

G/T 190톤급 한국 대형선망 본선의 저항저감에 대한 연구

박애선¹·이영길^{2,†}·김두동¹·유진원¹·하윤진¹·진송한³
인하대학교 대학원 조선해양공학과¹
인하대학교 항공·조선·산업공학부 조선해양공학전공²
중소조선연구원³

A Study on the Resistance Reduction of G/T 190ton Class Main Vessel in Korean Large Purse Seiner Fishing System

Ae-Seon Park¹·Young-Gill Lee^{2,†}·Doo-Dong Kim¹·Jin-Won Yu¹·Yoon-Jin Ha¹·Song-Han Jin³
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Graduate School, Inha University¹
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University²
Research Institute of Medium & Small Shipbuilding³

Abstract

In this study, hull form of main vessel of Korean large purse seiner fishing industry is developed for the improvement of resistance performance as well as for the satisfaction to the Standard of Fishing Convention, ILO. Through the modification of reference hull form parameters and local characteristics, the hull form development is carried out. The optimum hull form parameters are searched by Sequential Quadratic Programming(SQP) method with the power estimation method of Holtrop & Mannen. To minimize the wave resistance, bulbous bow parameters are determined by the bulbous bow design method of Alvarino. The plasmatic curve is redesigned from that of the reference hull by using Lackenby method. The resistance performances of the reference and designed hull forms are estimated by using numerical simulation method. Also, the judgment of seakeeping ability and the estimation of intact stability for the designed hull form is carried out. As a result, the optimum hull form is proposed. To verify the improvement of resistance performance, model tests are carried out in towing tank. The results show that the resistance of the designed hull form is about 14% smaller than that of the reference hull form at design speed. A new hull form proposed in this study can contribute to the development of the main vessel hull form of Korean large purse seiner fishing system.

Keywords : Purse seiner(선망어선), Hull form design(선형설계), Resistance performance(저항성능), Numerical simulation(수치시뮬레이션), Model test(모형시험)

1. 서론

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 조업어장의 축소, 어업자원의 감소, 노동력 부족 등 어업의 구조적 문제가 심화되고 있다.

이러한 대내외적으로 악화된 어업여건을 타개하면서 우리나라의 어업이 지속 가능한 생산체제를 갖추기 위해서는 어선 감척사업 등을 통한 어선 어업의 양을 줄이는 것과 더불어 연료절감형 어선선형 개발을 병행하여야 할 필요성이 있다.

어선의 선형개발에 관한 연구들을 보면, 오래 전의 예로는

Doust and Sc (1960)가 트롤어선에 구상선수를 부착하여 저항을 감소시킨 바 있으며, 국내에서는 소형어선의 유효마력추정 및 선형 설계법과 최적선형 도출을 위한 차인 선형과 배수량형 선형의 단면형상에 관한 연구들이 수행된 바 있다 (Lee, 1984; Kang, 2006; Lee, et al., 2009). 해양수산부는 선단조업어선의 효율적 인력절감에 관한 연구를 통하여 선망본선에 대한 연구(National Fisheries Research Development Institute (NFRDI), 2000)를 수행하였고, Kim (2009)은 한국 어선을 기준선으로 알제리 트롤어선에 관한 연구를 수행하는 등 선박의 효율성을 증가시키기 위한 연구들이 다수 수행되어 오고 있다.

우리나라 근해어업 중 대형선망 어업은 가장 규모가 크며, 대량 생산구조를 가진 업종이다. 이러한 대형선망 어업은 보통 6척의

선박이 하나의 선단으로 구성되어 조업하는 구조를 가지고 있다. 선망 어업은 점차 대형화 되고 소요 동력이 증가되어, 운용비용이 증가되는 추세이다. 이와 같은 대형선망 어업은 어획량이 풍부한 경우에는 큰 이익을 기대할 수 있지만, 어획량 감소 및 유류비가 증가할 경우 경영에 큰 타격을 입게 된다. 최근 유가의 급등으로 인해 대형선망 어업의 채산성이 악화되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 선단의 최적 구성 및 어선의 저항성능 개선 등에 관한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 이 중에, 선단구성을 새로이 하는 경우에는 2척 선단구성이 초기 선가 및 운항비 등의 경제성 측면에서 유리한 것으로 밝혀진 바 있다 (Choi, et al., 2002). 대형선망 어업에서, 선망본선은 어망을 적재하고 어탐, 투망, 양망작업을 하며, 어획물 적재 시 운반선과 함께 적재작업을 하는 어로작업의 중추적 역할을 한다. 이러한 선망본선 설계는 우수한 저항성능과 함께 어로작업의 편의성, 충분한 복원력이 확보되어야 한다.

본 연구는 해양수산부의 주관 하에 연구된 G/T 175톤급 선망본선을 참고 선형으로 하여, 2011년부터 발효된 국제노동기구(International Labour Organization; ILO, 2007)의 어선원 노동협약기준을 만족하는 대형선망 본선의 저항절감형 최적선형을 도출하고자 수행하였다. 저항최소화 선형요소를 산출하여 선형을 설계하였으며, 선형설계 시 저항성능과 복원성능, 내항성능을 검토하여 한국의 어업 실정에 맞는 선형을 선정한 후, 모형시험을 통하여 저항성능의 개선된 정도를 파악하였다. 본 연구를 통해 우리나라 대형선망 본선의 저항성능 향상에 대한 개략적인 선형개선 방향을 제시하고자 한다.

2. 연구대상 선형

연구대상 선형으로 G/T 175톤급 대형선망 본선(NFRDI, 2000)을 선정하였으며, 이를 참고 선형으로 명명하였다. 참고 선형의 주요요목과 선도는 각각 Table 1, Fig. 1에 나타내었다.

Table 1 Principal dimensions of the reference hull form

Principal dimension	Reference hull form
G/T [ton]	175
L_{WL} [m]	41.43
L_{BP} [m]	37.00
Breadth [m]	8.28
draft [m]	2.83
∇ [m^3]	455
LCB [%]	-4.75
C_B	0.53
C_M	0.82
C_P	0.64
$\frac{1}{2}$ Entrance angle [deg.]	17
Wetted surface area [m^2]	421
L/B	4.46
B/D	2.36
L/D	10.5
Design speed [Knots]	14 (Fn=0.36)

Table 2는 1984 ~ 1994년 국내외에서 건조된 선망어선들의 주요요목 비와 선형계수들(NFRDI, 2000)의 범위를 나타낸 것이다. 참고 선형의 주요요목 비와 선형계수들이 이 범위에 속하고 있어, 본 연구의 선망어선 선형 설계 시 참고 선형으로 충분히 활용이 가능한 것으로 판단하였다. 참고 선형은 푸루우드수(Fn)가 0.36으로 비교적 고속선형에 속한다. 선수부분에 조파저항이 감소되도록 벌브가 설치되었고, 선수부의 수면 하 단면 형상은 능파성이 양호하도록 V형으로 설계되었다. 선미부분은 추진효율 및 복원성능이 우수한 트랜섬 선미로 설계되었다.

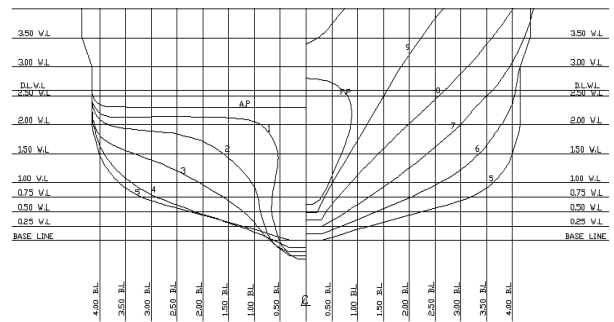


Fig. 1 Body plan of the reference hull form

Table 2 Ranges of the principal dimensions of domestic and foreign large purse seiners

Principal dimension	Minimum	Maximum
L/B	4.36	4.69
B/D	2.42	2.52
L/D	10.72	11.72
C_B	0.52	0.55
C_P	0.63	0.68

참고 선형의 저항성능을 파악하기 위하여 유효마력을 추정하였다. 유효마력 추정은 배수량형 선박을 대상으로 유효마력을 추정할 수 있는 방법 중에 홀트로프와 매넨의 유효마력 추정법(Holtrop & Mannen, 1982)을 사용하였으며, 추정된 참고 선형의 유효마력은 설계속력 부근인 15knots에서 약 774HP이고, 뒤의 4장에서 언급할 모형시험을 통한 ITTC 1978년 방법을 이용해 얻은 유효마력은 약 800HP으로, 두 결과의 차이는 약 3%로 그리 크지 않다. 따라서 본 연구의 저항최소화 선형요소 산출을 위한 유효마력 추정법으로 사용된 본 방법은 유용한 방법이라 판단된다.

3. 저항저감형 최적선형 설계

3.1 최적선형요소 산출

본 연구에서 선망 본선의 일부 주요치수들은 대형선망 어선의 어로장비에 따른 상갑판 작업장의 면적과 거주 공간 배치에 따라 결정되었다. 선수미 작업장별 필요면적을 추정할 결과 참고 선형의 상갑판 필요면적은 294 m^2 , 설계 선형은 317 m^2 이다. 또한 ILO

어선원 노동협약(ILO, 2007)을 준수한 갑판 하 구획배치를 토대로도 주요요목들이 도출되었다. 도출된 주요치수는 L_{BP} 38m, 폭 8.60m로, 총톤수 190톤 규모가 적당하다고 판단하였으며, 이를 설계 선형의 주요요목으로 결정하였다. 이들을 제외한 설계 선형의 주요요목들은 홀트롭과 매넨의 방법을 이용하여 최소저항을 갖는 조합으로 산출되었다. 홀트롭과 매넨의 방법에서 저항에 영향을 미치는 주요 선형요소들은 길이(L_{WL}), 폭(B), 흘수(draft), 배수용적(displacement volume), 부심(LCB), 방형계수(C_B), 중앙횡단면계수(C_M), 주형계수(C_P), 반수선입사각(half entrance angle; $1/2E\alpha$), 침수표면적(wetted surface area), 벌브횡단면적(bulb area), 벌브 횡단면적의 중심높이(bulb height) 이다. 선형요소의 제한 범위를 설정하는데 있어서는 선망 본선 실적선의 선형요소를 이용하여 적용범위를 고려하였다. 유사 실적선의 B/D는 2.42~2.52로, 결정된 B가 8.60m이므로 깊이의 범위는 3.55~3.33m으로 정해진다. 흘수의 범위는 참고 선형의 $D/d(=1.31)$ 를 적용하면, 2.60~2.71m이고, C_P 는 실적선의 범위인 0.63~0.68이다. C_M , LCB, 그리고 $1/2E\alpha$ 의 범위는 국내어선의 선형요소에 관한 참고문헌이 부족하여, 어선의 유효마력 추정 프로그램 중의 하나인 FISHEHP 프로그램(Lee, 1982)에서 사용한 범위를 사용하였다. 이 때 C_B 와 침수표면적은 결정된 선형요소의 범위에 따라 종속적으로 변화되도록 하였다. 결정된 주요요목의 범위를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Feasible ranges of the additional principal dimensions for large purse seiners

draft	$2.60 \leq \text{draft} \leq 2.71$
LCB [%]	$-5.0 \leq \text{LCB} \leq 1.5$
C_M	$0.45 \leq C_M \leq 0.95$
C_P	$0.63 \leq C_P \leq 0.68$
$\frac{1}{2}$ Entrance angle [deg.]	$17.0 \leq 1/2E\alpha \leq 30.0$

설계 선형의 최적선형요소의 산출은 Choi, et al. (2006)이 선형의 최적화에 이용하여 그 유용성과 빠른 수렴성을 보여준 비선형 최적화 기법인 SQP법(Lawrence, et al., 1997)을 사용하였다.

홀트롭과 매넨의 방법에서 선체 저항에 영향을 미치는 선형요소 중 벌브의 선형요소들인 벌브의 높이방향 중심 위치와 F.P.에서 벌브의 횡단면적이 포함된다. 따라서 구상 선수 최적화를 추가적으로 수행하였다. 보통 구상 선수 설계는 Kracht's charts (1978)가 일반 대형 상선에서 흔히 이용되어 왔으나, 본 연구의 대상선 속력범위에서는 적용이 불가하여, 실적선을 회귀 해석한 Alvarino, et al. (1997)에 의해 제안된 방법을 이용하였다.

- 1) F_n 의 범위가 $0.22 < F_n < 1.45$ 일 경우 다음 식을 통하여 A_{BT} 를 산출한다. $A_{BT} = 40 \times F_n - 3.5 \times A_{MS}$
- 2) $Z_B(\text{설계 선형}) = (Z_B(\text{참고 선형})/T(\text{참고 선형})) \times T(\text{설계 선형})$ 의 식으로 산출한다.
- 3) Alvarino의 Table(Alvarino, et al. 1997)에서 설계 선형의 L_{BP}/B 와 C_B 에 해당하는 B_B 값을 파악한다.

4) L_{PR} 은 참고 선형과의 관계식을 통하여 산출한다. $L_{PR} = L_{BP}(\text{참고 선형}) + 0.08 \times (C_B(\text{설계 선형}) - C_B(\text{참고 선형})) - 0.004 \times ((L_{BP}(\text{설계 선형})/B(\text{설계 선형})) \times (L_{BP}(\text{참고 선형})/B(\text{참고 선형}))) \times L_{BP}$

여기서 L_{PR} 은 벌브 길이, B_B 은 벌브의 최대 폭, Z_B 은 벌브의 높이방향 중심 위치, T 는 선체 흘수선의 높이, A_{MS} 는 선체 중앙 횡단면적, A_{BT} 은 F.P.에서의 벌브의 횡단면적을 각각 나타낸다.

참고 선형과 설계 선형의 추정된 구상 선수의 선형요소들은 Table 4와 같다.

Table 4 Comparison of the bulbous bow parameters

Bulbous bow principal dimension	Reference hull form	Designed hull form
L_{PR}	2.3	2.6
B_B	1.6	1.7
Z_B	2.0	1.9
A_{BT}	2.8	2.8

Table 5는 산출된 설계 선형의 선형요소들을 참고 선형의 선형요소들과 비교한 표이다. L_{BP} , Breadth, ∇ , W.S.A, C_P , C_B , C_M , $1/2E\alpha$ 는 증가하였으며, draft는 낮아졌고, LCB는 선수쪽으로 이동하였다. L/B, B/T를 비교해 보았을 때, 설계 선형이 참고 선형에 비하여 폭이 증가하는 방향으로 설계되어 복원력이 향상되었을 것으로 기대된다.

Table 5 Comparison of the principal dimensions between the reference and the designed hull forms

PRINCIPAL DIMENSION	Reference hull form	Designed hull form
G/T [ton]	175	190
L_{WL} [m]	41.43	42.57
L_{BP} [m]	37.00	38.00
Breadth [m]	8.28	8.60
draft [m]	2.83	2.61
∇ [m^3]	455	466
LCB [%]	-4.75	-4.25
C_B	0.53	0.56
C_M	0.82	0.84
C_P	0.64	0.66
$\frac{1}{2}$ Entrance angle [deg.]	17	17.5
Wetted surface area [m^2]	421	434
Z_B	2.0	1.9
A_{BT}	2.8	2.8
L/B	4.46	4.41
B/d	2.93	3.30
L/d	14.64	16.31
Design speed [Knots]	14($F_n=0.36$)	15($F_n=0.38$)

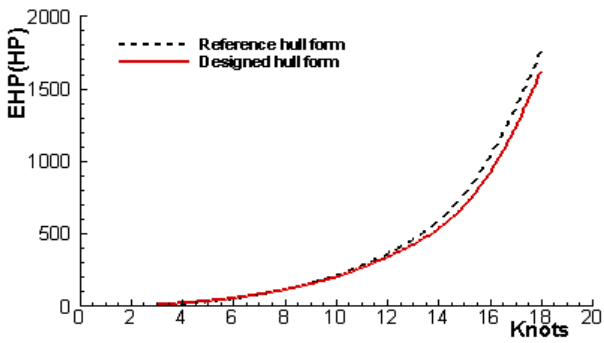


Fig. 2 Comparison of estimated effective horse power curves

참고 선형과 설계 선형의 유효마력을 추정하여 Fig. 2에 나타내었다. 설계속력 15knots에서 참고 선형과 설계 선형의 유효마력은 약 774HP, 693HP로 설계 선형의 유효마력이 참고 선형보다 약 10% 감소한 결과를 보여주고 있다.

3.2 최적선형 도출

3.2.1 선형의 보정

산출된 주요요목을 바탕으로 설계 선형의 선도를 작성하였다. 선도작성은 상용 프로그램인 Tribon M3을 사용하였다. 먼저 참고 선형의 길이, 폭, 흘수를 설계 선형의 주요요목으로 변경한 후 횡단면적 곡선의 변화는 중앙평행부가 없는 선형을 대상으로 전체 방형계수와 LCB를 맞추어 변환할 수 있는 Lackenby 법 (Lackenby, 1950)을 이용하였다. 설계 선형의 배수량이 참고 선형에 비하여 약 2%가 증가하여 이를 설계 선형의 선미 어깨부분에 증가시켰다. 이로 인하여 선미부 횡단면적 형상이 완만하고 부드러운 형상으로 설계되어 추진능력이 개선될 것으로 예상된다 (The Society of Naval Architects of Korea (SNAK), 2011). 참고 선형과 설계 선형의 횡단면적 곡선은 Fig. 3과 같다.

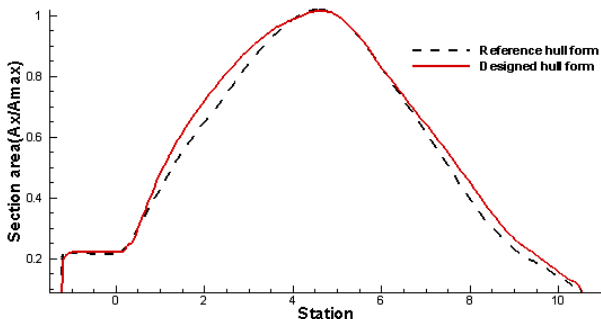


Fig. 3 Comparison of C_p curves

Fig. 4는 선체 중앙 횡단면에서 선형요소 보정에 따른 선형 변화를 보여주고 있다. 선체 중앙에서 횡단면적의 변화가 없도록 하기 위하여, 흘수가 줄어들어 변화된 면적만큼 선체 폭을 키우고 선저 경사각을 낮아지게 하였다.

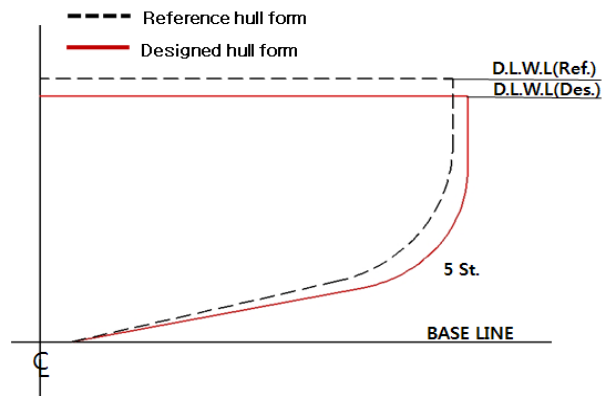
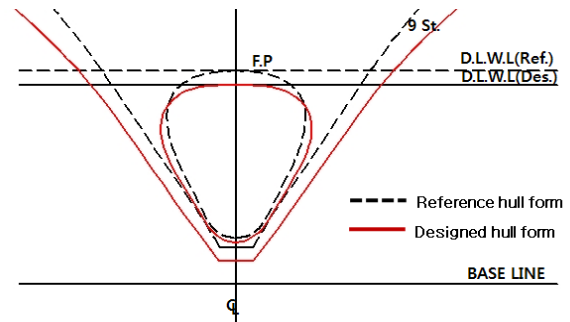
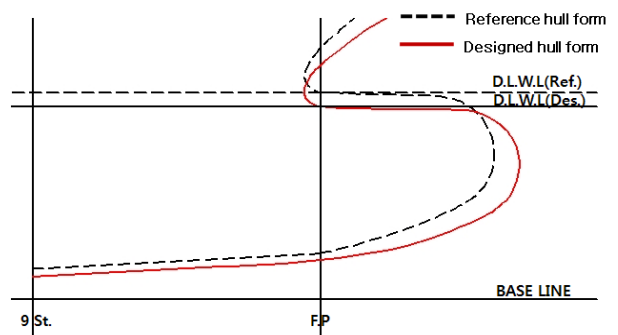


Fig. 4 Modification of midship section shape

또한 추정된 구상 선수의 선형요소를 이용하여 구상선수 선형 설계를 수행하였다. Fig.5의 (a)는 F.P.단면에서의 벌브선형요소의 변화를 나타낸 그림으로 횡단면적을 동일하게 하기 위하여 낮아진 흘수의 영향으로 감소된 면적만큼 벌브의 폭을 키워 면적을 증가시켰다. 이때 벌브의 횡단면 형상은 역삼각형 형상(▽)을 유지시키며 보정하였다. Fig. 5의 (b)는 측면에서의 벌브선형요소의 변화를 나타낸 것으로 벌브의 길이가 길어지고 벌브의 높이방향 중심 위치는 낮아졌다. 이때 벌브의 종단면적은, 참고 선형과 유사한 형상을 유지하며 불연속성이 있는 부분을 완화시키기 위해, 참고 선형보다 넓게 하였다.



(a) Body plan



(b) Profile

Fig. 5 Modification of bulb shape

이와 더불어 본 연구에서는 저항성능과 복원성능, 내항성능이

우수한 선형을 도출하고자, 선수, 선미부의 횡단면 형상을 변경해가며, 수치계산을 수행하였다. 선형의 횡단면 형상은 크게 U형, V형 두 가지로 나눌 수 있으며, 각 횡단면 형상마다 장단점을 갖고 있다. U형 횡단면은 일반적으로 선수부 조파저항 및 구획 배치와 건조에 유리하고, V형 단면은 선수벌브 선형일 때 ▽형의 선수벌브와 함께 쇄파저항을 감소시키고, 넓은 상갑판 면적을 확보할 수 있어 복원성이 우수할 것이라 판단된다. 본선의 설계 시 저항성능도 우수해야 하지만 복원성이 우선시 되어야 하므로, 본 연구에서는 선수, 선미부 횡단면 형상을 변경하여 가며, 4가지의 설계 선형을 선정하였다. Table 6은 선수, 선미부 횡단면 형상에 따른 각 선형들을 나타낸다. 각 선형 별로 번호(the number of case)를 붙여 나타내었으며, 이것들을 통칭하여 보정 선형들이라 한다. Fig. 6은 보정선형들의 정면도를 나타낸다. 각 보정선형들의 횡단면 형상 변경은, V형 형상의 경우 참고 선형의 V형 단면형상을 유지시키며 각 스테이션의 단면적에 맞추어 참고 선형과 유사한 늑골선을 생성하였으며, U형 형상의 보정은 V형 형상의 늑골선과 교차점을 기준으로 상부와 하부의 단면적의 증감량을 같게 하여 LCB와 배수용적과 같은 선형요소의 변화가 없도록 보정하였다. 보정과정에 있어 특히, 9 스테이션(station)에서의 보정은 이미 산출된 $1/2Ea$ 에 영향을 미치지 않기 때문에 보정하지 않았다.

Table 6 Cases of the modifications of hull form

Number of case	Modification
CASE #1	V type Section Shape(fore & aft body)
CASE #2	U type(fore), V type(aft)
CASE #3	V type(fore), U type(aft)
CASE #4	U type(fore & aft)

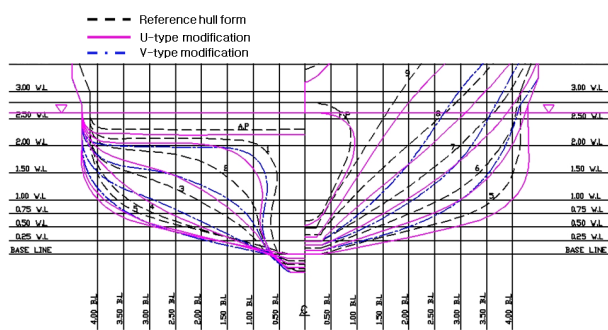


Fig. 6 Modifications of V-type and U-type section shapes

3.2.2 저항성능 검토

유효마력 추정 방법의 경우, 각 선형 특성에 따른 영향을 고려하지 못하기 때문에, 수치계산을 이용하여 각 보정 선형들에 대하여 저항성능을 확인하여 보았다. 수치계산을 모형선 크기 (Scale=1/23.98)로 설계속력(Fr=0.38)에서 수행하였으며, 실제 계산은 상용코드인 FLUENT 6.3.26을 사용하였다. 격자계는

GridgenV15를 사용하여 생성하였으며, 격자수는 7×10^5 개이다. 계산영역은 선체를 중심으로 선수방향으로는 배 길이의 1.0배, 선미, 폭, 깊이 방향으로는 각각 2.0배이다. Navier-Stokes 방정식과 연속방정식이 지배방정식으로 사용되었으며, 속도-압력 연성은 SIMPLE(Semi-Implicity Method for Pressure Linked Equations) 알고리즘을 이용하여 계산되었다. 지배방정식의 대류항과 확산항은 2차 상류차분법을 이용하여 이산화 되었으며, 자유수면의 위치는 Volume Of Fluid(VOF)법을 이용하여 정의되었다. 난류모델로는 Realizable k-epsilon을 사용하였다.

수치계산 결과를 통하여 참고 선형과 보정 선형들의 파형을 Fig. 7에 비교하였다. 선수부 선측 파고가 보정선형들 중 CASE #2선형이 가장 낮았으며 전체적으로는 보정 선형들이 참고 선형에 비하여 선수 및 선미부분에서 발생하는 파도들이 다소 감소되었음을 보이고 있다.

수치계산으로 얻어진 참고 선형과 보정 선형들의 저항성분을 분석하여 저항성능을 파악하였다. 본 연구에서 수행한 수치계산에서는 선체표면에 접하는 방향의 힘에서 배의 길이방향 성분만

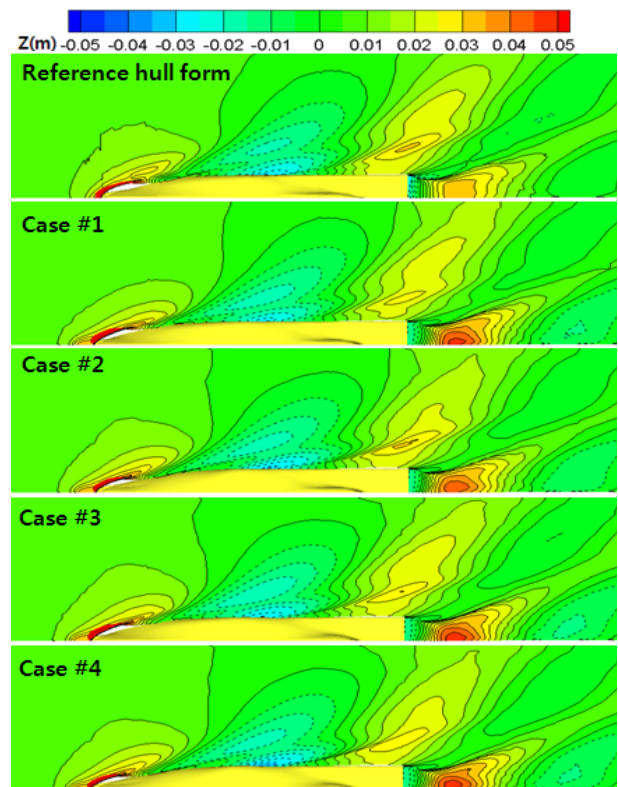


Fig. 7 Comparison of wave contours

을 접수표면적 전체에서 적분한 마찰저항(C_f)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 의한 모형선-실선 저항추정법으로 추정된 실선의 전저항과 유효마력을 Table 7에 나타내었다. 보정 선형들 모두 압력저항계수(C_p)가 크게 감소하였으며, 그 중 CASE #1, CASE #2선형이 가장 많은 감

소를 보였다. 이는 두 선형 모두 선미 횡단면형상이 V형 형상으로 보정을 수행한 결과에 의한 것으로 판단된다. 마찰저항 계수(Cv)의 변화는 그리 크지 않으나, 그 중 CASE #2, CASE #4는 소폭 감소하였다. 이는 두 선형 모두 선수 횡단면형상에 있어서 U형 형상으로 보정을 수행한 결과에 의한 것이다. 유효마력은 보정 선형들이 참고 선형에 비해 약 18%~20% 감소한 것을 확인할 수 있으며, 그 중 CASE #2, CASE #4의 유효마력 감소율이 가장 크지만, 선형별 저항 감소율의 차이는 그리 크지 않다.

Table 7 Comparison of resistance components

	Reference hull form	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4
$C_{VM}(Com.)(\times 10^{-3})$	3.59	3.61	3.55	3.60	3.52
$C_{PM}(Com.)(\times 10^{-3})$	5.74	4.14	4.14	4.23	4.23
$C_{TM}(Com.)(\times 10^{-3})$	9.32	7.75	7.68	7.83	7.75
$C_{FM}(ITTC1957)(\times 10^{-3})$	2.94	2.93	2.93	2.93	2.93
$C_{RM}(\times 10^{-3})$	6.38	4.82	4.76	4.90	4.83
$C_{FS}(ITTC1957)(\times 10^{-3})$	1.81	1.81	1.81	1.81	1.81
$C_{TS}(\times 10^{-3})$	8.20	6.63	6.57	6.71	6.63
$R_{TS}(kM)$	107.95	88.28	86.36	88.31	86.51
EHP(HP)	1117	913	893	913	895
Change rate(%)	-	18.22	20.00	18.19	19.87

3.2.3 복원성능 검토

선형 특성 보정에 따른 복원성능을 확인하기 위하여 복원성능 추정을 수행하였다. 어선은 작업 특성상 악천후 상태에서도 무리하게 작업하는 때가 있고, 또한 갑판 과적으로 인한 복원성 저하를 불러 오는 경우도 있다. 하지만 어선은 어로작업과 항해 등에 대비하여 악조건의 해상에서도 안전성을 확보할 수 있어야 한다. 선박 자체가 가진 고유의 성능으로 나타나는 것 중에 가장 중요한 것이 비손상시 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 선형과 보정 선형들의 유체 정역학적 계산을 통한 KM_r 와 KG를 통해 GM의 위치를 추정한 것이다. 어선법(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (Mifaff), 2010)의 복원성 기준에 따라 배의 길이 40미터 이상 어선의 GM은 0.35미터 이상이어야 한다. 참고 선형과 보정

Table 8 Comparison of stability estimations

	Reference hull form	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4
$KM_r(m)$	5.341	5.539	5.315	5.478	5.303
KG(m)	2.850	2.656	2.656	2.656	2.656
GM(m)	2.491	2.882	2.659	2.822	2.647

된 선형들 모두 요구하는 값보다 높게 추정되어 국내의 복원성 기준에 만족하였다. 보정 선형들 모두 참고 선형에 비하여 GM이 크게 추정되었으며, 무게중심 위치가 동일하다는 가정 하에서 CASE #1, CASE #3이 복원성이 우수한 선형으로 추정된다. 두 선형은 모두 선수부가 V형 횡단면으로, 상갑판의 폭이 넓어져 복원성에 유리한 선형으로 보정되었다.

3.2.4 내항성능 검토

선형 특성 보정에 따른 내항성능을 확인하기 위하여 내항성능 검토를 수행하였다. 내항성능은 파도의 파장과 배의 선형요소와 관계를 갖게 되는데, 이러한 것들을 계수화 하여 정리한 것으로 seakeeping index가 있다. seakeeping index는 주로 선박 내항성의 비교를 위해 활용되는 것으로, 본 연구에서는 Wijngaarden A. M.(Andrew & Liu, 1992)이 제안한 회귀 방정식을 사용하였다. 회귀 방정식은 (1)과 같으며 heave와 pitch의 움직임에 한하여 일반적인 선형에 적용 가능하고, 두 가지 움직임에 대하여 상대적인 자료로서 활용 가능하다. R_f 값이 클수록 두 가지 움직임이 안정적인 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 참고 선형의 R_f 값을 기준으로 보정 선형들의 R_f 값들을 상대적으로 비교하는 방법으로 내항성능 검토를 진행하였다.

$$R_f = -11.624 + 111.409C_p^2 + 5.042LCB - 20.064C_{wp} \quad (1)$$

$$- 3.236L/B + 1.743L/T - 5.663LCF$$

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

Table 9는 참고 선형과 보정 선형들의 R_f 값을 비교하여 나타낸 것이다. 보정 선형들 모두 참고 선형에 비하여 R_f 값이 크게 설계되어 내항성능이 향상된 것을 알 수 있다. 표준어선의 R_f 값은 1.041~ 52.281(Kang, 2006)로 보정선형들이 비교적 큰 값에 속하여 내항성능이 우수할 것으로 판단된다. 보정선형들이 표준어선 선형과 규모의 차이는 있지만, seakeeping index가 일반적인 선형 모두에 사용이 가능하고 상대적인 비교자료로서 활용되기 때문에 보정선형들과 비교에 무리가 없을 것으로 판단된다. 보정선형들 중 CASE #2, CASE #4이 내항성능이 더 우수한 선형이었으며, 두 선형 모두 선수부가 U형 횡단면으로 보정된 선형이었다.

Table 9 Comparison of seakeeping abilities

	Reference hull form	CASE #1	CASE #2	CASE #3	CASE #4
C_{WP}	0.874	0.879	0.859	0.878	0.860
LCF	-5.78	-5.79	-6.47	-5.75	-6.43
R_f	34.60	42.99	47.25	42.75	46.96

3.2.5 최적 설계 선형 결정

설계 선형은 먼저 선망 본선 설계 시 중요한 복원성능을 우선

순위로 생각하여 CASE #1, CASE #3선형을 선정하였으며, 두 선형 중에 저항성능과 내항성능이 더 좋은 CASE #1선형을 최종 설계 선형으로 선정하였다. Fig. 8은 참고 선형과 최종 선정된 설계 선형의 정면도를 비교하여 나타낸 것이다.

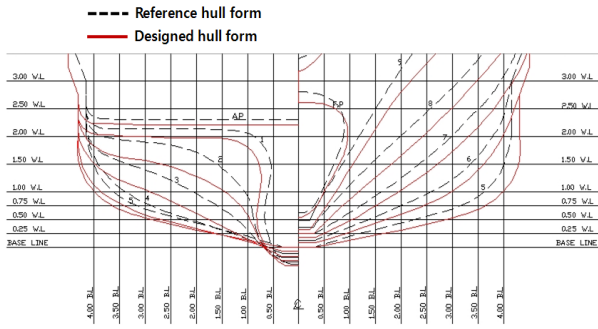


Fig. 8 Comparison of hull forms

4. 참고 선형과 설계 선형의 모형시험

참고 선형과 설계 선형의 저항성능을 보다 정확히 파악하기 위하여 모형시험을 수행하였다. 각 선형들의 모형시험을 실선속력 3~18knots에서 수행하였다. Fig. 9의 조파저항계수(C_w) 그래프를 보면, 설계속력에서 설계 선형이 참고 선형에 비하여 조파저항계수가 약 10%정도 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 10을 통하여 확인하여 보면, 실험 시 설계 선형의 파도가 참고 선형에 비하여 감소한 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 설계된 선형의 조파저항성능을 확인하고자, 참고 선형과 설계 선형에 대하여 파형해석실험을 수행하였다. 또한, 형상저항의 영향도 함께 파악하기 위하여 저속저항시험을 수행하였다. 파형해석실험으로는 longitudinal cut method를 이용하였으며, 선체부근 국부파(local wave) 영향을 피할 수 있도록 메인수조의 벽 위치에서 파형을 계측하였다. 또한, 형상영향계수(k)는 Prohaska 방법을 이용하여 얻어 내었다. 참고 선형의 형상영향계수는 0.29, 설계 선형의 형상영향계수는 0.22이며, 설계 선형의 형상영향계수는 참고 선형의 형상영향계수에 비하여 약 24%가 감소하였다.

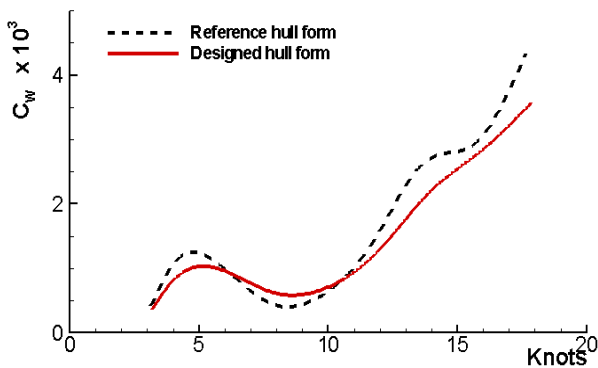


Fig. 9 Comparison of C_w curves



(a) Reference hull form (Model number: IT10-03 Fish 08)



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

Fig. 10 Photographs of model tests at $Fn=0.38$

Fig. 11은 참고 선형과 설계 선형에 걸리는 저항을 설계속력에서 성분별로 분리한 결과이다. 참고 선형에 비하여 설계 선형의 점성저항($(1+k) \cdot C_f$)은 크게 차이가 없지만 조파저항계수 성분 중 선형적 성분(C_{wp})이 약 48% 감소하였다. ITTC 1978년 방법을 이용하여 설계속력에서 참고 선형과 설계 선형의 유효마력은 각각 약 800HP, 685HP로 설계 선형이 참고 선형에 비하여 14% 감소된 것을 확인하였다. 한편, Froude 방법을 이용한 참고 선형과 설계 선형의 유효마력도 각각 약 932HP, 796HP로 약 14%의 차이를 보였다. ITTC 1978년 방법을 이용한 유효마력이 Froude 방법을 이용한 유효마력보다 약 14% 낮게 추정이 되었는데, 이는 3차원 저항추정 방법인 ITTC 1978년 방법에 형상영향계수가 이용되어 나타난 결과 (Kenneth, 2001)로 본선의 형상영향계수가 비교적 큰 값으로 인하여 그 차이도 크게 나타났다.

추정 및 계산, 실험 결과를 ITTC 1978년 방법 이용하여 추정된 유효마력을 Fig. 12에 비교하여 나타내었다. 설계속력에서 설계 선형의 유효마력이 참고 선형에 비하여, 추정은 약 10%, 실험의 경우 약 14%가 감소하여, 추정보다 실험의 경우 더 큰 감소율을 보였다. 이는 선형 요소 보정 후 횡단면 형상의 특성 보정으로 인하여 저항이 더욱 감소된 것으로 판단된다. 한편, 속력이 증가할 수록 추정과 실험의 유효마력 곡선이 큰 차이를 보이고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 홀트롭과 매넨의 방법이 일반적인 배수량 형 상선의 유효마력 추정에는 적합하지만, 어선의 경우 skeg 등 어선선형의 특성을 고려하지 못하는 것으로 판단된다. 하지만, 본 연구 결과 선형 설계 시 유효마력 추정을 통한 상대적 비교에는 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

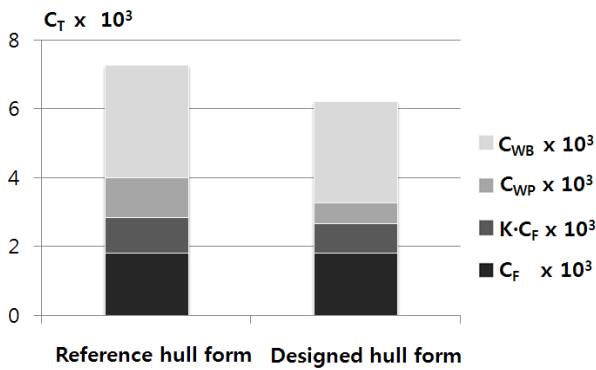


Fig. 11 Comparison of resistance components

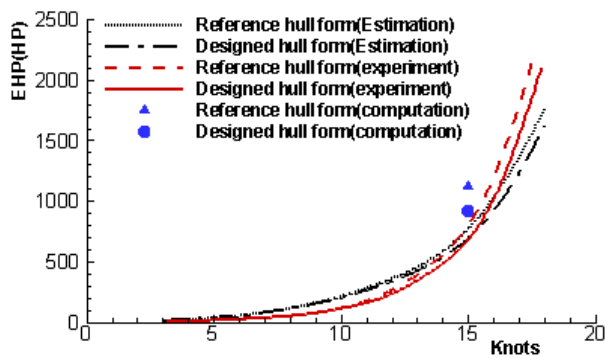


Fig. 12 Comparison of EHP curves among power estimation, EFD experiment and CFD computation

5. 결론

G/T 190톤급 한국 대형선망 본선의 저항성능 향상을 위한 선형 설계를 수행하였다.

- 1) 선형요소 최적화 기법 그리고 구상선수 설계방법을 통하여 저항성능이 개선된 선형요소를 산출하였다. ILO 어선원 노동협약에 준수하여 폭과 배수량 등이 증가하였지만, 최적화된 선형요소를 산출하고자 SQP법을 이용하였으며, 이 후 구상선수 선형설계를 통하여 저항을 보다 더 감소시키고자 하였다. 특히, 참고 선형에 비하여 설계 선형의 설계속력이 높지만, 구상선수의 선형요소를 변경함으로써 $Fn=0.38$ 이상의 속도에서 조파저항에 유리한 선형이 도출된 것으로 판단된다. 실제로 모형시험결과를 통하여 확인하였을 때, 선형파에 의한 저항은 약 48%가 감소하였으며, 이로 인하여 유효마력은 14%가 감소하였다.
- 2) 선망 본선의 경우 황천시의 조업을 고려하여 복원성능이 우수해야 한다. 본 설계 선형의 경우, 복원성능에 우수한 V형 선수, 선미의 횡단면 형상의 선형이다. 선망 본선과 같이 복원성능이 우수해야 하는 선형을 설계하기 위해서는 선수 횡단면 형상을 V형으로 택하는 것이 유리할 것으로 판단되며, 저항성능 및 내항성능을 개선하고자하는 선형의 경우에는 U형 횡단면을 택하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3) 본 연구는 ILO 어선원 노동협약(ILO, 2007) 기준에 맞는 저항 최소화 선망 본선의 설계방법을 제시함으로써, 2011년부터 실행된 협약에 적합한 대형선망 본선의 선형개발을 위한 참고자료가 될 것이다. 앞으로 선망 본선과 함께 선단을 이루는 선망 운반선의 선형설계도 새로이 수행한다면, 한국의 선망어업 발전에 더욱 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 농림수산물부 수산특정연구개발사업의 ‘수산업 기술경쟁력 확보를 위한 미래형 어선기술 개발사업’으로 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., 2002. 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.

Doust, D.J. & Sc, M., 1960. Trawler Forms with Bulbous Bows. *BSRA Technical Memorandum, No. 118*.

Holtrop, J. & Mennen, G.G.J., 1982. An Approximate Power Prediction Method. *International Shipbuilding Progress*, 29(335), pp.166-170.

ILO, 2007. *International labour standards policy*.

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, H.S., 2009. Hull form Development of Algeria Trawl fishing boat using CWC model test and CFD analysis. *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, 11(8), pp.15-21.

Kracht, A.M., 1978. Design of Bulbous Bow. *SNAME Transactions*, 86, pp.197-217.

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*.

Lee, Y.G., 1984. A Study on the EHP Estimation and Design Procedure of Small Fishing Boat's Hull Form. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 21(3), pp.1-10.

Lee, Y.G. et al., 2009. Resistance Performance of Korean Small Coastal Fishing Boat in Low-Speed Range. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 46(1), pp.10-23.

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.

The Society of Naval Architects of Korea (SNAK), 2011. *Shipbuilding Technics*. Jisungsa.

