

연안항로용 중소형 선박의 선형 개발

조 용 진* · 고 창 두* · 김 성 환*
(96년 12월 4일 접수)

Development of Hull Form of Small and Medium Size Coastal Ships

Yong-Jin Cho* · Chang-Doo Koh* · Seong-Hwan Kim*

Key Words : Hull Form Development, Coastal Ships, G/T 999 Tonnage Class Tankers, D/W 4990 Tonnage Class Oil Tankers

Abstract

The technology of small and medium sized shipbuilding companies is lower relatively to major shipbuilding companies, and should be up-graded from the viewpoint of national economic development. In spite that hull form design is one of the most important elements with respect to shipbuilding technology, small and medium sized shipbuilding companies are incapable of developing hull form.

In order to support technically such companies hull form development was carried out for G/T 999ton class tanker and D/W 4990ton class tanker which are the typical vessels operating in coastal area. The operating efficiency for the developed hull forms are improved by 30% for G/T 999ton class tanker and 24% for D/W 4990 ton class tanker respectively. The results of hull form development including ship model test and performance analysis are presented in this paper.

1. 서 론

국내 연안항로에 취역중인 중소형 화물선중에는 총톤수 999톤급의 선박과 재화중량이 5000톤 미만인 소형 유조선이 많다¹⁾.

이는 총톤수 1000톤 미만의 선박에 대해서는 설치장비 및 선원에 대한 완화규정과 재화중량 5000톤 미만선박에 대해서는 국제해사기구(IMO)의 해

상오염방지를 위한 2중 선체구조의 완화규정중에 선체에 발라스트 창을 두지 않아도 되는 경감규정이 있기 때문이다^{2),3)}.

이와 같은 이점들은 우리 나라뿐만 아니라 일본^{4),5)}을 포함한 여러 나라에서도 통용되는 완화 규정이기 때문에 이런 규모의 선박의 성능을 향상시키면 중소형 조선소의 조선기술을 향상시킬 뿐만 아니라 관련 해운 회사의 선박운영비를 절감시키고, 나

* 한국기계연구원 선박해양공학연구센터

아가 중소형 조선소의 기술경쟁력 제고로 수출도 가능하리라 기대된다.

따라서 본 논문에서는 우리 나라 연안에서 운항 중인 선박 중에서 대표적 선박인 총톤수 999톤과 재화중량 4,990톤급 유조선의 성능을 향상시키기 위한 1차년도와 2차년도의 선형개발 연구결과를 언급하였다^{6),7)}.

그리고 두 번에 걸친 선형개선에 따른 저항·추진 모형시험 결과와 연간연료비를 중심으로 한 경제성의 비교·검토결과를 수록하였다.

2. 본 론

우리 나라의 중소형 조선소에서는 주로 국내 해운회사에서 발주한 선박만을 주로 건조하고 있으며 기술경쟁력의 부족으로 수출은 거의 하지 못하고 있는 실정이다.

이와 같은 실정은 일본의 경우에도 유사했으나 자국의 연안항로를 운항중인 중소형 화물선의 성능개선을 위한 일련의 연구가 있는 후에 유사 재래선과 비교하여 20 - 30%의 연료 소모량을 절감할 수 있는 선형성능의 개선이 이루어 졌다고 한다⁵⁾.

본 연구는 일본의 경우처럼 성능이 우수한 선형을 개발하기 위함이며, 나아가 일본과 비교하여 좀 더 우수한 선형개발을 위해 두차례에 걸쳐 연구가 수행되었다.

2.1 선형의 개발

일반적으로 연안 항로용 소형 선박의 경우 주요 제원 결정에 의해 건조비가 크게 영향을 받는 특성이 있으므로 저항성능을 고려하여 L/B를 크게 하는 것이 반드시 유리하지만은 않은 특성이 있다.⁸⁾ 이는 상업용 선박의 경우 건조비가 저렴해야 경쟁력 우위를 차지할 수 있으며 특히 연안항로용 중소형 선박의 경우 선박의 길이가 건조비에 큰 영향을 주므로 저항성능이 다소 나쁘더라도 가능한 길이 증가를 억제해야 한다⁹⁾.

따라서 개발선에서는 건조비를 고려하여 초기 계획한 선속을 유지하는 범위내에서 가능한 길이

증가를 억제하는 방향으로 주요제원을 선정하였다¹⁰⁾.

본 개발선은 계획속력에서의 프루드수(Froude No.)가 약 0.23으로 비교적 고속 영역에 속하므로 부심위치가 선미 쪽으로 갈수록 저항성능이 향상되지만 이런 경우에 선수부의 용적이 줄어들게 되므로 화물창 용적이 감소하게 된다.

개발선에서의 주요제원은 단순히 저항성능의 개선을 위해서가 아니라 건조비 절감, 화물창 구획 및 용적확보, 짧은 운항항로, 얕은 항해구역 등 연안 항로용 특성을 충분히 고려하여 선정하였다.

이처럼 개발된 총톤수 999톤 소형 유조선의 주요 제원을 일본에서 최근에 개발한 유사 선박 및 기존의 재래선 제원과 비교 정리하여 다음의 표 (Table 1)에 나타내었다.

Table 1 Comparison of the Principal Dimensions (G/T 999 Ton)

	개발선	일본의 개발선		재래선
		2차	1차	
LBP (m)	74.0	78.0	76.0	72.0
B (m)	12.0	12.0	12.0	12.0
D (m)	5.5	5.8	5.5	5.5
d (m)	5.0	5.3	5.05	5.03
CB	0.72	0.673	0.68	0.72
G/T (ton)	1,000	1,000	1,000	1,000
△ (ton)	3,275	3,421	3,250	3,220
D/W (ton)	2,300		2,300	2,360
M/E (PS)	1,800	1,600	1,900	2,100
계획속력 (KTS)	12.0	12.0	12.0	12.0

그리고 재화중량 5000톤급의 선박은 건조비의 감소를 위해 길이를 90미터로 크게 줄이는 반면에 폭은 약간 증가시켰다. 선정된 재화중량 4990톤급 중형 유조선의 주요제원은 다음의 표 (Table 2)와 같다.

Table 2 Comparison of the Principal Dimensions
(D/W 4990 Ton)

	개발선	일본의 최근 개발선	채래선
LBP (m)	90.0	96.0	97.0
B (m)	15.6	15.0	15.5
D (m)	7.6	7.5	8.0
d (m)	6.45	6.47	6.36
G/T (ton)	3,100	2,752	2,851
△ (ton)	6,800	6,796	6,827
D/W (ton)	4,990	4,993	5,000
M/E (PS)	3,300	3,300	3,800
계획속력 (KTS)	13.0	13.0	13.0

이러한 과정을 거쳐 개발된 1차선형에 대한 모형실험결과를 최근에 일본에서 개발한 유사선과 비교하였으며 이러한 비교를 바탕으로 2차선형을 개발하였고, 2차선형은 1차선형의 주요제원에 변화 없이 선수미의 선형수정을 통하여 성능향상을 꾀하였다.

중소형 화물선의 선형특징은 부심위치 변화에 따라 화물창 용적이 변하므로 화물창 구역의 용적이 줄어들 경우 대형선과 비교해 보완책이 없어 최적의 부심위치를 가질 수 없으므로 가능한 중앙부 화물창 구역의 용적을 감소시키지 않으면서 선수미 부분에 대해 선형수정을 하였다.

우선 1차년도 모형시험 결과로부터 선수미의 생성을 감소시켜 조파저항의 감소를 가져올 수 있다고 판단하여 선수벌브의 용적을 16%정도 크게 하고 중심위치를 약 4% 높여 ▽형의 벌브를 취하였다.

그리고 선미부는 잉여저항이 크게 감소되는 것으로 알려진 스케그(Skeg)형 선미를 채택하였다.

이렇게 수정된 2차년도 선형과 1차년도의 선형을 비교하여 Fig. 1에 나타내었고, 모형선의 사진을 Fig. 2에 나타내었다.

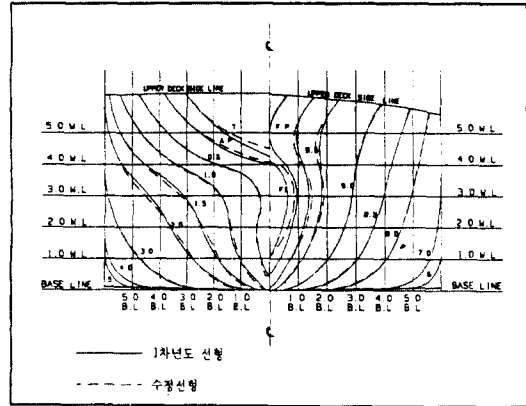


Fig. 1 Comparison of Original and Modified Hull Form

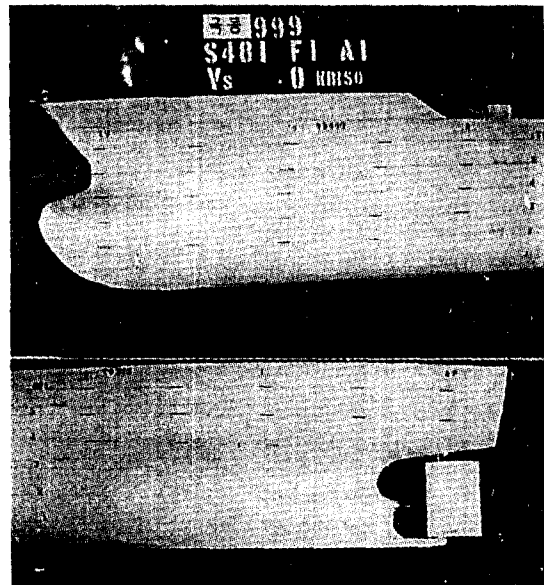


Fig. 2 Photograph of Ship Model

2.2 모형시험

본 연구의 모형시험을 위해 총톤수 999톤 유조선은 축척비 1/11.0의 목재 모형선(KS481/KS545)을 제작 사용하였고 자항추진시험을 위해 연구소의 재고 프로펠러(KP275)가 사용되었다. 그리고 재화중량 4990톤 유조선의 경우는 1/13.0의 축척비 모형선(KS488/KS539)을 제작 사용하고 연구소의 재고 프로펠러(KP212)를 사용하였다. 이모형을 가

지고 연구수행을 위해 일련의 시험인 저항시험, 자항추진시험, 반류조사시험(Wake Test) 및 유선조사시험(Paint Test)을 수행하였다.

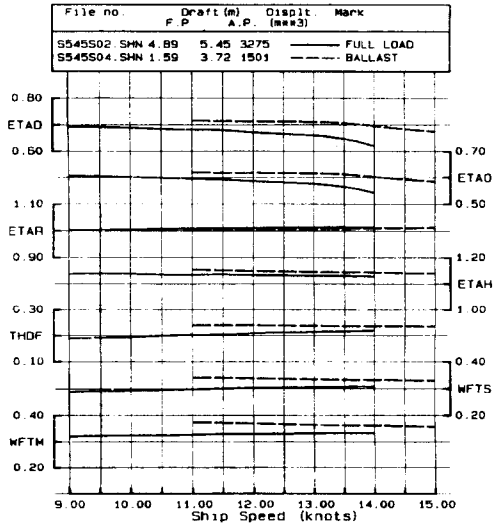


Fig. 3 Propulsive Coefficients(Full Load & Ballast)

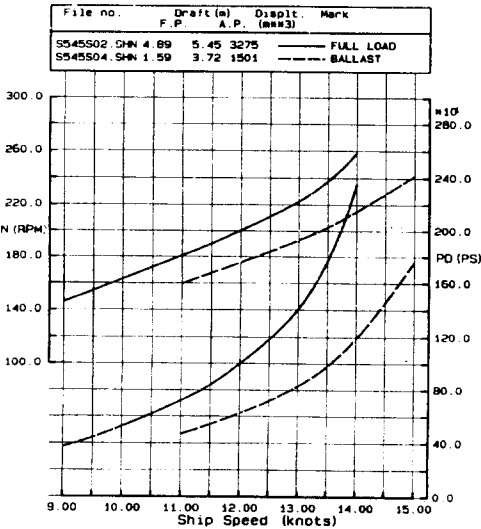


Fig. 4 Prediction of Powering Performance(Full Load & Ballast)

본 연구의 모형시험은 프루드의 상사법칙을 따라 수행하였고, 모형시험 해석은 “1978 ITTC Per-

formance Prediction Method¹¹⁾”를 따르되 2차원 해석법을 적용하였다.

이상의 시험을 토대로 해석한 결과 실선의 저항·추진성능은 다음과 같이 정리되었다. 우선 총톤수 999톤 유조선의 추진계수 곡선(Fig. 3) 및 추진성능곡선(Fig. 4)은 위와 같다.

또한 자항시험과 저항시험을 Full Load와 Ballast 상태에서 수행하여 각 홀수 상태에서 추정된 저항 추진 성능은 아래의 표(Table 3)와 같다.

Table 3 Performance of Resistance and Propulsion (G/T 999ton)

(Full Load Condition, 12 knots)

EHP(PS)	η_D	DHP(PS)	N(rpm)	t	w	η_R
672	0.673	999	200.28	0.210	0.303	1.011

(Ballast Condition, 13.5 knots)

EHP(PS)	η_D	DHP(PS)	N(rpm)	t	w	η_R
691	0.708	977	202.81	0.237	0.334	1.009

단, 이러한 추정은 선체 표면이 깨끗하고 바람이 없으며 파랑에 의한 부가저항을 고려하지 않은 것이다. 그리고 재화중량 4990톤 유조선의 경우 추진계수 곡선(Fig. 5)과 추진성능곡선(Fig. 6)은 다음과 같다.

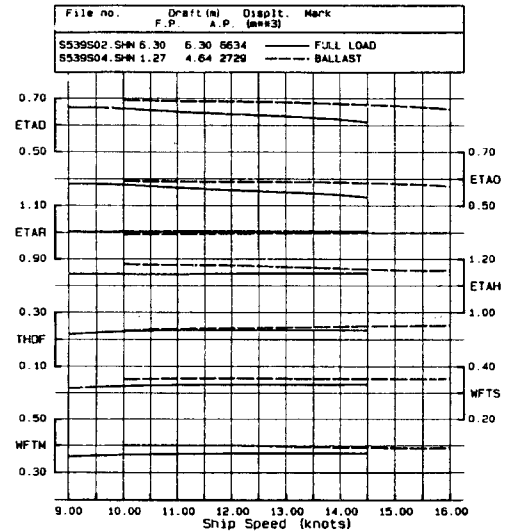


Fig. 5 Propulsive Coefficients (Full Load & Ballast)

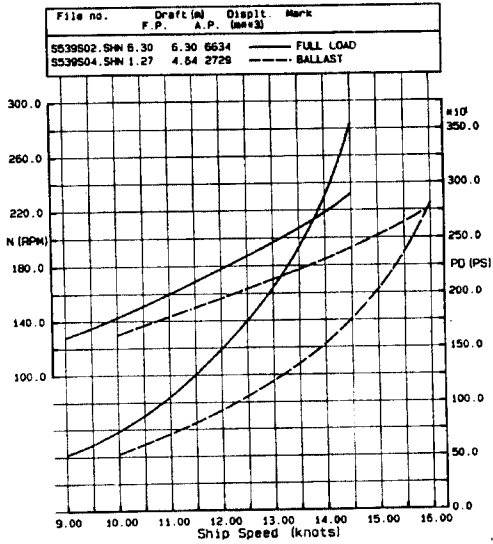


Fig. 6 Prediction of Powering Performance(Full Load & Ballast)

자항시험과 저항시험을 통한 만재(Full Load)와 공선(Ballast)상태에서 추정된 저항추진 성능은 다음의 표(Table 4)와 같다.

Table 4 Performance of Resistance and Propulsion (D/W 4990ton)

(Full Load Condition, 13.5 knots)

EHP(PS)	η_D	DHP(PS)	N(rpm)	t	w	η_R
1,518	0.628	2,416	206.98	0.235	0.332	1.006

(Ballast Condition, 15.0 knots)

EHP(PS)	η_D	DHP(PS)	N(rpm)	t	w	η_R
1,370	0.674	2,034	201.56	0.251	0.353	0.999

2.3 개발선의 성능분석

○ 총톤수 999톤 유조선

1차와 2차의 모형시험결과를 토대로 만재 상태에서 계획속력 12노트에서의 저항추진 성능을 비교해 보면 다음 표(Table 5)와 같다.

Table 5 Comparison of Powering Performance (G/T 999Ton)

	본 개발선		일본의 개발선		재래선
	2차	1차	2차	1차	
총톤수	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
재화중량 (ton)	2,300	2,300		2,300	2,360
배수량(ton)	3,275	3,275	3,421	3,250	3,220
주기관출력 (PS)	1,800	1,800	1,600	1,900	2,100
시운전 최대속력 (Kts)	15.0	14.6		12.5	
만재 운항속력 (Kts)	12.9	12.5		12.0	12.0
만재 상태 12.0 Kts 에서	유효 마력	672	743	710	790
	소요 마력	1,030	1,142	1,050	1,241
	성능 비교	70%	77%	71%	84%

이 비교를 통해 2차에 걸친 수정 개발선은 재래선과 비교 30%의 성능개선이 되었으며 일본의 개발선보다 우수한 것으로 평가되며 이는 본선이 건조비를 고려하여 계원이 짧은 것을 포함하면 그 차이는 더 클 것으로 판단된다.

Table 6 Comparison of Economics(G/T 999 Ton)

	개발선		재래선
	2차	1차	
운항속력	12.0 KTS	12.0 KTS	12.0 KTS
연간 운항시간	4,500 h	4,500 h	4,500 h
소요마력	1,030 PS	1,142 PS	1,480 PS
연료소비율	141 g/PS.h	141 g/PS.h	155 g/PS.h
연간 연료소비량	653.5 ton 687.9 M ³	724.6 ton 762.7 M ³	1032.3 ton 1086.6 M ³
연료 가격	145원/ℓ	145원/ℓ	145원/ℓ
연간 연료비	99.7백만원	111백만원	158백만원

그리고 경제성 비교를 위해 재래선과 연료비를 비교하면 위의 표(Table 6)에서와 같이 12노트에서 2차에서 수정 개발된 선형을 재래선에 비하여 연간 5,830만원, 1차년도에 개발된 선박보다는 1,130만원이 절약됨을 알 수 있다.

○ 재화중량 4,990톤 유조선

앞의 총톤수 999톤 유조선과 마찬가지로 계획속력 13kts에서 저항추진성능을 비교하면 다음 표(Table 7)와 같다.

이로부터 1차, 2차 개발선은 재래선에 비해 각각 22%와 23%의 성능향상이 되었으나 2차 개발선의 경우도 기대와 달리 일본에서 최근 개발한 선박보다 성능이 떨어지는 것으로 나타났다.

Table 7 Comparison of Powering Performance (D/W 4900 Ton)

	개 발 선			일본의 최급 개발선	재래선	
	2차 (F ₂ +A ₂)	F ₂ +A ₁	1차 (F ₁ +A ₁)			
재화중량 (ton)	4,990	4,990	4,990	4,993	5,000	
배수량 (ton)	6,800	6,800	6,800	6,796	6,827	
주기관출력(PS)	3,300	3,300	3,300	3,300	3,800	
만재운항속력 (Kts) (85% MCR W/15% SM)	13.4	13.5	13.4	13.6	13.1	
만재상태 13.0 Kts에서	소요마력	2,116	2,084	2,150	2,000	2,750
	성능비교	77%	76%	78%	73%	100%

이것은 선수·미의 수정을 통한 2차선의 개발시 기대했던 잉여저항의 향상은 가져왔으나 선미부의 수정이 추진기 주위의 유체흐름에 나쁜 영향을 미쳐 기대했던 성능향상을 가져오지는 못했다고 판단된다.

이에 따라 2차선의 선수부(F₂)가 잉여저항 성분의 약 70% 성능향상을 시키고 1차선의 선미부(A₁)

가 30%의 잉여저항 감소를 가져오나 추진효율에는 영향이 전혀 없다는 가정하에 두 선체의 조합을 통한 저항·추진 성능을 추정해 본 결과 일본 개발 선박과 비교 약 4%의 성능이 떨어지는 것으로 나타났다.

이것은 본 개발선의 제원 선정시 건조비를 고려하여 일본의 개발선보다 길이를 줄여 저항성능면에서 불리하게 나타난 것으로 판단된다. 이상의 모형시험 해석결과를 근거로 연료비를 중심으로한 재래선과의 경제성을 비교하면 다음 표(Table 8)와 같다.

Table 8 Comparison of Economics(D/W 4900 Ton)

	개 발 선			재래선
	2차 (F ₂ +A ₂)	F ₂ +A ₁	1차 (F ₁ +A ₁)	
운항속력	13.0 KTS	13.0 KTS	13.0 KTS	13.0 KTS
연간 운항시간	4,500 h	4,500 h	4,500 h	4,500 h
소요마력	2,116 PS	2,084 PS	2,150 PS	2,750 PS
연료소비율	137 g/PS.h	137 g/PS.h	137 g/PS.h	155 g/PS.h
연간 연료소비량	1,305 ton	1,285 ton	1,325 ton	1,918 ton
연료소비량	1,373 M ³	1,352 M ³	1,395 M ³	2,019 M ³
연료 가격	145원/ℓ	145원/ℓ	145원/ℓ	145원/ℓ
연간 연료비	199백만원	196백만원	202백만원	293백만원

계획속력인 13노트에서 연간 연료비가 재래선에 비해 1차의 경우 약 9,100만원, 2차의 경우 약 9,400만원이 그리고 1차선의 선수만 변경을 가정한 선형(F₂+A₁)의 경우 약 9,700만원이 절약됨을 보여 준다.

3. 결 론

이상의 연구결과로 부터 국내연안 항로의 대부분을 차지하고 있는 총톤수 999톤급과 재화중량 5000톤 미만의 유조선에 대해 1차, 2차의 선형개발을 통해 기존선박과 비교하여 성능이 상당히 향상

된 선형설계 기술을 개발하였고, 경제적으로도 운항비를 크게 절약할 수 있어 국내 중소형 화물선의 경쟁력 제고를 가져왔다.

이 연구결과를 요약하면 총톤수 999톤 유조선의 경우 다음 표에서와 같이 1차, 2차년도 선형개발로 일본의 최근 연구보다 우수한 성능을 얻었고, 이는 선체의 길이 차에 따른 건조비의 절감효과를 고려하면 그 성능은 더 좋을 것으로 판단된다.

그리고 다음의 표(Table 9)로부터 연간 연료비 면에서 재래선과 비교하여 연간 5,830만원이 절약 되는 경제적 효과를 얻을 수 있었다.

Table 9 Summary of the Operating Cost of Fuel (G/T 999 Ton)

	개발선		일본의 개발선		재래선
	2차	1차	2차	1차	
유효마력 (PS)	672	743	710	790	
제동마력 (PS)	1,030	1,142	1,050	1,241	1,480
성능 비교	70%	77%	71%	84%	100%
연간연료비 (백만원)	99.7	111			158

그리고 재화중량 4990톤 유조선의 경우는 선박 건조비를 줄이기 위해 선체 길이를 97미터에서 90미터로 7미터나 줄였음에도 다음 표(Table 10)에서 볼 수 있듯이 개발선의 경제성은 재래선보다 우수한 것으로 나타났다.

Table 10 Summary of the Operating Cost of Fuel (D/W 4990 Ton)

	개발선			일본의 개발선	재래선
	2차 (F2+A2)	1차+2차 (F2+A1)	1차 (F1+A1)		
제동마력 (PS)	2,116	2,084	2,150	2,000	2,750
성능 비교	77%	76%	78%	73%	100%
연간연료비 (백만원)	199	196	202		293

또한 경제적인 면에서 건조비 이외에 연간 연료비는 재래선에 비해 연간 9,700만원이 절약되지만, 위의 표로부터 알 수 있듯이 최근 일본의 결과와 비교하여 성능이 약간 떨어진다. 이는 향후 개선의 여지가 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술처에서 시행한 특정연구사업 "중소형 선박의 운항효율 향상을 위한 설계기술 개발" 과제에의 일부입니다.

참 고 문 헌

- 1) 교통부령 제758호, "선박톤수의 측정에 관한 규칙", 1983
- 2) 법률 제3641호, "선박법", 1982. 12.
- 3) 법률 제4541호, "선박안전법", 1993. 3
- 4) 선박정비공단, "고 경제성 내항선에 관한 조사연구" (999 G/T형 성에너지 유조선의 시설계)", 1980.10. 일본
- 5) 선박정비공단, "내항선의 선수미 형상의 개선 및 프로펠러의 고효율화에 관한 조사연구 (999 G/T형 유조선 및 4990 DWT형 화물선의 시설계)", 1985.3, 일본
- 6) 이생오 외 "고부가가치 중소형 선박 및 오염방지 개발", 1994.10., 한국기계연구원 보고서 BSN319-1821·D
- 7) 고창두 외 "중소형 선박의 운항효율 향상을 위한 설계기술 개발(II)", 1995.10., 한국기계연구원 보고서 BSN352-1904·D
- 8) 선박정비공단, "공단 고유선 기본설계 요령(화물선, 유조선)", 1985.3, 일본
- 9) 이창억 편, "선박설계", 대한교과서(주), 1984
- 10) H. Schneekluth, "Ship design for efficiency and economy", Butterworths, 1987
- 11) "1978 ITTC Performance Prediction Method for Single Screw Ships", Report of the Performance Committee, Proceedings of 15th ITTC, The Hague, 1978