

# G/T 199톤급 우리나라 대형선망 등선 겸용 운반어선의 선형설계에 관한 연구

박애선<sup>1</sup>·이영길<sup>2,†</sup>·진송한<sup>3</sup>

인하대학교 대학원 조선해양공학과<sup>1</sup>

인하대학교 항공·조선·산업공학부 조선해양공학전공<sup>2</sup>

중소조선연구원<sup>3</sup>

## A Study on the Hull Form Design of a G/T 199ton Class Fishing Boat for Both Fish-luring Lighting and Fish Carrying in Korean Large Purse Seiner Fishing System

Ae-Seon Park<sup>1</sup>·Young-Gill Lee<sup>2,†</sup>·Song-Han Jin<sup>3</sup>

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School, Inha University<sup>1</sup>

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University<sup>2</sup>

Research Institute of Medium & Small Shipbuilding<sup>3</sup>

### Abstract

This paper presents a method of hull form design for the assistant vessel which is used both as a lighting boat and a fish carrying boat for the fleet of newly formed purse seiner vessels. The optimum hull form parameters are searched by the Sequential Quadratic Programming (SQP) method with the power estimation method of Van Oortmerssen. The prismatic curve is redesigned from that of the reference hull by the Lackenby method. Through the modification of the hull form by using a CAD system, the design procedure is completed. The resistance performances of the reference and the modified hull forms are estimated by using a numerical simulation method. Also, the estimation of seakeeping ability and stability for the modified hull forms are carried out. And then, an optimum hull form is proposed for the designed hull form. Ship model tests for the reference and the designed hull forms are carried out at ship model basin. The results of the experiments show that the effective horse power of the designed hull form is about 22% smaller than that of the reference hull form at design speed. The designed hull form proposed in this study will contribute to the development of the hull form for Korean large purse seiner vessels.

**Keywords** : Fishing boat for both lighting and fish carrying(등선 겸용 운반어선), Hull form design(선형설계), Resistance performance(저항 성능), Numerical simulation(수치시뮬레이션), Model test(모형시험)

## 1. 서론

우리나라 근해어업 중 대형선망 어업은 가장 규모가 크며, 대량 생산구조를 가진 업종이다. 이러한 대형선망 어업은 일반적으로 6척의 선박이 하나의 선단으로 구성되어 조업하는 구조를 가지고 있다. 선망어업은 주 작업선박인 본선 1척을 비롯하여 등선 2척, 운반선 2~3척으로 선단을 구성하여 조업하는 업종이다.

최근 들어 우리나라 어업은 국내외적인 어업여건의 악화로 인해 크게 위축되고 있다. 대외적으로 최근 국제유가의 급등으로 인해 유류 의존도가 높은 어업의 채산성을 더욱 악화시키고 있으며, 대내적으로는 조업장지의 축소, 어업자원의 감소, 노동력 부

족 등 어업의 구조적 문제가 심화되고 있다. 이러한 대내외적으로 악화된 선망어업여건을 타개하면서 우리나라의 선망어업이 지속 가능한 생산체제를 갖추기 위해서는 선단조업시스템 재정립을 통한 선단 구성을 줄이는 것과 더불어 관련 어선의 선형개발이 필요하다. 선단조업시스템의 재정립 시, 선단조업 시스템은 2척~4척으로 구성이 되고, 선단구성 축소에 따른 기능별 선박규모의 재정립에 따라 등선 겸용 운반어선의 개발이 필요하다.

선망어선에 관한 연구들을 보면, (National Fisheries Research Development Institute (NFRDI), 2000)가 선단조업어선의 효율적 인력절감에 관한 연구를 통하여 선망어선에 대한 연구를 수행하였고, 경제성 기준 선망어업의 최적선단 구성에 관한 연구와 2척 선단 선망본선의 주요성능에 관한 연구가 수행되었다 (Choi, et al.,

2002a,2002b). 최적선단 구성에 관한 연구를 통해 선단구성을 새로이 하는 경우 2척 선단구성이 초기 선가 및 운항비 등의 경제성 측면에서 유리한 것으로 밝혀졌다. 이러한 2척 선단 선망어업은 어탐기능과 어창을 갖춘 본선, 등선 겸용 운반어선으로 이루어진다. 등선 겸용 운반어선은 어획물을 적재하는 운반어선을 바탕으로 어군의 탐색과 집어기능이 가능한 선박이다.

등선 겸용 운반어선의 설계는 선망어업의 어획물을 냉동운반이 아닌 선어로 운반하여야 하고, 또한 어장의 원거리에 따른 어획물의 선도유지를 위하여 짧은 시간에 어항으로 운송해야 함과 동시에 많은 양의 어획물을 적재할 수 있어야 하며, 저항성능이 우수한 선형으로 설계되어야 한다.

Kim, et al. (2010)은 국제노동기구(ILO, 2007)의 어선원 노동협약기준을 만족하는 대형선망 본선의 저항저감형 선형을 도출하기 위해 저항최소화 선형요소를 산출하여 선망본선 선형을 설계한 바 있다. 본 연구는 이의 후속연구로서 본선과 같은 선단을 구성하는 등선 겸용 운반어선의 선형설계를 수행하고자 한다. 등선 겸용 운반어선은 기존 운반어선의 규모에 등선의 주요 기능을 더한 선박으로 기존 운반어선에 등선의 어로장비와 시스템이 장착되며, 선형 설계는 운반어선과 등선의 선형특성을 고려하여 설계된다. G/T 199톤급 선망 운반어선과 G/T 80톤급 선망 등선을 참고 선형으로 하여, 실적선 범위를 토대로 주요요목의 범위를 정하고 저항최소화 선형요소를 산출하여 선형을 설계한다. 또한, 선형설계시 저항성능과 복원성능, 내항성능을 검토하여 가장 한국의 어업 실정에 맞는 선형을 선정 후 모형시험을 통하여 저항성능의 개선된 정도를 파악하였다. 본 연구를 통해 우리나라 대형선망 등선 겸용 운반어선의 개략적인 선형개발 방향을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 대상 선형과 유효마력 추정법

연구 대상 선형은 G/T 199톤급 선망 운반어선과 G/T 80톤급 선망 등선(NFRDI, 2000)을 선정하였다. 참고 선형들의 선형 특성을 비교하기 위하여 운반어선의 참고 선형과 등선의 참고 선형의 선도와 주요요목, 횡단면적 곡선들을 비교하였다. 이때, 등선 선형과 비슷한 선망 본선(Kim, et al., 2010)의 마력추정에 사용된 홀트롭과 매넨(Holtrop & mannen)법의 활용여부도 판단하기 위해 본선의 주요요목도 같이 비교하였다. 세 선형 요소의 비교시 배수량을 맞춰주고자 상대적으로 배수량이 작은 본선과 등선의 참고 선형은 운반어선의 참고 선형의 배수량에 맞춰 늘린 후 (Table 1의 Main vessel(1:1.129), Lighting boat(scale:1:1.41)) 비교, 검토하도록 하였다.

Fig. 1은 세 선형의 흡수선 부근까지의 정면도를 비교한 것으로, 운반어선의 참고 선형은 선수부분에 저항을 줄일 수 있도록 구상선수를 부착하였고, U형 단면을 가진 저속선 선형이다. 반면, 등선의 참고 선형은 V형 단면을 가진 고속선의 선형이다. 참고 선형들과 본선 선형을 비교하면, 운반어선의 참고 선형이 상대적으로 선형비척계수들이 크고, 선수입사각이 크며 LCB가 더 선수쪽으로 위치해 있어, 상대적으로 비대형 선형임을 알 수 있다.

유효마력 추정은 주요요목과 정면도, Fig. 2의 횡단면적 곡선

들의 비교를 통해서 참고 등선 선형의 유효마력은 본선(Kim, et al., 2010)과의 차이가 크지 않음을 확인하여 본선의 마력추정에 사용된 홀트롭과 매넨(Holtrop & mannen)법을 이용하여 유효마력을 추정하였다. 하지만 참고 운반어선 선형의 경우 두 선형과의 차이가 커 홀트롭과 매넨법이 적절하지 않은 것으로 판단된다. 이에 참고 운반어선 선형의 유효마력 추정에는 반 오르트메르센법(Oortmerssen, 1971)을 사용하였다. 반 오르트메르센법은 트롤어선의 유효마력을 추정하는 방법으로, 본 연구의 대상선박인 선망 운반어선의 경우에 트롤어선(Korea Ship Safety Technology Authority (KSSTA), 1988)과 유사한 방형계수 등의 선형계수들을 가지고 있어, 운반어선의 유효마력을 추정하기에 적절한 것으로 판단된다.

Table 1 Comparison of principal dimensions among the main vessel, the fish carrier and the lighting boat

Principal dimensions	Main vessel (1:1.129)	Reference hull forms	
		Fish carrier	Lighting boat (scale: 1:1.41)
G/T [ton]	214.43	199.00	112.61
L <sub>WL</sub> [m]	46.76	42.00	52.55
L <sub>BP</sub> [m]	41.76	38.9	47.86
B [m]	9.34	7.70	8.45
draft [m]	3.19	2.95	3.35
▽ [m <sup>3</sup> ]	654.00	654.00	654.00
LCB [%]	-4.75	-2.19	-3.09
C <sub>B</sub>	0.46	0.69	0.49
C <sub>M</sub>	0.82	0.97	0.82
C <sub>P</sub>	0.56	0.71	0.59
½Ea [deg]	17.00	25.00	17.00
W.S.A [m <sup>2</sup> ]	536.20	446.57	540.11
L/B	5.00	5.45	6.22
B/d	2.93	2.61	2.52
L/d	14.64	14.24	15.69

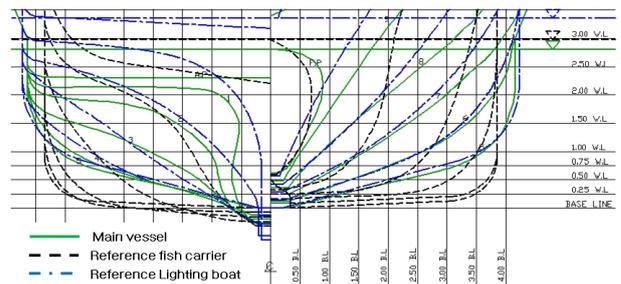


Fig. 1 Comparison of hull forms among the main vessel, the fish carrier and the lighting boat

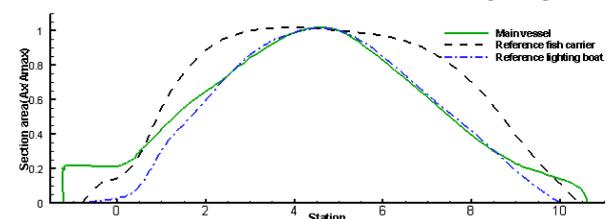


Fig. 2 Comparison of CP curves among the main vessel, the fish carrier and the lighting boat

반 오르트메르센법을 이용하여 추정된 참고 선형의 유효마력은 설계속력 15knots에서 약 1760HP이며, 모형실험을 통해 얻은 유효마력은 약 1570HP이다. 두 결과의 차이는 약 11%의 오차를 보이나, 속력별 유효마력변화의 경향이 비슷하여 본 연구의 저항최소화 선형요소 산출을 위한 유효마력 추정법으로 사용하였다. Fig. 3은 본선과 등선 그리고 운반어선의 유효마력을 추정하여 나타낸 것이다. 본선의 유효마력은 속력이 증가할수록 등선과 운반어선에 비하여 낮게 추정되고 있다. 이는 Table 2의 본선과 등선 그리고 운반어선의 주요요목을 비교한 표를 보면, 본선이 운반어선에 비하여 방형계수가 작고 등선에 비하여 LCB가 좀 더 선미쪽으로 위치해 있으며 벌브 유무의 영향으로 이러한 차이가 나는 것으로 판단된다.

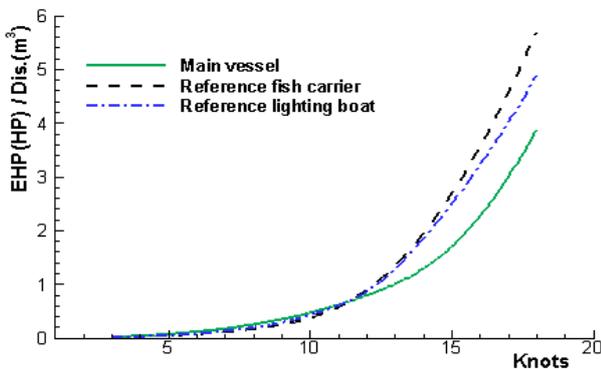


Fig. 3 Comparison of EHP/Dis. among the purse seiner, the fish carrier and the lighting boat

### 3. 등선 겸용 운반어선 선형설계

#### 3.1 선형요소 산출

등선 겸용 운반어선의 선형설계를 위하여 최소저항을 갖는 선형요소를 산출하였다. 선형요소 산출은 설계 선형이 운반어선의 규모에 등선의 기능을 더한 선형으로 설계되어야 하므로, 운반어선 선형의 유효마력 추정법인 반 오르트메르센법에서 최소 저항 값을 갖는 선형요소의 조합을 찾는 방법을 사용하였다. 주요요목의 제한범위는 운반어선과 등선의 선형특성을 고려하고자 운반어선과 등선의 실적선들을 바탕으로 주요요목 비를 조사하여 결정하였으며, 이는 Table 2에서 확인할 수 있다.

길이( $L_{WL}$ )의 경우, 운반어선 선형의 일반 배치를 고려하여 허용 범위인 참고 운반어선 선형 길이의  $\pm 5\%$ 내외로 하였다. 따라서 길이의 범위는 40~44m로 결정하였다. 폭은 결정된 길이와 실적선들의 범위를 바탕으로 결정하였다. 결정된 길이의 범위가 40~44m이므로 설계 선형 폭의 범위는 7.81~8.70m로 결정되었다. 실적선들의 B/D 범위는 1.67~2.21이며, 결정된 폭의 범위가 7.81~8.70m이므로 깊이의 범위는 3.50~4.68m로 결정되었다. 흘수의 범위는 결정된 참고 선형의  $D/d(=1.15)$ 와 결정된 깊이의 범위로 결정되었다. 결정된 흘수의 범위는 3.04~4.06m이다. 이때,  $D/d(=1.15)$ 에 의해 결정된 건현은 어선법(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (Mifaff), 2010)의 만재흘수선 규정에 만족함을 확인하였다.  $C_M$ 의 범위는 0.80~0.97,  $C_P$ 의

범위는 0.64~0.77이다. LCB와  $1/2Ea$ 의 범위는 국내어선의 선형 요소에 관한 참고문헌이 부족하여, 어선의 유효마력 추정 프로그램 중의 하나인 FISH-EHP프로그램(Lee, 1982)에서 사용한 범위를 그대로 사용하였다. 이 때  $C_B$ 와 침수표면적은 결정된 선형요소의 범위에 따라 종속적으로 변화되도록 하였다. 결정된 주요요목의 범위는 Table 3에 나타내었다.

선형의 최설계 적화 선형요소의 산출은 Chol, et al. (2006)이 선형의 최적화에 이용하여 그 유용성과 빠른 수렴성을 보여준 비선형 최적화 기법인 SQP법(Lawrence, et al., 1997)을 사용하였다. 설계 선형으로 산출된 선형요소 들을 참고 선형의 선형요소와 비교하면 Table 4와 같다.

Table 2 Ranges of the principal dimension ratios of domestic fish carrier and lighting boat

Ship Name	Fish carrier	Lighting boat
L/B	5.03~5.63	5.02~5.84
B/D	1.67~2.26	1.99~2.13
L/D	9.07~11.47	10.52~12.32
$C_M$	0.96~0.97	0.80~0.81
$C_P$	0.74~0.77	0.64~0.66

Table 3 Feasible ranges of parameters for the EHP estimation

$L_{WL}$ [m]	$40.00 \leq L_{WL} \leq 44.00$
Breadth [m]	$7.81 \leq \text{Breadth} \leq 8.70$
draft [m]	$3.04 \leq \text{draft} \leq 4.06$
$C_M$	$0.80 \leq C_M \leq 0.97$
$C_P$	$0.64 \leq C_P \leq 0.74$
LCB [%]	$-5.00 \leq \text{LCB} \leq 1.50$
$\frac{1}{2}$ Entrance angle [deg.]	$17.00 \leq 1/2Ea \leq 30.00$

Table 4 Comparison of principal dimensions between the reference fish carrier and the designed hull form

Principal dimensions	Reference fish carrier	Designed hull form
$L_{WL}$ [m]	42.00	44.00
$L_{BP}$ [m]	38.90	40.57
Breadth [m]	7.70	7.81
draft [m]	2.95	3.13
$\nabla$ [ $m^3$ ]	654.00	654.00
LCB [%](Midship에서 FP방향 +)	-2.19	-3.18
$C_B$	0.69	0.61
$C_M$	0.97	0.90
$C_P$	0.71	0.68
$\frac{1}{2}$ Entrance angle [deg]	25.00	26.23
Wetted surface area [ $m^2$ ]	446.57	468.90
L/B	5.45	5.63
B/d	2.61	2.50
L/d	14.24	14.06

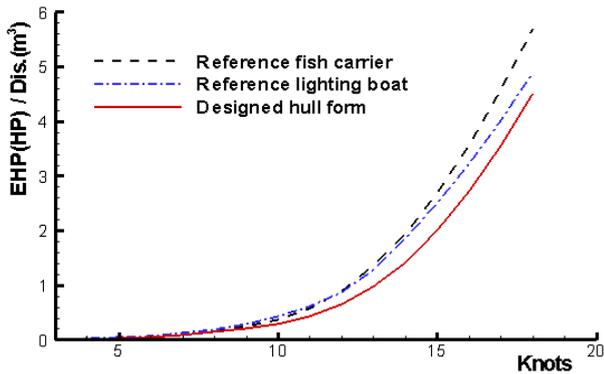


Fig. 4 Comparison of the estimated effective horse power curves

Fig. 4는 참고 선형들과 설계 선형의 유효마력 추정결과이다. 설계속력 15knots에서 비교하였을 때, 설계 선형의 유효마력은 참고 운반어선 선형의 유효마력에 비하여 약 25%가 감소하였고, 참고 등선 선형 보다는 약 20%가 감소한 것을 확인하였다. 참고 운반어선 선형의 경우 설계 선형에 비하여 LCB가 좀 더 선수쪽에 위치해 있으며, 침수표면적의 차이에도 불구하고 설계 선형보다 유효마력이 더 높게 나타난 것으로 보아 설계 선형에 비하여 조파저항 성능이 상대적으로 불리한 선형일 것으로 판단된다.

### 3.2 최적선형도출

#### 3.2.1 선형의 보정

설계 선형의 선도작성은 상용 프로그램인 Tribon M3를 이용하였다. 먼저 참고 운반어선 선형의 길이, 폭, 흘수를 설계 선형의 주요요목으로 변경한 후, 횡단면적 곡선은 라켄비법(Lackenby, 1950)을 이용하여 변환하였다. Fig. 5는 설계 선형과 참고 운반어선 선형의 중앙횡단면적 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 선미부의 횡단면적 곡선을 보면, 선수 어깨부의 단면적이 줄어들어서 LCB의 위치가 선미방향으로 이동하였다.

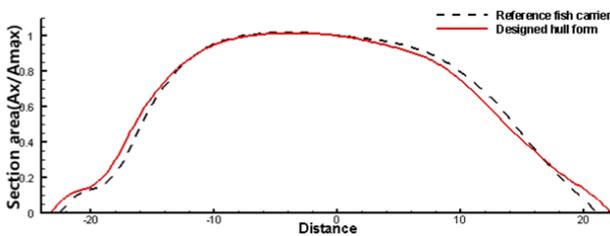


Fig. 5 Comparison of  $C_p$  curves

Fig. 6은 참고 운반어선 선형과 설계 선형의 선미부 측면형상을 비교하여 나타낸 것이다. 선미부 측면형상은 산출된 설계 선형의 길이와 흘수에 의해 변화되었으며, 선형특성은 참고 운반어선 선형의 측면형상을 유지시키며 보정하였다.

선수부 설계는 조파저항을 향상시키기 위해 구상 선수 최적화를 수행하였다. 본 연구의 대상선 속력범위에서 적용이 가능하며,

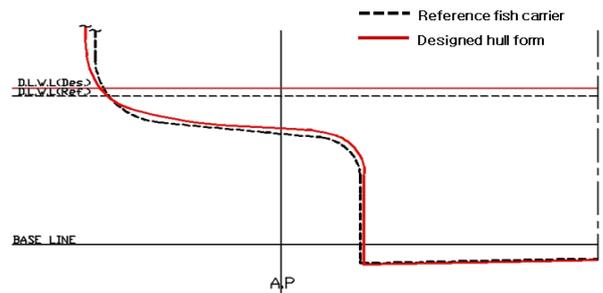


Fig. 6 Modification of stern profile

실적선을 회귀 해석한 Alvarino, et al. (1997)에 의해 제안된 방법을 이용하였다. 구상 선수의 저항감소 여부를 확인하고자 참고 운반어선, 설계 선형의 구상 선수, 최적화된 구상선수의 선형요소들을 Table 5에 비교하여 나타내었다. Fig.7에 추정된 구상 선수의 선형요소를 이용하여 구상선수 선형설계를 나타내었다. 벌브의 횡단면의 형상은 감소된 횡단면적( $A_{BT}$ )과 벌브의 폭( $B_B$ )을 고려하여 설계 선형의 형상을 유지시키며 보정하였다. 측면의 형상은 벌브의 길이( $L_{PR}$ )가 짧아지고 벌브의 높이방향 중심 위치( $Z_B$ )가 높아짐에 따라 흘수에 가까운 Ram벌브 형상에 가깝게 보정하였다.

Table 5 Comparison of the bulbous bow parameters

Bulbous bow principal dimension	Reference fish carrier	Designed hull form	Designed hull form (Bulb modification)
$L_{PR}$	1.60	1.68	1.55
$B_B$	1.38	1.40	1.16
$Z_B$	2.00	2.12	2.57
$A_{BT}$	2.45	2.64	2.50

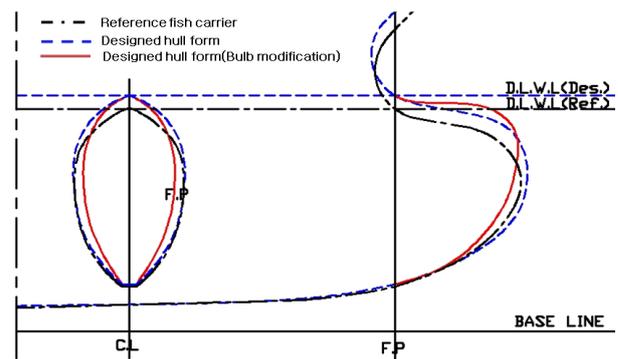


Fig. 7 Modification of bulb shape

구상선수에 의한 저항감소를 확인하기 위하여 수치계산을 수행하였다. 수치계산은 밀도함수법(Jeong, et al., 2010)을 이용하여 자유수면을 정의하는 INHAWAVE II를 이용하였다. 유체를 비압축성 점성 유체로 가정하여 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 지배방정식으로 사용하였고, 계산 수행 시 격자계는 직사각형 교차격자계를 사용하였다. 계산 결과, 참고 운반어선 선형에 비하여 설계 선형의 압력저항이 설계속력에서 약 8.8% 감소율을

보였으며, 구상선수를 추가적으로 보정한 선형은 8.1% 감소율을 보였다. 따라서 구상선수 설계에 의해 미비하지만 오히려 저항이 증가되어 구상 선수 설계는 적용하지 않았다.

또한 본 연구에서는 선수, 중앙, 선미부 횡단면 형상을 변경해 가며, 5가지 선형을 설계하여 각각 저항성능, 복원성능, 내항성능을 검토하였다. 설계 선형의 중앙 횡단면 보정의 경우, 등선의 저항성능과 운반어선의 적재성을 동시에 고려해야 하며, 산출된  $C_M$ 에 맞도록 선저 경사각과 만곡부 반경을 결정해야 한다. 설계 선형의  $C_M$ 은 참고 운반어선 선형의  $C_M$ 보다 감소되었기 때문에, 화물창 용적이 감소될 수 있다. 하지만 설계 선형의 길이가 증가하였기 때문에 충분한 화물창 용적은 확보되었다.

횡단면 형상 보정은 참고 선형들인 등선 선형과 가깝게 보정하는 경우, 운반어선 선형에 가깝게 보정하는 경우와 등선과 운반어선의 형상을 함께 고려하여 보정하는 경우를 생각하였다.

설계 선형의 선저 경사각은 등선과 운반어선의 선저 경사각의 사이 각도를 4등분하여 5.5도, 9도, 12.5도로 결정하였으며, 산출된  $C_M$ 에 따라 만곡부 반경을 결정하였다. 하지만 12.5도의 경우 반경을 주지 않아도 횡단면적이 부족하여 운반어선의 반경인 0.8m를 최소 반경으로 선정하고 횡단면적에 맞는 선저경사각을 결정하였으며, 결정된 선저경사각은 10도이다. 이에 따라 선저경사각에 따른 만곡부 반경은 각각 1.8m, 1.1m, 0.8m로 되었다.

등선 겸용 운반어선의 횡단면 형상의 설계는 등선의 V형과 운반어선의 U형, U형과 V형을 복합한 UV형으로 횡단면의 형상을 달리하여 설계하였다. 선저경사각과 만곡부반경 그리고 횡단면적 형상에 따라 번호(the number of case)를 붙여 Table 6에 나타내었으며, 이것들을 통칭하여 보정 선형이라 한다. Fig. 8, 9는 그에 따른 중앙 횡단면 형상과 선수미 횡단면 형상의 보정을 나타낸 그림이다. 먼저, U형 형상의 보정을 참고 운반어선 선형의 U형 단면형상을 참고하여 각 스테이션의 단면적에 맞추어 보정한다. 이 후, V형 형상의 보정은 단면적에 맞추어 선형의 불연속점이 없는 한계 내에서 보정을 수행한다. UV형의 보정은 형상의 변화의 기준을 맞추고자 U형과 V형 늑골선의 교차점을 지나게 하여 U형과V형 사이의 형상으로 맞추어 보정한다. 이때 늑골선들의 교차점을 기준으로 상부와 하부의 단면적의 증감을 같게 하여 LCB와 배수용적과 같은 선형요소의 변화가 없도록 보정한다. 보정과정에 있어, 9station의 보정은 이미 산출된 1/2 Entrance angle에 영향을 주기 때문에 수행하지 않았다.

Table 6 Modifications of hull form of each case

	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4	CASE #5
Rise of floor(°)	9	5.5		10	
Bilge radius(mm)	1100	1800		800	
section shape	UV type	U type	V type	U type	V type

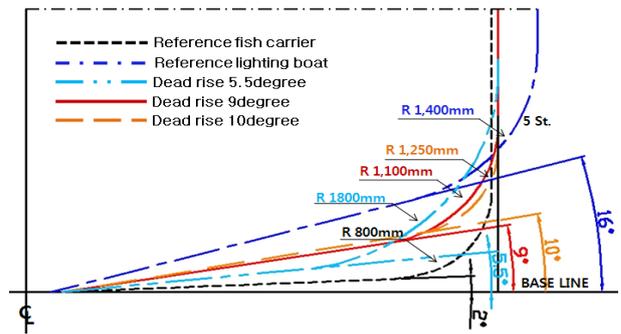


Fig. 8 Modification of midship section shape of each case

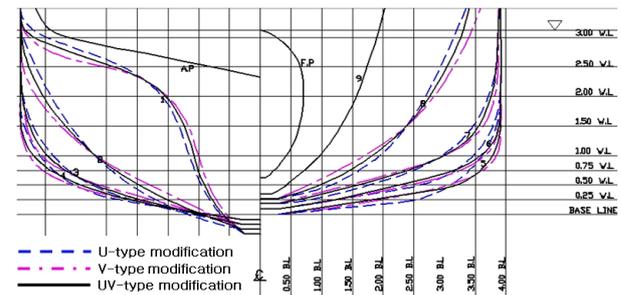


Fig. 9 Modification of V, U and UV-type section shapes

### 3.2.2 저항성능 검토

유효마력 추정에서는 선형요소만을 가지고 개략적인 유효마력을 파악하므로, 선형 특성 보정에 따른 저항성능 결과를 확인하기 위하여 수치계산을 수행하였다. 상용코드인 FLUENT 6.3.26으로 수치계산을 수행하였다. 수치계산은 모형선 크기 (Scale=1/23.80)로 설계속력(참고 운반어선 선형  $Fn=0.38$ , 설계선형  $Fn=0.37$ )에서 수행되었다. 격자계는 GridgenV15를 사용하여 생성하였으며, 격자수는  $9 \times 10^5$ 개이다. 계산영역은 선체를 중심으로 선미방향은 배 길이의 4.0배, 선수, 폭, 깊이 방향으로 각각 2.5배이다. 계산에 사용된 조건을 정리해 보면, 자유 수면에서의 파계형성을 모사하기 위한 두 밀도 유체사이의 경계를 결정하기 위해 VOF(Volume of fluid)법을 적용하였다. 난류모형은

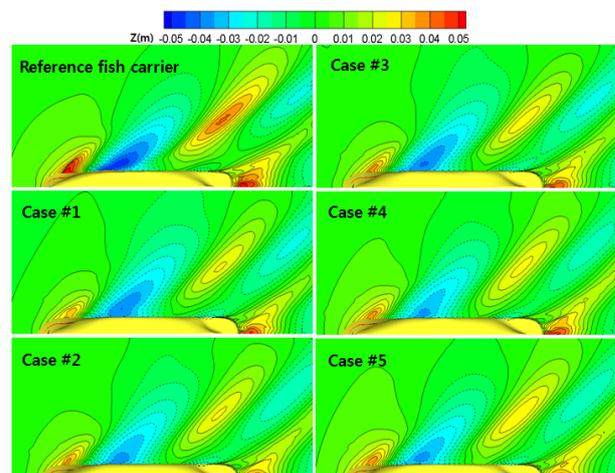


Fig. 10 Comparison of wave contours

Realizable k-ε model을 사용하였고, 속도압력의 연성은 SIMPLE algorithm을 사용하였다.

Fig. 10은 참고 운반어선 선형과 보정 선형들의 파형을 비교한 것이다. 보정 선형들과 참고 운반어선 선형의 파형을 비교해 보면, 보정선형들의 선수파와 선수 어깨에서 일어나는 파, 선미파 등 전체적으로 파고가 감소한 것을 확인할 수 있다.

수치계산으로 얻어진 참고 선형과 보정 선형들의 저항성분을 분석하여 저항성능을 파악하였다. 본 연구에서 수행한 수치계산에서는 선체표면에 접하는 방향의 힘에서 배의 길이방향 성분만을 적분한 미찰저항( $C_M$ )과 선체 표면에 수직인 방향의 힘에서 배의 길이방향 성분만을 적분한 압력저항( $C_P$ )이 얻어지고, 이를 무차원화 한 참고 선형과 보정 선형들의 저항계수들과 전저항계수를 이용하여 2차원 외삽법에 의해 추정된 실선의 전저항과 유효마력을 Table 7에 나타내었다. 보정 선형들 모두의 압력저항계수( $C_P$ )가 크게 감소하였다. 이는 설계 선형의  $C_M$ 과  $C_B$ 의 감소가 주요한 영향을 미쳐 압력저항이 감소한 것으로 판단된다. 보정 선형들이 참고 운반어선 선형에 비해 약 11%~16% 감소한 것을 확인할 수 있으며, 그 중 CASE #2, CASE #4의 유효마력 감소율이 가장 컸다. 이는 U형 횡단면 형상의 영향인 것으로 파악된다.

Table 7 Comparison of resistance components

	Re. fish carrier	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4	CASE #5
$C_{VM}(Com.) (\times 10^{-3})$	3.70	3.52	3.42	3.50	3.43	3.49
$C_{PM}(Com.) (\times 10^{-3})$	8.58	7.27	6.95	7.42	6.95	7.33
$C_{TM}(Com.) (\times 10^{-3})$	12.28	10.79	10.36	10.92	10.38	10.83
$C_{FM}(ITTC1957) (\times 10^{-3})$	2.93	2.91	2.91	2.91	2.91	2.91
$C_{RM}(\times 10^{-3})$	9.34	7.88	7.46	8.01	7.47	7.92
$C_{FS}(ITTC1957) (\times 10^{-3})$	1.81	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80
$C_{TS}(\times 10^{-3})$	11.16	9.68	9.26	9.81	9.27	9.72
$R_{TS}(kN)$	151.97	134.7	127.0	135.7	127.5	135.2
EHP(HP)	1572	1393	1313	1404	1319	1398
Change rate(%)	-	11.38	16.44	10.69	16.11	11.03

### 3.2.3 복원성능 검토

선형 특성 보정에 따른 복원성능을 확인하기 위하여 복원성능 추정을 수행하였다. 어선은 어로작업과 항해 등에 대비하여 악조건하의 해상에서도 안전성을 확보할 수 있어야 한다. 선박 자체가 가진 고유의 성능으로 나타나는 것 중에 가장 중요한 것이 복원성이며, 그 지표가 바로 GM이다. 따라서 보정 선형들의 복원성을 비교하기 위하여, 참고 선형의 KG와 깊이(D)를 통해 보정 선형들의 깊이에 따라 비례식으로 KG의 위치를 추정하고, GM을 비교하였다. Table 8은 참고 운반어선 선형과 보정 선형들의 유체 정역학 계산을 통한  $KM_T$ 와 KG를 통해 GM의 위치를 추정한

것이다. 어선법(Mifaff, 2010)의 복원성 기준에 의거하여 배의 길이 40미터 이상 어선의 GM은 0.35미터 이상이어야 한다. 참고 운반어선 선형의 경우 복원성 기준에 미치지 못했으나 보정 선형들의 경우 모두 요구하는 값보다 높게 추정되어 국내의 복원성 기준에 만족하였다. 보정 선형들의 무게중심 위치가 동일하다는 가정 하에서 CASE #3, CASE #5가 상대적으로 GM값이 크게 추정되어 좀 더 복원성이 우수한 선형으로 설계될 것이다. 두 선형은 모두 선수부가 V형 횡단면으로, 상갑판의 폭이 넓어져 복원성에 유리한 선형이라 판단된다.

Table 8 Comparison of estimated GM

	Reference fish carrier	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4	CASE #5
$KM_T(m)$	3.554	3.863	3.815	3.901	3.816	3.896
KG(m)	3.220	3.409	3.409	3.409	3.409	3.409
GM(m)	0.334	0.454	0.406	0.492	0.407	0.487

### 3.2.4 내항성능 검토

선형 특성 보정에 따른 내항성능을 확인하기 위하여 내항성능 검토를 수행하였다. 내항성은 파도의 파장과 배의 선형요소와 관계를 갖게 되는데, 이러한 것들을 계수화 하여 정리한 것이 seakeeping index이다. 본 연구에서는 Wijngaarden A. M.(Andrew & Liu, 1992)이 제안한 회귀 방정식(1)을 사용하였으며,  $R_f$ 값이 클수록 heave와 pitch의 움직임이 안정적인 것으로 알려져 있다.

$$R_f = -11.624 + 111.409C_p^2 + 5.042LCB - 20.064C_{wp} - 3.236L/B + 1.743L/T - 5.663LCF \quad (1)$$

여기서,  $R_f$ 는 seakeeping index,  $C_{wp}$ 는 수선면 계수, LCF는 길이방향 부면심의 위치(%)를 나타낸다.

Table 9는 참고 운반어선 선형과 보정 선형들의  $R_f$ 값을 나타낸 것으로, 보정 선형들 모두 참고 운반어선 선형에 비하여  $R_f$ 값이 작아졌으나 Kang (2006)에 나타난 표준어선의  $R_f$ 값 범위인 1.041~52.281과 비교하여 보정선형들이 비교적 큰 값에 속하여 내항성능에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 보정선형들이 표준어선 선형과 규모의 차이는 있지만, seakeeping index가 일반적인 선형 모두에 사용이 가능하고 상대적 비교자료로서 활용되기 때문에 비교에는 무리가 없을 것으로 판단된다. 보정 선형들 중 차이는 미비하지만 CASE #2, CASE #4선형이 우수하였으며, 두 선형은 모두 U형 횡단면으로 보정된 선형이다.

Table 9 Comparison of seakeeping index

	Reference fish carrier	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4	CASE #5
$C_{WP}$	0.883	0.867	0.860	0.871	0.860	0.871
LCF	-3.28	-3.53	-3.63	-3.42	-3.63	-3.42
$R_f$	41.52	32.76	33.40	32.03	33.40	32.03

### 3.2.5 설계 선형의 선정

본 연구의 참고 등선과 운반선의 설계 경향이 복원성과 내항성을 고려하여 설계하고 있다 (NFRDI, 2000). 설계 선형의 선정 시 저항성능도 중요하지만, 등선과 운반선 설계에 중요한 복원성과 내항성을 우선순위로 생각하였다. 내항성의 경우 보정 선형들 간의 차이가 적어, 상대적으로 복원성이 나쁘게 추정된 CASE #2, CASE #4선형은 제외시켰다. 나머지 선형들 중 저항성능이 좋은 CASE #1선형을 설계 선형으로 선정하였다. Fig. 11은 최종 선정된 설계 선형의 정면도를 참고 등선 선형, 참고 운반선 선형과 비교하여 나타낸 것이다.

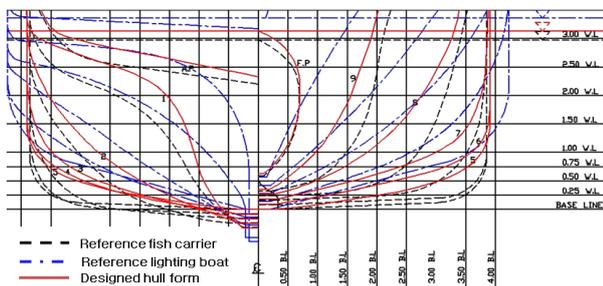


Fig. 11 Comparison of hull forms

## 4. 참고 선형과 설계 선형의 모형시험

참고 운반선 선형과 설계 선형의 저항성능을 보다 자세히 파악하기 위하여 모형시험을 수행하였다. 각 선형들의 모형시험을 실선속력 3~18knots에서 수행하였다. Fig. 12의 조파저항계수( $C_w$ ) 그래프를 보면, 10노트 이하의 속도에서는 차이가 없으나 그 이상의 속도에서는 설계 선형의 조파저항계수가 참고 운반선 선형의 조파저항계수에 비하여 그 증가량이 감소하는 것을 확인할 수 있으며, 설계속력에서는 약 20%감소하였다. Fig.13을 확인하여 보면, 실험 시 설계 선형의 파가 참고 선형에 비하여 감소한 것을 확인할 수 있다.

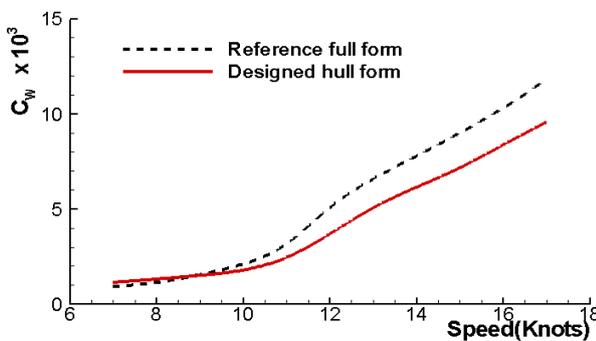


Fig. 12 Comparison of  $C_w$  curves

본 연구에서는 설계된 선형의 조파저항성능을 확인하고자, 참고 운반선 선형과 설계 선형에 대하여 파형해석을 수행하였다. 또한, 형상저항의 영향도 함께 파악하기 위하여 저속저항시험을 수행하였다. 파형해석은 longitudinal cut method를 이용하

였으며, local wave effect를 피할 수 있도록 인하대학교 선형시험수조의 벽 위치에서 파형을 계측하였다. 형상영향계수는 Prohaska 방법을 이용하여 얻어내었다. 참고 운반선 선형과 설계 선형의 형상영향계수는 각각 0.116과 0.064로, 설계 선형이 참고 운반선 선형에 비하여 상당히 감소한 것을 확인하였다.



(a) Reference fish carrier (Model number: IT10-03 Fish 08)



(b) Designed hull form (Model number: IT10-04 Fish 09)

Fig. 13 Photographs of the wave generations during model test at design speed ( $V_M = 1.58\text{m/s}$ )

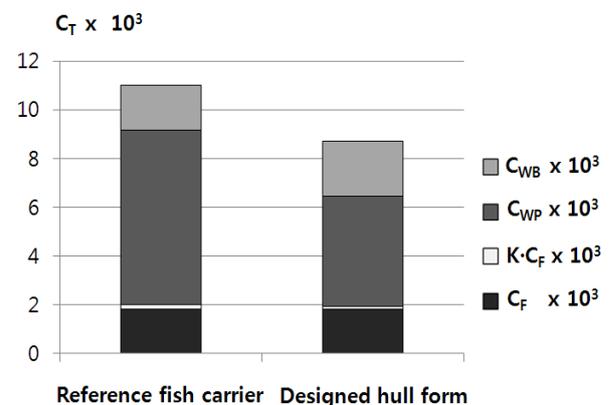


Fig. 14 Comparison of resistance components by the ITTC 1978 method

Fig. 14는 ITTC 1978년 방법을 이용하여 설계 속력에서 참고 운반선 및 설계 선형인 두 모형선의 저항성분들을 분리한 결과이다. 형상저항계수( $k \cdot C_f$ )는 크게 차이가 없지만 조파저항계수 성

본 중선형적 성분( $C_{wp}$ )이 약 36% 감소하였다. ITTC 1978년 방법을 이용하여 설계속력에서 참고 선형과 설계 선형의 유효마력은 각각 약 1569HP, 1231HP로 설계 선형이 참고 선형에 비하여 22% 감소된 것을 확인하였다. 한편, 설계속력에서 Froude 방법을 이용한 참고 선형과 설계 선형의 유효마력은 각각 약 1610HP, 1298HP로 그 차이는 약 19%의 차이를 보였다. ITTC 1978년 방법을 이용한 유효마력이 Froude 방법을 이용한 유효마력 보다 약 3% 낮게 추정이 되었는데, 이는 2차원과 3차원의 선박저항결정법의 차이로 3차원 저항추정 방법인 ITTC 1978년 방법에 형상영향 계수가 이용되어 나타난 결과이다 (Kenneth, 2001).

추정과 계산, 실험 결과를 ITTC 1978년 방법 이용하여 추정한 유효마력을 Fig. 15에 비교하여 나타내었다. 설계 속력에서 실험의 유효마력 감소율(약 22%)보다 추정을 통하여 얻어진 유효마력의 감소율(약 25%)이 조금 더 크게 나타나고 있다. 하지만 추정과 실험 결과의 경향이 정성적으로 큰 차이를 보이지 않아, 반 오르트메르센(Van Oortmerssen) 마력추정법은 선망 운반선의 실선마력을 추정하기에 적절한 것으로 판단된다.

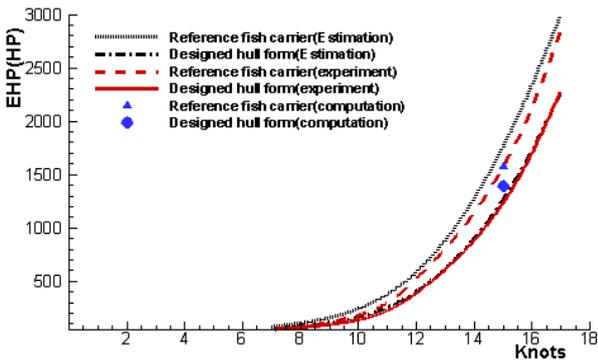


Fig. 15 Comparison of EHP curves among power estimation, EFD experiment and CFD computation

## 5. 결론

한국 G/T 199톤급 선망 등선 겸용 운반선 설계를 수행하였다.

- 1) 본 선형설계방법으로 참고 운반선 선형에 비하여 설계 선형의 유효마력이 약 22% 감소하였음을 확인하였으며, 특히 조파 저항 성분 중에 파형저항의 경우 약 36%가 감소되었다. 이는  $C_M$ 과  $C_B$ 의 감소로 압력저항이 감소하였고, 길이가 길어지고 LCB가 선미부로 이동하는 등 산출된 선형요소에 의해 조파저항에 유리하게 선형이 변화된 것으로 판단된다. 본 연구의 선형설계 방법이 등선 겸용 운반선의 저항성능 향상을 위한 초기 선형설계에 충분히 활용이 가능할 것으로 판단되어진다.
- 2) 선망 등선과 운반선의 설계는 저항성능 뿐만 아니라 복원성능, 내항성능을 고려하여 설계한다. 등선 겸용 운반선 설계 또한 이러한 성능이 만족되도록 하여 두 선형의 기능이 가능하도록 설계되어야 한다. 본 설계 선형의 U형 형상의 경우는 U형에 비해 저항성능은 좋지 않았으나, 복원성과 내항성을 동시에 고

려하였을 경우 다른 형상들에 비해 우수하여 어선의 선형으로 무리가 없을 것이라 판단된다. 하지만 저항성능을 좀 더 감소시키고자하는 선형의 경우에는 U형 횡단면을 택하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

- 3) 본 연구는 앞으로 선망 등선 겸용 운반선의 선형개발에 참고 자료가 될 것이며, 설계된 등선 겸용 운반선 선형은 선형 연구된 선망본선과 함께 선단을 이루어 선망어업 발전에 기여할 수 있을 것이다.

## 후기

본 연구는 농림수산물부 수산특정연구개발사업의 '수산업 기술경쟁력 확보를 위한 미래형 어선기술 개발'사업으로 수행된 연구결과임.

## 참고 문헌

- Alvarino, Ricardo, Azpiroz, Juan José e Meizoso, Manuel, 1997. El Proyecto Básico del Buque Mercante. Fondo Editorial de Ingeniería Naval, *Colegio de Ingenieros Navales*.
- Andrew, Z. & Liu, S., 1992. Optimization of hull form for seakeeping performance. *The Fifth International Symposium on Practical Design of Ship and Mobil Units*.
- Choi, H.J. Lee, K.W. & Yun, S.D., 2006. Study for the Development of an Optimum Hull Form using SQP. *Journal of Korean Navigation and Port Research*, 30(10), pp.869-875.
- Choi, N.K. Kang, B.Y. & Jo, H.J., 2002a. A Study on the Optimum Formation of Fleet in Purse Seiner Fishing System. *Journal of the Korean Society of Ocean Engineering*, 16(6), pp.76-81.
- Choi, N.K. Kang, B.Y. & Jo, H.J., 2002b. A Study on the Principal Performance of Purse Seiner Ship in 2 Vessels Formation. *Journal of the Korean Society of Ocean Engineering*, 16(6), pp.71-75.
- ILO, 2007. *International labour standards policy*.
- Jeong, K.L. Lee, Y.G. & Kim, N.C., 2010. A Fundamental Study for the Numerical Simulation Method of Green Water Occurrence on Bow Deck. *Journal of the society of naval architects of Korea*, 47(2), pp.188-195.
- Kang, D.S., 2006. *A Study on the Estimation of Effective Horsepower and a Design Method of Hull Form with Minimal Resistance for Korean Small Fishing Vessels*. Ph.D. Inha University.

- Kenneth, M.F., 2001. Comparison of ITTC-78 and Standard Ship Performance Prediction Methods, *Hydromechanics Directorate report, NSWCCD-50-TR --2001/033*.
- Kim, D.D. Lee, Y.G. Yu, J.W. & Park, C.K., 2010. A Study on the Resistance Performance of G/T 180ton Class Korean Large Purse Seiner. *The Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, ISSN 1975-2237. pp. 217-218.
- Korea Ship Safety Technology Authority (KSSTA), 1988. G/T 139ton Class trawler construction explanation. *Journal of Korea Fishing Vessel Association*, 57, pp.54-59.
- Lackenby, H., 1950. On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms. *Trans. INA*, 92, pp.289-315.
- Lawrence, C. Zhou, J.L. & Tits, A.L., 1997. User's Guide for CFSQP Version 2.5 : A C Code for Solving(Large Scale) Constrained Nonlinear(Minmax) Optimization Problems, Generating Iterates Satisfying All Inequality Constraints, *Institute for Systems Research*, University of Maryland.
- Lee, Y.G., 1982. Study on the Estimation Method of EHP of Fishing Boats and Optimization Technique of Hull Form Parameters having Low Resistance, *KIMM report, UCN131H-270.D*.
- Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (Mifaff), 2010. *Fishing Vessel Law*, Republic of Korea.
- National Fisheries Research Development Institute (NFRDI), 2000. *A research on the laborsaving method for the fleet fishing vessels*, Republic of Korea.
- Oortmerssen, G.Van., 1971. A Power Prediction Method and its Application to Small Ships, *Int. Shipbuilding Progress*, 18(207), pp.397-415.



박애선



이영길



진송한