
 論 文

大韓造船學會誌
 第25卷 第1號 1988年 3月
 Journal of the Society
 Naval Architects of Korea
 Vol. 25, No. 1, March 1988

선미단 벌브의 효과에 관한 실험적 연구

조 규 종* · 홍 성 완* · 강 국 진**

An Experimental Study on the Effectiveness of the Stern-End-Bulb

by

K.J. Cho* · S.W. Hong* · K.J. Kang**

Abstract

This paper presents some experimental investigations on the effectiveness of the Stern-End-Bulb(SEB) and the design procedure of the optimum one. Experimental method was discussed to search the optimum SEB and the resistance reduction rate was investigated from the resistance test results of the SEB series for a passenger boat and a container ship. The contribution of SEB on the propulsive coefficients was discussed from the self-propulsion test results for a container ship. It would be expected that the power saving rate is about 5.8 percents for a passenger boat and 3.6 percents for a container ship by optimum SEB, respectively.

1. 서 언

저항, 추진성능의 향상을 위하여 선박설계자들의 노력은 오래전부터 꾸준히 수행되어 왔으며, 근년에 이르러 건조선가가 다소 높더라도 운항연료비가 적게드는 선박 즉 에너지 절약형 선박을 개발하려는 노력에 박차를 가하게 되었다. 따라서 선수 조파저항의 감소를 위한 구상선수등 선수부에 대한 선형연구는 물론 선미부에 대한 연구도 여러 범위에 걸쳐서 수행되어 왔다.

선미부 선형개발에 관한 연구로서는 프로펠러면에서의 반류를 균일하게 하여 추진효율을 향상시키고 동시에 기진력을 줄이고자 하는 의도 아래에서의 stern bulb와 각종 wake distributor (duct, fin 등)를 들 수

있으며, 또한 선미에서 발생하는 선미파와 와류에 의한 저항등을 줄이고자 하는 시도로서의 선미단벌브(Stern-End-Bulb: SEB)도 그 한가지로 꼽을 수 있겠다.

SEB에 관한 연구는 주로 일본에서 많이 행하여졌으며, 기존선형 및 설계선형에 SEB를 부착하여 저항 추진 성능의 향상을 꾀하고 있다[1]. 근년에 이르러 SEB를 부착한 실선들의 에너지 절약효과가 나타남에 따라 유럽에서도 SEB를 실선에 취부하여 그 효과를 거둔 바가 있다[2].

본 논문에서는 기존선형에 SEB를 부착하여 모형실험을 통하여서 저항 및 추진성능에 미치는 SEB의 효과를 검토하고 더 나아가 그 크기와 형상의 변화에 따른 영향을 알아내어 기존선형에 알맞는 SEB를 찾아내는 최적설계법의 기틀을 마련하고자 하였다.

本論文은 1987年度 大韓造船學會 秋季研究發表會에서 發表된 論文임.

接受日字: 1987年 12月 23日, 再接受日字: 1988年 2月 16日

* 正會員, 仁荷大學校 工科大學 造船工學科

** 正會員, 韓國機械研究所 大德船舶分所

2. 선미파와 SEB의 특성

선미에서 발생하는 파는 자유수면 멀리 전파해 나아가는 선형파와 선미근처에서 국부적으로 존재하는 비선형파로 나누어 볼 수가 있다.

일반적인 비선형파의 특성을 살펴 본다면, H. Miyata 등의 실험적 및 이론적인 연구논문(3, 4)등을 참조하여 다음과 같은 사실을 알아 낼 수가 있다. 즉, 그 크기와 각도는 물체의 형상과 밀접한 관계를 지니고 있으며 자유수면과 가까운곳의 물체 입사각의 크기에 비례하여 커지고 그에 따라서 커다란 에너지의 손실이 초래 되는 것을 알 수가 있다.

이러한 비선형파의 특성은 선미에서의 비선형파와 같은 성질을 지니고 있음을 유추해 볼 수가 있으며, 따라서 선미형상에 의해서 그 크기가 좌우된다고 할 수 있겠다.

한편, 선미에는 선수와 선미의 빌지로 인한 빌지와류가 복잡하게 얽혀서 흘러들어 오고 선미의 트랜섬등의 형상에 의한 와류현상이 존재한다.

이제 이러한 선미파를 감쇄시켜주고 선미와류를 정류시켜주면 선미부의 저항을 줄일수 있다는 생각하에서 SEB이 고안되기에 이르렀다.

3. 모형선과 SEB설계

선미단별브는 앞에서 말한 바와 같이 선수별브와 같은 선형파와 비선형파의 감쇄역활과 동시에 선미의 복잡한 와류를 정류시켜 주는 역할을 기대할 수가 있겠다. 그런데 이러한 SEB는 선종, 설계속도 및 선미의 수선면형상에 따라서 그 효과의 정도가 다르게 나타난다. 특히 저속선형에서는 효과를 거의 기대하기가 어렵는데, 이는 저속에서는 선미파와 와류현상이 매우 작게 나타나기 때문이다. 또한 운항시에 흡수변화가 심한 선종에 대해서도 설계흡수외에는 그 효과를 기대할 수가 없다.

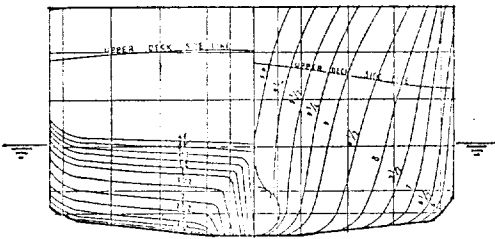


Fig. 1 Body plan of passenger boat(MSK-1)

Table 1 Principal particulars of tested models

Tested Model	Passenger Boat (MSK-1)		Container Ship (MSK-2)	
	Ship	Model	Ship	Model
$L_{pp}(m)$	52.0	2.080	182.8	6.5286
$B(m)$	8.6	0.344	29.8	1.0643
$D(m)$	3.25	0.130	16.3	0.5821
$d(m)$	2.05	0.082	10.6	0.3786
C_b	0.62		0.6054	
Trim	0		0	
Scale	1/25		1/28	

따라서 설계속도가 비교적 빠른 컨테이너선형이나 여객선등이 주로 대상선형이 된다.

3.1. 모형선

실험에 사용한 모형선은 G/T 450 고속여객선(MSK-1)과 컨테이너선(MSK-2)으로서 그 주요치수 및 선도를 Table 1, Fig. 1 및 Fig. 2에 보인다.

3.2. SEB의 설계

SEB의 설계에 있어서는 이론적인 방법의 시도가 어렵기때문에 주로 실험에 의존할 수밖에 없는 형편이라고 할 수가 있다. 일본에서는 선형조파저항이론에 의거하여 최적한 크기와 형상을 찾는 방법을 제시한바 [1]가 있지만, 앞에서 언급한 것처럼 선미유장은 복잡하기 때문에 실험결과와의 차이가 많이 나타나게 되고 따라서 이론적인 방법으로서의 접근은 아직 어려운 실정이다.

따라서 여기서는 실험에 의한 방법에 의거하여 체계적인 SEB들의 형상과 크기의 변화에 따른 실험결과에 따라서 그 최적설계를 시도하여 보고자 한다.

이하에는 SEB의 설계과정을 간략하게 소개하여 보고자 한다.

(1) 설계흡수와 설계속도에서의 선미유장을 잘 관찰하여야 하며, 이를 위하여 선미파문사진을 찍는다. 이 선미파문사진으로 부터 선미파의 크기와 와류범위등을 잘 살펴본다.

(2) 선미파와 와류를 동시에 줄여 줄 수가 있는 SEB를 설계하여야 하는데, 이를 위하여서는 우선 선체와

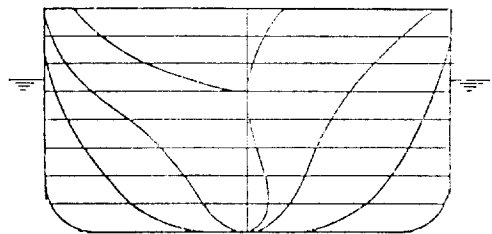


Fig. 2 Body plan of container ship(MSK-2)

Table 2 Principal particulars of SEBs for a passenger boat (unit: cm)

MSK-1	L'	l	B'	d'	S' (cm ²)
SEB 2	13	6	6.3	2	26
SEB-L1	16	9	6.3	2	39
SEB-L2	19	12	6.3	2	50
SEB-D1	16	9	6.3	1.2	46
SEB-D2	16	9	6.3	2.7	50
SEB-B1	16	9	7.5	2	45
SEB-B2	16	9	8.5	2	52

Table 3 Principal particulars of SEBs for a container ship (unit: cm)

MSK-200	L'	l	B'	d'	S' (cm ²)
SEB 1	9.64	9.0	11.8	7.14	178
SEB 2	14.64	9.0	11.8	4.82	176
SEB 3	14.64	9.0	15.7	5.7	219
SEB 4	14.3	9.5	21.0	3.6	166
SEB 5	17.9	9.5	22.5	3.6	210
SEB 6	23.2	9.5	22.5	3.6	274

의 결합이 부드럽게 이어지도록 하고, 그 형상은 유선형을 유지하도록 한다.

(3) 다음은 그 형상을 가능한 유지하도록 하면서 길이와 폭 및 깊이를 변화시켜 나아가면서 실험결과인 저항변화량 및 선미파문사진등으로 부터 최적한 형상과 크기를 결정한다.

이상의 과정을 통하여서 passenger boat에 대하여

7개, container ship에 대해서 6개의 SEB series를 설계하였으며, 각각의 주요치수를 Table 2, Table 3에 보인다. 그리고 SEB이 모형선에 취부된 상태의 모양을 Fig. 3에 보인다.

4. 모형시험

4.1. 시험상태

고속여객선(MKS-1)과 컨테이너선(MKS-2)에 대하여 SEB의 효과를 확인하고, 나아가서 최적의 SEB을 찾기 위하여 계통적 모형시험을 수행하였으며 각각에 대한 시험상태를 Table 4와 같이 하였다.

4.2. 선형시험수조

본 연구를 위한 모형시험은 컨테이너선에 대해서는 한국기계연구소 대덕선박분소의 심수대형수조에서, 고속여객선에 대해서는 인하대학교의 소형수조에서 각각 수행되어졌다.

4.3. 시험 및 해석방법[5,6]

모든 시험은 정수중에서 yawing과 swaying만이 제한된 상태에서 실시되었으며 저항 및 추진성능해석은 다음과 같이 하였다.

(1) 저항성능해석 : Froude 해석법 ($C_{ts} = C_{fs} + C_{rm} + C_a$)

*전저항계수 : $C_t = R_t / (0.5 \rho S V^2)$

*마찰저항계수 : ITTC 1957년 모형선-실선상관곡선 $C_f = 0.075 / (\log_{10} R_n - 2)^2$

*잉여저항계수 : $C_r = C_t - C_f$

*유효마력 : $P_e = R_{ts} * V_s / 75$

(2) 추진성능해석 : 1978년 ITTC방법

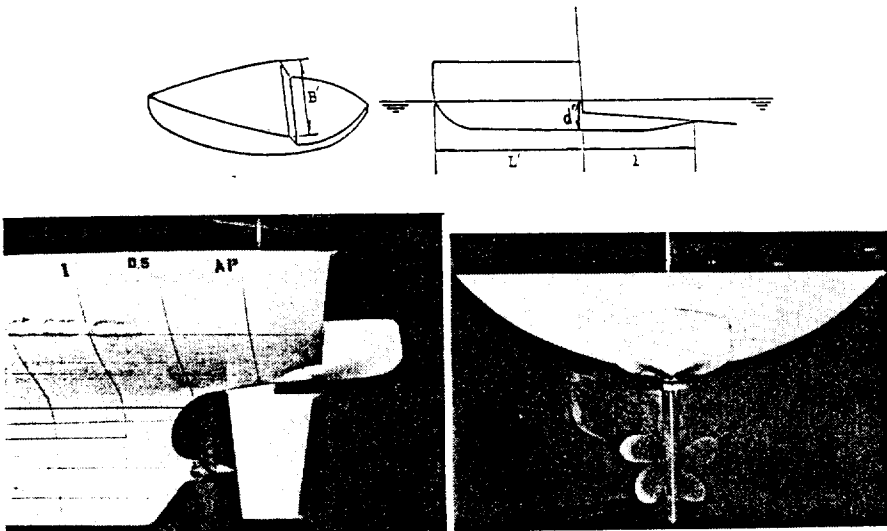


Fig. 3 Configuration of a container ship model with a SEB

Table 4 Experiment schedule

	Experimental item	SEB #	Speed Range (Knots)
Passenger Boat (MSK-1)	Resistance	w/o SEB	4.4~18.0
	"	w/ SEB2	13.6~18.0
	"	w/ SEB-L1	"
	"	w/ SEB-L2	"
	"	w/ SEB-D1	"
	"	w/ SEB-D2	"
	"	w/ SEB-B1	"
Container Ship (MSK-2)	Resistance	w/o SEB	20~23
	"	w/ SEB1	"
	"	w/ SEB2	"
	"	w/ SEB3	"
	"	w/ SEB4	"
	"	w/ SEB5	"
	"	w/ SEB6	"
	Self-Prop.	w/o SEB	"
"	w/ SEB6	"	

*추력일치법(thrust identity)

*최도효과 : 추력감소계수 $t_s = t_m$

상대회전효율 $\eta_{rs} = \eta_{rm}$

반류계수 $w_s = w_m$

프로펠러 단독효율 $\eta_{os} = \eta_{om}$

*전달동력 : $P_d = P_e / \eta_d = P_e / (\eta_h \cdot \eta_o \cdot \eta_r)$

*실선자항상태 : 15°C 해수상태, 바람 및 파랑에 의한 부가저항은 고려치 않음.

선체가 수면위를 진행할 때 일으키는 선체주위의 파도의 성질을 규명하기 위해서는 파문을 명확하게 포착할 수 있는 사진촬영 기술을 필요로 하게 되는데, 특히 선미파를 생생하게 촬영하기 위해서는 강한 빛을 순간적으로 간접조명하여야 한다. 그를 위하여 200W 용량의 스트로보(strobo) 두개를 선미의 전후 상방 2m 정도의 높이에 설치하고 그 위에 반사판을 설치하여 반사광을 얻는다. 렌즈는 25mm 광각렌즈를 이용하였고, 조리개 16, time 1/125초로 하여 촬영하였다.

카메라는 반사판 중앙부에 구멍을 내어서 선미의 윗부분에 설치하였는데 이때에 스트로보의 빛이 직접 들어오지 않도록 주의하였다.

5. 시험결과 및 고찰

두가지 선형에 대한 모형시험으로부터 각종 결과를 얻었으며 다음과 같이 정리하였다.

Table 5 Comparison of EHP reduction rate(passenger boat)

MSK-1	$\Delta R_r(\%)$	$\Delta C_r(\%)$	$\Delta EHP(\%)$
w/SEB2	1.70	5.24	2.85
w/SEB-L1	2.97	9.59	5.36
w/SEB-L2	3.40	10.48	5.76
w/SEB-D1	2.12	7.17	3.74
w/SEB-D2	2.12	7.17	3.77
w/SEB-B1	2.55	6.21	4.39
w/SEB-B2	1.70	5.24	3.13

5.1. 고속여객선(MSK-1)

SEB의 효과를 확인함과 동시에 최적의 형상과 크기를 찾기 위하여 SEB의 길이, 폭, 홀수를 여러가지로 바꾸어 제작하여 계통적인 모형시험을 수행하였으며, 그 결과로부터 얻은 저항 및 유효마력 감소량을 설계 속도 17.0노트(Fn=0.39)에서 서로 비교하여 Table 5와 같이 정리하였다.

SEB의 저항감소효과에 대한 경향을 알아보고 최적의 형상을 찾기위하여 저항감소량을 계통별로 서로 비교정리하여 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 보이고 있다.

위의 결과들로부터 다음과 같은 사실을 유도하여 보았다.

(1) 길이 series: SEB2를 기준으로 하여 1.23배 늘인것을 L1, 1.46배 늘인것을 L2로 하였다. Fig. 5(a)

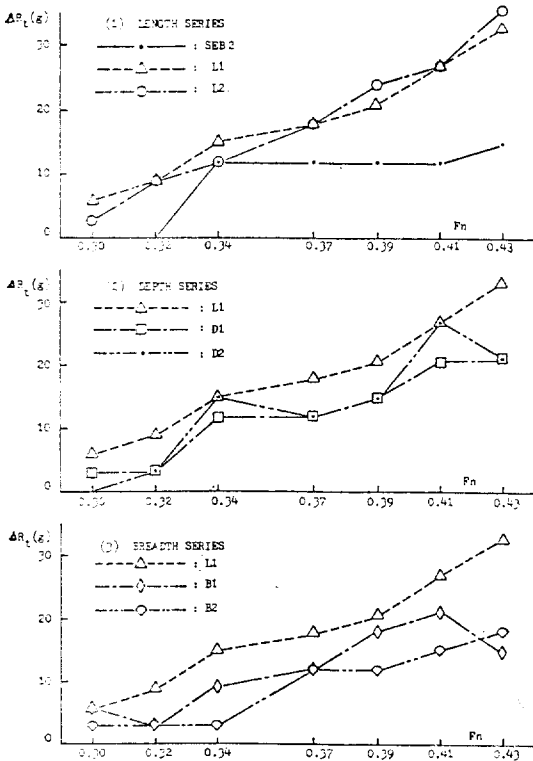


Fig. 4 Reduction quantity of total resistance (MSK-1)

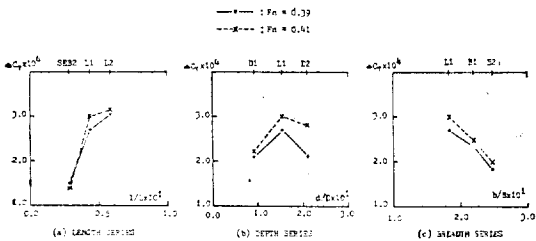


Fig. 5 Reduction quantity of total resistance coefficient for SEB series (MSK-1)

를 보면 $L2 > L1 > SEB2$ 의 순서로 길이가 긴 것이 유리함을 보이는데 L2에 이르러서는 그 기울기가 완만해져서 거의 한계에 도달하고 있는 것을 알 수 있다.

(2) 깊이 series: L1의 깊이를 0.4배 줄인 것을 D1, 0.35배 늘린 것을 D2로 하였다. Fig. 5(b)를 보면 $L1 > D2 > D1$ 의 순서로 L1이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

(3) 폭 series: L1의 폭을 0.2배 늘린 것을 B1, 0.33배 늘린 것을 B2로 하였다. Fig. 5(c)를 보면 $L1 > B1 > B2$ 의 순서로 L1이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

이상으로부터 SEB-L2가 최적인 SEB에 가깝다는 사

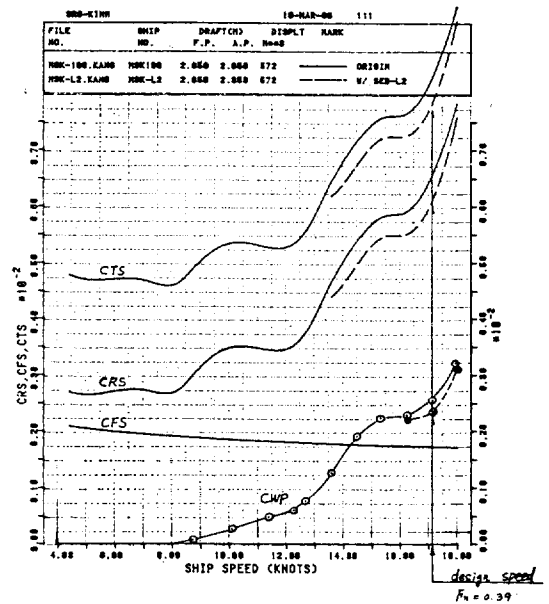


Fig. 6 Comparison curves of resistance coefficient (MSK-1)

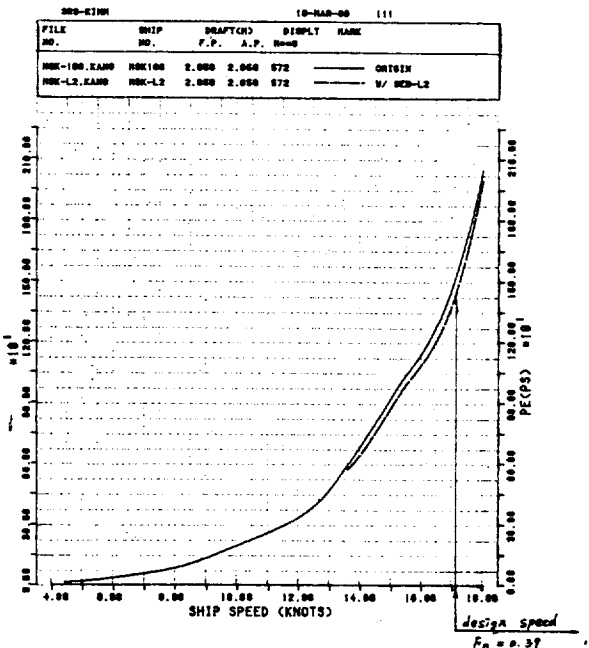


Fig. 7 Comparison curves of effective power (MSK-1)

실을 유추할 수가 있다. 이 SEB-L2에 대한 저항계수 곡선과 유효동력곡선을 원선형의 것과 비교하여 Fig. 6과 Fig. 7에 보인다.

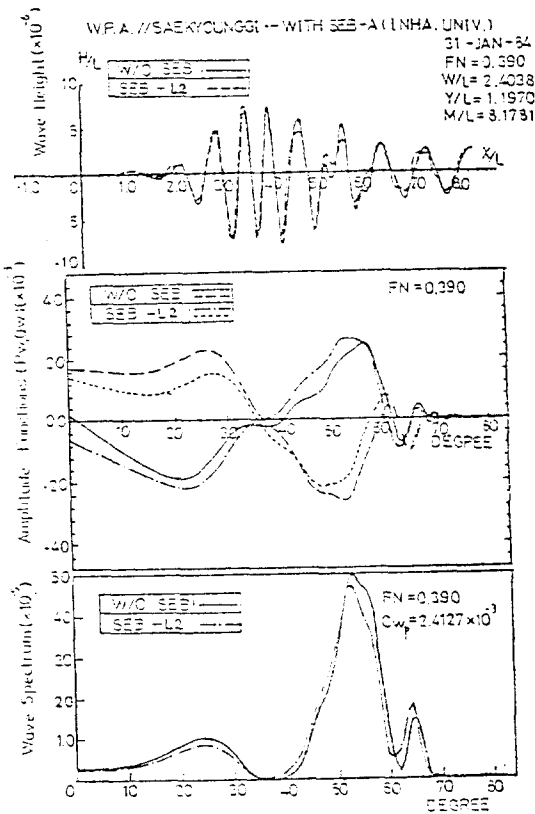


Fig. 8 Comparison curves of wave pattern analysis results (MSK-1, $F_n=0.39$)

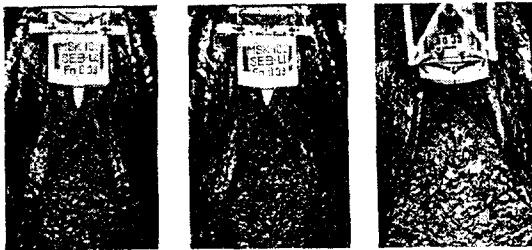


Fig. 9 Comparison of stern wave pattern (MSK-1, $F_n=0.39$)



Fig. 10 Comparison of stern wave pattern (MSK-1, $F_n=0.41$)

그리고 SEB series에 대하여 파형해석시험으로부터 그 효과와 최적의 경향을 찾으려는 시도가 실시된 바가 있는데 [8], 마찬가지로 결과를 보여주고 있다. 그 가운데에서 설계속도(17.0노트, $F_n=0.39$)에서의 결과를 비교하여 Fig. 6과 Fig. 8에 보인다.

한편, 선미파문사진으로부터는 SEB에 의하여 선미파가 감소되고 있는 것을 알 수가 있으며 원선형과 SEB-L1, SEB-L2와를 비교하여 Fig. 9와 Fig. 10에 보인다.

5. 2. 컨테이너선 (MSK-2)

컨테이너선형에 대한 SEB의 효과를 저항과 추진성능면으로 나누어 확인하고자 하였으며 시험결과로부터 다음과 같이 정리할 수 있겠다.

(1) 저항시험으로부터 SEB의 효과를 찾을 수가 있었고, 그 결과를 full load, 설계속도 21노트에서 정리하면 Table 6와 같다.

SEB의 길이와 폭이 큰 것이 유리하며 길이는 낮은 것이 유리한 것으로 나타났으며, SEB5와 SEB6의 차이가 근소한 것으로 보면 그 이상 길이와 폭을 키워도 큰 효과를 거두지 못할 것으로 생각되고 따라서 SEB6가 거의 최적의 SEB인 것으로 판단된다. 6개의 SEB 중에서 저항성능이 우수한 SEB4, SEB5와 SEB6의 저항계수곡선과 유효동력곡선을 원선형의 것과 비교하여 Fig. 11과 Fig. 12에 보인다.

(2) SEB가 추진계수에 미치는 영향을 조사하기 위하여 크기가 비교적 작은 SEB3와 저항성능이 가장 우수한 SEB6로 저항추진시험을 행하였는데, 그 결과를

Table 6 Comparison of EHP reduction rate (MSK-2)

MSK-2	$C_r \times 10^3$	P_r (ps)	ΔP_r (%)
origin	1.107	14,959	—
w/SEB1	1.127	15,097	+0.92
w/SEB2	1.107	14,991	+0.21
w/SEB3	1.072	14,785	-1.16
w/SEB4	1.056	14,683	-1.85
w/SEB5	1.031	14,539	-2.81
w/SEB6	1.019	14,473	-3.25

Table 7 Comparison of DHP reduction rate (container ship)

Full Load	η_A	η_0	η_r	η_d	$P_d (hp)$	P_d (%)
origin	1.082	0.679	1.026	0.755	19,821	—
w/SEB3	1.083	0.670	1.038	0.753	19,636	-0.93
w/SEB6	1.083	0.673	1.045	0.758	19,103	-3.62

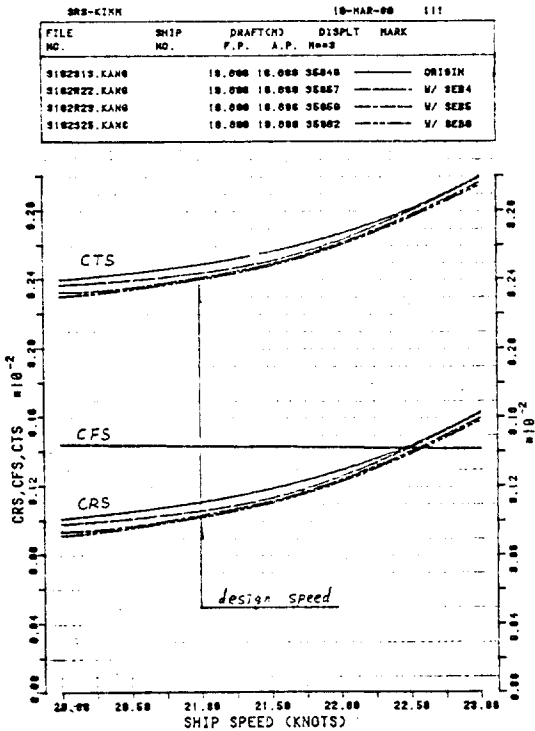


Fig. 11 Curves of resistance coefficients(MSK-2)

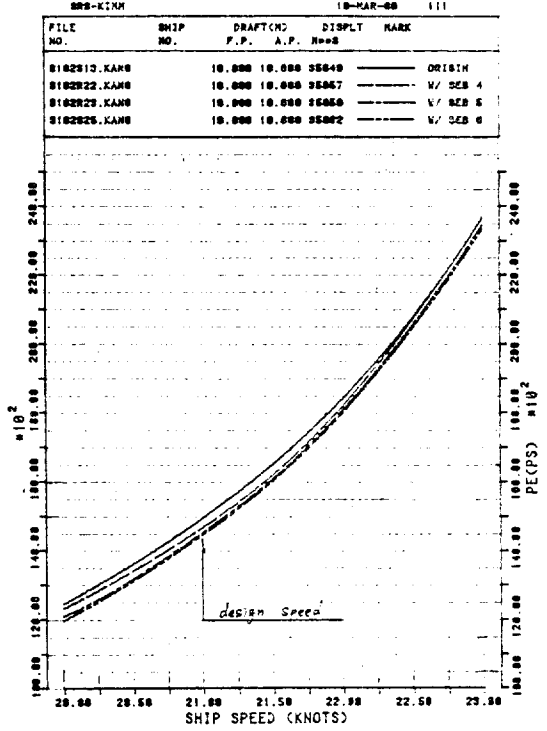


Fig. 12 Curves of effective power(MSK-2)

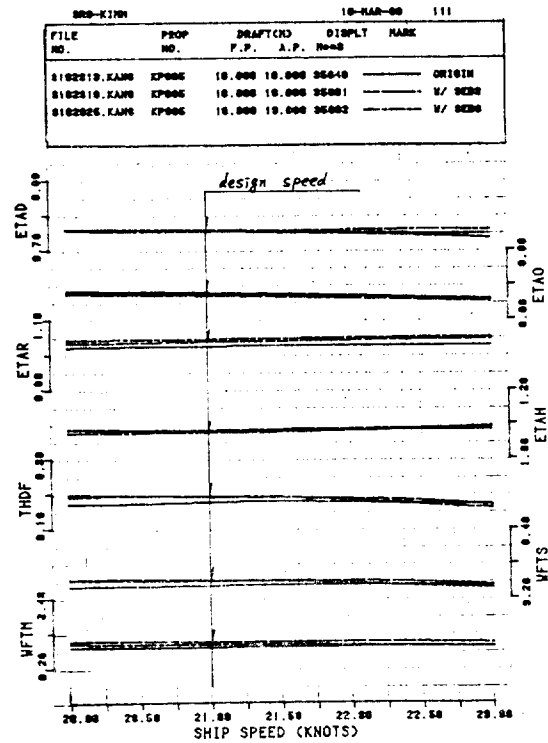


Fig. 13 Curves of propulsive coefficients(MSK-2)

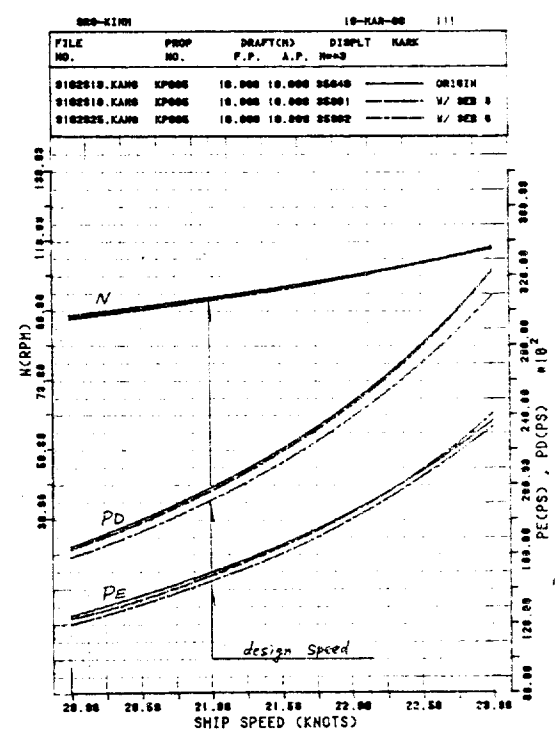


Fig. 14 Curves of power performance(MSK-2)

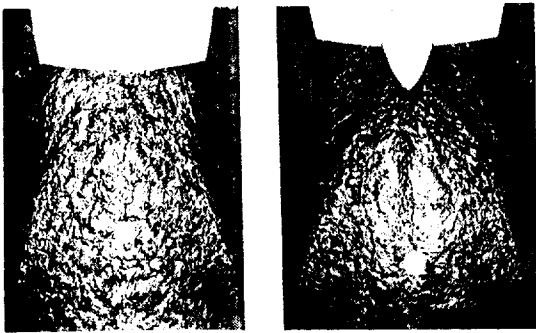


Fig. 15 Stern wave pictures in self-propulsion condition (MSK-2, 21.0Knots)

full load 21.0노트에서 정리하면 Table 7에 보이는 바와 같이 추진계수의 차이가 거의 나타나지 않는다. 그 원인은 SEB가 프로펠러의 후방에 상당히 멀리 떨어져 있기 때문인 것으로 생각된다.

추진계수곡선과 전달동력곡선을 비교하여 Fig. 13과 Fig. 14에 각각 보인다.

(3) 선미파문사진을 통하여서도 SEB의 효과를 관찰할 수가 있는데 Fig. 15를 보면 SEB으로 인해서 선미파와 와류현상이 많이 줄어든 것을 알 수가 있는데, 이것은 바로 저항감소와 직결된다고 말할 수가 있겠다.

6. 결 언

선미단별브(SEB)가 저항추진성능에 미치는 영향을 살펴보고, 나아가서 그 최적설계를 위한 실험적인 접근방법을 찾아보고자 하였다. 이를 위하여 고속여객선과 콘테이너선을 대상으로 SEB의 형상을 체계적으로 변화시키면서 모형시험을 수행하였다. 이들의 결과를 종합하여 다음과 같이 정리하여 보았다.

(1) SEB를 부착하여 고속여객선(MSK-1)에서 유효동력 5.8퍼센트의 감소효과와 콘테이너선(MSK-2)에서 전달동력 3.6퍼센트의 감소효과를 각각 얻었다.

(2) SEB는 선미의 선형파, 비선형파 및 와류저항을 동시에 줄여주는 역할을 하며 고속범위에서 그 효과가 크게 나타난다.

(3) SEB는 저항성능의 개선에 기여하는 바가 크고, 추진계수에 미치는 영향은 미소하다.

(4) SEB의 계통적 모형시험을 통하여 최적한 크기와 형상을 찾는 실험적인 방법을 모색하여 보았다.

(5) SEB의 실용화를 위하여 건조 및 운항에 따르는 문제점이 검토되어야 하겠다.

후 기

본 연구는 1981년 10월부터 1984년 2월까지 2차년도에 걸친 한국과학재단 학술연구비의 지원과 1983년도의 (주)대한조선공사의 연구사업 및 정부출연과제로 수행된 것으로서 관계제위에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Miyata, Y. Tsuchiya and H. Okamoto, "Resistance Reduction by Stern-End-Bulb (1st, 2nd, 3rd Report)", *JSNAJ*, Vol. 148, 149, 152, 1980, 1981, 1982.
- [2] Journal "The Motor Ship", page 27-28, May 1983.
- [3] T. Inui, H. Kajitani and H. Miyata, "Experimental Investigations on the wave making in the near-field of ships", 관서조선학회지 173호, 1979.
- [4] H. Miyata, T. Inui and H. Kajitani, "Free Surface shock waves around ships and their effects on ship Resistance", *JSNAJ*, Vol. 147, 1980.
- [5] 양승일, 김은찬외, "표준모형선의 선형시험 및 기기개발에 관한 연구", 한국선박연구소 연구보고서 UCE35-56.79, 1979. 5.
- [6] 양승일, 김은찬, "자항추진시험기법 개발에 관한 연구", 한국선박연구소 연구보고서 UCE57-75.80, 1980. 2.
- [7] 강신형, 이영길, "파형해석법 및 기기개발에 관한 연구", 한국선박연구소 연구보고서 UCE54-67.80, 1980. 2.
- [8] 김성근, 홍성완, 조규종, "파형해석법에 의한 선미단별브의 효과에 관한 연구", 인하대학교 산업과학 기술연구소논문집 제14집, 1986. 2.
- [9] 조규종, 홍성완, 강국진, "선미단Bulb의 시설계에 관한 연구", 인하대학교 산업과학기술연구소 논문집 제11집, 1983. 2.
- [10] 조규종, 홍성완, "선미단 별브의 효과에 관한 연구", 한국과학재단 연구보고서, 1982.
- [11] 강국진, 김은찬, "Stern-End-Bulb의 추진성능연구", 한국기계연구소 연구보고서, 1983. 12.