

선체저항 성능에 관련한 한국 어선선형의 특성과 개선방안

Characteristics and improvement plans of the hull form of Korean fishing boats in connection with the performance of hull form resistance

이영길*†, 지현우**, 유진원**, 강대선***, 권수연****

Young-Gill Lee*†, Hyun-Woo Jee** and Jin-Won Yu**, Dae-Sun Kang***, Soo-Yeon Kwon****

요 약

저항성능 측면에서 한국 어선선형의 특성을 파악하기 위하여, 본 연구에서는 한국과 일본에서 건조되어진 대표적인 어선을 한 척씩 선정하여 두 어선의 선형적 특성을 비교하였다. 또한 한국 어선의 선형적 특성들, 즉 일부 대표적인 선형요소들과 이를 제외한 기타의 국부적 선형특성들을 일본어선의 선형을 참고로 보정함으로써 우리나라 어선들의 저항성능을 향상시킬 수 있는 방안에 대하여 연구하였다.

한국어선과 일본어선은 해양환경과 어업의 종류가 다를 뿐만 아니라 관습적인 이유 등으로 선형의 차이가 있게 되며, 이것은 한국 어선이 일본 어선에 비하여 같은 배수량을 가지더라도 배 길이가 짧은 반면 폭이 넓으며 흘수가 얇은 대표적인 선형요소들의 차이로 확인할 수 있다. 이러한 차이를 고려하여, 일본어선들에 대한 유효마력 추정프로그램을 한국어선들에 맞게 보정·개발하는 과정을 통하여 양국 어선의 저항성능 차이를 확인할 수 있었으며, 보정된 프로그램을 이용하여 연구대상의 한국어선에 대한 저항저감효과를 줄 수 있는 선형요소들을 도출함으로써 선형요소들의 변화에 따른 저항성능 효과를 확인할 수 있었다. 그러나 선형요소들의 보정에도 불구하고 한국어선의 저항성능은 여전히 일본어선의 그것보다 떨어짐을 확인하여, 본 연구에서는 대표적인 선형요소들뿐만 아니라 국부적 선형특성 즉, 선수부에서 차인선(chine line) 경사도, 용골의 형상, 선미길이(용골 끝에서 선미단까지의 거리)를 각각 보정해 봄으로써 보다 더 큰 저항성능의 개선효과를 확인하였다. 본 연구결과는 앞으로 저항성능이 우수하면서도 실용 가능한 개량된 한국 어선선형의 개발에 기초적인 자료로서 활용이 가능할 것으로 사료된다.

※ 핵심용어 : 선형요소, 국부적 선형특성, 저항성능, 차인선, 용골형상, 선미길이

* 인하대학교 기계공학부 선박해양전공 교수

** 인하대학교 대학원 선박공학과

*** 선박안전기술공단 전문위원

**** 선박안전기술공단 기술연구팀

† 논문주저자

1. 서 론

최근 어업자원의 감소, 유류비 상승에 따른 채산성 악화와 UN의 국제해양법 발효에 따른 배타적 경제수역(EEZ: Economic Exclusive Zone)의 선포, 국제무역기구(WTO : World Trade Organization) 체제 출범에 따른 수산물시장 개방 등의 문제로 어선에 대한 성능과 특성의 변화가 요구되고 있다(강대선 2006). 또한 사회 전반에 걸쳐 웰빙 열풍이 고조되면서 수산물이 건강식품으로 인식되어 소비가 증가하고 있는 한편, 어민들은 활어시장에서의 경쟁력을 갖추기 위해 빠른 속도의 선박을 필요로 하는 추세이며 국내 어업 생산량, 특히 양식어업 생산량이 크게 증가함에 따라 수입의존도도 감소하고(박광서 2007) 있어, 이에 따라 복합어선 개발 추세에 따른 새로운 선형 개발이 요구되는 등 한국어선들의 성능향상이 요구되고 있다.

한편, 일본은 한국에 비하여 어선의 성능에 관한 연구가 오래 전부터 지속되어, 이미 1970년대에 활어시장의 발달로 어선의 고속화를 위한 저항추정 및 우수한 저항추진 성능을 가지는 선형개발에 관한 연구가 활발히 수행되었다(Tsuchiya 1972). 한국도 연근해 소형 어선 근대화 사업 및 소형 어선의 마력추정과 선형설계에 관한 연구(한국기계연구소 1983), 국내어선의 저항성능 및 선형 요소에 관한 연구(진송환 등 2003) 등이 진행되었으나, 국내 연안 소형어선의 경우 상대적으로 환경이 열악한 중소조선소에서 설계 및 건조과정이 거의 경험에 의존되어 왔으며, 또한 어선에 관한 모형 시험자료가 미비하다는 문제점이 있다.

이에 따라, 본 연구의 목적은 한국어선과 보다

앞선 연구로 우수한 저항성능을 갖춘 일본어선의 선형 비교를 통하여, 대표적인 선형요소 및 이들을 제외한 기타의 국부적 선형특성의 차이를 파악하고, 한국어선의 저항성능을 향상시킬 수 있으면서 국내 어선에 적합한 선형을 개발하고자 한다.

이와 같은 목적 아래, 먼저 기초적인 단계로 일본어선 선형을 기초로 한 유효마력 추정 프로그램을 근간으로 한국어선과 일본어선의 선형특성들의 차이를 보정하여, 한국어선의 유효마력을 보다 정도 높게 추정할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 이것은 한국어선과 일본어선의 선형특성들의 차이로 인하여 일본어선의 유효마력 추정 프로그램을 그대로 한국어선에 적용할 수 없음에 그 이유가 있다. 그리고 개발된 프로그램을 이용하여, 본 연구에서 대상선형으로 채택된 한국어선에 대하여 저항을 줄일 수 있는 선형요소들을 산출하고 이에 따라 선형 설계를 수행한 후, 저항 성능 개선정도를 확인하기 위해 수치계산과 모형실험을 수행하였다. 마지막으로 대표적인 선형요소들을 제외한 기타의 선형특성들에 대하여 한국어선 선형을 일본어선의 선형과 비교하고, 일본어선의 선형특성들을 참고로 한국어선 선형을 보정한 후, 변화된 저항성능을 검토하였다.

2. 연구 대상선형 선정

본 연구에서는 연구 대상선박을 선정함에 있어, 차인선(chine line)이 있는 한국과 일본의 대표적 어선을 한 척씩 선정하였다. 일반적으로 차인선형에 비해 등근바닥선형 어선의 저항성능이 양호한 것으로 알려져 있으나, 소형 조선소의 경우에 등근바닥선형은 차인선형에 비해 건조비가 약 30%

정도 상회하며, 이와 같은 건조비 증가를 능가할 만큼의 성능의 우수성을 가지지 못하고 있다(이대훈과 유재문 2004). 또한 본 연구에서는 대상선박이 연근해에서 이용되고 있는 소형어선들임을 감안하여, 차인이 있는 선박을 그 대상선박들로 선정하였다.

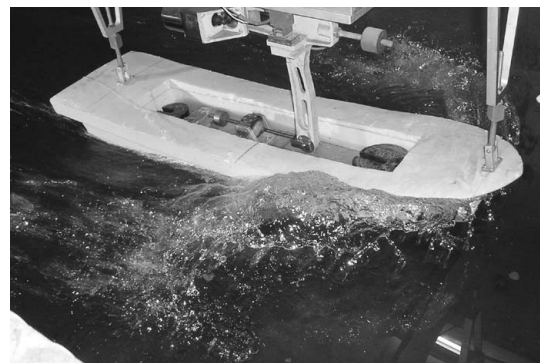
따라서 일본의 대상어선으로는, 어선 저항성능의 통계해석을 위한 자료로 사용되었으며, 일본에서 가장 많이 분포되어 있는 배수량 22.5톤의 차인선이 있는 소형 FRP 어선선형(Tsuchiya 1972)을 선정하였다. 이것은 1993년도 이귀주(1993)에 의한 연구내용 중의 일본어선 선형과 비교해 본 결과 크게 다르지 않음을 확인할 수 있었으며, 국내의 표준어선 개발(1994) 시에도 활용된 저항추정용 프로그램의 대표적인 실험자료선이기도 하다.

한편 한국어선은 아래와 같은 과정을 통하여 국내 연안어선으로 가장 많이 건조되고 있는 G/T 4톤급의 어선 중, 서해안 연안 유자망 표준어선(한국어선협회 1994)을 선정하였다.

Table 1은 G/T 4톤급 한국어선들 중 본 연구에서 참고한 실적선들의 주요요목들 범위(한국어선협회, 1994)를 나타내고 있다. 실적선 자료들은 실제로 건조되어 어업에 활용되고 있는 어선들이기 때문에, 운동성능, 작업성능 같은 어선으로서 고려되어야 될 사항들이 이미 검증된 것으로 볼 수 있다. 따라서 Table 1과 같은 한국어선들의 주요요목들

Table 1. G/T 4톤급 한국어선의 주요요목 범위

항 목	최 소	최 대
G/T (ton)	4.2	5.0
L_{WL} (m)	10.37	12.1
B (m)	2.40	2.86
B_c (m)	2.30	2.74
draft (m)	0.59	0.75
∇ (m^3)	7.01	12.87
WSA (m^2)	29.59	40.02
LCB (%)	-0.93	-8.55
C_B	0.415	0.62
C_P	0.562	0.715
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	4.736	5.563
B_c/T	3.492	4.128
$BC/\nabla^{1/3}$	1.035	1.225
L_{WL}/B	3.25	4.00
L_{WL}/D	8.50	12.5
B/D	2.50	3.05



(a) 한국어선 ($F_{nV} = 1.6$)



(b) 일본어선 ($F_{nV} = 1.6$)

Fig. 1. 한국과 일본의 대상어선들(동일 배수량)에 대한 모형선 저항실험 사진

범위 내에서 대표적인 서해안 어선 중의 한 척을 연구 대상선형(기준선(Original hull form))으로 선정하게 되었다.

일본의 어선과 비교적 해양환경이 서로 많이 다른 서해안 어선을 대상선박으로 결정한 것은, 통계적으로 한국에서 가장 많이 건조되는 서해안 연안 유자망 어선 선형을 일본의 어선 선형과 비교, 검토하여 보정함으로써 저항성능 면에 있어서 동해안이나 남해안의 연안어선보다 크게 향상시키고자 함에 있다.

선정된 한국어선과 일본어선의 저항성능에 관한 선형적 특성을 알아보고자 모형시험을 실시하였으며, Fig. 1에서 알 수 있듯이 한국어선의 선수 부분 파도의 발생 정도가 일본어선의 그것보다 더 큼을 확인할 수 있다. 그림에서 한국어선, 일본어선이라 함은 3.1에서 정의하고 있는 선형들로, 다시 말하여 두 어선의 배수량이 같아지도록 일본의 대상선형을 수정한 것이 그림에서 '일본어선'으로 표기되어 있다. 각 어선의 모형선 저항시험은 배수량에 기초한 Froude number($F_{nv} = V/\sqrt{g\nabla^{1/3}}$)로 0.4에서 2까지 수행되었으며, 그에 따른 전저항계수 및 잉여저항계수, 트림(trim) 및 침하(sinkage)의 변화에 대하여 두 척의 실험결과가 서로 비교되었다.

3. 한국어선과 일본어선에 대한 선형요소들의 비교와 한국어선의 선형보정

3.1 한국어선과 일본어선의 선형요소들 비교

한국어선과 일본어선의 선형을 서로 비교함에 있어, 먼저 각 어선의 대표적인 주요 선형요소들을

비교하도록 한다.

Table 2는 선정된 한국의 대상어선(한국어선, 'Korea')과 일본의 대상어선('Japan')의 주요 선형요소들을 나타낸 것이다. 두 선형을 비교하고자 상대적으로 배수량이 큰 일본어선을 한국어선의 배수량에 맞추어 축소한 후, 그 선형(Japan hull scale down-scale: 1/1.2)과 한국어선을 비교 검토하도록 하였다. 즉, 앞으로 본문에서 언급되는 일본어선(Japanese fishing boat)은 이 축소된 일본어선 선형(Table 2의 'Japan hull scale down-scale: 1/1.2')을 의미한다.

Table 2에서 한국어선과 일본어선을 비교하여 보면, 한국어선이 상대적으로 배의 길이(L_{wl})가 짧고 흘수(T)가 얇고 폭(B)이 넓으며 C_B 가 큰 선형요소적 차이를 보이고 있어서, 일반적으로 저항성능 측면에서 좋지 못할 것이 예상된다.

Table 2. 한국어선, 일본어선, 저항저감형 어선 선형의 주요요소들 비교

항 목	Korea	Japan	Japan (hull scale down-scale:1/1.2)	Minimal Resistance
L_{wl}	11.12	14.00	11.66	11.42
B	2.86	3.10	2.58	2.82
B_C	2.74	3.10	2.58	2.72
T (draft)	0.68	0.88	0.73	0.66
Δ (ton)	13.19	22.82	13.19	12.82
∇ (m^3)	12.87	22.26	12.87	12.51
LCB(%)	-3.13	-2.30	-2.30	-3.18
WSA(m^2)	39.08	55.79	38.72	41.09
C_B	0.571	0.554	0.554	0.565
C_P	0.663	0.634	0.634	0.659
$L_{wl}/\nabla^{1/3}$	4.75	4.98	4.98	4.92
B_C/T	4.05	3.52	3.52	4.10
$B_C/\nabla^{1/3}$	1.17	1.10	1.10	1.17
V (knots)	15	15	15	15

3.2 한국형 유효마력 추정 프로그램의 개발

한편 선형요소들을 통하여 한국어선과 일본 어선의 저항성능을 비교해 봄으로써 그 차이를 보다 명확히 알아볼 필요가 있다. 따라서 일본어선 선형에 기초한 유효마력 추정프로그램인 FISH202 (이영길 1984)를 이용하여 한국어선에 대한 저항 추정값을 구하고, 그것을 모형시험 값과 비교하였다.

일본어선은 한국어선보다 길이가 더 길고 폭이 조금 좁은 경향을 보이며, 이러한 한국어선과 일본어선의 선형 차이가 있기는 하지만 저항추정용 전산프로그램은 일본의 어선들에 대한 모형시험 결과의 회귀해석한 것을 사용하고 있으므로 한국 어선이라도 그에 적합한 선형요소들을 이용하면 어느 정도 실제에 가까운 저항의 추정치를 줄 것으로 예상된다. 그러나, 한국어선에 대한 이러한 저항 추정값은 실제 모형선을 이용한 실험값과 상당히 큰 차이를 보여주게 된다. 이것은 한국과 일본의 어선들이 회귀해석에서 사용한 대표적인 선형요소들(3.2.1에서 설명하고 있음)만이 아니라 이러한 선형요소들로 표현될 수 없는 선형의 상이함을 가지고 있음에 기인할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 우선 자세한 선형에 대한 비교, 검토는 뒤로 미루고, 한국어선에 적합한 유효마력의 추정값을 얻기 위하여 회귀해석 시에 사용된 선형요소들을 이용한 유효마력추정에 있어서 보정식을 구하였다. 우리나라 어선들에 대한 충분한 모형선 저항시험결과들이 확보되어 있지 못한 상태이므로, 이러한 보정식을 이용하여 한국어선들에 대해 저항치들을 추정하였으며, 그 추정치에 대하여 회귀해석을 이용한 회귀계수들을 도출하였다. 이러한 회귀계수들을 이용하여

한국어선의 유효마력 추정에 적합한 수정된 전산 프로그램을 개발하게 되었다.

3.2.1 선체저항에 영향을 미치는 선형요소들의 선정

본 연구의 저항추정에 적용된 선형요소들과 기법 등은 일본어선 선형에 기초한 마력 추정연구 (Tsuchiya 1972, 이영길 1984)와 동일하다.

어선이 고속 항주할 때 수선길이(L_{WL})는 속도의 변화에 따라 변화하게 된다. 정지시의 수선길이를 이용한 Froude 수가 항주시의 길이변화에 따라 각 속도에 따른 올바른 Froude 수의 표현이 되지 못함으로, 본 연구에서는 정지 시의 배수용적 ∇ 의 세계급근을 이용한 Froude수 $F_{n\nabla}$ 를 사용하였다.

$$F_{n\nabla} = \frac{V}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}} \quad (1)$$

여기서, V 는 선속(m/s), g 는 중력가속도(m/s^2)이다.

일반적으로 저속 영역($F_{n\nabla}=0.6\sim 1.2$)과 고속 영역($F_{n\nabla}=1.3\sim 2.1$)에서 선체저항을 지배하는 중요한 선형요소들이 서로 같지 않으므로, 마력 추정 시 이를 구분하였다. 즉, 저속영역과 고속영역에서 선체저항에 크게 영향을 미치는 선형요소들은 다음과 같다.

저속영역($F_{n\nabla}=0.6\sim 1.2$)에서 4가지 선형요소 :

$$L_{WL}/\nabla^{1/3}, B_c/T, C_P, LCB$$

고속영역($F_{n\nabla}=1.3\sim 2.1$)에서 4가지 선형요소 :

$$L_{WL}/\nabla^{1/3}, B_c/\nabla^{1/3}, C_B, LCB$$

여기서, B_c 는 최대 차인(chine) 폭, C_P 는 주형 비척계수, C_B 는 방형비척계수, LCB (=선체중양

에서 부심까지의 거리/수선면 길이 × 100, 선수 방향 +)는 부심을 나타낸다.

3.2.2 한국어선의 마력추정

Fig. 2에서는 한국어선의 유효마력추정에 대해 보정식을 결정하고, 회귀해석을 통한 회귀계수들을 구하는 전반적인 순서를 보여주고 있다.

일본어선의 유효마력 추정프로그램인 FISH202를 이용하여 한국어선들의 유효마력들을 추정한 후, 모형시험으로 얻어진 유효마력들과 비교하여, 그 차이를 줄이고자 유효마력 보정식을 도출한다. 다음으로 유효마력 보정식을 이용하여 모형시험 자료가 없는 한국어선들에 대한 유효마력들을 추정한다. 이 결과들을 모두 자료로 하여, 즉 모형 시험 자료가 있는 연안어선들과 유효마력 보정식을 통해 저항추정치를 얻은 모형시험자료가 없는 연안어선들을 모두 이용하여 회귀해석을 통한 회귀계수들을 도출하게 된다. 마지막으로 회귀 계수들을 이용하여 한국어선의 유효마력 추정 프로그램인 FISH-K를 개발한 후, 모형시험을 통해 그 추정 정도를 검증하게 된다(이영길 등 2006).

한국어선에 적합한 마력추정용 프로그램은 위에서 개략적으로 설명한 순서에 의하여 개발되었다. 즉, 선형요소들로 표현될 수 없는 한국과 일본 어선들의 선형특성의 차이를 선형요소들을 이용하여 통계적으로 처리케 한 것에 지나지 않음을 유의하여야 한다.

Fig. 3에서는 연구 대상선형에 대한 FISH202를 이용하여 산출된 추정 유효마력, FISH-K을 이용하여 산출된 추정 유효마력, 그리고 모형선 저항 시험을 통하여 얻어진 유효마력의 결과를 한 개의 그래프 상에 나타내었다.

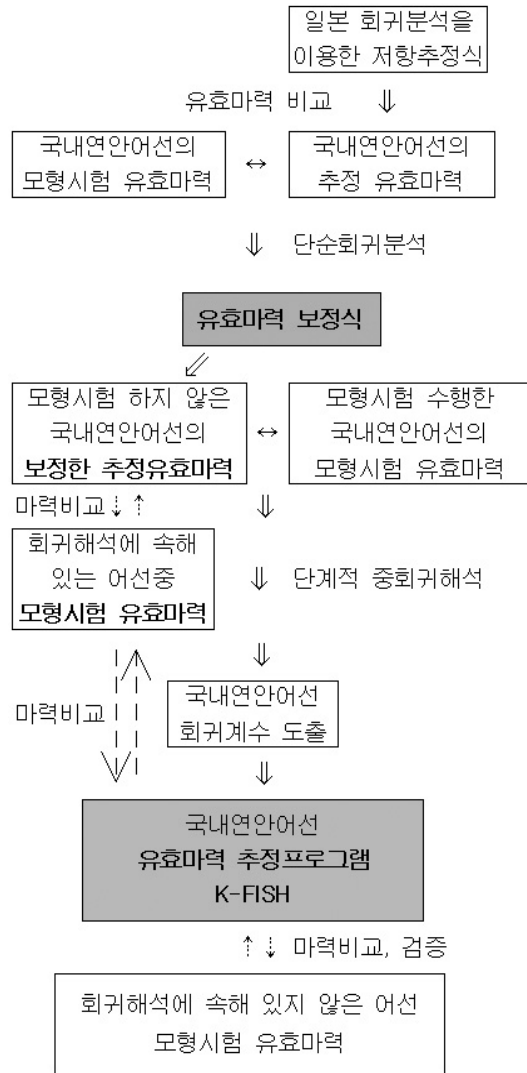


Fig. 2. 회귀분석 흐름도

FISH202로 추정된 유효마력이, 일본어선의 경우에는 실험값에 근사함을 알 수 있지만, 한국어선의 경우에는 고속구간에서 FISH202가 FISH-K에 비하여 실험값과 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 예를 들어 $F_{nv}=1.6(15\text{Knots})$ 에서 모형시험 자료와 비교하여 FISH202는 16%의 오차를 보이는 반면 FISH-K는 거의 무시할 수 있을 만큼의 적은

오차를 보이고 있다. 이를 통하여, FISH202에 비하여 FISH-K가 한국어선의 유효마력을 정도 높게 추정함을 확인하였다.

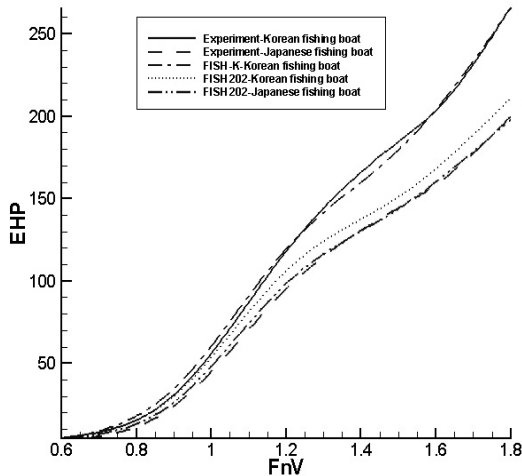


Fig. 3. 한국어선과 일본어선의 유효마력(EHP) 곡선 비교

3.3 한국어선의 선형요소들 보정 예

한국어선의 특성에 맞는 유효마력 추정프로그램 FISH-K를 활용한 저항성능 추정을 응용하여, 한국어선의 선형요소들 보정을 통한 저항 최소화(저항감소를 목적으로 기준선의 선형보정을 통한) 선형설계를 수행하였다(강대선 등 2007). 여기서 ‘저항최소화 선형’이란 한국어선의 저항 성능에 중요한 영향을 미치는 선형요소들을 일본어선의 선형을 참고하여 보정함으로써 저항의 감소효과를 얻은 선형을 의미한다.

한국어선의 선형요소들을 변화시켜 저항 성능 면에서 유리한 연안어선의 저항최소화 선형요소들을 선정하고, 그것들을 이용하여 한국어선과

저항최소화 선형의 유효마력을 비교하였다. 실제 계산은 FISH-K를 이용하여 저항성능 면에서 우수한 어선의 선형요소들을 결정하고자 하였다.

한 가지 선형요소의 변화만이 아닌 복합적인 변화를 고려하였으며, 또한 속도에 따른 각각 4가지 선형요소 모두의 변화에 따른 많은 수의 마력 계산을 수행하여, 최소저항을 갖는 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, B_c/T , C_P , LCB 의 값을 도출한다. 위 값으로부터 변수 선정 조건 등을 고려하여 L_{WL} , B , B_c , D , T , WSA , L_{WL}/B , L_{WL}/D , B/D 를 비례식 및 추정식을 통하여 산출한다. 그리고 산출된 값들이 실적선의 주요요목 범위를 벗어나면 이를 제외시키는 과정을 반복적으로 수행하여 최소 유효마력과 그에 따른 선형요소들과 주요요목 수치들을 산출한다.

위의 과정을 통하여 나온 결과를 가지고 선형설계를 통하여 수정된 선형을 얻게 되며, 수정된 선형요소들의 수치는 Table 2(minimal resistance란의 수치들)와 같다. 저항최소화 선형의 선형요소들 중 배수용적이 기준선의 $12.87m^3$ 에서 $12.51m^3$ 로 감소하였다. 이는 저항최소화 선형설계 중, 유체역학적 특성에 맞도록 보정하는 과정에서 발생된 결과이다.

저항최소화에 대응한 선도(Lines)설계는 컴퓨터를 이용하여 짧은 시간에 간편하게 얻을 수 있는 방법으로서, 한국기계연구소에서 개발한 프로그램(이영길 1984, 김훈철 1984)을 개선, 발전시켜 수행하였다. Fig. 4는 이러한 선형설계 프로그램의 개략적인 흐름도를 보여주고 있다.

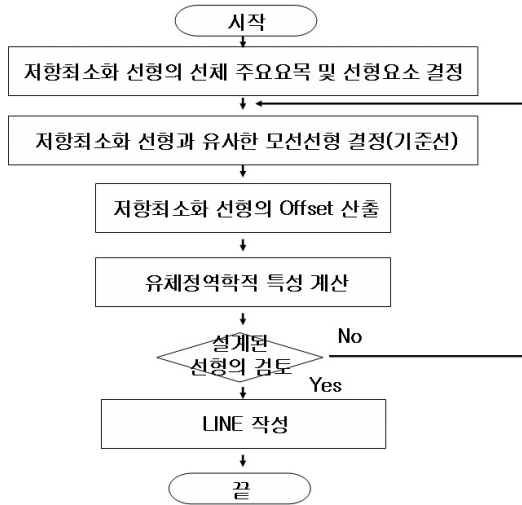


Fig. 4. 어선 선형설계의 흐름도

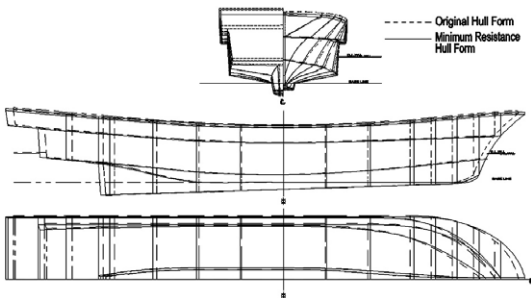


Fig. 5. 한국어선과 저항최소화 선형의 선도 비교

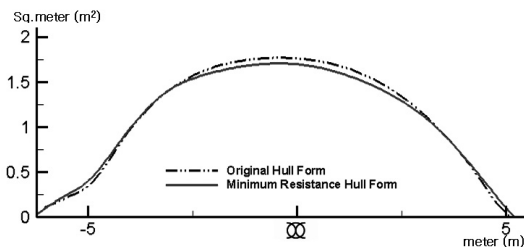


Fig. 6. 한국어선과 저항최소화 선형의 횡단면적 곡선 비교

전산프로그램에 의해 산출된 옵션을 수작업으로 보정하여 작성한 개략적인 선도를 Fig. 5에 한국 어선 선형과 저항최소화 선형을 함께 나타내어 비교

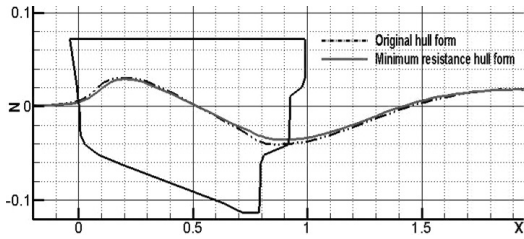
하고 있다. 그림에서 보여지는 Original hull form은 보정전의 한국어선을 나타낸다. 저항최소화 선형이 연구 대상선형에 비하여 길이가 증가하고 폭과 흘수가 감소되어, 산출된 저항최소화 선형요소들에 맞게 선형설계가 이루어졌음을 확인할 수 있다.

Fig. 6에서는 횡단면적 곡선들(sectional areas curves)을 나타내고 있다. 다른 선형요소들을 변화 시키지 않고 주요목적들의 변화만으로 저항최소화 선형의 선형설계를 수행하였기 때문에, 저항최소화 선형의 횡단면적 곡선이 한국어선의 횡단면적 곡선과 유사함을 알 수 있다. 하지만 선수부 쪽에서 한국어선에 비하여 저항최소화 선형의 횡단면적 곡선의 기울기가 완만하다. 이는 길이가 길어지고 폭이 작아진 결과로 저항최소화 선형의 선형설계에 의한 저항감소에 많은 관련이 있을 것이라 판단 되어진다.

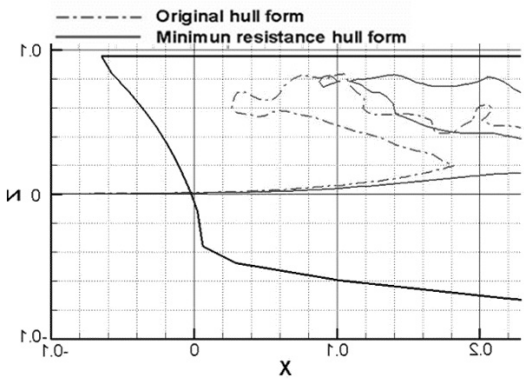
3.4 선형요소들 보정에 따른 저항성능 변화 검토

일본어선을 참고하여 한국어선의 선형요소들을 보정한 저항최소화 선형에 대하여 수치해석과 모형실험을 수행하였으며, 그 결과들로부터 저항최소화 선형의 선수와 특성을 파악하였다(유진원과 이영길 2008).

수치계산은 MAC(Marker And Cell)법을 기초로 한 유한차분법(Finite Difference Method)에 의해 계산되는 INHAWAVE(권수연과 이영길 2004)와 밀도함수법을 기초로 한 유한차분법으로 계산되는 IUBW(이영길 2006)를 이용하여 직사각형격자계에서 선체주위의 유동 및 파형계산이 수행되었다.



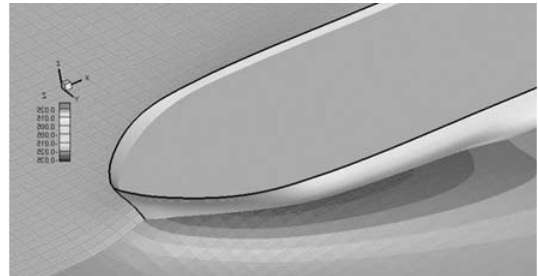
(a) INHAWAVE



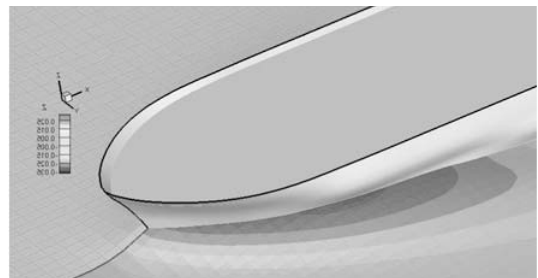
(b) IUBW

Fig. 7. 선수부 파형 비교 (Y=0.55)

Fig. 6에서는 INHAWAVE와 IUBW를 통하여 계산된 한국어선과 저항최소화 선형의 선측파형 결과를 $Y=0.55$ 인 지점에서 나타내었다. Y 는 선체중심으로부터 떨어진 거리(y)를 선폭으로 나누어 무차원화 한 것이다. Fig. 8과 9에서는 한국어선과 저항최소화 선형의 선수파를 보여 주고 있다. 한국어선의 파고가 저항최소화 선형에 비하여 높게 나타나고 있으며, 선수부분에서의 쇄파(Wave breaking)현상이 더 심하게 일어나고 있다. 이러한 파형은 모형 시험에서 나타난 파형과 비교적 경향이 일치하며, 한국어선이 저항최소화 선형에 비해 잉여저항이 높게 나오는 원인이 될 것으로 생각된다.

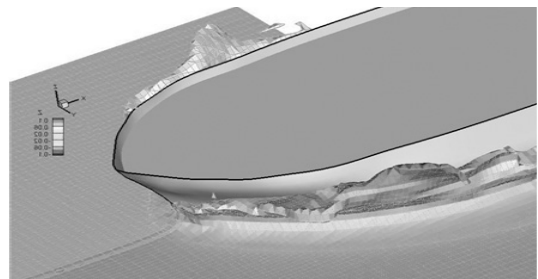


(a) 한국어선 선형

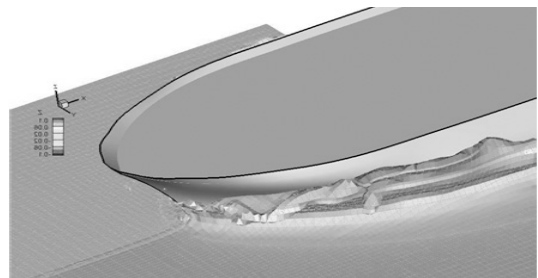


(b) 저항최소화 선형

Fig. 8. INHAWAVE에 의한 선수파 계산결과 ($Fn_{\nabla}=1.6$)



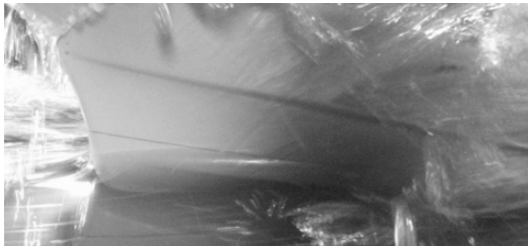
(a) 한국어선 선형



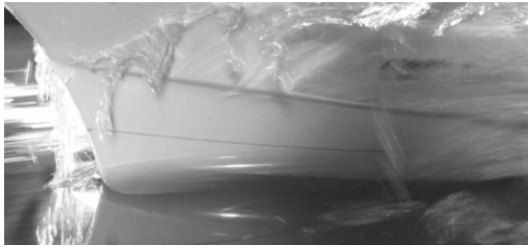
(b) 저항최소화 선형

Fig. 9. IUBW에 의한 선수파 계산결과 ($Fn_{\nabla}=1.6$)

모형선 저항실험을 통하여 한국어선과 저항최소화 선형의 저항성능을 평가하였다. 한국어선과 저항최소화 선형에 대한 Fig. 9에서의 선수파 계산결과와 Fig. 10의 모형실험 사진에서 보는 바와 같이 저항최소화 선형의 선수부에서 생기는 파가 한국어선에 비해 크지 않음을 알 수 있다.



(a) 한국어선 선형



(b) 저항최소화 선형

Fig. 10. 모형실험의 선수파 촬영 사진 ($F_{nV}=1.6$)

Fig. 11에서는 한국어선과 저항최소화 선형의 잉여저항계수와 유효마력을 보여주고 있는데, 설계속도($F_{nV}=1.6$)에서 한국어선과 저항최소화 선형의 잉여저항이 각각 1.44×10^{-2} , 1.23×10^{-2} 으로 나타나, 저항최소화 선형이 한국어선에 비해 잉여저항이 약 14.5% 줄었음을 알 수 있다. 한국어선과 저항최소화 선형의 모형실험을 통하여 얻어진 유효마력을 비교하면, 설계속력에서 유효마력이 약 13.4%정도 감소되어 나타났다.

이는 계산결과와 모형실험 사진에서 보여지는

것과 같이 선수부의 조파저항 성분을 포함한 잉여저항이 감소한 결과라 판단되어지며, 저항최소화 선형이 한국어선에 비하여 저항 면에서 우수한 선형임을 확인할 수 있었다.

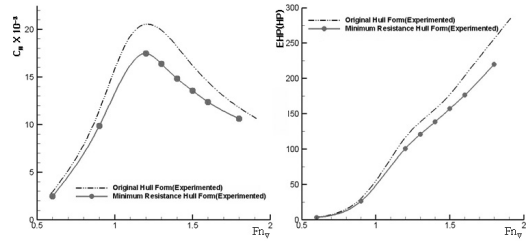


Fig. 11. 한국어선과 저항최소화 선형의 잉여저항계수와 유효마력 비교

4. 한국어선과 일본어선의 국부적 선형 특성 비교과 한국어선 선형의 보정

저항최소화 선형은 한국어선의 선형요소들을 저항최소화 선형요소들로 보정하여 선형설계를 수행한 것으로서, 저항최소화 선형요소들은 한국어선보다 일본어선의 선형요소에 더욱 근접함을 Table 2에서 확인할 수 있다.

그러나 Fig. 3과 11에서 나타내고 있는 유효마력을 비교하여 보면, 설계속도($F_{nV}=1.6$)에서 일본어선에 비하여 저항최소화 선형의 유효마력이 약 10%정도 높게 나타나고 있다. 이를 통하여, 한국어선의 저항성능을 더욱 향상시키기 위해서는 선형요소들 외의 다른 선형특성의 변화가 요구됨을 확인할 수 있다.

4.1 한국어선과 일본어선의 국부적 선형특성 비교

어선의 저항성능에 큰 영향을 미치는 선형요소들

($L_{WL}/\Delta^{1/3}$, B_c/T , $B_c/\nabla^{1/3}$, C_B or C_p) 외에 다른 선형적 특성을 알아보기 위하여 한국어선과 일본어선의 선형을 직접 비교해 보았다(Fig. 12).

Fig. 12(a)에 있는 선수부 차인선의 경사도를 비교해 보면, 한국 어선은 경사가 완만하며 각도가 점점 커짐에 반하여 일본은 경사가 급격하며 각도가 거의 일정함을 알 수 있다.

또 용골의 형상이 한국 어선은 상대적으로 폭이 넓고, 바닥의 기준선으로부터의 깊이가 깊지 못하는데 반하여 일본은 그 반대의 특성을 가지고 있다.

Fig. 12(b)를 보면, 용골의 끝부분에서 트랜섬 선미까지의 거리(본 논문에서는 ‘stern length’로 표시함)도 한국어선에 비하여 일본 어선이 더 길다는 점을 알 수 있고, 그것은 배의 길이에도 영향을 미치게 된다.

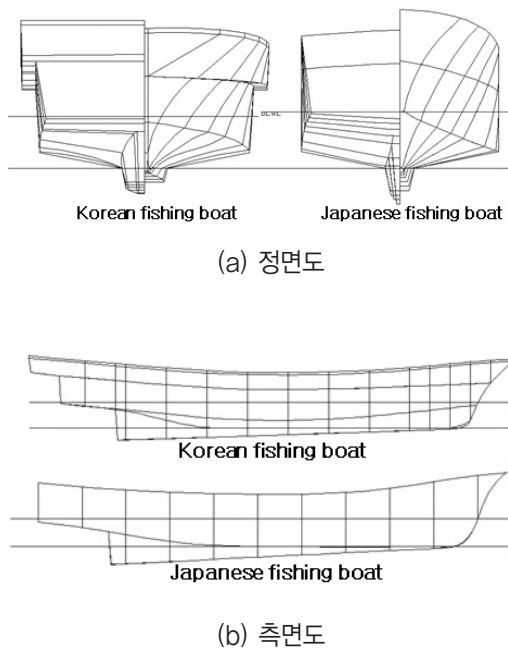


Fig. 12. 한국어선과 일본어선의 선형비교

4.2 한국어선과 일본어선의 국부적 선형 보정

앞에서 확인한 바와 같이 선형요소들 이외에 선형적 특성의 보정을 통하여 보다 저항성능이 우수한 선형을 얻고자 다음과 같은 과정을 수행하였다.

일본어선 선형을 기준으로 보정한 한국어선 선형을, 보정된 부분에 따른 번호(number of case)를 붙여 Table 3에 나타내었다.

Table 3. 네 가지 보정 케이스

Number of case	Part of modification
1	chine line
2	keel shape
3	stern length
4	modification of 1,2,3 cases at the same time

Fig. 13은 한국어선 선형을 일본어선에 맞춰 선수부의 차인선을 보정한 경우로, 한국어선에 비하여 일본어선의 차인선 경사도가 더욱 급격하므로 차인선 보정을 할 때 각 station에서 한국선형의 차인선 폭을 줄였다. 선수부의 차인선을 변화시킴으로써 기존선형보다 저항성능을 개선시키는 연구는 이대훈 등(2004)에 의하여 선행된 바 있으며, 본 논문에서는 일본의 차인선 경사도에 기준을 두고 변화시킴으로써 보다 정확하게 저항성능 비교를 하고자 하였다. 또한 한국어선과 일본어선의 선형을 비교한 결과 선미부의 차인선 형상은 선수부에 비하여 거의 차이가 없어, 본 연구에서는 선수부(5 station 이상)의 차인형상만 보정하기로 하였다.

Fig. 14는 한국어선 선형을 일본에 맞도록 용골의 형상을 보정한 경우로, 일본의 용골선을 그대로 한국어선 선형에 적용시킨 것인데, 용골의 길이는 다음의 보정 케이스(case #3 of modification)를 위하여 변화를 주지 않았다.

Fig. 15는 한국어선 선형을 일본어선 선형에 맞도록 선미부의 길이를 보정한 것인데, 구체적으로 일본 어선의 용골 끝 부분에서 트랜섬 선미까지의 거리가 한국어선과 0.33(m)의 차이를 보여 한국어선의 선미부 길이를 길게 보정하였다.

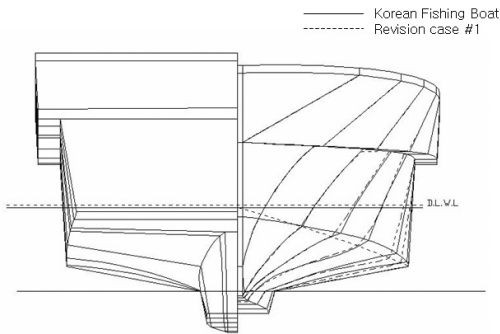


Fig. 13. 한국어선과 보정 케이스1의 정면도 비교

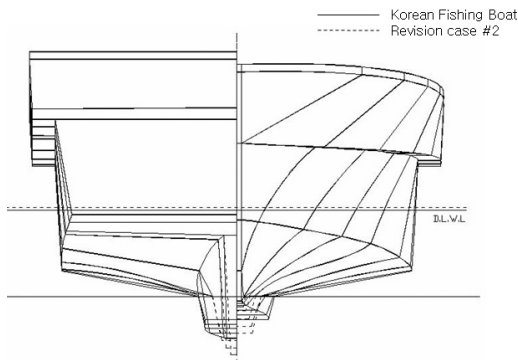


Fig. 14. 한국어선과 보정 케이스2의 정면도 비교

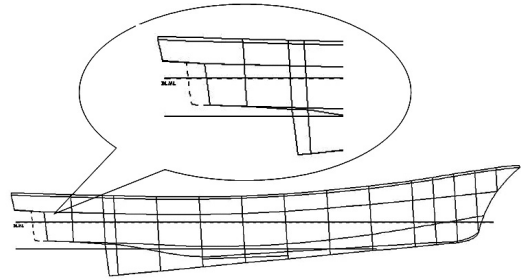


Fig. 15. 한국어선과 보정 케이스 3의 측면도 비교

위의 경우들은 보정 전 후의 배수량 차이가 발생하는데, 그 차이는 TPC(cm당 배수톤수)를 계산하여 그 만큼 흘수를 낮춰주거나 높여 주었다. Table 4에 보정 전 후의 배수량 차이와 흘수 변화를 나타낸다.

Table 4. 보정 케이스들의 흘수 변화량

	Revision case #1	Revision case #2	Revision case #3
배수량 차이(m ³)	-0.44(-3.4%)	-0.5(-3.9%)	0.21(1.6%)
흘수 변화량(m)	0.017(2.5%)	0.02(3.0%)	-0.008(-1.2%)
최종 흘수(m) (Korean fishing boat : 0.676m)	0.693	0.696	0.668

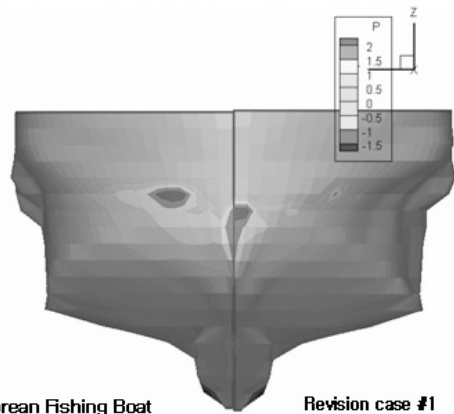


Fig. 16. 한국어선과 보정 케이스 1에 있어서의 선수부 선체표면 압력분포의 비교

각각의 보정 케이스들에 대한 저항성능의 차이를 전산프로그램 INHAWAVE를 이용하여 확인하였다.

Fig. 16은 한국어선 선형과 차인선을 보정한 선형의 선수부에서 받는 압력분포를 나타낸 것이다. 보정 후의 선형은 차인선의 경사가 커짐으로써 트림

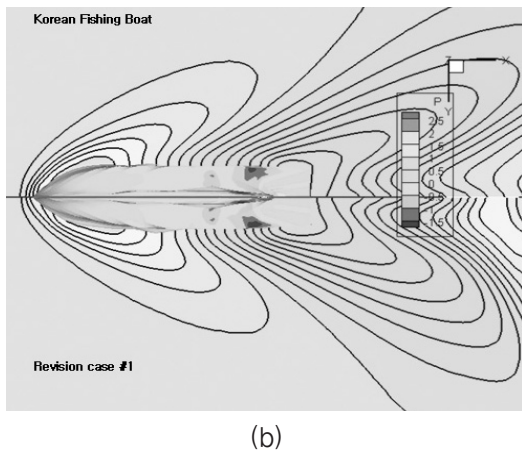
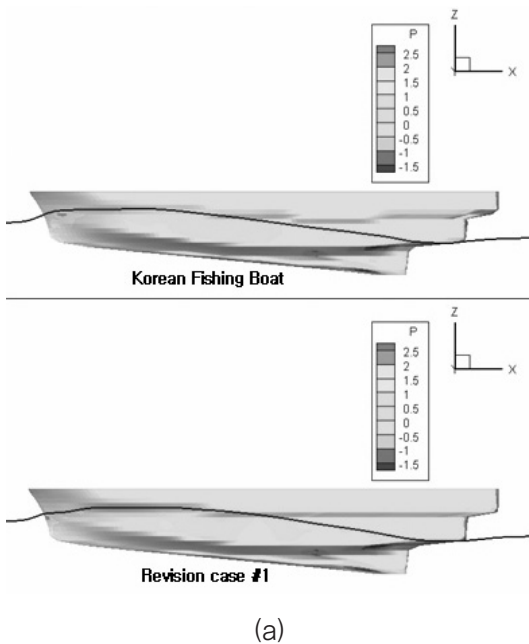


Fig. 17. 한국어선과 보정 케이스 1에 있어서의 선체주위 파형 및 등압고선도 비교

(trim)시의 선수 입사각(Angle of attack)이 작아 지게 되고, 그로 인하여 보정 전 선형에 비해 압력을 받는 위치가 보다 앞쪽에 집중되는 반면 그 면적은 줄어들게 된다. 따라서 압력저항이 상대적으로 줄어들 것으로 예측된다.

또한 Fig. 17에서는 보정 후 선형의 선수부 압력 집중부의 면적이 줄어들었으므로 파정의 위치가 한국 어선 선형보다 비교적 뒤쪽으로 밀려나고 파고의 크기도 줄어들음을 확인할 수 있다. Fig. 17(a)에서 이와 같은 결과를 확인할 수 있으며, Fig. 17(b)에서도 한국어선 선형 보다 보정 후 선형의 경우가 높은 파도 부분의 면적이 더 적음을 확인할 수 있다.

한국 어선의 차인선을 일본어선에 맞춰 보정한 선형은 보정 전에 비하여 약 19%의 저항성능이 향상 되었음을 Fig. 18에서 확인할 수 있다. 이것은 한국 어선과 일본 어선의 저항성능 차이를 시간전진에 따른 압력저항계수의 변화로 나타낸 것으로, 다른 보정 케이스들도 이와 같은 그래프를 이용하여 보정 전후의 저항차이를 확인할 수 있다.

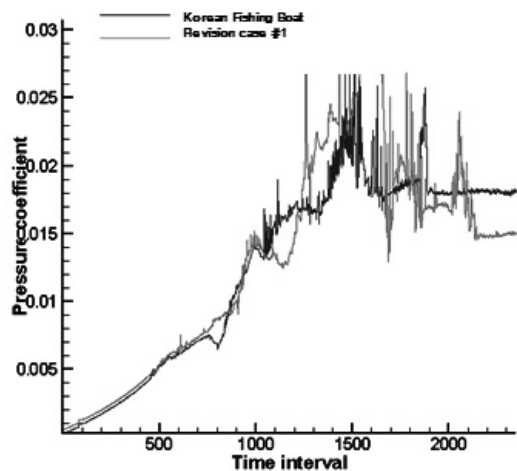
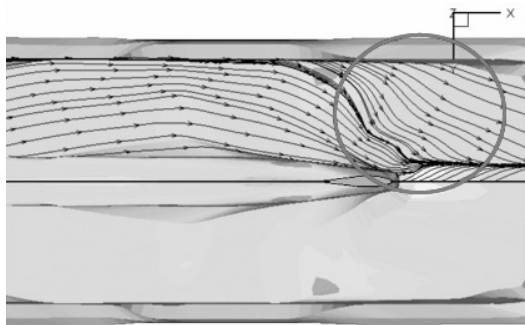


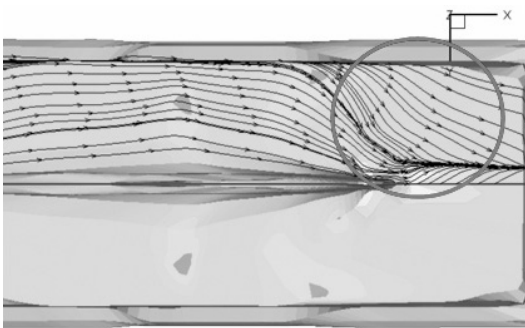
Fig. 18. 한국어선과 보정 케이스 1에 있어서의 압력저항계수의 비교

다음으로 용골의 형상을 보정한 경우는 보정 전의 선형과 비교하여 압력분포와 파고 및 파형패턴 등이 거의 변화가 없으나, Fig. 19에서와 같이 선체표면에서의 유선들을 보면 용골을 보정 한 선형은 원래의 한국선형에 비하여 선미부에서 유선들이 더 부드럽게 나아감을 볼 수 있다.

일본선형과 같이 용골의 형상이 보정된 선형은 원래선형에 비하여 약 4%의 저항감소 효과가 발생함을 확인할 수 있었다.



Korean fishing boat



revision case #2

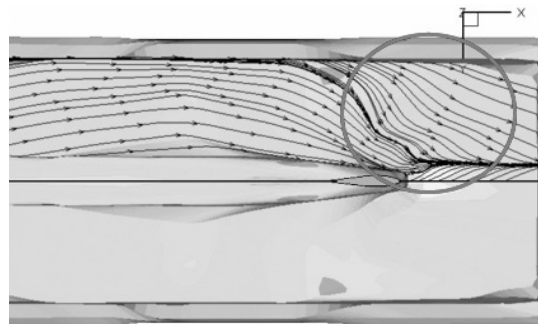
Fig. 19. 한국어선과 보정 케이스 2에 있어서의 선미부 선체표면 유선들의 비교

세 번째로 선미길이를 수정한 경우 일반적으로 배수량이 동일한 채로 수면에서의 배 길이(L_{wl})가

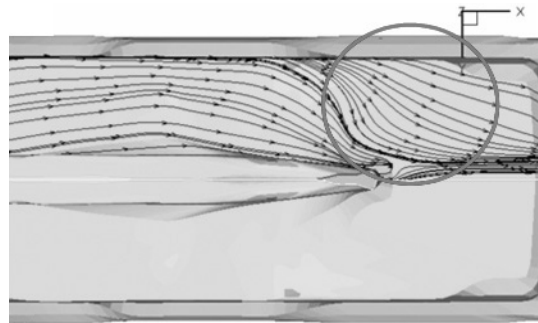
늘어났기 때문에 저항성능이 좋아질 것으로 예측되며, Fig. 20에서의 유선들도 더욱 부드럽게 개선되었음을 확인할 수 있다.

선미부 길이를 보정한 선형도 약 4%의 저항감소 효과가 발생하였다.

마지막으로 세가지 보정을 동시에 적용한 경우, Fig. 21과 같이 선체표면 압력분포를 통하여 보정 전의 선형과 비교를 하면, 차인선만을 보정한 선형과 같이 압력이 앞쪽에 집중되며 선수부에 압력을 크게 받는 면적이 상대적으로 줄어들어 압력저항이 줄어들 것으로 예측된다.



Korean fishing boat



revision case #3

Fig. 20. 한국어선과 보정 케이스 3에 있어서의 선미부 선체표면 유선들의 비교

또한 Fig. 22와 같이 선수부 주위 등파고선들의 형상을 비교한 그림에서, 보정 후의 선수 입사각이

작아짐으로써 파고가 뒤쪽으로 밀려 앞으로부터 받는 압력저항성분이 상대적으로 줄어들을 알 수 있다.

3가지 선형보정 모두를 적용한 선형의 경우 약 19%의 저항성능이 향상되었음을 확인하였다. 저항이 감소된 주된 요인은 차인선만을 보정한 경우와 같은 이유이나, 용골과 선미 길이에 의한 영향은 거의 작용하지 않은 것으로 예측된다. 실제로 용골과 선미 길이를 보정한 경우 저항감소 효과가 크지 않기 때문에 세 가지 경우를 동시에 적용한 경우에도 중복 되어 저항감소가 작용하지 않은 것으로 생각된다. 또한 보정전의 한국어선 선형보다 같은 흘수라면 선형보정에 의하여 배수량이 $0.73m^3$ 가 줄어들므로써, cm당 배수량 계산에 따라 흘수를 0.029m 높여 주었기 때문에 선수부의 파고가 높아졌다.

이와 같이 한국어선과 일본어선, 그리고 보정된 어선들의 저항성능 변화를 정리하면 Table 5와 같다. 설계속도가 비교적 고속($F_{nv}=1.6$, 15knots) 이므로 전저항의 70%이상을 압력저항이 차지한다.

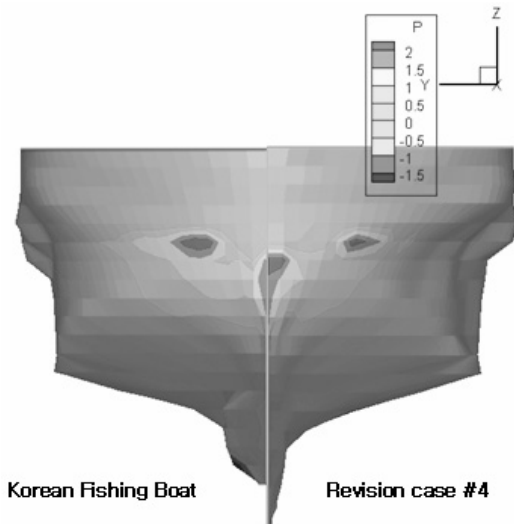


Fig. 21. 한국어선과 보정 케이스 4에 있어서의 선수부 선체표면 압력분포의 비교

따라서 한국어선의 선형을 보정하면, 압력저항이 최고 19% 감소함에 따라 전저항은 최고 15%이상 감소함을 확인할 수 있다.

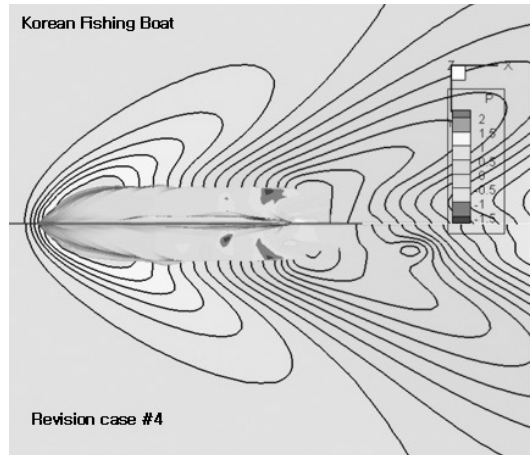


Fig. 22. 한국어선과 보정 케이스 4에 있어서의 선체주위 등파고선도 비교

Table 5. 각 선형들의 저항성능 변화

	입력저항 계수값	한국어선과 비교(%)	압력 저항 감소(%)	전 저항 감소(%)
Korea Fishing Boat	0.018	100	0	0
Japanese Fishing Boat	0.0135	75	25	20
Revision case #1	0.0145	81	19	15.2
Revision case #2	0.0173	96	4	3.2
Revision case #3	0.0173	96	4	3.2
Revision case #4	0.0145	81	19	15.2

5. 앞으로의 추진과제

향후에는 앞서 보정된 선형들의 모형시험을 수행 하여 보다 정확한 저항성능의 변화를 측정함이 필요하다.

또한 보정 선형들이 한국의 복원성 기준, 선박 안전법, 조업성 등에 적합한지 여부를 검토할 예정이다. 특히, 선박길이 24미터 미만의 한국어선인 경우 GoM은 0.35미터 또는 식(2)

$$G_oM=0.117B\left(\frac{B}{D}-2.20\right)+[1.773\left(\frac{T}{D}\right)^2-2.646\frac{T}{D}+1.016]B \quad (2)$$

에 의한 값 중 큰 값 이상이어야 하므로 (권수연과 이희준 2007), 보정된 선박에 대한 안정성 여부를 우선적으로 검토할 계획이다.

또한 한국어선의 선형요소들을 보정함으로써 저항성능의 효과를 본 저항최소화 선형과 국부적 선형을 보정함으로써 저항성능의 효과를 본 경우를 동시에 고려하여 선체형상을 설계함으로써 보다 더 큰 저항성능의 향상이 실현되도록 할 계획으로 있다.

6. 결 론

본 연구를 통하여 얻어진 결론들을 정리하면 아래와 같다.

1. 한국어선과 일본어선은 선형요소들 이외에 선형특성의 다름으로 인하여 한국어선에 적합한 유효마력 추정프로그램(FISH-K)을 별도로 개발하였다. 그 결과 설계속력에서 FISH202는 16%의 오차를 보이는 반면 FISH-K는 4% 정도의 오차를 보이고 있어, FISH-K가 한국어선의 유효마력을 정도 높게 추정함을 확인하였다.
2. 1' 번의 FISH-K를 활용하여 저항최소화 선형 요소들을 산출해 보았으며, 이것을 이용하여 선형설계를 수행함으로써 한국어선의 선형

요소들의 보정을 통한 저항성능향상의 효과를 확인할 수 있었다. 보정 전후의 선형에 대하여 고찰하여 보면, 선수부의 조파저항 성분 감소로, 설계속도에서 잉여저항이 약 14.5%, 유효마력이 약 13.4%정도 감소되어 나타났다.

3. 한국어선의 선형요소들을 보정한 저항최소화 선형의 유효마력이 일본어선에 비하여 약 10%정도 높게 나타남으로써, 한국어선의 저항성능을 향상시키기 위해서 선형요소들 이외의 다른 특성의 변화가 요구됨을 확인할 수 있다.
4. 한국어선과 일본어선의 국부적 선형특성을 비교하여 보면, 선형의 차이가 큰 부분은 차인선의 기울기, 용골의 형상, 용골의 끝에서 트랜섬 선미의 길이이다. 이 요소들의 보정 전후 저항성능의 변화를 검토한 결과, 선수부 차인선을 보정한 경우가 가장 큰 저항감소의 효과를 보임을 알 수 있었다.
5. 한국어선의 선형에 적합한 유효마력 추정 프로그램인 FISH-K를 활용한 선형요소들의 보정 및 국부적 선형특성들을 직접 수정해 나가는 선형의 보정 방법을 좀 더 보완하면, 더욱 우수한 저항성능을 가지는 어선 선형의 개발에 본 연구결과들이 보다 더 유용하게 활용될 것으로 기대되어진다.
6. 저항성능이 개선된 선형에 대하여 앞으로 복원성, 안전성, 조업성 등을 검토하여 좀 더 보완한다면, 저항성능 측면에서 우리나라의 차세대 어선선형으로의 제안이 가능할 것으로 본다.

참고문헌

- (1) 강대선, 2006, “한국 소형어선의 유효마력 추정과 저항 최소화 선형설계법에 관한 연구,” 인하대학교 대학원 박사졸업논문.
- (2) 강대선, 유진원, 이영길, 2007, “국내 연안어선의 저항최소화 선형설계에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제44권, 제4호, pp. 349-359.
- (3) 권수연, 이영길, 2004, “천수영역에서 고속 선박의 저항특성에 대한 연구,” 대한조선학회지, 제41권 제2호, pp. 1-11.
- (4) 권수연, 이희준, 2007, “소형선박의 복원성 기준 연구,” 대한조선학회 논문집, 제44권, 제3호, pp. 189-197.
- (5) 김훈철, 이영길, 1984, “전산기에 의한 어선 선형의 설계법,” 한국기계연구소 연구 보고서.
- (6) 박광서, 2007, “해양수산동향,” 한국해양수산개발원, 제1247호, pp. 1-7.
- (7) 유진원, 이영길, 2008, “저항최소화 소형 어선 선형의 선수와 특성에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집 제45권 제2호, pp. 124-131.
- (8) 이귀주, 1993, “어선의 선형 설계(I),” 어선, 제53호, pp. 21-30.
- (9) 이대훈, 유재문, 2004, “소형 어선의 선형특성에 관한 연구,” Proceeding of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 72-77.
- (10) 이대훈, 유재문, 김병문, 김명훈, 양영훈, 이선영, 2004, “소형 안강망 어선의 선형 개량 및 3차원 DMU 구현,” Proceeding of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 1-5.
- (11) 이영길, 1984, “소형어선의 유효마력추정 및 선형설계법,” 대한조선학회지, 제21권, 제3호.
- (12) 이영길, 2006, “Development of a Numerical Computation Method Simulating the Wave Breaking Phenomenon around a Ship”, Report No. R01-2005-000-10878-0, 과학기술부.
- (13) 이영길, 유진원, 김규석, 강대선, 2006, “국내 연안어선의 유효마력 추정에 관한 연구,” 대한조선학회 논문집, 제43권, 제3호, pp. 313-321.
- (14) 진송한, 심상목, 박충환, 2003, “69톤급 근해 안강망어선의 저항성능에 관한 실험적 비교 연구,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 149-154.
- (15) 한국기계연구소, 1983, 소형 어선근대화에 관한 연구.
- (16) 한국어선협회(현 선박안전기술공단), 1994, 표준어선형 연구개발(I).
- (17) Tsuchiya, T., 1972, “New Statical Regression Analysis for Fishing Boat Hull Resistance,” J. of Soc. Nav. Architects of Japan, Vol. 132, pp. 63-80.

이 논문은 2008학년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수 국내교류 연구비 지원에 의한 것임.