

# 부선의 파랑중 저항 증가에 관한 연구

안병길\* · † 이상민

\*군산대학교 대학원, † 군산대학교 해양생산학과 교수

## Study on the Added Resistance of Barge in Waves

Byung-Kil Ahn\* · † Sang-Min Lee

\*Graduate School of Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

† Dept. of Marine Science and Production, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

**요 약** : 선박이 파랑중을 항행할 경우에는 정수중에 비하여 저항이 증가하기 때문에 예부선의 안정성 확보를 위해 예선의 예인마력과 예인삭의 절단하중 등을 산정할 때에 부선의 정수중 저항값 및 파랑중 저항값을 정확히 추정해야 안전한 예항업무를 이행할 수 있다. 현재 정부에서 제안하고 있는 방법에 의하면 부선의 전저항 산정시 마찰저항, 조파저항, 공기저항은 선체의 형상 및 예선의 속력 등을 고려하여 산정하지만 부가저항은 유의파고에 따라 일률적으로 적용하고 있다. 본 연구에서는 파랑중 부가저항 추정을 위해 수치계산을 실시하여 wigley 선형에 대한 기존의 실험 데이터와 상호 비교함으로써 본 계산법의 유효성을 검증하고, 검증된 수치계산법을 토대로 실무에서 많이 사용되고 있는 두개의 부선 모델을 대상으로 계산을 실행한 결과 부선의 부가저항은 파도와 의 만남각에 따라 약 0.3~1.1톤, 예인속력에 따라 약 0.4~1.2톤, 선수형상에 따라 약 0.5~1.1톤으로 차이가 발생함을 확인하였다.

**핵심용어** : 부선, 부가저항, 파랑, 예인속력, 만남각, 선수형상

**Abstract** : It is necessary to estimate more accurately the resistance of barge in still water and waves to compute the break load of towline and towing power for safety towing performance. The method proposed by government has calculated the total resistance of barge which is composed of frictional resistance, wave making resistance and air resistance considering the shape of hull and towing speed. However, the added resistance is equally applied with the significant wave height regardless of the type of vessels. In this study, we have carried out the numerical calculation to estimate the added resistance of wigley model in waves and compared with the experiment data to confirm the accuracy of the method. Then the computation was executed for the barge varying shape of the bow. As a result, added resistance of barge was differently occurred i.e. 0.3~1.1 ton according to encounter angle, 0.4~1.2 ton according to towing speed and 0.5~1.1 ton according to shape of bow.

**Key words** : Barge, Added resistance, Wave, Towing speed, Encounter angle, Shape of bow

## 1. 서 론

실해역에서 예선이 부선과 함께 항행할 경우 정수중에 비하여 저항이 증가하여 예인삭 절단 및 예선의 조종성능의 제한 등으로 인한 해양사고의 위험에 노출되어 있다. 예부선의 안정성 확보를 위한 예선의 예인마력과 예인삭의 절단하중 등을 산정할 때 부선의 정수중 저항값 뿐만 아니라 파랑중에서의 부가저항 값을 추정하여 실제 해상에서 활용할 수 있는 사전 연구가 필요하다.

이와 관련하여 정수중 부선 주위의 유동특성에 관한 연구가 시행되었으며(이 등, 2010), 파랑중 부가저항에 관한 연구로서는 파랑중 저항증가의 근사계산법(高木, 1991), 파랑중 선체동요 및 저항증가에 대한 연구(柏木 등, 2000), Maruo 공식에 의한 부가저항의 계산법(홍 등, 2001) 등에 의해 수치계산을 토

대로 세장체 선박에 대한 파랑중 부가저항 계산법의 개선이 제안되고 있다.

현재 정부에서는 예선과 관련된 법령 ‘선박안전법 시행규칙 제81조’에 의해 부선의 전저항 산정식을 제안하고 있으나, 전저항 산정시 마찰저항, 조파저항, 공기저항은 선체의 형상 및 예선의 속력 등을 고려하여 산정하지만 부가저항은 유의파고에 따라 일률적으로 적용하고 있다(국토해양부, 2010).

그러나 부선이 항행하고 있는 실해역에서의 부가저항은 여러 가지 해상상황에 따라 각각 다른 값을 내포하고 있으므로 보다 세밀하고 객관적인 검토가 필요할 것이다.

본 연구에서는 실무에서 많이 사용되고 있는 선수형상이 다른 두개의 부선 모델을 대상으로 하여 선속 및 파도와 의 만남각별 heave, pitch 및 부가저항의 수치계산을 실시하여 상호 비교하였다. Wigley 선형에 대한 기존의 실험 데이터와 상호

\* 연희원, abk1355@hanmail.net 063)469-1813

† 교신저자 : 종신회원, smlee@kunsan.ac.kr 063)469-1814

비교함으로써 본 계산법의 유효성을 검증하고, 검증된 수치계산법을 토대로 서로 다른 형태의 부선에 작용하는 파랑중 저항 증가에 대한 특성을 조사·분석하였다.

## 2. 수치계산

### 2.1 부선의 전저항 산정

피에인선인 부선에 미치는 전저항은 아래의 식과 같이 마찰저항, 조파저항, 공기저항, 부가저항으로 구성된다(국토해양부, 2010). 마찰저항, 조파저항, 공기저항은 정수중에서의 저항값에 해당되며, 여기에 파랑이 있는 실효역에서의 부가저항이 고려되고 있다.

$$R_t = R_f + R_w + R_a + \text{유의파고의 부가저항 (ton)} \quad (1)$$

$$R_f = 0.000136F_1 \times A_1 \times V^2 \text{ (ton)}$$

$$R_w = 0.014C \times F_2 \times A_2 \times V^2 \text{ (ton)}$$

$$R_a = 0.0000195C_s \times C_H \times A_3 (V_W + V)^2 \text{ (ton)}$$

여기서,  $R_f$ : 마찰저항,  $R_w$ : 조파저항,  $R_a$ : 공기저항,  
 $F_1$ : 선체표면의 상태를 나타내는 계수,  
 $A_1$ : 수면하부의 침수표면적( $m^2$ ),  
 $V$ : 예인속력(Knots),  
 $C$ : 거친 해상상태의 저항계수,  
 $A_2$ : 수면하부의 선체횡단면적( $m^2$ ),  
 $C_s$ : 바람에 먼한 선체표면형상계수,  
 $C_H$ : 바람에 먼한 면적중심의 수면으로부터의  
 높이에 의한 계수,  
 $A_3$ : 바람에 노출된 수선상부의 전체 횡단면적( $m^2$ ),  
 $V_W$ : 풍속(Knots).

Table 1 Added resistance due to wave(국토해양부, 2010)

Significant wave height(m)	Added resistance(ton)
1.5	1.0
3.0	5.5
4.5	10.0
6.0	14.0
7.5	16.0

위의 전저항 산정식에서 마찰저항, 조파저항, 공기저항을 산정할 때에는 선체형상 및 예인속력 등에 대한 고려가 이루어지지만 부가저항은 Table 1과 같이 선체형상 및 외부의 영향을 고려하지 않고 유의파고에 따라 부가저항을 일률적으로 적용하고 있다.

Table 2는 Fig. 1의 선박을 대상으로 부선의 피에인시 전저항을 계산한 결과로서 예인속력에 따른 전저항을 (1)식을 사용하여 산정한 것이다(한국선급, 2008).

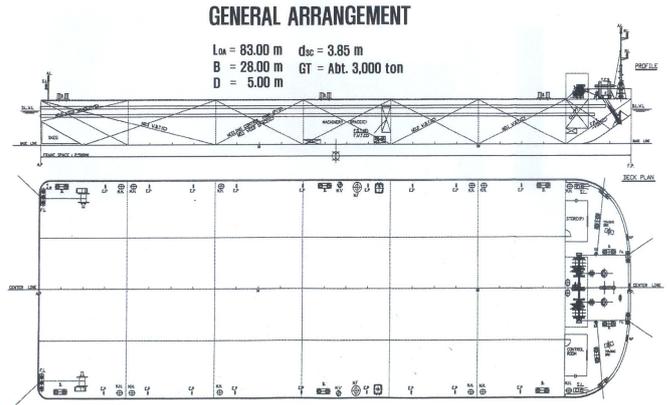


Fig. 1 Barge model

Table 2 Total resistance on barge model

Towing Speed (knot)	$R_f$ (ton)	$R_w$ (ton)	$R_a$ (ton)	$R_{add}$ (ton)	Total Resistance (ton)
5	6.78	11.66	11.50	14.00	43.94
	15%	27%	26%	32%	
6	9.76	16.79	11.92	14.00	52.47
	19%	32%	23%	27%	
7	13.29	22.85	12.35	14.00	62.49
	21%	37%	20%	22%	
8	17.36	29.85	12.79	14.00	74.00
	23%	40%	17%	19%	
9	21.97	37.78	13.24	14.00	86.99
	25%	43%	15%	16%	
10	27.12	46.64	13.69	14.00	101.45
	27%	46%	13%	14%	

전저항 추정식 (1)에 의해 계산된 결과인 Table 2를 살펴보면 예인속력이 증가함에 따라 마찰저항, 조파저항, 공기저항이 증가하여 전저항이 증가하지만 부가저항은 예인속력에 관계없이 유의파고 6m에 해당하는 14톤을 일률적으로 적용하고 있다.

그러나 실제 해상에서는 예선의 속력, 파도와 의 만남각 및 부선의 형상에 따라 부가저항 값이 다르게 분포되어진다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같이 일반 실무에서 많이 사용되고 있는 대표적인 두가지 형태의 부선을 대상으로 수치계산을 실행하여 각각의 부가저항의 특성에 대하여 비교·검토를 이행하였다.

### 2.2 부가저항의 계산

본 연구에서는 선체운동계산을 위해 스트립법인 NSM(New Strip Method)을 이용하여 heave와 pitch의 연성운동방정식을 해결하였다. 그리고 저항증가는 Maruo의 이론에 따라 3차원 Kochin 함수를 이용하여 계산하였으며 계산식은 다음과 같다(柏木 등, 2000).

$$\frac{R_{AW}}{\rho g A^2} = \frac{1}{4\pi k_0} \left[ -\int_{-\infty}^{k_1} + \int_{k_2}^{k_3} + \int_{k_4}^{\infty} \right] \{ |C(k)|^2 + |S(k)|^2 \} \times \frac{\kappa(k) \{ k - k_0 \cos \chi \}}{\sqrt{\kappa^2(k) - k^2}} dk \quad (2)$$

단,

$$\kappa(k) = \frac{1}{g} (\omega + kU)^2 = K + 2k\tau + \frac{k^2}{K_0}$$

$$\left. \begin{matrix} k_1 \\ k_2 \end{matrix} \right\} = -\frac{K_0}{2} (1 + 2\tau \pm \sqrt{1 + 4\tau})$$

$$\left. \begin{matrix} k_3 \\ k_4 \end{matrix} \right\} = \frac{K_0}{2} (1 - 2\tau \mp \sqrt{1 - 4\tau})$$

$$K = \frac{\omega^2}{g}, \quad \tau = \frac{U\omega}{g}, \quad K_0 = \frac{g}{U^2}$$

여기서  $U$ 는 선속,  $A$ 는 입사파 진폭,  $\omega$ 는 만남주파수 ( $\omega = \omega_0 - k_0 U \cos \chi$ ),  $\chi$ 는 입사각을 의미한다. (2)식의  $C(k)$ ,  $S(k)$ 는 Kochin 함수의 좌우대칭성분 및 반대칭성분을 나타낸 것이다.

### 2.3 수치계산의 검증

파랑중 부가저항은 선체운동에 기인하는 부가저항과 반사파에 기인하는 부가저항으로 이루어진다.

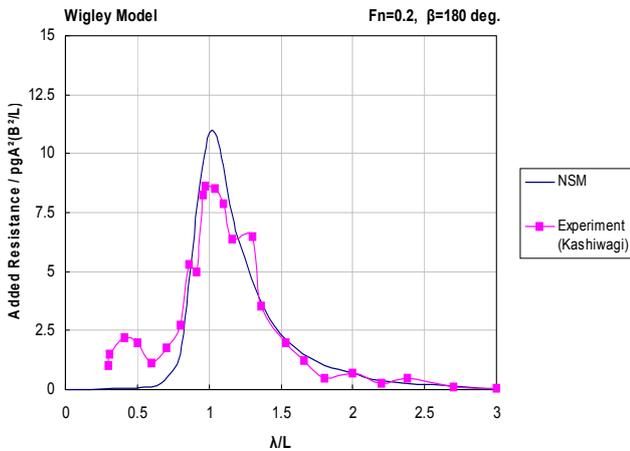


Fig. 2 Added resistance of wigley model at Fn=0.2

Fig. 2는 wigley 선형을 이용한 실험값과 본 연구에서 사용한 NSM에 의한 계산값을 비교한 것이다.

실험값은 栢木의 실험값을 이용하였으며(栢木 등, 2000), 수치계산은 본 연구에서 사용한 NSM을 사용하였다. NSM을 이용해 운동계산을 하고, 그 결과를 토대로 선체운동에 기인하는 부가저항과 반사파에 기인하는 부가저항, 즉 파랑중 부가저항의 계산은 Maruo식을 사용하였다.

실험 데이터와의 비교 결과 단파장 영역에서는 수치계산 값과의 차이가 조금 발생하고 있으나 전반적으로 NSM에 의한 계산결과는 실험 데이터와 잘 일치하고 있음을 Fig. 2를 통하

여 확인할 수 있다.

## 3. 계산결과 및 고찰

### 3.1 부선의 제원

수치계산에 사용된 모델 선박은 두 종류의 부선으로 Table 3에 기본적인 제원과 Fig. 3에 실제 선박의  $\frac{1}{50}$ 로 축소된 모델의 선수 형상을 나타내고 있다.

Table 3 Principal particulars of model ship

Classification	Displacement(m <sup>3</sup> )	LOA(m)	Breadth(m)	Draft(m)	Cb
KNU-001	1,474.0	50.0	12.0	2.8	0.8772
KNU-002	1,389.0	50.0	12.0	2.8	0.8267



Fig. 3 KNU-001 and KNU-002 model

Fig. 3은 KNU-001과 KNU-002모델의 선수형상으로서 전장, 폭 및 흘수가 같고 각각 만재상태를 기준으로 하여 수치계산을 실행하였다.

### 3.2 계산결과

Fig. 4~Fig. 6은 KNU-001 모델의 파장과 선박 길이의 비에 대한 heave, pitch 및 부가저항의 무차원화된 값을 선속별로 비교한 것이다. 여기서  $A$ 는 파진폭,  $\beta$ 는 파도와 의 만남각,  $k_0$ 는 파수를 의미한다. 파도와 의 만남각이 180°, 즉 정선수파일 경우 선속이 5kts에서 7kts 및 9kts로 증가함에 따라 heave, pitch 및 부가저항이 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 KNU-001 모델의 선속이 7kts인 경우를 기준으로 파도와 의 만남각별 부가저항을 비교한 것이다.

파도와 의 만남각이 정선수파일 180°와 선수로부터 좌우 30°범위인 150°에서 비교적 큰 부가저항이 나타나며, 정선수에서 60°방향의 입사파일 120°에서 부가저항 값이 가장 작게 나타났다.

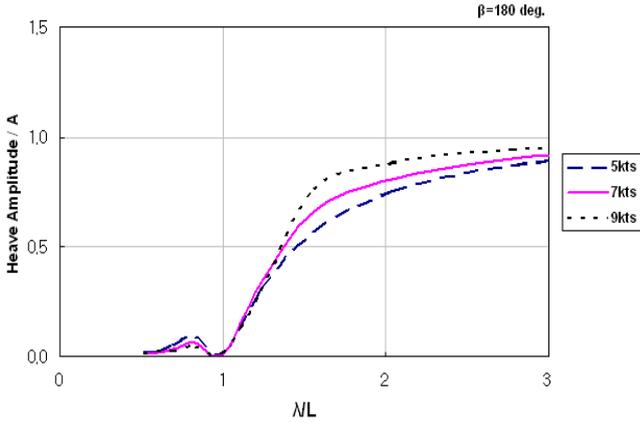


Fig. 4 Wave-induced heave motion of KNU-001 model

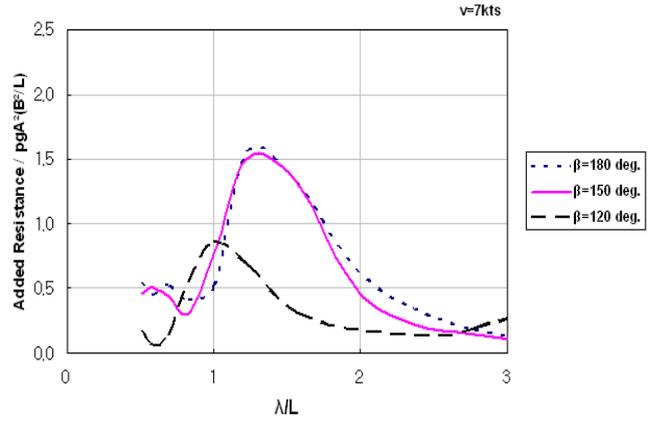


Fig. 7 Added resistance of KNU-001 model

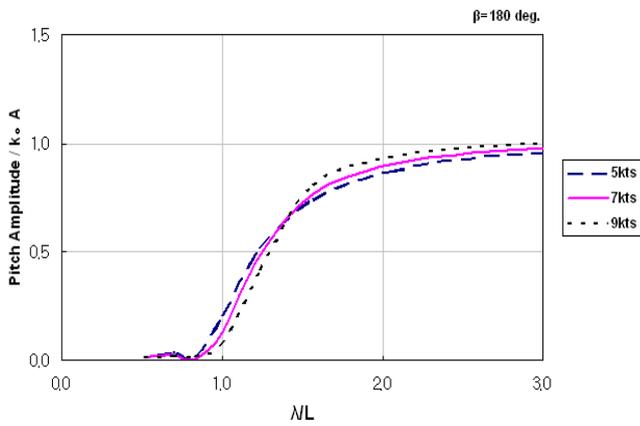


Fig. 5 Wave-induced pitch motion of KNU-001 model

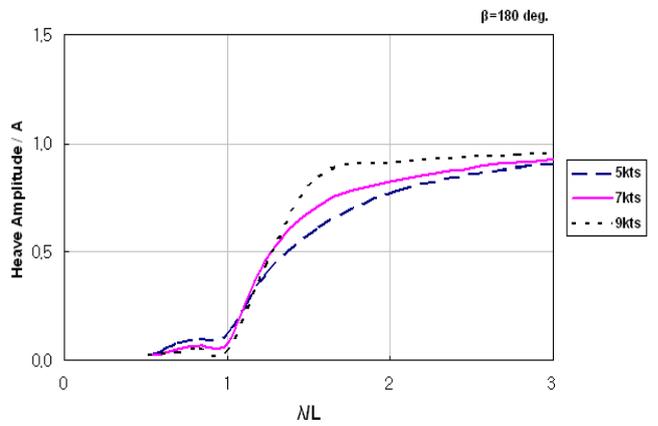


Fig. 8 Wave-induced heave motion of KNU-002 model

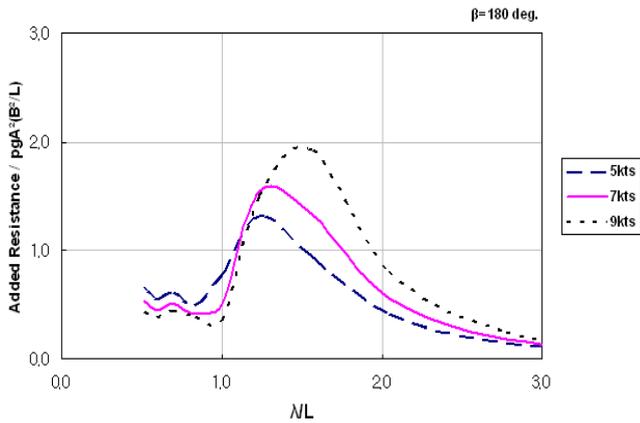


Fig. 6 Added resistance of KNU-001 model

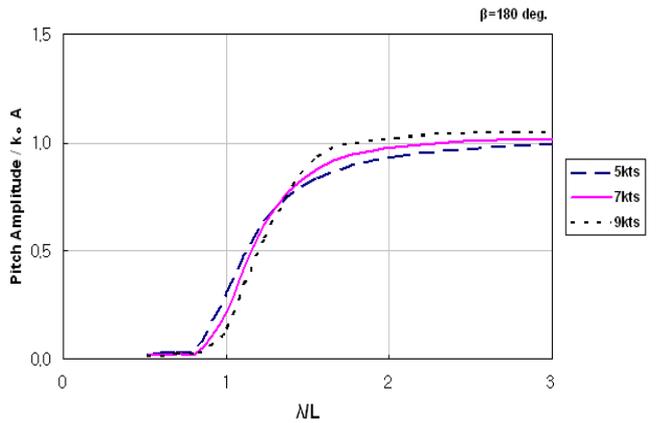


Fig. 9 Wave-induced pitch motion of KNU-002 model

Fig. 8 ~ Fig. 10은 KNU-002 모델의 파장과 선박 길이의 비에 대한 heave, pitch 및 부가저항의 무차원화된 값을 선속 별로 비교한 것이다. KNU-001 모델과 같이 파도와의 만남각이 정선수파일 경우 선속이 5kts에서 7kts 및 9kts로 증가함에 따라 heave, pitch 및 부가저항이 증가하는 것으로 나타났다. 선속이 증가함에 따라 부가저항이 커지는 것은 종운동인 heave와 pitch 운동 응답이 커지게 됨으로서 선체운동에 기인

하는 부가저항이 증가되는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 KNU-002 모델의 선속이 7kts인 경우를 기준으로 부가저항의 무차원화된 값을 파도와의 만남각별로 비교한 것이다. KNU-001 모델과 유사하게 파도와의 만남각이 정선수파인 180°에서 가장 크게 나타나며, 정선수에서 60° 방향의 입사파인 120°에서 무차원화된 부가저항 값이 가장 작게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

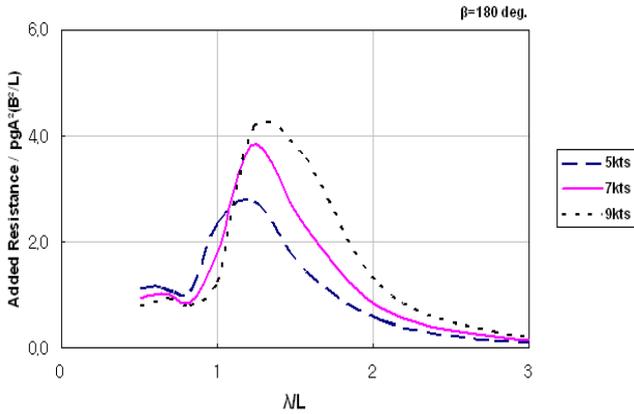


Fig. 10 Added resistance of KNU-002 model

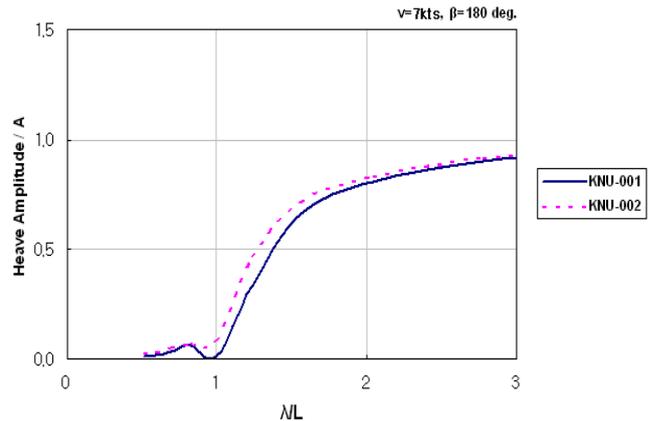


Fig. 12 Wave-induced heave motion of KNU-001, KNU-002 model

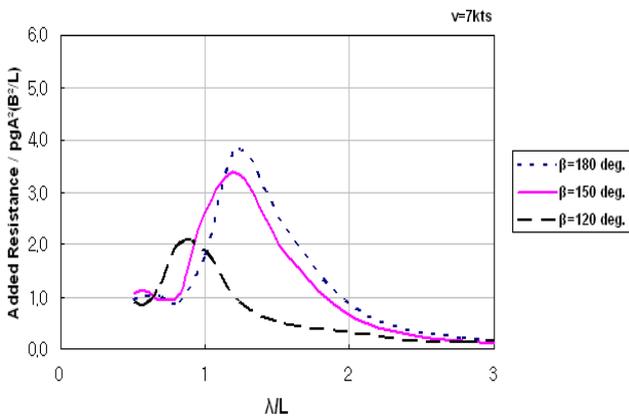


Fig. 11 Added resistance of KNU-002 model

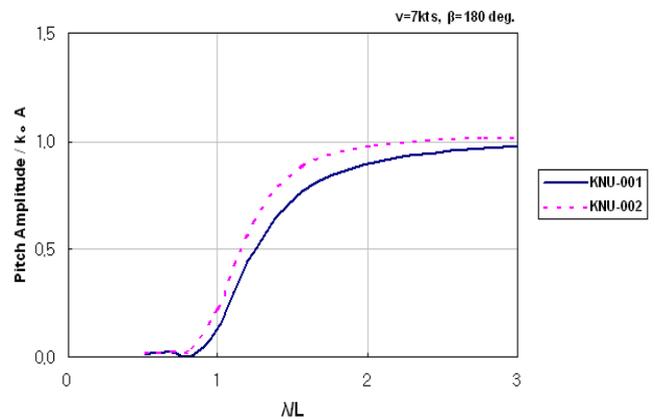


Fig. 13 Wave-induced pitch motion of KNU-001, KNU-002 model

Fig. 12 ~ Fig. 14는 KNU-001과 KNU-002 모델의 파장과 선박 길이의 비에 대한 heave, pitch 및 부가저항을 비교한 것이다. 파도와 선박의 만남각이 정선수파이고, 선속이 7kts인 경우를 비교한 것으로서 heave, pitch 및 부가저항이 KNU-002 모델에서 더 크게 나타나고 있다.

Fig. 14를 보면 무차원화된 부가저항 값이 KNU-002 모델보다 KNU-001 모델이 작게 나타나는데, 이것은 KNU-001 모델의 heave 및 pitch 운동 응답값이 KNU-002 모델보다 작기 때문에 이로 인하여 부가저항도 KNU-002 모델보다 작으므로 계산되어지기 때문이다.

본 연구를 통해 파악된 파랑중 저항증가의 특성과는 다르게 정수중에서는 상자형 부선 형태인 KNU-001 모델이 KNU-002 모델의 저항값보다 크게 나타나고 있는 현상이 수조실험 등을 통하여 확인되었다(이 등, 2010).

선박안전법 시행규칙에 의하면 유의파고 1.5m일 경우 부가저항 1톤을 일률적으로 적용하고 있으나, 본 수치계산 결과 유의파 진폭 1m의 조건에서 파도와 선박의 만남각에 따라서 약 0.3~1.1톤, 예인속력에 따라서 약 0.4~1.2톤, 부선의 선수형상에

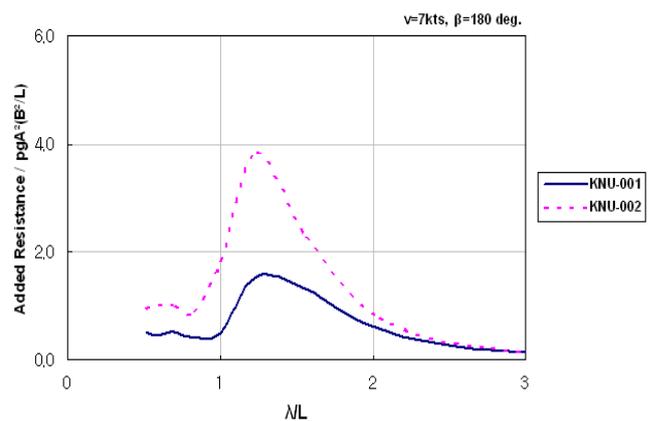


Fig. 14 Added resistance of KNU-001, KNU-002 model

따라서 약 0.5~1.1톤으로 차이가 발생함을 확인하였다. 따라서 안전한 예항업무를 위해 보다 정확한 부가저항의 산정이 필요할 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 선수형상이 다른 두 개의 부선 모델을 대상으로 수치계산을 실행하여 heave, pitch 및 부가저항을 예인속력 및 파도와와의 만남각에 따라 상호 비교한 결과 다음과 같은 내용을 파악할 수 있었다.

예인속력이 증가할수록 중운동 응답치가 증가함을 알 수 있었다. 즉 heave와 pitch가 증가함에 따라 부가저항 또한 증가하는 것으로 파악되었다. 또한 방형비척계수가 큰 상자 형태의 선수형상보다 방형비척계수가 작은 육각형 형태의 선수형상이 heave, pitch 및 부가저항이 커지는 것으로 나타났다.

파도와와의 만남각별 비교에서는 부가저항이 정선수파에서 가장 크게 나타났고 정선수에서 30°방향의 입사파에서부터 감소하기 시작하여 정선수에서 60°방향의 입사파에서 가장 작게 나타나고 있는 현상을 파악할 수 있었다.

따라서 부선의 전저항 산정시 부가저항을 유의파고에 따라 일률적으로 적용할 것이 아니라 예선의 속력, 선수형상 및 파도와와의 만남각에 대한 고려가 이루어진 산정식이 제안되어야 안전예항업무에 도움이 될 것으로 판단된다.

차후 연구과제로는 예선의 정수중 및 파랑 중 저항증가에 관한 연구가 지속되어 예선 및 부선에 대한 추진성능을 파악하여 실해역에서의 안전한 예항업무를 이행할 수 있도록 기술적인 지원이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-331-F00046)

## 참 고 문 헌

- [1] 국토해양부 (2010), 선박안전법 시행규칙 제 81조.
- [2] 이상민, 정우철, 김현수(2010), “정수중 부선 주위의 유동 특성에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제34권 제16호, pp. 417-422.
- [3] 한국선급(2008), 대형 예부선의 안전관리 강화 방안.
- [4] 홍도천, 홍사영, 김은찬(2001), “Maruo 공식에 의한 부가저항 계산에 대한 소고”, 한국해양공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, pp. 202-207.
- [5] 柏木 正, 川添一將, 稻田 勝(2000), “波浪中船體動搖および抵抗増加の計算に關する一考察”, 關西造船協會誌, 第234号, pp. 85-94.
- [6] 高木 建(1991), “波浪中における抵抗増加, 定常横力及び定常回頭モーメントの近似計算法”, 關西造船協會誌, 第216号, pp. 121-128.

---

원고접수일 : 2010년 9월 27일  
 심사완료일 : 2010년 12월 13일  
 원고채택일 : 2010년 12월 16일