

## 손상 선박의 예인력 추정을 위한 선박 저항 계산 프로그램 개발

최혁진<sup>†</sup> · 김은찬  
한국해양연구원

# Development of the Ship Resistance Calculation Program for Prediction of Towing Forces for damaged Ships

Hyuek-Jin Choi<sup>†</sup> and Eun-Chan Kim

Korea Ocean Research and Development Institute

### 요 약

예인선의 주요 목적의 하나는 구난 작업시 다른 선박을 예인하는 것이다. 예인선이 이러한 작업을 안전하게 수행하기 위해서는 적절한 예인력을 가질 수 있어야 한다. 따라서 예인 작업중 피 예인선박에 대한 저항을 추정하는 것은 매우 중요하고도 필수적인 과정이다. 본 논문에서는 예인력을 추정할 수 있는 선박의 저항 계산 프로그램을 연구하였다. 계산 프로그램은 정수중의 기본 선체 저항과 바람, 표류, 선체 표면 거칠기, 파랑, 천수 및 조류에 의한 부가 저항을 계산하는 기능을 가지고 있다. 모든 추정값은 도표 또는 수식을 이용하는 통계적이고 경험적인 방법으로 계산된다. 본 프로그램에 의한 계산 결과는 미국 해군의 예인 매뉴얼로부터 계산된 결과와 비교하였다. 그 결과 본 프로그램은 손상 선박의 저항을 적절히 추정할 수 있는 유용한 프로그램이라고 판단된다.

**Abstract** – One of the primary purposes of tugs is for the towing of other ships in salvage operations. In order to conduct such a task safely, the tug should be capable of generating the appropriate towing forces. Therefore the prediction of resistance against a towed ship during towing operation is a very important and essential procedure. This paper studies the ship resistance calculation program to predict towing force. The calculation program consists of the functions that calculate basic hull resistance in calm water, added resistance due to wind, drifting, hull roughness, waves, shallow water and currents. All predictions are calculated by statistical and empirical methods by graph or formula. The calculation results made by this program are compared with the results from the U.S. Navy's Towing Manual. These results confirm that this computer program is quite capable of appropriately predicting the resistance of damaged ships.

**Keywords:** Salvage(구난), Towing Force(예인력), Prediction(추정), Hull Resistance(선체저항), Added resistance(부가저항), Speed Loss(선속 감소)

### 1. 서 론

해양사고 예방을 위해 국제해사기구(IMO)를 중심으로 각 국에 서 많은 노력을 하고 있음에도 불구하고, 2007년 허베이스프리트 호 충돌사고, 2010년 석유시추시설 딥워터호라이즌호 폭발사고, 2012년 방글라데시 여객선 침몰사고 등 선박에 의한 대형 해양오염사고와 인명사고가 끊이지 않고 발생하고 있다. 우리나라에서도 최근 5년간 연평균 630건의 크고 작은 해양사고가 발생하고 있다.

이와 같은 해양사고 선박 중 깊은 수심에 침몰한 선박이나 자력 항해 능력이 있는 선박을 제외하고는 대부분의 사고선박이 예인선에 의해 예인되어 안전한 목적지로 이동하게 된다. 사고선박의 예인은 상황에 따라 일반 항행 선박의 예인기술을 사용해도 문제가 되지 않는 경우도 있지만, 손상상태가 심각하거나, 부양된 상태가 일반적이지 않은 사고선박의 경우 이에 적합한 예인계획과 기술을 필요로 하게 된다. 잘못된 예인은 피 예인선의 침몰이나 표류, 예인사의 절단, 예인선의 침몰사고 등 2차 사고가 발생하는 원인을 제공하게 된다. 따라서 예인 중 2차 사고를 예방하기 위해서는 해상상태와 사고선박의 손상상태 등의 조건이 반영된 예인 계획수립

<sup>†</sup>Corresponding author: hjchoi@kordi.re.kr

과 기술의 개발이 필요하다. 하지만 우리나라에서는 이에 대한 대응 기술의 개발이 깊게 진행되지 않아, 사고현장에서 활용할 수 있는 기술과 지원 시스템 정립이 시급한 실정이다.

본 논문에서는 사고 선박의 예인력 추정을 위한 여러 가지 요소를 찾아보고, 선체 기본 저항을 비롯한 각종 외력에 의한 부가 저항 계산 방법을 도출하였으며, 이로부터 예인력 계산 프로그램을 만들고, 이를 이용한 계산 결과를 도출하여 검토하여 보았다.

## 2. 사고선박의 예인력 추정을 위한 요소

예인선이 사고선박을 예항하기 위해서는 사고선박 자체의 정수 중 기본 저항은 물론 각종 외력에 대한 부가저항을 고려해 주어야 한다. 이 때 발생하는 외력으로는 Fig. 1과 같은 요소들을 들 수 있다.

각종 외력에 대한 영향은 저항 증가 또는 선속 감소의 값으로 추정할 수 있는데, 그 내용을 보면 다음과 같다.

- 바람에 의한 저항 증가
- 표류력에 의한 저항 증가
- 선체 표면 거칠기에 의한 저항 증가
- 선체 파손에 의한 저항 증가
- 프로펠러 고착에 의한 저항 증가
- 파랑에 의한 저항 증가
- 천수효과에 따른 선속 감소
- 조류에 따른 선속 감소

이러한 피 예인선의 저항에 예인선의 침수부분의 저항을 합쳐서 예인장력을 구한다. 본 논문에서는 피 예인선의 저항을 추정하는 단계까지 만들 다루고자 한다.

각종 저항을 추정함에 있어서 실선에서의 값을 사용하면 가장 정확하기는 하나, 이러한 값을 확보하는 것이 매우 어려우므로, 그 대신 모형시험을 사용하기도 하고 도표집이나 이를 수식화한 경험식을 사용하기도 한다. 본 논문에서는 비록 정확성은 다소 떨어질 수 있으나, 간단하면서도 큰 오차를 주지 않는 방법을 도표나 경험식 중에서 선정하여 사용하였다.



Fig. 1. Operating Condition at Salvage.

## 3. 선체 기본 저항 계산 방법

사고선박의 예인시 예인력을 추정하기 위한 선체의 기본 저항을 추정할 때는 선박의 설계속력이 아니고, 매우 낮은 속력에서의 값이 필요하다. 따라서 저항 성분을 2차원 해석법으로 추정할 경우, 잉여저항 계수가 매우 작은 값을 보여줄 것으로 판단되고, 3차원 해석법으로 추정할 경우, 초과저항 값은 거의 없고 형상 영향계수만 고려하면 될 것으로 판단된다. 따라서 전체 저항 가운데 대부분을 평판 마찰저항이 차지하게 될 것으로 판단된다.

간편하고도 정확하게 선박의 저항을 추정하기 위한 경험식이나 도표는 여러 가지 있으나, 본 계산에서는 저속 부분에서 추정 오차가 적고 여러 가지 선박에 모두 적용할 수 있는 Yamagata 도표를 사용하였다. 또한 본 논문의 계산에서는 선속별 잉여저항계수나 초과저항 계수를 넣어 계산할 수도 있도록 하였다.

Yamagata 도표는 K.Takashiro가 일부 수정한 것[7]을 조금 더 보완하여[1] 사용한 것이다. 방형비척계수  $C_B$ 는 0.40으로부터 0.85까지의 자료가 들어있으며, 그 이상의 범위에서도 정확도는 다소 떨어지나, 개략적인 계산은 가능하다. 선속 범위는 Froude 수  $F_n$  값으로 볼 때,  $C_B$  0.8 이상에서는 0.20까지,  $C_B$  0.72 이상에서는 0.30까지, 그 이하의  $C_B$ 에서는 0.42까지의 값이 들어있으나, 그 이상의 범위에서도 정확도는 다소 떨어지나, 개략적인 계산은 가능하다. Yamagata 도표는 기본 도표 외에 B/L 수정 도표와 B/T 영향 수정 도표로 구성되어 있다.

## 4. 각종 외력에 대한 저항 증가 계산 방법

각종 외력에 대한 저항 증가를 간편하게 추정하는 방법 또한, 선체 기본 저항을 계산하는 경우와 마찬가지로 여러 가지가 있다[1]. 본 계산에서는 저속 부분에서 추정 오차가 적고 여러 가지 선박에 모두 적용할 수 있다고 판단되는 방법을 선정하였다.

### 4.1 바람에 의한 저항 증가

예인시 사고선박이 받는 바람저항은 식 (1)과 같이 ISO 속력시 운전 표준 해석법[4]에서 채택하고 있는 방법을 사용하였다.

$$R_{Air} = \frac{1}{2} \cdot \rho_A \cdot C_{AA}(\psi_{WR}) \cdot A_T \cdot V_{WR}^2 \quad (1)$$

이 식에서  $C_{AA}$ 는 바람저항계수로서 정면풍압 저항계수  $C_{A40}$ 와 풍향영향계수  $\psi_{WR}$ 로부터 얻는데, 이는 풍동시험 결과를 사용하는 것을 원칙으로 하였다. 그러나 풍동시험 결과가 없는 경우, 일본의 JTTC 표준곡선을 사용하도록 하였다.  $C_{A40}$ 는 측면투영면적과 배의 길이로부터,  $\psi_{WR}$ 은 상대풍향으로부터 각각 구한다.

본 논문의 프로그램에서는 절대 풍속과 풍향을 입력하여 각 선속별로 상대 풍속과 풍향을 계산하여 바람 저항을 추정하도록 하였다.

### 4.2 표류력에 의한 저항 증가

사고선박의 예인시 표류에 의한 저항증가는 식 (2)와 같이 ISO

속력시운전 표준 해석법[4]에서 채택하고 있는 방법을 사용하였다.

$$R_{Drift} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \rho \cdot T^2 \cdot V^2 \cdot \beta^2 \quad (2)$$

이 식은 단지 선속과 표류각과 선체 흘수만을 사용하는 매우 간단한 계산식이다.

### 4.3 선체 표면 거칠기에 의한 저항 증가

선체 표면 거칠기에 따른 저항 증가는 1978년 ITTC 추진성능해석법[5]에서 채택하고 있는 모형선-실선 상관식[2]을 이용하여 식 (3)과 같은 식을 만들어 적용하였다.

$$R_{Hull} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot \frac{105}{L^2} \cdot \left( k_s^{\frac{1}{3}} - k_{s0}^{\frac{1}{3}} \right) \quad (3)$$

이 식에서  $k_{s0}$ 는 선체 표면 거칠기 기준치로서, 0.00015 m 값을 사용하였다.

### 4.4 프로펠러 고착에 의한 저항 증가

사고선박의 프로펠러가 자유롭게 돌지 않고 고착된 경우, 이에 따른 저항 증가는 매우 클 것으로 판단된다.

프로펠러 고착에 의한 저항 증가는 미국 해군 매뉴얼[8]의 방법을 따랐다. 당초의 식은 ft 및 knot 단위로 되어 있으나, 식 (4)와 같이 m 및 knot 단위로 환산하여 사용하였다.

$$R_{Propeller} = 178.93 \cdot N_{OP} \cdot \left( \frac{D_p}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot PAR \cdot V^2 \cdot (1-w) \quad (4)$$

미국 해군 방법에는 반류비(1-w)를 고려하지 않았으나, 본 논문의 프로그램은 날씬한 선박은 물론 뚱뚱한 선박까지도 모두 적용해야 하므로, 선미 반류에 의한 영향이 꼭 필요하다고 판단되어, 식 (4)에 이 영향을 추가하였다.

본 논문의 프로그램에서 사용한 반류비(1-w)의 추정 방법은 van Lammeren의 경험식[9]을 사용하였다.

### 4.5 선체 파손에 의한 저항 증가

선체 손상에 따른 저항 증가를 간편하면서도 정확히 추정하는 방법은 아직 발표된 것이 없다고 판단된다. 본 논문의 프로그램에서는 식 (4)에서 사용한 미국 해군 매뉴얼[8]에서 프로펠러 고착에 의한 저항 증가를 계산하는 방법을 참고하여 식 (5)와 같이 간단히 계산 하도록 하였다.

$$R_{Damage} = 178.93 \cdot A_D \cdot V^2 \quad (5)$$

이 계산은 선수 부분의 선박 진행 방향과 수직인 면에 대한 결과이며, 손상 부위가 선수 정면 외의 측면과 후면에 따라 다를 것이고 손상 형태에 따라 또한 다를 것이므로, 향후 다양한 연구 개발이 필요할 것으로 판단된다.

### 4.6 파랑에 의한 저항 증가

파랑에 의한 저항 증가를 정확히 계산하기 위해서는 선체의 오프셋과 해당 파랑의 파고와 주기와 입사각 등이 모두 들어가야 한다. 그러나 실제 구난 작업을 계획할 때에는 정확한 해상 상태를 모르는 경우가 많고, 정확한 값을 안다고 해도 신속하게 계산을 하여야 하는 경우가 대부분이라고 본다. 따라서 본 논문의 프로그램에서는 비록 정확성은 다소 떨어지더라도 간편한 사용을 위해, NSMB의 시운전 상관 계수 도표[3]를 수식화하여 사용하였다. 이 도표는 모형시험 결과를 실선 상태로 확장하기 위해 실선의 해상상태의 Beaufort 값을 기준으로 저항 증가량을 나타낸 것이다. 이 도표는 실선 시운전 해석을 위해서도 많이 사용되어 왔으며, 비록 간단한 방법이지만, 실제 값과 좋은 일치를 보이는 방법이라 널리 알려져 있는 도표이다.

### 4.7 천수 효과에 따른 선속 감소

천수 영향은 ISO 속력시운전 표준 해석법[4]에서 채택하고 있는 Lackenby 식 (6)을 사용하였다. 이 식은 (6)과 같다.

$$\frac{\Delta V}{V} = 0.1242 \cdot \left( \frac{A_M}{h^2} - 0.05 \right) + 1 - \left( \tanh \frac{gh}{V^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

단,  $\frac{A_M}{h^2} \geq 0.05$

### 4.8 조류에 따른 선속 감소

조류에 따른 선속 감소는 조류 속도를 입력하여 단순히 가감하는 것으로 하였다.

## 5. 예인력 계산 프로그램

본 연구를 통해 구축된 예인력 추정 프로그램 PNT1의 내용은 Fig. 2과 같다.

Table 1은 300 K VLCC에 대한 출력 예를 보여주고 있다.

## 6. 계산 결과 및 검토

본 논문의 프로그램에 의한 결과를 Table 2와 같이 미국 해군 매뉴얼[8]에 실린 예제의 결과와 비교하였다.

비교 선박은 미국 해군의 FFG-7 (USS Oliver Hazard Perry) 호와 DD-936 (USS Spruance) 호 두 가지이다.

미국 해군 매뉴얼의 결과를 본 논문의 프로그램 결과와 비교해 볼 때, 정수중의 선체 기본 저항이 크게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 예인 속력은 Fn 가 0.1 이하의 값이므로 잉여저항 계수가 거의 0.001 이하가 되어야 하는데, 미국 해군 방법의 계산 결과는 두 경우 모두 잉여저항계수가 0.003 이상이 되므로 너무 크게 추정한다고 판단된다. 미국 해군 매뉴얼의 방법은 저항성분을 분리하여 추정하는 것이 아니고 배수량과 선속 등으로부터 직접 구하는 방법이다. 저속 영역에서는 거의 대부분의 저항이 정확한 계

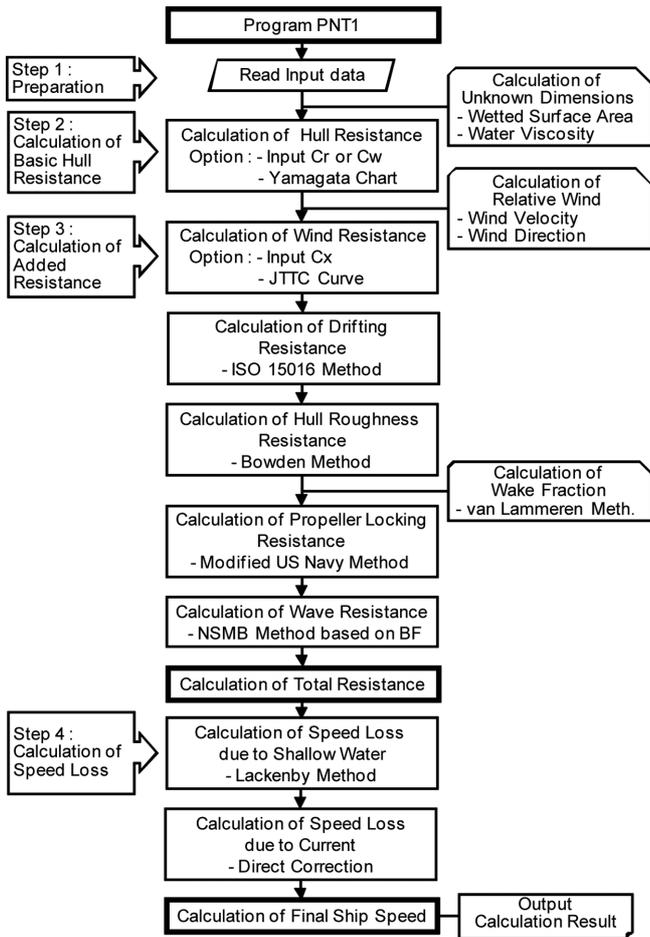


Fig. 2. Flow Chart of the Program PNT1.

산이 가능한 평판 마찰저항이므로, 저항 요소를 구분하여 추정하는 본 방법이 보다 정확하다고 판단된다.

바람저항에 있어서, 저자는 다목적의 JTTC 바람저항 계수 곡선으로부터 구했으므로, 군함 별로 특성에 맞는 계수를 사용한 미국 해군 방법보다는 정확하지 못할 것으로 판단된다. 그러나 여러 가지 선종에 대해 계산을 할 경우에는 미국 해군 방법으로는 추정이 불가하므로, 본 프로그램을 근간으로 하되 향후 각종 선종별 바람저항계수 곡선을 적용하는 것이 필요하다고 본다.

프로펠러 고착에 따른 저항증가 계산에 있어서, 날씬한 선박은 물론 뚱뚱한 선박까지도 모두 적용하기 위해, 미국 해군 방법에 반류비 적용을 추가하여 식 (4)와 같이 적용하였는데, 이는 논리적으로 볼 때 매우 타당하다고 판단된다.

파랑에 의한 저항 증가 계산에 있어서, 간단한 도표를 사용하고 있는 미국 해군 방법의 결과와 비교해 볼 때, 본 논문의 프로그램에 의한 계산 결과가 매우 작은 것을 알 수 있다. 미국 해군의 결과는 정수중 기본 저항의 50% 정도이며, 비교적 정확하다고 판단되는 본 논문 프로그램으로 추정된 정수중 기본 저항에 비교하면 100%가 넘는 큰 값을 보여주고 있다. 본 논문의 프로그램에서 사용한 NSMB 방법이 Beaufort 값만을 사용하는 단순한 방법이기

Table 1. Example Output for the 300K VLCC Ship

POWERING PERFORMANCE PREDICTION [PNT1]									
27-MAR-2012									
FILE NAME:	300. EUN								
SHIP NAME:	ISO 300K	LWL (M):	325.000	CB:	0.8100				
SCALE:	15.0000	LOAD:	FULL LOAD	S (M2):	27512.6	CM:	0.9972		
LPP (M):	320.000	TF (M):	20.800	SBK (M2):	180.0	CW:	0.9900		
B (M):	58.000	TA (M):	20.800	DISV (M3):	312737.0	CP:	0.8123		
		TMEAN (M):	20.800	LCB(%) [FWD+]:	0.0000				
				HULL ROUGH. (M):	0.000250	(STANDARD: 0.000150)			
PROPELLER	NOPROP:	1	PROPELLER LOCK:	1.00	(LOCK: 1.0, FREE: 0.0)				
	DIA. (M):	9.500	PROJECTED A.R.:	0.400					
WATER CONDITION	TEMP. (D.):	15.00	DENSITY (KG/M3):	1025.87	K. VIS. (M2/S): 1.1873E-6				
SEA CONDITION	BEAUFORT (BF):	6	AIR DENSITY (KG/M3):	1.22	SEA DEPTH (M): 60.00				
WIND CONDITION	SPEED (M/S):	4.50	CURRENT (KNOT):	0.80	DIRECTION (D. PORT+): 25.0				
			DRIFT ANGLE (DEG):	5.0	AT (M2): 1100.0				
			DIRECTION (D. PORT+):	25.0	AL (M2): 3900.0				
DAMAGED CONDITION	D. AREA (M2): 4.0								
SHIP SPEED	VK (KNOT):	3.000	4.000	5.000	6.000	7.000	8.000	10.000	12.000
FROUDE NUMBER	FN:	0.0273	0.0364	0.0456	0.0547	0.0638	0.0729	0.0911	0.1093
EFFECTIVE POWER	PE (PS):	173.5	400.7	767.5	1305.6	2046.4	3020.8	5793.2	10046.7
RESIDUAL RES. C.	CR (E-3):	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.982
BASIC RES. C.	CTS (E-3):	2.460	2.397	2.350	2.314	2.284	2.258	2.218	2.226
BASIC RESIST.	RTS (KN):	82.7	143.2	219.4	311.0	417.9	539.7	828.1	1196.7
WIND RESIST.	DELWIN (KN):	31.4	36.2	41.5	47.3	53.4	60.0	74.4	90.5
REL. W. SPEED	WSR (M/S):	5.935	6.424	6.917	7.413	7.911	8.411	9.416	10.426
REL. W. DIRECTION	WDR (DEG):	18.69	17.22	15.96	14.87	13.91	13.07	11.65	10.51
DRIFTING R.	DELDR1 (KN):	6.3	11.2	17.6	25.3	34.4	44.9	70.2	101.1
H. ROUGH R.	DELHUL (KN):	5.1	9.0	14.1	20.3	27.7	36.1	56.5	81.3
PROPELLER R.	DELPRO (KN):	18.3	32.5	50.7	73.1	99.4	129.9	203.0	292.3
DAMAGED H. R.	DELDAM (KN):	6.4	11.5	17.9	25.8	35.1	45.8	71.6	103.1
SEA STATE R.	DELSEA (KN):	5.5	9.5	14.6	20.7	27.8	36.0	55.2	79.7
TOTAL RESIST.	RTT (KN):	155.7	253.2	375.9	523.5	695.7	892.5	1358.8	1944.7
SHALLOW W.	DELDEP (KNOT):	0.106	0.141	0.176	0.212	0.247	0.282	0.353	0.424
CURRENT	DELCLUR (KNOT):	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
TOTAL SPEED	VKT (KNOT):	2.094	3.059	4.024	4.988	5.953	6.918	8.847	10.776
BASIC ANALYSIS METHOD	MODEL-SHIP CORR. LINE: 1957-ITTC								
	2-DIMENSIONAL METHOD CORREL. ALLOWANCE (2-D): CA=0.000200								
PREDICTION METHOD	RESISTANCE PREDICTION : YA : MODIFIED YAMAGATA [JKSNA NO. 177]								
	WETTED SURFACE AREA : TO : TODD'S FORMULA								
	EFFECT OF DRIFTING : 1 : SR208 METHOD								
	EFFECT OF HULL ROUGHNESS : 1 : ITTC METHOD								
	EFFECT OF PROPELLER LOCK : 1 : US NAVY METHOD USING WAKE= 0.368								
	EFFECT OF DAMAGED HULL : 1 : EMPIRICAL METHOD								
	EFFECT OF SEA STATE : 1 : NSMB METHOD								
	EFFECT OF SHALLOW WATER : 1 : LACKENBY METHOD								
	WIND RESISTANCE COEFF. : J01 : STANDARD OF JTTC								

하나, 국내 조선업계의 신조선 속도 시운전 결과와 비교해 볼 때, 비교적 믿을 만한 방법이라 생각되므로, 미국 해군의 결과가 지나치게 큰 값을 제시한다고 판단된다. 이에 대한 보다 정확한 추정을 위해서는 향후 파랑의 파고와 주기와 입사각 등을 활용하는 정밀 계산 방법의 추가가 필요하다고 본다.

표류력과 선체 표면 거칠기에 의한 저항 증가와 천수효과에 의한 선속 저하는 미국 해군 방법에는 포함되어 있지 않으므로, 직접 비교는 불가능하나, ISO 17025 표준 속도시운전 해석법과 ITTC 추진성능 해석법에서 사용하는 표준 방법을 본 논문의 프로그램에서 적용하였으므로, 비교적 신뢰할 수 있는 값을 줄 것으로 판단된다.

선체 손상에 의한 저항 증가는 미국 해군 방법에 포함되어 있지 않아 비교가 불가능 하지만, 본 논문에서 사용한 식 (5)의 방법이 프로펠러 고착에 따른 저항 증가 계산 방법을 참고한 점을 감안할 때, 비교적 타당한 값을 줄 것으로 판단된다.

전반적으로 볼 때, 본 논문의 프로그램에서 계산된 결과는 미국 해군의 예제 계산 결과에 비해 작은 값을 보여주고 있다. 그러나 미 해군의 결과가 선체 기본 저항이 지나치게 큰 점과 파랑에 의한 저항 증가량 또한 지나치게 큰 것을 볼 때, 본 논문의 프로그램 결과가 적절한 값을 보여준다고 판단된다. 그러나 이 계산 결과는 통계치의 의미로 볼 때 평균값을 나타내는 것이므로, 실제 적용을 위해서는 충분한 안전계수를 고려해 주어서 보다 큰 값을 제시하여야 할 것으로 판단된다.

**Table 2.** Comparison between Present Method and U. S. Navy Manual Method for the FFG-7 and DD-936

	Author's Program	FFG-7 (8 knots)		DD-936 (8 knots)	
		Author	US navy	Author	US navy
Basic Hull Resistance (KN)	Yamagata Chart	34.5	87.7	46.2	137.6
Wind (KN)	JTTC Coefficient	20.4	27.2	39.9	75.5
Drifting (KN)	ISO 15016	11.5	-	19.6	-
Hull Roughness (KN)	1978 ITTC	3.5	-	4.9	-
Propeller Locking (KN)	US Navy	147.1	180.9	241.0	270.2
Damaged Hull (KN)	Empirical	22.9	-	34.4	-
Sea State (KN)	NSMB	7.0	35.6	10.7	60.0
Total Resistance (KN)		223.9	331.3	362.3	543.4
Basic Ship Speed (kts)		8.0	8.0	8.0	8.0
Shallow Water (kts)	Lackenby	-0.006	-	-0.039	
Current (kts)	Input	-0.800	-	-0.800	
Total Corrected Speed (kts)		7.194	-	7.161	

### 7. 결 론

본 논문의 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 본 논문의 프로그램을 통해 해상에서 사고선박의 예인시 예인력 추정을 위한 선박 저항 계산 종합 프로그램을 완성하였는데, 계산 내용은 선체 기본 저항, 바람, 표류력, 선체 표면거칠기, 프로펠러 고착 및 파랑에 의한 저항 증가와 천수효과 및 조류 속도에 따른 선속 감소가 포함되었다.

(2) 프로펠러 고착에 의한 저항 증가를 계산하기 위해 미국 해군 방법을 개선하여 사용하였고, 파랑중 저항 증가를 계산하기 위해 NSMB 방법을 변형시켜 사용하였다.

(3) 본 논문의 프로그램을 사용한 계산 결과를 미국 해군 구난 예인 매뉴얼의 예제 계산 결과와 비교한 결과, 비교적 작은 값을 보여주고 있는데 이는 논리적으로 볼 때 합리적인 계산 결과라 판단되며, 실제 현장에서 사용시 적절한 안전 계수를 적용해야 할 것으로 판단된다.

(4) 사고선박의 예인시 예인력 추정의 정도를 향상시키기 위해서는, 파랑에 의한 부가저항 계산의 고도화와 다양한 바람저항 계수의 적용 그리고 선체 손상 상태에 따른 저항 증가 계산의 고도화 등이 향후 계속되어야 할 것으로 보인다.

### 후 기

본 연구는 국토해양부 소관 연구개발사업(지능형 해양구난 핵심 기술 개발-PMS2370)의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

### 기 호

- $A_D$  (m<sup>2</sup>) : 선체 손상 면적
- $A_M$  (m<sup>2</sup>) : 수선 아래 중앙횡단면적
- $A_T$  (m<sup>2</sup>) : 수선 위 정면투영면적
- $B$  (m) : 선폭

- $C_{AA}$  : 바람저항계수
- $C_{AA0}$  : 정면풍압 저항계수
- $C_B$  : 방형비척계수
- $C_R$  : 잉여저항계수(2차원해석법)
- $C_W$  : 조파저항계수(3차원해석법)
- $D_p$  (m) : 프로펠러 직경
- $F_n$  : Froude 수( $V/\sqrt{g \cdot L}$ )
- $h$  (m) : 운항 해역 수심
- $k_s$  (m) : 선체 표면거칠기
- $L$  (m) : 선체 길이(주로 수선면 길이)
- $N_{OP}$  : 프로펠러수
- $PAR$  : 프로펠러 투영면적비
- $R$  (N) : 저항
- $S$  (m<sup>2</sup>) : 침수표면적
- $T$  : 흘수
- $V$  (knot) : 선박 속력
- $V_{WR}$  (m/s) : 바람 속력
- $\beta$  : 표류각
- $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : 해수 밀도
- $\rho_A$  (kg/m<sup>3</sup>) : 공기 밀도
- $\psi_{WR}$  : 풍향영향계수
- $w$  : 반류비

### 참고문헌

- [1] 김은찬, 1994, 통계해석에 의한 정수 중 저항추진 성능 추정, 대한조선학회학회지, 제31권 4호.
- [2] Bowden, B.S. and Davison, N.J., 1974, Resistance Increase due to Hull Roughness Associated with Form Factor Extrapolation Methods, NPL Ship TM 380.
- [3] de Jong, H.J. and Franson, H.P., 1977, N.S.M.B. Trial Allowance 1976, N.S.M.B Publication No. 524a.
- [4] ISO/TC8, 2002, Guidelines for the Assessment of Speed and

- Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, International Standard ISO 15016.
- [5] ITTC Performance Committee, 1978, Report of Performance Committee, Proceedings 15th ITTC.
- [6] Lackenby, H., 1963, The Effect of Shallow Water on Ship Speed, Shipbuilder 70 No. 672.
- [7] Takashiro, K., 1980, Power Prediction Based on Modified Yamagata Resistance Chart and Newly Introduced Thrust Deduction and Wake Factors, Kansai SNAJ Trans. 177.
- [8] US Navy, 2002, U. S. Navy Towing Manual, SL740-AA-MAN-010.
- [9] van Lammeren, W.P.A. *et al.*, 1948, Resistance, Propulsion and Steering of Ships, Haarlem.
- 
- 2012년 3월 29일 원고접수  
 2012년 4월 12일 심사수정일자  
 2012년 4월 13일 게재확정일자