력은 파랑에 대한 선체의 상대운동을 고려하여 (2)식과 같이 표현할 수 있다. 여기서는 일반 선형 이론에 나타나는 산란파 기진력과 방사파 기진력을 포함하여, 슬래밍 충격력을

의미하는 부가질량계수의 시간 변화량 등이 고려되고 있다.

$$\delta F_{Dz} = -\frac{D}{Dt} [m_{HH} \frac{D\bar{w}}{Dt}] - [N_{HH} \frac{D\bar{w}}{Dt}] \quad (2)$$

여기서, 첨자 H는 heave 운동을 나타내며, m_{HH}, N_{HH} 는 heave 운동에 의한 부가질량과 조파감쇠계수이다. 또한, 연산자 $\frac{D}{Dt}$ 는 시간에 대한 전미분 연산자이다.

식 (2)에서 \bar{w} 는 파에 대한 단면의 상대변위를 의미하며, 다음과 같이 주어진다.

$$\bar{w}(x, t) = w(x, t) - \bar{\zeta}_e(x', t) \quad (3)$$

여기서, $w(x, t)$ 는 선체단면의 수직방향 변위를, $\bar{\zeta}_e(x', t)$ 는 해석 대상파의 대표 파고면을 의미한다.

식(2)에서 각 계수의 시간에 대한 미분값이 슬래밍 충격력을 나타내고, 상대운동 성분 중 선체단면의 운동에 의한 유체력이 radiation 유체력이고, 파입자에 의한 유체력이 diffraction 유체력이다.

한편, 입사파 내부압력에 의한 힘, 즉 Froude-Krylov 유체력과 중력 및 부력의 합력인 정유체력은 임의 시간에서의 수면하 단면 형상이 정해지면 입사파 내부압력을 물수 표면을 따라 직접 적분하여 구할 수 있다.

이들 정유체력과 동유체력의 합으로써 한 개의 스트립에 작용하는 단면 외력이 구해지면 Timoshenko의 보이론에 유한요소해석법을 적용하여, 다음과 같은 행렬 형태의 최종적인 운동 방정식을 설정할 수 있다(박성환 2000).

$$M \ddot{Q}(t) + C \dot{Q}(t) + K Q(t) = F_0 \quad (4)$$

여기서,

$$Q(t) = [w^1 \theta_y^1 \ w^2 \theta_y^2 \ \cdots \ w^n \theta_y^n]$$

w : 절점의 heave 변위

θ : 절점의 pitch 각

n : 이산화된 전체 보 절점의 개수

$$M = M_{s+} M_f$$

$$C = C_{s+} C_f$$

$$K = K_{s+} K_f$$

이며, M_s, C_s, K_s 는 각각 선체의 질량 행렬, 감쇠 행렬, 강성 행렬을, $M_f, C_f,$

K_f, F_0 는 각각 부가질량 행렬, 유체 동감쇠 행렬, 유체 동복원 행렬, 파 강제외력을 의미한다.

식 (4)의 전체 변위 벡터를 구하는 방법으로는 모드 중첩법의 원리를 활용하여 기저축소된 운동 방정식을 도출하고, 이에 대하여 시간적분법을 적용하는 방법을 사용하였다.(박성환 2000)

한편, 식 (4)의 시간 적분법의 구체적인 방법으로는 해의 수렴성이 보장되는 음해법 중 하나인 Newmark- β 법을 이용한다.

3. 프로그램의 기능 및 특성

개발되어진 선체 휘핑 해석 전용 프로그램(WHIPS : Whipping Analysis System of Ship Hulls)은 사용자의 사용편의를 위하여, hull girder 모델링, 파라자료, control data 등 입력자료에 관한 효과적인 처리와 해석 결과에 대한 다양한 그래픽 처리를 위한 GUI (Graphic User Interface) 개발이 포함되었다.

GUI 기능에 덧붙여 개발된 프로그램의 주요기능과 특성으로는 다음 같은 것을 들 수 있다(박성환 2002).

(1) 각종 입/출력 자료 및 결과의 그래픽 처리를 통한 가시화 (GUI)

a) WINDOW 형식을 통한 편리한 변수의 입력(Fig. 3. 참조)

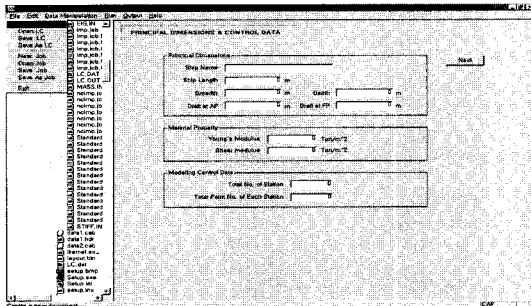


Fig. 3. Window for input data

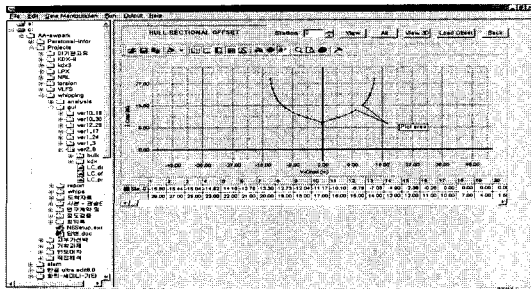


Fig. 4. Check and repair of input data

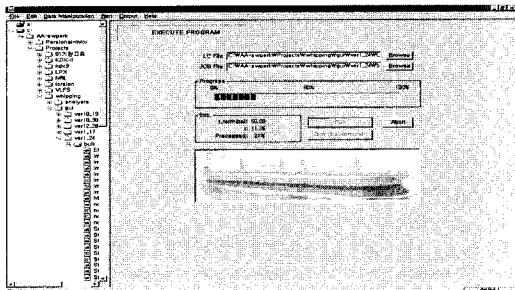


Fig. 5. Execution function of the program

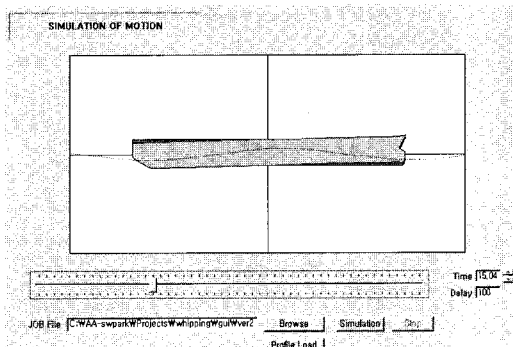


Fig. 6. Simulation of ship motion

- b) Option data에 대한 버튼 처리
- c) 그래픽 출력을 통한 입력 자료 error 확인 기능 (Fig. 4. 참조)
- d) 상용의 그래픽 LIB(ChartFX 그래픽 lib)의 활용
- e) 각 변수의 설명 및 단위 등을 화면상에 표시
- f) 파일 loading 형태의 입력력 자동화 실현
- g) 화면상에서의 hull form 수정 기능 (Fig. 4 참조)
- h) Background를 통한 해석 수행 기능 (Fig. 5 참조)
- i) Simulation of ship motion의 제공 (Fig. 6 참조)

(2) 대파고 및 미소파고 상의 선체 운동해석
 본 WHIPS 프로그램은 본질적으로 대파고 상의 선체 운동을 해석 대상으로 하고 있다. 따라서, 보통의 선체 운동해석 프로그램과 같이 주파수 영역에서의 미소파고 해석은 관심 대상이 아니라고 할 수 있다. 그러나, 필요한 경우 미소 파고의 선형 운동 해석도 시간영역해석의 형태로는 가능하다.

(3) 휘핑해석 주요 응답 형태

본 프로그램은 대파고 상의 선체 운동을 해석 대상으로 하고 있고, 유체-구조 연성을 고려하므로 시간영역에서 비선형 운동해석이 수행되어진다. 따라서, 모든 운동응답 결과는 일정 기간내 시간 이력으로 나타나며 구체적으로는 다음의 응답 결과를 모든 단면(station)에서 구할 수 있다.

- a) Heave displacement, velocity and acceleration
- b) Pitch angle, velocity and acceleration
- c) Relative displacement at bottom
- d) Relative velocity
- e) Vertical bending moment and shear force

한편, 이들 각 응답은 선체의 일정 단면에서의 시간 이력 곡선의 형태를 기본적으로 주지만, 일

정 시각에서의 각 응답의 선체 길이방향 분포 또한 쉽게 얻을 수 있다.

(4) 슬래밍에 의한 유체 충격력의 고려

유체력 산정시 impact force의 포함 여부를 선택함으로써 이에 따른 효과를 검토할 수 있다.

(5) 초기 정수중 평형 해석

정수상태에서의 해석 기능이 포함되므로 입력자료로 주어진 선체 중량 분포와 선체 선형 자료의 초기 상태에 대한 평형 check가 가능하고, 이 해석을 통하여 각종 파랑응답에 내재한 정수상태의 기여분을 미리 확인 할 수 있다.

(6) 선수 선저 슬래밍 발생 판단 기능

본 해석 프로그램에서는 다음과 같은 방식을 통하여 슬래밍 발생시점을 찾아낼 수 있다. 이들 방식은 독립적으로 활용될 수도 있으나, 서로의 방법을 cross-check하면 보다 분명하게 슬래밍 발생 시점을 확인할 수 있다.

a) 선수 위치에서 파면과의 상대 heave 변위 및 상대 heave 속도를 check

전술한 응답형태 중 상대변위는 각 단면의 최저점(bottom 위치)에서의 파면입자와의 상대변위를 의미하므로, 이 선저부 상대변위가 (+) 값에서 (-) 값으로 변하면 선수부 입수 상태를 의미한다. 이때, 입수 상대속도가 다음의 슬래밍 발생 기준 상대속도(Threshold Velocity) 이상이면 슬래밍 발생으로 판단한다.(Ochi 1964)

$$V_{TH} = 0.093\sqrt{gL} \quad (5)$$

b) Simulation of ship motion 기능을 이용한 판단

프로그램의 option 중 Simulation of Motion을 선택하면 선체의 파도 중 운동상태를 가시적으로 확인할 수 있다(Fig. 6 참조).

c) Whipping response 처리 기능의 이용

본 해석 프로그램에서는 필요에 따라 선체 운동 응답에서 순수한 whipping response 만을 분리하여 분석할 수도 있다. 여기서 순수한 whipping response라 함은 다음과 같이 정의될 수 있는 것이다.

$$\text{Pure Whipping Response} = (\text{Elastic Response with Impact Option}) - (\text{Rigid Response without Impact Option}) \quad (6)$$

Fig. 7은 whipping response 만을 별도로 처리한 결과의 일례로서, whipping response는 강제 운동 성분이 제외되었기 때문에 순수 탄성 진동 성분이며, zero 축을 기준으로 대칭 진동하는 특성이 있음을 잘 나타낸다. 본 진동응답의 주기는 대상 선박의 2 절점 상하진동 주기와 일치하며, 슬래밍 충격이후 응답이 자연 감소하는 전형적인 충격 응답형태를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 sagging 모멘트(- 값)가 급격히 발생하는 16 sec, 24 sec 시점 부근이 바로 슬래밍 발생 시점을 의미한다.

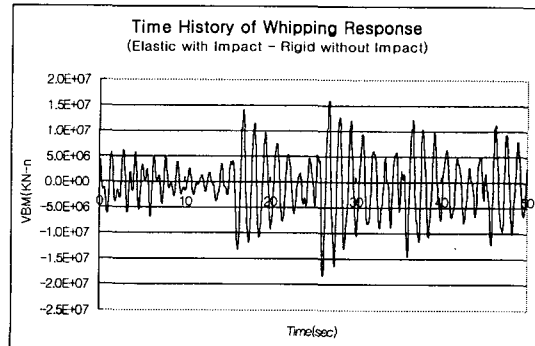


Fig. 7. An example of whipping response : VBM history

4. 프로그램의 검증

개발된 프로그램(WHIPS)의 정도와 특성을 검증하기 위하여 다음과 같은 175K Ore Carrier 선박에 대한 시계산을 수행하였다.

Table 1은 주요 제원과 재료 상수 값이다. Fig. 8은 각 station 별 단면형상으로써, 모두 21 station에 각41개의 offset points로 모델링되었다.

Table 1 Principal dimensions of an ore carrier

Ship Length	281.0 m
Breadth	48.0 m
Depth	23.7 m
Draft of Design	17.0 m
Young's Modulus	0.210E+08(ton/m**2)
Shear Modulus	0.808E+07(ton/m**2)

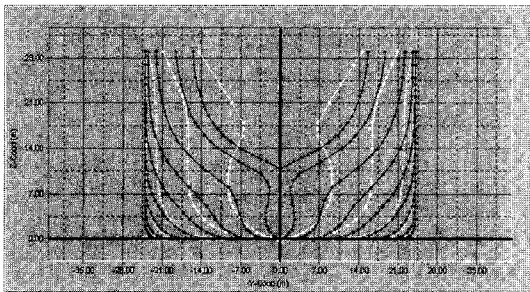


Fig. 8. Body plan of an ore carrier

프로그램의 정도 검증은, 먼저, 전체 프로그램의 기능 중 대파고의 고려에 따른 비선형 해석 기능과 유체 충격력 고려 기능을 제외한, 즉, 선형 미소파고 운동해석으로 해석 대상을 국한하여 이에 대한 결과를 비교한다. 이 때, 비교 대상으로는 선형이론에 의한 선체 운동해석 프로그램 WAVESHIP(DNV 1994)의 결과를 이용하였다. 선형 운동해석 프로그램과의 비교는 시간영역 해석에서는 불가능하므로, 각 응답의 RAO를 비교하는 방법을 이용하였다.

한편, 대파고 계산 기능, 유체충격력 계산 기능에 관해서는 본 프로그램의 해석 parameters를 적절히 조절하는 parametric study를 수행함으로써 그 정도를 확인하였다.

Fig. 9, 10, 11은 각 wave frequency에 대한 중앙단면(station 10)에서의 종굽힘 모멘트와 heave 운동변위 및 pitch 운동변위 RAO를 각각 비교한 것이다. 계산의 결과에서 보는 바와 같이 각각의 응답 RAO가 거의 일치함을 알 수 있다.

한편, 프로그램의 대파고 계산 기능, 유체충격력 계산 기능 등의 특성을 파악하기 위한

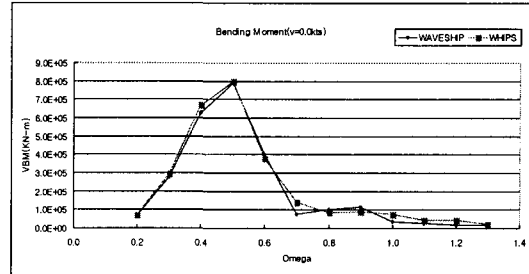


Fig. 9. RAO of vertical bending moment

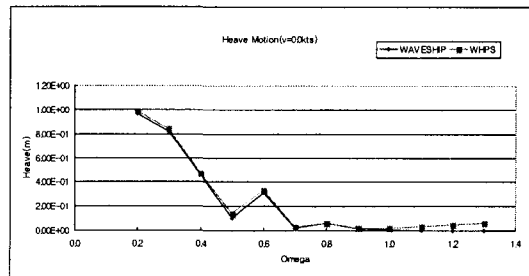


Fig. 10. RAO of heave motion (0 m/sec)

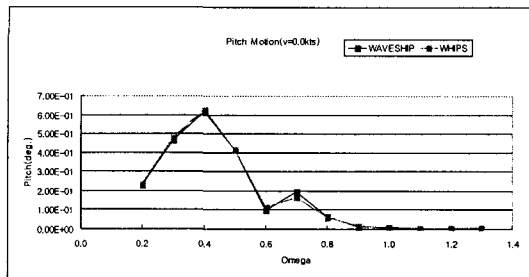


Fig. 11. RAO of pitch motion (0 m/sec)

parametric study는 다음과 같이 수행하였다. 먼저, Design speed (15.3knots)에서 슬래밍이 일어나는 파고 14.0 m를 기준조건으로 설정하였으며, 각기 변수에 대한 parametric study는 나머지 조건을 일정하게 고정시키고 해당 변수만을 바꾸어 가는 방법을 선택하였다. 선속, 파고, 파장 등의 해석 대상 입력파의 특성을 나타내는 변수들과 error율, 중첩모드 수, 단면 offset point 수, impact 유무, structural damping 등 수치해석상의 여러 control parameters에 대한 특성 분석을 수행하였다. 각 계산 조건에 대한 응답은 선체의

중양부에서의 종굽힘 모멘트를 선택하여 검토하였다. 그리고, 이하의 결과 그림에서 첨자 e는 탄성 해석, 첨자 r은 강체해석을 의미한다.

먼저, Fig. 12, 13, 14는 각각 선속의 변화에 따른 결과로써, 선속이 6 m/sec 이상에서부터 휘핑현상이 나타나기 시작하였다. 선속이 10 m/sec에서는 휘핑에 의한 탄성 응답의 fluctuation이 크게 나타남을 분명하게 확인할 수 있었다.

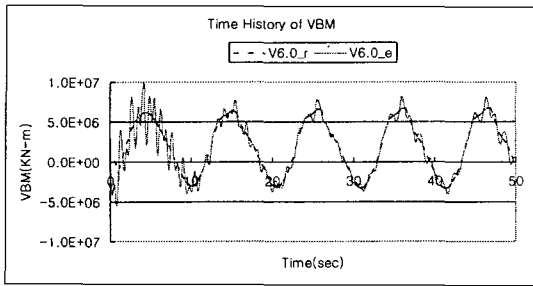


Fig. 12. Time history of VBM : Ship speed variation (6.0 m/sec)

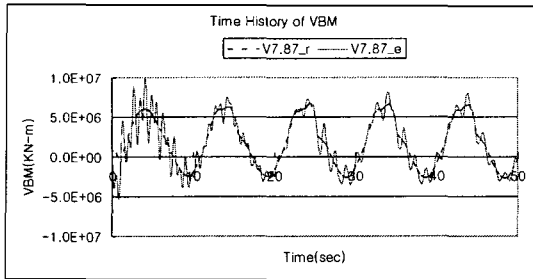


Fig. 13. Time history of VBM : Ship speed variation (7.87 m/sec)

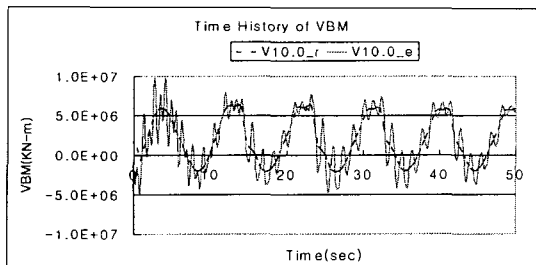


Fig. 14. Time history of VBM : Ship speed variation (10.0 m/sec)

Fig. 15, 16, 17은 파고의 변화에 대한 계산 결과로써, 파고가 증가함에 따라 응답이 증가하며 탄성응답의 경우도 fluctuation이 커지는 현상을 보인다. 좀 과하다 할 정도의 18.5 m 파고에 대해서도 프로그램은 계산이 잘 수행되었고, 슬래밍에 의한 휘핑의 과도 응답 특성을 잘 확인할 수 있었다. 본 계산 조건에서는 파고 14.0m($\lambda/H_w = 20$)의 기준 조건에서부터 슬래밍 현상이 나타나고, 파고 11.5m($\lambda/H_w = 24$)이하에서는 슬래밍이 거의 발생하지 않고 있다.

파장에 대해서는 L_w/L 을 0.8에서 1.0, 1.2, 1.5, 2.0 등으로 변화시키며, 선체 중양부에서의 굽힘모멘트의 변화를 검토하였다. Fig. 18과 19는 $L_w/L = 1.0$ 과 $L_w/L = 1.5$ 의 계산결과이다. 파장의 변화는 L_w/L 이 1.0과 1.2 사이에서 최대 응답을 보였다. 기타 수치해석 관련 변수에 관한 parametric study 결과에 관해서는 지면관계상 생략한다.

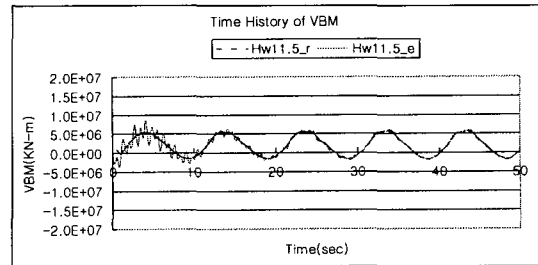


Fig. 15. Time history of VBM : Wave height variation (11.5 m)

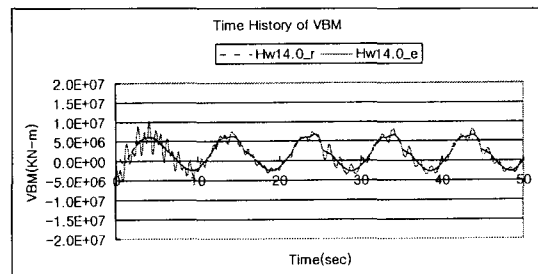


Fig. 16. Time history of VBM : Wave height variation (14.0 m)

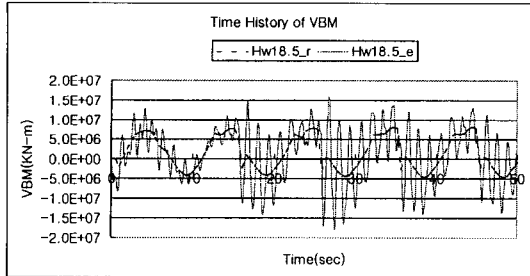


Fig. 17. Time history of VBM : Wave height variation (18.5 m)

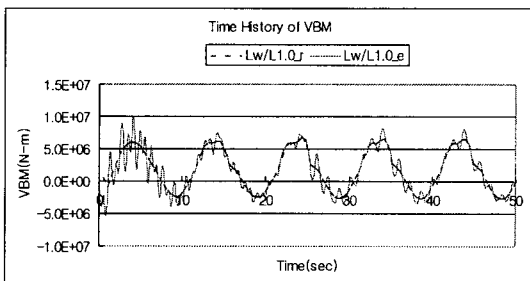


Fig. 18. Time history of VBM : Wave length variation (Lw/L=1.0)

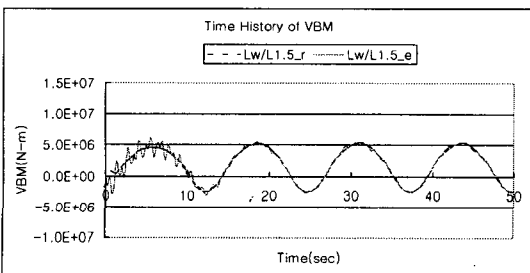


Fig. 19. Time history of VBM : Wave length variation (Lw/L=1.5)

5. 설계적용례

5.1 대상선박 및 해석조건

해석 대상 선박의 주요제원은 Table 2와 같다. Table 3은 휘핑을 고려했을 경우의 설계파랑 조건을 나타낸다.

휘핑해석의 결과에 관한 안전성 평가는 선체 중앙단면(station 10)에서 작용하는 최대 총굽힘 모

멘트의 크기로 평가하였다. 기준이 되는 총굽힘 모멘트 값은 본 선박의 갑판 및 선저부에 사용된 판재의 항복강도 및 좌굴강도를 고려하여 Table 4와 같이 결정하였다.

Table 2. Principal dimensions of the example ship

수선간 길이	138.00 m
형폭	17.40 m
형깊어	9.50 m
만재흘수	4.92 m
만재배수량	5500 ton

Table 3. Design waves for whipping analysis

해상상태	파고 (m)	파장 (m)	선속 (knots)
5	3.25	138 m	15
			29
7	7.50	138 m	11
			15
			29
9	14.0	138 m	8
			11

Table 4. Design criteria for vertical bending moment

상태	위치	기준응력 kN/m^2	단면 계수 m^3	굽힘 모멘트 $kN-m$	기준 모멘트 $kN-m$
호강	갑판	353,200 (인장)	3.04	1.073×10^6	8.360×10^5
	선저	242,300 (압축)	3.45	8.360×10^5	
새강	갑판	206,700 (압축)	3.04	6.284×10^5	6.284×10^5
	선저	353,200 (인장)	3.45	1.218×10^6	

5.2 종굽힘 모멘트 계산결과

먼저, Fig. 20은 설계파 3.25 m시의 해석결과로서, 휘핑현상은 거의 나타나지 않으며, 선속을 29 Knots로 증가하여도 충분히 안전함을 확인할 수 있다. 그림에서 y축은 선체 중앙단면의 종굽힘 모멘트의 시간별 크기변화를 나타내고 있으며, allowable hogging 및 sagging 모멘트 값은 Table 4에서 제시한 기준모멘트를 의미한다.

Fig. 21, 22, 23은 sea state 7에 대응하는 설계파 7.5 m시의 휘핑해석 결과이다. 선속이 빨라짐에 따라 슬래밍의 발생 빈도도 증가하며, 휘핑에 의한 종굽힘 모멘트의 크기도 증가함을 알 수 있다. 그러나, 선속이 29 Knots에 도달하여도 앞에서 제시한 안전 기준 모멘트에는 도달하지 않을 수 있다.

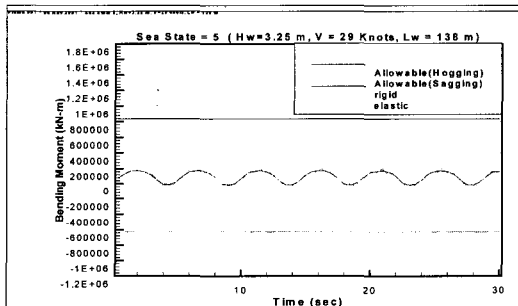


Fig. 20. Time history of vertical bending moment at midship (ship speed = 29 Knots, wave height = 3.25 m)

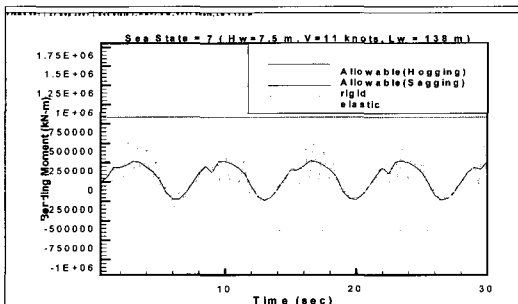


Fig. 21. Time history of vertical bending moment at midship (ship speed = 11 Knots, wave height = 7.5 m)

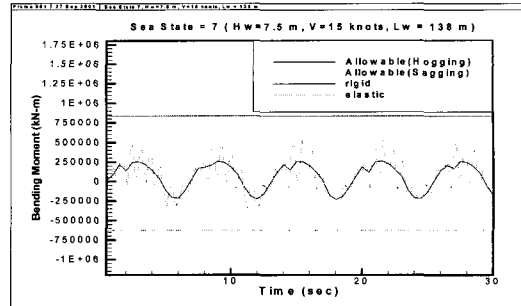


Fig. 22. Time history of vertical bending moment at midship (ship speed = 15 Knots, wave height = 7.5 m)

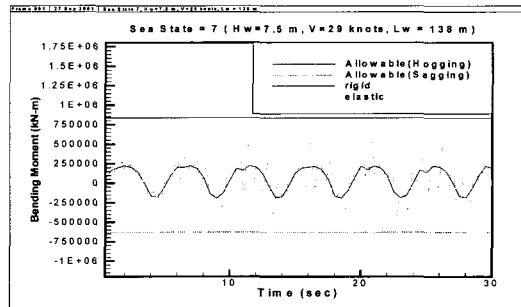


Fig. 23. Time history of vertical bending moment at midship (ship speed = 29 Knots, wave height = 7.5 m)

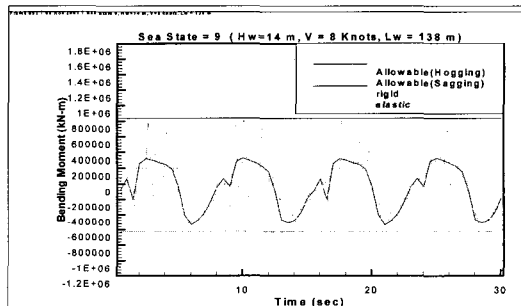


Fig. 24. Time history of vertical bending moment at midship (ship speed = 8 Knots, wave height = 14.0 m)

Fig. 24, 25는 sea state 9에 대응하는 설계파 14.0 m 시의 휘핑해석 결과로 선속이 8 Knots 인 경우에는 휘핑 모멘트의 최대값이 안전 기준을 만

족하고 있으나, 선속이 11 Knots로 증가하는 경우에는 휘핑 모멘트의 최대값이 안전 기준을 초과하고 있음을 알 수 있다.

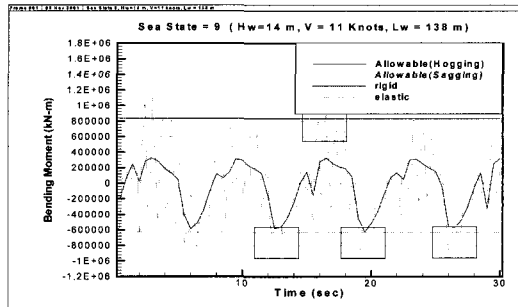


Fig. 25. Time history of vertical bending moment at midship (ship speed = 11 Knots, wave height = 14.0 m)

5.3 선수부 입수속도 및 Green Water

Table 5. Occurrence of slamming and green water according to wave conditions

No.	설계파 조건		슬래밍		Green Water		
	파고 (m)	선속:k nots	선수 출현	최대 입수 속도 (m/sec)	발생 여부	최대 변위	발생 여부 (기준: -14 m)
1	3.25	15	No	-3.6	No	-10.4	No
2	3.25	29	No	-4.5	No	-10.5	No
3	7.5	11	Yes	-7.1	Yes	-14.0	?
4	7.5	15	Yes	-8.9	Yes	-14.9	Yes
5	7.5	29	Yes	-10.0	Yes	-14.1	?
6	14.0	8	Yes	-12.5	Yes	-18.9	Yes
7	14.0	11	Yes	-15.7	Yes	-22.0	Yes

슬래밍에 의한 국부 구조의 안전성을 검토하기 위해서는 선수부에 작용하는 슬래밍 압력을 구하여야 한다. 슬래밍 압력을 구하기 위해서는 선수가 입수 혹은 플레어 슬래밍 발생시 파면과의 상대 속도의 추정이 가장 중요한 문제로 나타난다. 따라서, 여기서는 Table 3에 제시된 각 설계파 조건에서 슬래밍 발생 시점과 이 순간의 최대 입수 속도를 계산하였다.

각 조건에서의 선수출현 여부, 입수 최대속도, 슬래밍 발생여부, 그리고 green water 현상의 발생 여부를 종합하면 Table 5와 같다.

Table 5의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 동일한 파고에 대해서는 선속이 증가할수록 슬래밍 발생 확률이 높아지며, 입수속도도 커짐을 알 수 있다. 또한 파고가 매우 큰 14 m 경우에는 선속이 작더라도 슬래밍 및 green water 현상을 피하지 못함을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 대파고 파랑중을 항해하는 선박에 대하여 슬래밍 충격에 따른 선체 hull girder의 휘핑 현상을 해석할 수 있는 전산프로그램 WHIPS (Whipping Analysis System of Ship Hulls)을 개발하였고, 이에 대한 정도검증 및 설계 적용성을 구체적인 계산예를 통하여 확인하였다.

휘핑 현상을 선체의 종강도 안전성 평가에 적용하기 위해서는 안전성 판단 기준이 미리 정립되어야 하나, 현 단계에서는 중앙단면에 작용하는 굽힘 모멘트 및 전단력의 크기로 평가가 가능한 것으로 판단된다. 한편, 선수부의 몰수시 상대 입수 속도, green water 발생 여부를 제시함으로써 이들 결과를 이용한 선수부 구조설계 및 기타 선박 운동성 관점에서의 안전설계 등의 분야에도 활용도 기대된다.

참 고 문 헌

- 신구균, 김사수, 손성원, 1992 “선박의 비선형 유체력을 고려한 파랑중 동적가도 해석법에 관한 연구”, 대한조선학회논문집, 제29권 제4호

- 김사수, 신구균, 손성완, 김재홍, 1993 “대파고 파랑중에서의 선체강도 해석에 관한 연구 - 선종에 따른 강도, 응답특성비교 -”, 대한조선학회논문집, 제30권 제4호
- 박성환, 이근배, 임채환, 2000 “슬래밍 충격하중을 고려한 선체 휘핑 해석”, 대한조선학회논문집 제37권 제3호 pp.99 - 109
- 박성환, 이재경, 오상현, 송명재, 권승민, 2002 “휘핑을 고려한 선체 종강도 해석법에 관한 연구”, 대한조선학회 2002년도 춘계학술대회논문집, 부산
- 박성환, 이재경, 오상현, 송명재, 권승민, 2002 “휘핑을 고려한 선체 종강도해석 전용 프로그램의 개발”, 대한조선학회 2002년도 춘계학술대회논문집, 부산
- Ochi, M.K., 1964 "Extreme Behavior of Ship in Rough Seas - Slamming and Shipping of Green Water," SNAME Trans. Vol.72
- Yamamoto, Y., Fujino, M., and Fukasawa, T., 1978 "Motion and longitudinal strength of a ship in head sea and the effects of non-linearities(1st and 2nd report)", J. of SNAJ, Vol. 143, pp. 179-187, Vol. 144, pp. 214- 218
- DNV, 1993 "WAVESHIP, WAVE Loading on SHIPs (Strip Theory), User's Manual"



< 박 성 환 >



< 이 재 경 >



< 오 상 현 >



< 송 명 재 >



< 권 승 민 >