

해양레저용 활주형선의 공기저항 및 온실 가스 배출에 대한 연구

김용섭^{1,†} · 황선규²

¹홍익대학교 조선해양공학과

²홍익대학교 대학원 조선해양공학과

A Study on Air Resistance and Greenhouse Gas Emissions of an Ocean Leisure Planning Boat

Y. S. Kim^{1,†} and S. K. Hwang²

¹Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Hongik University, Korea

²Graduate School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Hongik University, Korea

요 약

최근 소득증대로 인해 해양레저에 대한 관심이 높아짐에 따라 해양레저용으로 많이 이용되는 활주형선의 선형설계와 생산에 대한 많은 연구 개발이 필요해지고 있다. 지금까지 수행된 활주형선의 저항에 대한 연구를 분석해본 결과 활주형선은 속도가 빠르고 침수표면적이 매우 작기 때문에 일반 선박과는 다른 저항 특성을 가지고 있음을 알게 되었다. 본 연구는 현재 조선소와 추진기 및 엔진 생산업체에서 유효마력 산정에 널리 활용되는 Savitsky공식을 이용하여 연구대상 활주형선의 전저항을 먼저 계산한 후 이론해석과 풍동실험을 통하여 활주형선 주위에 대한 유동특성을 분석하고 속도와 트림각도 변화에 따른 공기저항, 양력 등을 구하였다. 또한 이 결과를 이용하여 전저항에 대한 공기저항의 비율을 속도와 트림각 변화에 대하여 이론해석결과와 실험결과를 비교하고 분석하였으며 본 연구결과는 좀 더 정확한 유효마력 추정에 활용되어 산출근거를 무시하고 막연하게 고마력 엔진을 장착하는 폐단을 막을 것으로 기대된다. 한편 기상 이변으로 인한 자연재해가 증가하면서 온실가스에 대한 관심이 높아지고 있다. 국제해사기구(IMO)에서는 선박의 설계 단계에서 적용되는 에너지 효율 지수(EEDI)와 해상을 운항할 때 적용되는 에너지 효율지수(EEOI)를 제정하여 선박으로부터 배출되는 온실가스를 줄이려 하고 있다. 그러나 이 규정은 총톤수(GT) 400톤 이상의 선박에 적용될 예정이므로 해양레저용 선박과 같은 소형 선박은 대형 선박에 비해 단위 출력 당 온실가스 배출량은 오히려 많지만 이 IMO 규정에 의한 규제를 받지 않는다. 따라서 본 연구는 소형선박인 해양레저용 활주형선의 온실 가스 배출량을 산출함으로써 이에 대한 문제점을 제기하고 소형선박에 적용될 수 EEDI 계산법 제정의 필요성을 제시하였다.

Abstract – As incomes increase, interest in ocean leisure picks up. As a result, a lot of research and developments on hull form design and production of planing boats, mostly used for ocean leisure, are needed. Analysis in researches on resistance of planing boats shows that resistance characteristic of planing boats is different from resistance characteristic of general boats because the former is fast, and its wetted surface is very small. Using Savitsky formula widely used in the calculation of effective horse power in shipbuildingyards, and propulsion system and engine manufacturers, this study calculated total resistance of a research planing boat. Then it analyzed the flow characteristics of the planing boat through theoretical analysis and wind tunnel experiment, and computed air resistance and lift force by changes of speed and trim angle. It also compared and analyzed result of theoretical analysis and experiment of the ratio of air resistance to total resistance under variations of velocity and trim angle. When the study is used to estimate more accurate effective horse power, it is expected to remedy abuses of unnecessarily installing high-powered engine. As nature disasters due to abnormal changes of weather increase, interest in greenhouse gas grows. International Maritime Organization (IMO) legislated

[†]Corresponding author: yskim4850@naver.com

Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) to reduce ship greenhouse gas emissions. But this index will be applied to over 400 tons ships, small ships, emitting more greenhouse gases than large ships per unit power, will dodge the regulations. Thus, this study indicated a problem by calculating greenhouse gas emissions of an ocean leisure planning boat (a small ship), and suggested the need for EEDI of small ships.

Keywords: 해양레저(Ocean Leisure), 활주형선(Planning Boat), 전저항(Total Resistance), 공기저항(Air Resistance), 양력(Lift Force), 설계선 에너지 효율지수(EEDI), 온실가스(Greenhouse Gas)

1. 서 론

최근 해양레저에 대한 관심이 높아지면서 해양레저용 선박의 선형 개발과 제작에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 해양레저에 활용되는 선박은 세일링 요트와 동력 활주정으로 대별할 수 있는데, 동력 활주정은 속도가 매우 빠르기 때문에 침수표면적과 배수량에 의하여 주로 결정되는 일반 선박의 저항과는 그 특성이 다르므로 이에 대한 연구 특히 공기역학적 특성이 저항에 미치는 영향에 대한 조사와 분석이 필요하다.

고속 활주정 저항에 대한 주요 연구를 살펴보면, Wagner(1932)는 길이가 무한한 활주면의 전단부 유동에 대한 이론해석을 통하여, 선수에서 솟구쳐 올라온 물이 활주면을 따라 전방으로 얇은 막의 형태로 흐르면서 스프레이 현상의 원인이 됨을 밝혀내었다. Ikeda(1996) 등은 모형선 시험을 통하여 초고속정의 잉여저항과 양력에 대하여 속도, 트림, 배수량 등이 미치는 영향을 구하였고, Morii(1998)는 워터 제트로 추진되는 고속정의 실선저항 특성에 대하여 연구하였다. Kawahara(1993) 등은 트림을 고정시킨 모형선 시험을 통하여 고속정의 저항측정법에 관하여 연구하였다.

이러한 일련의 연구들은 Savitsky(1964)의 이론에 근거를 두고 있으며, 주로 마찰저항과 조파저항을 중심으로 연구가 수행되었다. 그러나 초고속 활주정은 주행시 선체의 일부인 선미부만 물속에 잠겨 활주하기 때문에, 침수표면적에 주로 영향을 받는 마찰저항과 배수용적에 의해 좌우되는 조파저항과 함께 수선면 상부 형상에 의해 결정되는 공기저항에 의한 영향도 무시할 수 없을 것으로 예상된다.

한편, 기상이변으로 인한 자연재해가 증가하면서 온실가스에 대한 규제가 강화되고 있다. 국제해사기구(IMO)에서도 선박으로부터 배출되는 온실가스를 저감하기 위한 규정을 제정하기로 의결하였다(IMO, 2003). 그 후속 조치로 선박설계 단계에서 적용하기 위한 에너지 효율 지수(EEDI)와 운항 중인 선박에 적용하기 위한 에너지 효율 지수(EEOI)가 제정되었다(MEPC, 2009). 이 규정은 총톤수(G/T) 400톤 이상의 선박에 대해서 적용된다(MEPC, 2008). 그러나 레저용 활주정이나 어선과 소형선박은 그 크기에 비하여 온실가스 배출량이 많고, 연안에서 주로 운항하기 때문에 이들 선박에 대한 온실가스 저감대책이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 레저용 활주정에 대하여 MEPC 규정을 이용하여 단위출력 당 온실가스 배출량(f/KW-hr)을 구하고 같은 식을 이용하여 AFRAMAX급 115,000(DWT) 원유운반선의 단위출력 당 온실가스 배출량을 구하고 비교분석하였다. 또한 이 두 선

박에 대하여 EEDI를 구하고 소형선박에 이 규정을 적용했을 때의 문제점을 찾아 제시함으로써 소형 선박으로부터 배출되는 온실가스를 저감시키기 위한 새로운 소형선박용 EEDI 계산법 제정의 필요성을 제기하였다. 그 외 본 연구에서는 활주정 주위에 발생하는 공기역학적 현상과 그 현상이 전저항에 미치는 영향을 규명하기 위하여 이론해석과 실험을 수행하였다.

본 연구 결과가 소형선박의 온실가스 저감대책 수립을 위한 논의와 연구의 출발점이 되고 공기역학적 현상이 활주형선의 저항에 미치는 영향을 분석하는데 기여할 것으로 기대된다.

2. 이론해석

2.1 Savitdky 공식을 이용한 저항계산

본 연구에 활용된 배는 해양레저용 활주형선으로서 실선과 모형선의 주요제원은 아래 Table 1과 같다. 이번 연구에서 적용된 속도는 60 kts 이상으로서 최근 해당 속도를 가진 유명 보트회사들의 실제 선박들의 주요치수와 유사한 크기로 하였고, 선형관련 자료를

Table 1. Principal dimensions of the real ship and model ship

주요치수	실선	모형선
LOA	14.0 m	1.40 m
B	3.9 m	0.39 m
T	0.75 m	0.075 m
H (Bottom - Top)	4.23 m	0.423 m

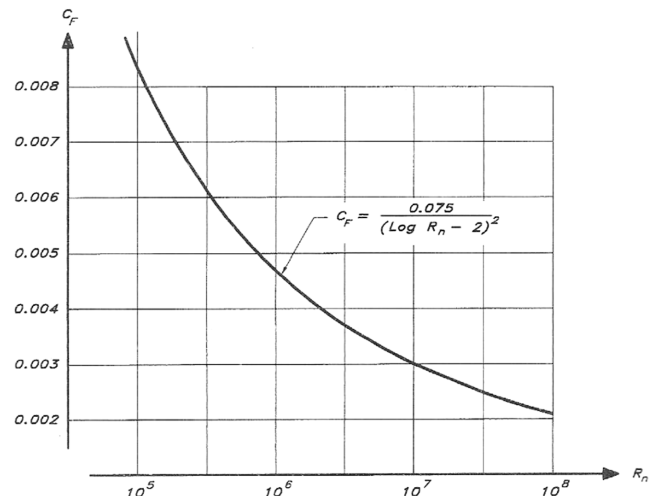


Fig. 1. Friction coefficient.

이용하여 3차원 모델링한 것을 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서는 선미 트림각을 1° 및 4°의 상태에서 속도를 18 kts 부터 68 kts 까지 6단계로 나누어 실험 및 이론해석을 수행하였다.

각 단계에서의 전 저항에 대하여 현재 일반적으로 모든 엔진 및 추진기업체들에서 속도와 유효마력 산정시 통용하는 공식(Savitsky, 1964)을 이용하였다.

먼저 마찰저항에 대하여 아래의 식 (1)을 사용하여 구하였다.

$$R_f = C_f \times 0.5 \times \rho \times V^2 \times (\lambda + \Delta\lambda) \times \frac{b^2}{\cos\beta} \quad (1)$$

여기서

ρ : 물의 밀도[Kg/m³]

V : 활주면의 속도[m/s]

b : 활주면의 폭[m]

λ : 접수면의 폭장비 = $\frac{L_w - L_{keel} + L_{chine}}{2b}$

C_f : 마찰저항계수(Fig. 2)

$\Delta\lambda$: Spray에 따른 접수면의 폭장비 증가분(Fig. 3)

ϵ : Shaft angle relative to flow, °

마찰저항계수에 필요한 마찰계수는 Fig. 1에서 그리고 트림각도 변화에 따른 폭장비 변화는 Fig. 2를 이용하여 구했다. 그래프 횡축의 Rn 은 Reynolds수를 나타낸 것이다(Savitsky, 1964).

다음 전저항은 아래 식 (2)를 이용하여 구했다.

$$R = [g \cdot m \cdot \sin\tau_0 + R_f] \cdot \frac{\cos(\tau_0 - \epsilon)}{\cos\epsilon} \quad (2)$$

여기서

m : 질량[Kg]

g : 중력가속도[m/s²]

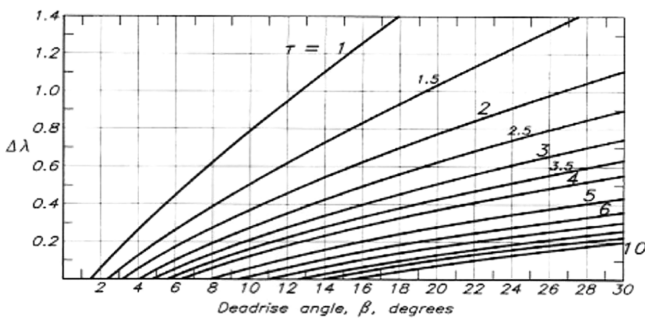


Fig. 2. Reliom of trim, deadrise amd bread-length ratio.

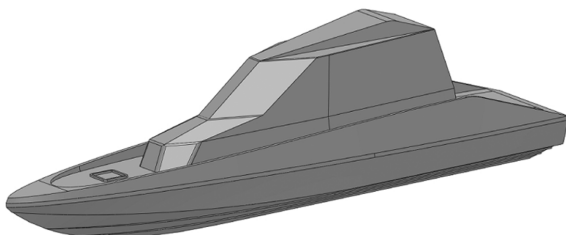


Fig. 3. Image model fir CFD analysis.

Table 2. CFD analysis condition

Physical Features	
Heat conduction in solids:	Off
Time dependent:	Off
Gravitational effects:	Off
Flow type:	Laminar and turbulent
Humidity:	Off
Ambient Conditions	
Thermodynamic parameters	Static Pressure : 101325 Pa
	Temperature : 293.2 K
Turbulence parameters	Intensity : 0.1%
	Length
	: 0.0429553398 m
Fluids	
Air	

τ : 트림각[°]

ϵ : Shaft angle relative to flow, °

식 (1)과 (2)를 이용하여 마찰저항과 조파 저항을 구하고 이를 합산하여 전저항을 구했다. 이 때 선체 부기물에 의한 저항과 공기저항은 고려하지 않았다.

2.2 이론해석

이론해석은 Solid works Fluid flow simulation을 이용하여 수행하였다. 이 CFD 해석조건은 Table 2와 같고, Fig. 3은 이론해석 모델을 나타낸 것이다.

3. 실험

공기저항을 측정하기 위하여 풍동실험은 수행하였는데, 실험장치 및 방법은 다음과 같다.

3.1 실험장치

공기저항을 측정하기 위하여 축척 10:1의 비율로 제작된 모형선을 Fig. 4에 나타낸 풍동실험장치에 설치하고 속도 변화에 따른 양력과 항력을 측정하였다.

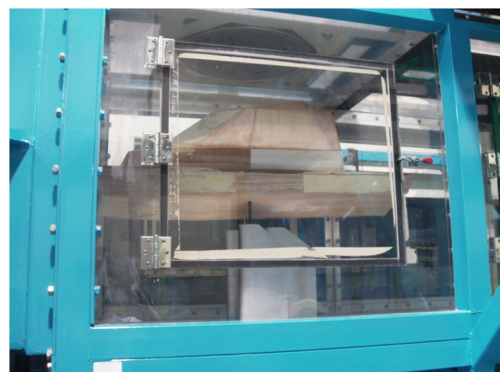


Fig. 4. The view of wind tunnel experiment device.

Table 3. Specification of wind tunnel

No	Contents	Specificatuin
1	Commodity	Close Type Wind Tunnel
2	Model No.	SEA-WTC100
3	Type	Close Type (Gottingen type)
4	Total Length	22 m App.
5	Test Area	1.0(W) × 1.0(H) × 3.0(L)m App.
6	Wind Speed	0.3~60.0 m/s with a moderate blockage model
7	Turbulence Intensity	Less than 0.5%
8	Flow Uniformity	within 1.5%
9	Proof test core volume	0.8(H) × 0.8(W) × 0.7(L)
10	Turn Table	Φ500 mm App. (Upper & Lower)-2sets
11	Control System	- Remote - Local
12	6-Component Balance Support	
13	3-Dimensional Auto-Traverse System	
14	Protection coating & painting	

Table 4. Environment condition for experiment

	압 력 (kPa)	101.325
대기	온 도 (°C)	16
	상대습도 (%)	46

아래 Table 3은 실험에 사용된 풍동실험장치의 주요제원을 표시한 것이다.

3.2 실험방법

풍동실험장치는 주로 항공기나 자동차의 공기에 의한 항력과 양력 등을 측정하는 실험에 사용되고 있다. 이 장치를 이용하여 선박의 모형 시험을 하기 위하여 별도로 제작한 시험용 지그를 사용하여 모형선을 풍동시험기 테스트 섹션에 설치하였다. 실선 속도에 상응하는 레이놀즈 수를 계산하여 모형선의 레이놀즈 수가 실선과 같은 값을 갖는 속도 즉 대응속도를 변화시켜 가면서 항력을 측정하였다. 실제 상황과 유사한 시험을 위해서는 모형선의 선저를 통과하는 공기 유동을 막아야 하는데, 이 상황을 구성하려면 장치의 테스트 섹션을 손상시키고 별도의 보조 시설을 설치하여야하므로 실험장비를 임대하여 실험을 수행한 본 실험에서는 선저하부 공기 유동을 차단하지 못 하였다. 트림은 발란스 조정장치를 이용하여 조정하였다.

풍동실험시 환경조건은 다음 Table 4와 같다.

4. 결과 및 고찰

4.1 이론해석 결과 및 고찰

다음 Fig. 5는 식 (1)과 (2)의 Savitsky 공식을 이용하여 구한 해양레저용 활주정의 속도변화와 트림각도 변화에 대한 전저항의 변화를 나타낸 것이다. 이 공식은 현재 조선소와 엔진 및 추진기 제작업체에서 고속 활주정 저항 산출에 널리 활용되고 있는 검증된 공식이다.

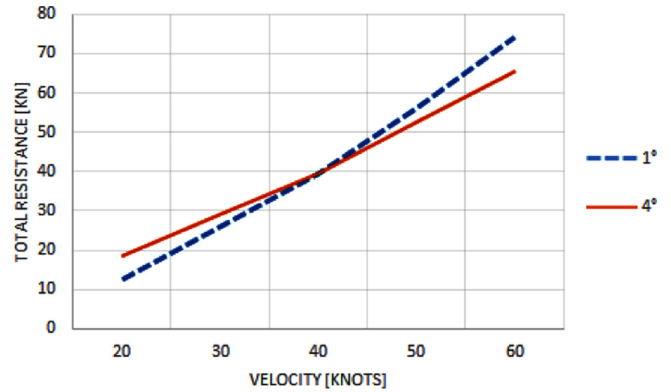
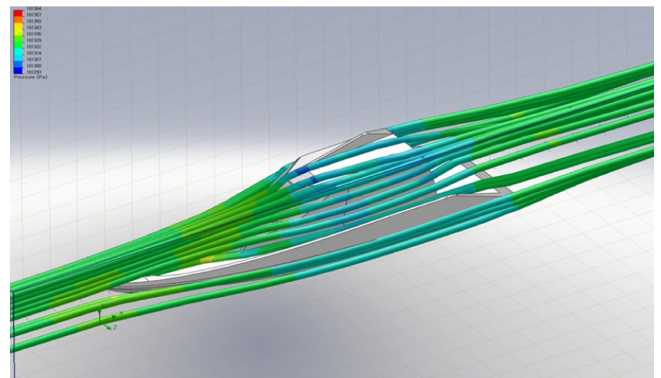
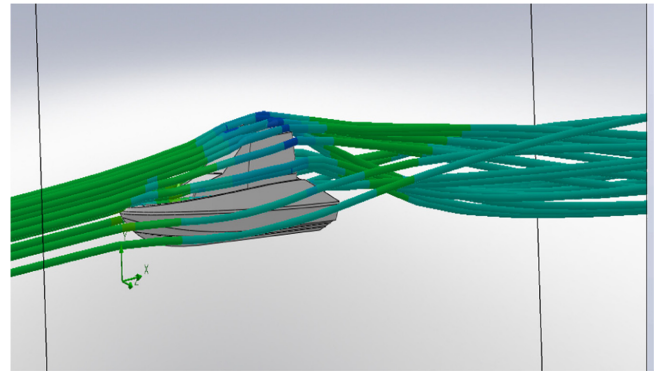


Fig. 5. Total resistance by tge Savitsky's formukar.



(a)



(b)

Fig. 6. (a) Distribution of streamline at trim 1°, (b) distribution of streamline at trim 4°.

이것을 살펴보면, 점선은 트림각 1°, 실선은 트림각 4°인 경우인데, 속도가 증가할수록 전저항이 증가하고 있음을 알 수 있다. 속도가 20 Knots에서 40 Knots까지 증가할 때는 트림각이 4°인 경가 전저항이 약간 크고, 속도가 40 Knots이상에서 60 Knots에서는 트림각이 1°인 경우가 전저항이 다소 크게 나타났다.

이것은 전저항에서 마찰저항이 차지하는 비율이 일반적으로 60%가 넘는데 마찰저항은 침수표면적에 비례하므로 트림각이 커지면 침수표면적이 감소하여 마찰저항이 감소하였기 때문으로 판단된다.

다음 Fig. 6(a)와 (b)는 각각 트림 1°와 4°상태에서 선체 주변 유선분포를 나타낸 것이고, Fig. 7(a)와 (b)는 각각 트림 1°와 4°에서

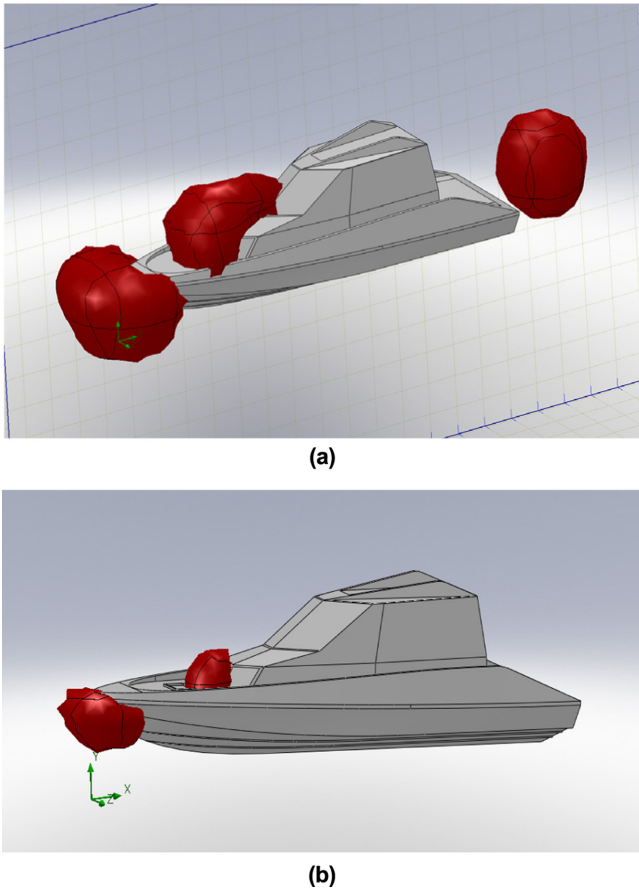


Fig. 7. (a) Distribution of pressure at trim 1°, (b) Distribution of pressure at trim 4°.

선체주위의 압력분포를 나타낸 것이며, Fig. 6(a)와 (b)는 각각 선체부위의 속도분포를 나타낸 것이다.

Fig. 6은 청색이 속도가 빠른 것을 의미하고 Fig. 7은 붉은색으로 표시된 부분이 압력이 높은 것을 의미한다.

이 세 그림을 함께 종합적으로 살펴보면, 같은 위치에서 트림각도가 큰 4°의 경우가 유속이 더 빠름을 알 수 있다. 그 결과 압력은 트림 1°의 경우가 4°에 비하여 높게 나타났으며, 특히 트림 1°의 경우 선수부와 상부구조물 앞부분에서 압력이 매우 높고 유속이 느리며 선미부에서는 Fig. 8를 통하여 알 수 있듯이 박리에 의한 와류의 영향으로 트림 1°의 경우 압력이 높지만 4°에서는 박리현상이 없어지면서 유속이 빨라지고 압력이 낮아짐을 알 수 있다.

다음 Fig. 9는 속도와 트림의 변화에 대한 활주형선의 공기저항을 나타낸 것이다. 모든 속도 구간에서 점선으로 표시된 트림 4°인 경우의 공기저항이 큰 것으로 나타났고, 속도가 증가할수록 공기저항도 함께 증가함을 알 수 있다.

또한 속도 증가에 따른 공기저항 증가율은 트림각이 큰 4°가 더 크고 고속일수록 저항 증가율도 더 커지는 것을 알 수 있다.

다음 Fig. 10은 활주형선의 속도와 트림각도 변화에 따른 영력의 변화를 나타낸 것이다.

이것을 살펴보면, 트림각이 1°인 경우에는 음(-)의 방향 즉 아래

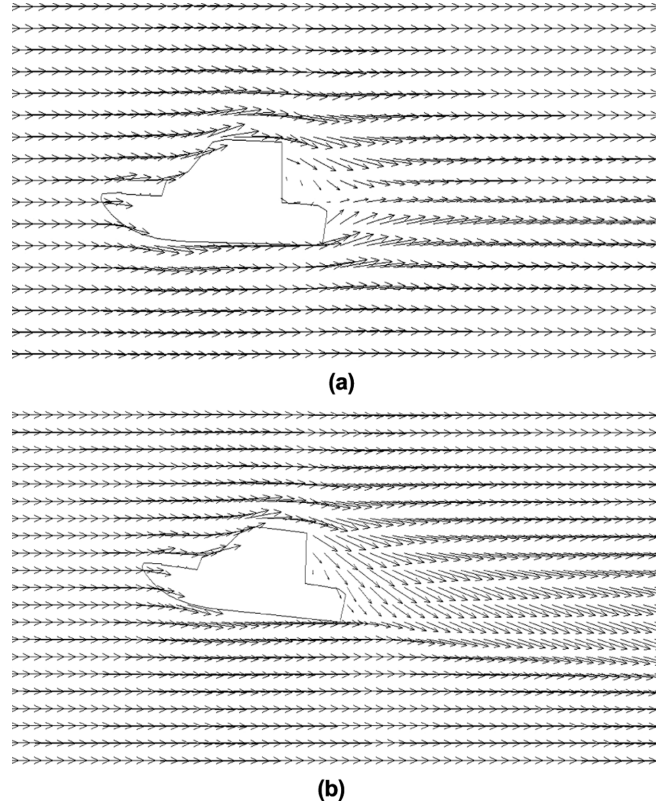


Fig. 8. (a) Distribution of velocity at trim 1°, (b) Distribution of velocity at trim 4°.

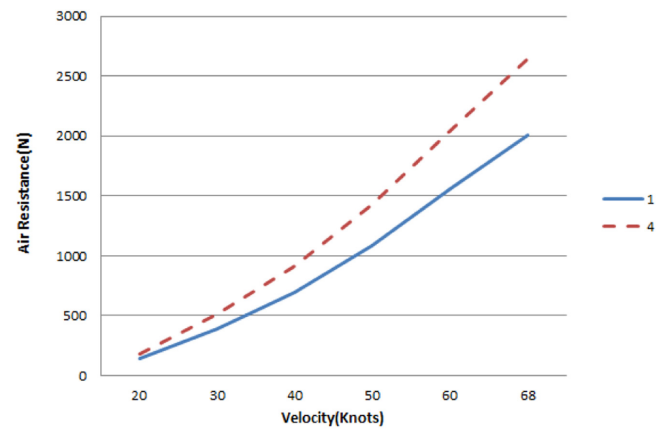


Fig. 9. Variations of air resistance to variations of trim angle and velocity.

방향으로 양력이 작용하며, 속도가 증가할수록 그 값이 약간씩 증가함을 알 수 있다.

그러나 점선으로 표시된 트림각이 4°인 경우에는 속도가 증가할수록 양력이 거의 일정한 비율로 증가함을 알 수 있다. 이것은 앞의 Fig. 7 압력분포에 나타난 것처럼 트림각이 1°인 경우에는 선수와 선미에 높은 압력이 작용하여 선체를 아래로 누르는 방향으로 힘이 작용하기 때문에 판단되며 이 결과 침수표면적이 증가하여 마찰저항이 증가할 것으로 예상된다. 따라서 활주형선은 저항을 줄려면 적당한 선미트림상태로 주행할 필요가 있다.

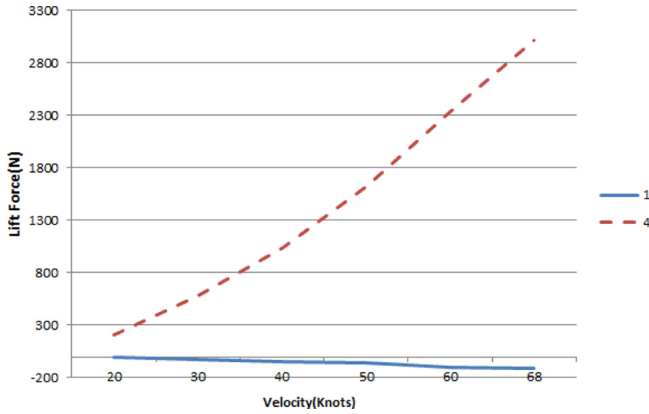


Fig. 10. Variations of lift force to variations of trim angle and velocity.

4.2 실험결과 및 고찰

풍동실험에서 획득한 모형선의 공기저항과 양력을 다음 식 (3)에 대입하여 실선의 공기저항과 양력을 구했다. 이 때 필요한 공기 온도와 압력 등은 Table 4를 이용하였다.

$$\frac{R_s}{R_m} = \left(\frac{\rho_s}{\rho_m}\right) \left(\frac{V_s}{V_m}\right)^2 \left(\frac{L_s}{L_m}\right)^2 \quad (3)$$

여기서

ρ : 밀도[kg/m³]

V : 속도[m/sec]

L : 길이[m]

그리고 하첨자 s는 실선이고 m은 모형선을 의미한다.

다음 Fig. 11은 풍동실험 결과 획득한 모형선의 공기저항을 식 (3)을 이용하여 구한 실선의 공기저항을 나타낸 것이다.

이것을 살펴보면, 속도가 증가할수록 공기저항이 증가하고, 트림 각이 클수록 공기저항이 크게 발생하는 것이 이론해석결과와 경향이 유사함을 알 수 있다. 그러나 좀 더 세밀하게 살펴보면 트림각이 1°인 경우에는 실험결과값이 이론해석결과의 절반정도이며 속도가 높아질수록 절반을 조금 넘는 공기저항이 발생함을 알 수 있

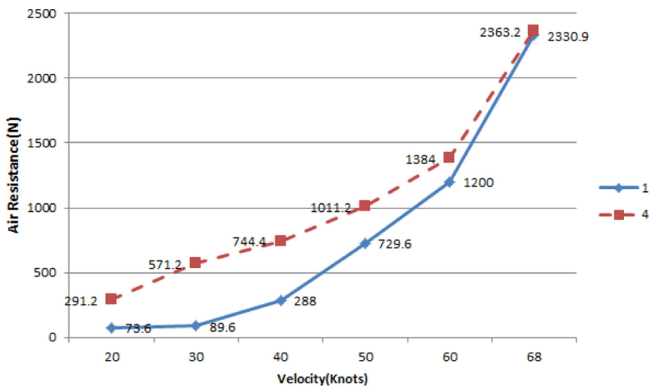


Fig. 11. Variations of air resistance to variations of trim angle and velocity.

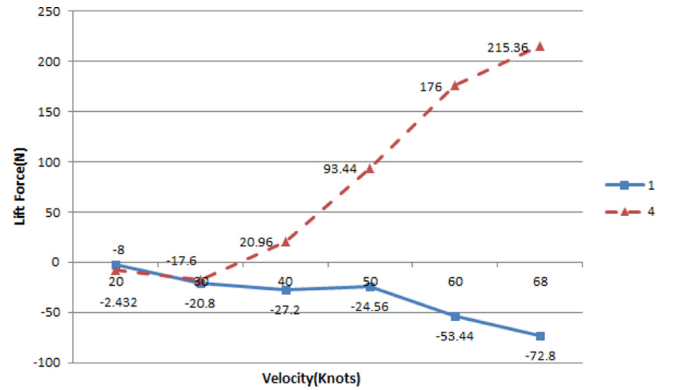


Fig. 12. Variations of lift force to variations of trim angle and velocity.

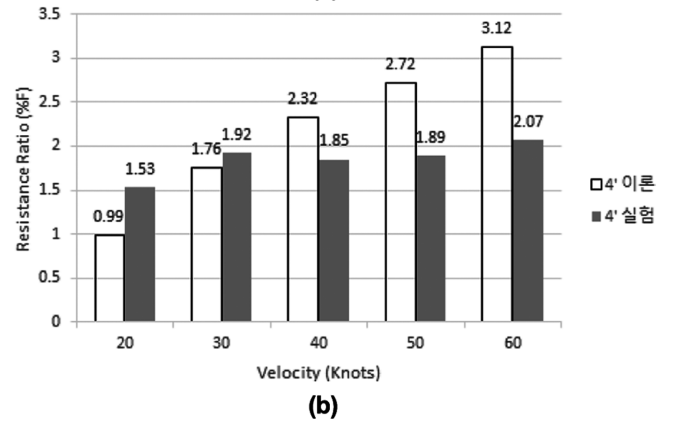
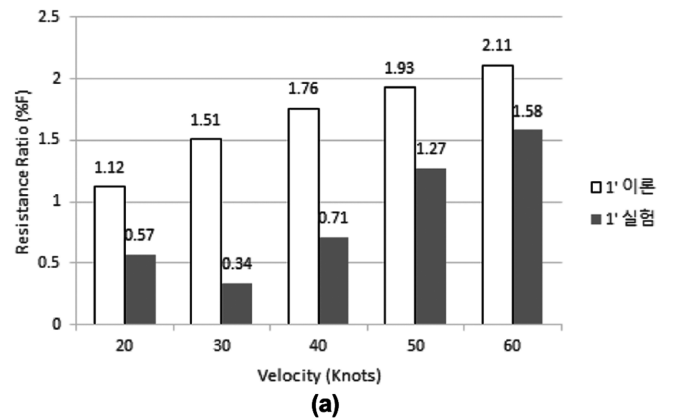


Fig. 13. (a) Air resistance to total resistance ratio at trim 1°, (b) Air resistance to total resistance ratio at trim 4°.

다. 또 트림각이 4°가 되면, 거의 비슷한 값을 가지다가 고속에서 실험값이 이론해석 값보다 많이 적게 나타나는 것을 알 수 있다.

다음 Fig. 12는 속도와 트림각도 변화에 대한 활주선의 양력을 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 이론해석 결과와 유사하게 트림각도가 1°인 경우에는 음(-)의 값을 갖는 양력이 속도 증가와 더불어 같이 커지는 현상이 나타났고, 트림각도가 4°인 경우에는 속도가 20 Knot와 30 Knot에서는 음(-)의 양력이 발생하였으나 속도가 40 Knot 이상이 되면 양(+)의 양력으로 회복되어 속도가 증가할수록 양력이 증가하는 것을 알 수 있다.

양력의 절대값은 대체로 이론해석 결과값이 실험결과 값보다 크게 나왔다. 이상의 이론해석과 실험결과 의 절대적 수치는 다소 차이가 나지만 트림각도 1°에서는 음의 양력이 발생하고 트림각도 4°에서는 양의 양력이 발생한다는 일치된 결과를 확보할 수 있었다.

4.3 전저항에 대한 공기저항의 비율

다음 Fig. 13(a)와 (b)는 각 트림각도 1°와 4°에서, 전저항에 대한 공기저항을 백분율로 나타낸 것이다. 이것을 살펴보면 이론해석 결과는 최저 10%에서 최고 31%이고, 실험결과는 최저 3%에서 최고 21%로 나타났다. 평균값을 구해 보면, 트림각도 1°에서 이론해석 결과는 1.7%, 실험결과는 0.99%였고, 트림각도 4° 상태에서는 이론해석 결과에 대해서는 2.2%, 실험결과에 대해서는 2.4%였다. 이 값들은 속도가 40 Kmot일 때의 비율에 가장 가까운 것을 알 수 있다.

4.4 유효마력 계산

유효마력 계산에 필요한 저항은 식 (1)의 Savitsky공식을 이용하여 구한 저항에 이론해석결과로부터 구한 공기저항을 합산한 값을 사용하였다. 따라서 유효마력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{유효마력} &= (\text{EHP:KW}) = \text{전저항}(R_{it}; \text{KN}) \times \text{선박속고}(m/sec) \\ &= 40.41 \text{ KN} \times 20.563 \text{ m/sec} = 830.973 \text{ KW} \end{aligned}$$

5. 온실가스 배출

선박으로부터 배출되는 온실가스에 대한 규제는 국제해사기구(IMO) 산하단체인 해양환경보호위원회(MEPC)에서 두 자기로 나누어 실행 계획을 세웠다. 하나는 신조 선박의 설계 단계부터 적용되는 에너지 효율지수 EEDI(Energy Efficiency Design Index)이고, 또 다른 하나는 바다를 항행중인 운항선박에 대하여 적용되는 에너지 효율지수 EEOI(Energy Efficiency Operational Indicator)이다(MEPC, 2009). 본 연구에서는 이 중에서 EEDI를 중심으로 해양레저용선의 온실가스 배출에 대하여 살펴보았다.

5.1 EEDI 개념 및 관계식

EEDI의 개념은 다음 식 (4)과 같이 표현된다. 분자에 표기된 것은 단위 시간당 CO₂ 발생량을 (g)으로 나타낸 것이고, 분모는 화물 운송능력 즉 재화중량톤수와 속도의 곱으로 되어 있다.

$$\text{EEDI} = \frac{\text{CO}_2 \text{ emission}}{\text{Transport work}} \tag{4}$$

위의 식 (4)의 개념을 관련 인자들을 사용하여 좀 더 구체적으로 수식화한 것이 다음 식 (5)와 같다(MEPC212(63), 2012).

$$\text{EEDI} = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE}) + \left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{\#ff} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} SFC_{ME} \right)}{f_i \text{Capacity} V_{rew} f_w} \tag{5}$$

여기서

$$\prod_{j=1}^M f_j: \text{채빙 등 특수 경우의 CO}_2 \text{ 발생량}[\text{g/hr}]$$

$$\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}: \text{주기관에 의한 CO}_2 \text{ 발생량}[\text{g/hr}]$$

$$(P_{AE} C_{FAE} SFC_{AE}): \text{보조기관에 의한 CO}_2 \text{ 발생량}[\text{g/hr}]$$

$$\left(\prod_{j=1}^M f_j \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{\#ff} f_{eff(i)} P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} SFC_{AE}: \text{에너지 재활용에 의한 CO}_2 \text{ 배출 감소량}[\text{g/hr}]$$

$$- \sum_{i=1}^{\#ff} f_{eff(i)} P_{eff(i)} C_{FME} SFC_{ME}: \text{에너지 저감장치에 의한 CO}_2 \text{ 배출 감소량}[\text{g/hr}]$$

f_w : 선종에 따른 속력 저감계수

capacity: 운송화물중량[Ton]

V_{ref} : 연속최대출력(MCR)에서의 최대속력[NMile/h]

5.2 EEDI를 이용한 해양 레저용 활주형선의 온실가스 배출량 계산

앞에서도 언급했듯이 EEDI는 총톤수 400톤 이상의 선박에만 적용된다. 그런데 해양 레저용 활주형선은 크기가 매우 작기 때문에 이 규정에 적용을 받지 않는다. 그러나 이러한 레저용선과 어선과 같은 소형 선박이 연안에서 운행되고 또 크기에 비하여 온실 가스 배출량이 많을 것으로 예상되므로 이에 대한 논의가 어떤 형태로든 이루어져야한다는 측면에서 다소 무리가 있지만 계산을 수행하였다.

먼저 앞의 식 (5)에서 분자에 있는 항목 중에서 이 활주형선의 특성을 고려하면 두 번째 항 즉 주기관에 의한 CO₂ 발생량을 고려하면 된다. 이 두 번째 항 $\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} C_{FME(i)} SFC_{ME(i)}$ 에서 $P_{ME(i)}$ 는 주기관의 최대연속출력 MCR을 나타내는 인자이다. 이 값은 식 (1)을 이용하여 구한 전저항에 이론해석 결과로 확보한 공기저항을 더한 값에 선박의 속도를 곱하여 계산한 유효마력을 기준으로 시판 중인 기관의 사양을 근거로 이 값의 75%로 결정하였는데, 370 PS 디젤 엔진 3기를 장착하는 것으로 하였다. 다음 인자는 연료의 CO₂ 발생계수인데 Table 5에서 diesel유의 값을 사용하였다(MEPC, 2008).

마지막 SFC는 엔진의 연료소비율(g/kWh)이다. $SFC_{ME(i)}$ 는 엔진의 MCR의 75% 또는 토크율의 75%에서 EIAPP 인증서에 게시된 것을 말한다. SFC_{AE} 는 $SFC_{AE(i)}$ 사이에서 평균으로 책정한 것인데 본 연

Table 5. Carbon content and C_F of fuel

Type of fuel	Carbon content	C_F
Diesel/Gas Oil	0.875	3.206
Light Fuel Oil	0.860	3.151
Heavy Fuel Oil	0.850	3.114
LPG	0.819	3.000
LNG	0.750	2.750

구에서는 예진 제작사에서 제공하는 자료를 사용하여 실제 연료소비율 200 g/KW-hr를 사용하였다.

분모의 속도 저감계수 f_w 는 해상과 파고나 파주기 등을 고려하여 해상조건에 따른 속도감소를 나타내는 계수로서 1.0으로 하였고, 화물중량 capacity는 레저용 활주형선의 선체중량과 기관 및 의장품 그리고 승선인의 체중 등을 고려하여 결정할 수밖에 없었다. 그리고 V_{ref} 는 활주형선의 MCR 75%에서의 속도(NMile)를 말한다.

5.3 온실가스 배출에 대한 결과 및 고찰

선박설계 단계에서 설계선이 배출하는 온실가스, 즉 CO₂배출량을 계산하려면 국제해사기구(IMO)에서 제공하는 EEDI에 대한 규정을 이용하여야 한다. 이 규정은 총톤수(G/T) 400톤 이상의 선박에 적용되므로 본 연구에서의 설계선인 7톤급 해양 레저용 활주형선에는 적용할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 식 (5)의 EEDI공식을 적용하여 먼저 활주형선의 CO₂배출량을 계산하고 이 계산 결과를 검증하기 위하여 같은 방법으로 DWT 115,000톤의 AFTAMAX급 원유운반선의 CO₂배출량 I과 EEDI를 계산하고 각각 산출된 CO₂배출량을 각 선박의 연속최대출력(MCR)의 75%로 나누어 단위 시간당, 단위출력(KW)당 CO₂배출량(g/KW-hr)를 구하였다.

이 계산 결과를 보면 본연구의 설계선은 CO₂배출량이 1,068 g/KW-hr, 원유운반선은 545 g/KW-hr이었는데, 설계선인 해양레저용 활주형선이 원유운반선보다 거의 2배로 많은 CO₂를 배출하고 있음을 알 수 있다.

그 원인은 우선 해양레저용 활주형선 엔진의 연료소비율이 원유운반선의 연료소비율보다 높기 때문으로 판단된다.

다음 Fig. 14는 식 (5)를 이용하여 해양레저용선의 EEDI를 구한 것을 참고로 나타낸 것이다. EEDI공식이 큰 선박 위주로 제정되었기 때문에 배수량이 작고 속도가 빠른 선박에는 그 수치적 값은 의미가 없으나 속도가 증가하는 즉 운송능력이 증가하면 EEDI 값이

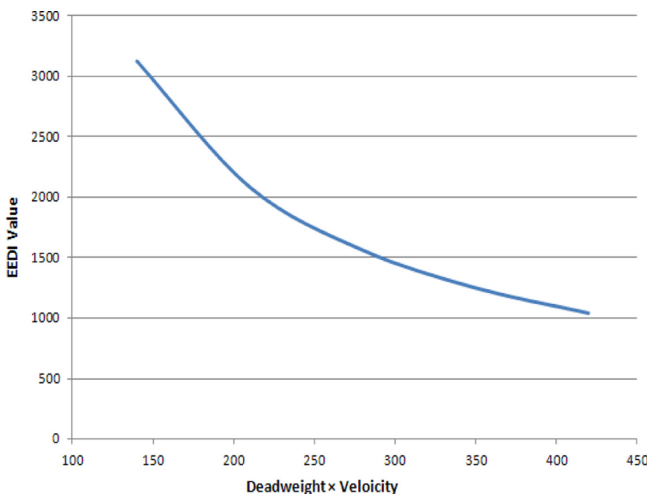


Fig. 14. CO₂ emission based on EEDI.

감소하는 경향은 유사하다.

이것을 살펴보면 설계조건상의 속도인 40 Knots에서 EEDI가 1,700 g/Ton-NMile 인데, 원유운반선의 EEDI는 4.1로서 설계선이 무려 414배 크다. 따라서 단위 출력 당 CO₂ 배출비와 유사한 값의 EEDI를 구할 수 있는 공식의 제안이 필요하다고 생각한다. 그 한 방안으로 EEDI 공식의 분모에 환산계수를 곱하는 것을 제안한다.

설계선의 EEDI 값을 기준값(Base line)과 비교하여야 하지만 기준값의 계산에 필요한 각종 계수들이 본 연구의 설계선 선종과 주요치수에 해당하는 내용이 없어서 구하지 못 했고, 대형선박의 계수를 이용하여 구하는 것은 의미가 없다고 판단되어 Fig. 14에 표기하지 않았다.

6. 결 론

해양 레저용 활주형선의 공기 역학적 특성이 저항에 미치는 영향과 온실가스 배출에 대하여 이론해석과 실험을 통하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 활주형선의 속도가 증가하면 전저항은 증가하고, 같은 속도에서는 트림각도가 1°에서 4°로 증가하면 전저항은 침수표면적의 감소로 인한 마찰저항의 감소로 인하여 감소하였다.
2. 활주형선 주변의 유동해석 결과, 트림각도 1° 상태에서 선수부 전단 윗부분과 선미부 후단 윗부분에서 주위보다 높은 압력이 발생하는 영역이 존재하는 것을 확인하였는데, 트림각도가 4°로 커지면, 선수부에서 압력이 높게 형성되었던 영역이 좁아졌고, 선미부에 높게 형성되었던 압력은 사라진 것으로 확인되었다. 동시에 선미에 발생했던 와류도 트림각도가 4°로 커지면서 약해진 것을 확인할 수 있었다.
3. 선박의 활주에 의하여 양력이 발생하는데, 트림각도가 1°인 경우에는 거의 모든 속도에서 양력이 음(-)의 방향 즉 아래방향으로 작용하였으나, 트림각도가 4°가 되면 양력은 양(+)값을 갖게 되고 속도가 증가할수록 양력이 커지는 것으로 이론해석과 실험결과 동일하게 나타났다.
4. 활주형선에 발생하는 공기저항은 이론해석 결과값이 실험값보다 다소 크게 나타났고, 속도가 증가하면 공기저항은 증가하는 것으로 밝혀졌다. 그리고 전저항에 대한 공기저항의 비율은 속도와 트림각도에 따라 다소 다르지만 평균 2.3%가 되는 것을 확인할 수 있었고, 이 값은 속도가 40 Kmots인 경우의 공기저항 비율과 비슷하였다.
5. 전장 14 m, 설계요구조건상 속도 40 Knots인 해양 레저용 활주형선으로부터 배출되는 온실가스(CO₂) 양은 1,068 g/KW-hr로 DwT 115,000톤 AFRAMAX급 원유운반선의 온실가스 배출량보다 약 2배로 나타났다. 그러나 EEDO는 설계선이 원유운반선 보다 414배 큰 것으로 계산결과 확인되었다. 따라서 소형선의 EEHI를 계산할 수 있는 공식을 제정하기 위한 연구와 노력이 활발해지기를 기대한다.

후 기

이 논문은 2010학년도 학술연구진흥비에 의하여 수행된 실적물입니다. 학교당국과 논문작성에 도움을 주신 모든 분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Umesaburo Kawahara, Katsuo Suzziki, Kazuki Yabushita, 1993, "Resistance Test Method for High-Speed Boats by Using a Trim Fixed Type of Dynamometer", J. Kansai Soc. N. A., Japan, No. 220, pp. 219-232.
- [2] Daniel Savitsky, 1964, "Hydrodynamic Design of Planing Hulls", Marine Technology, pp. 1-38.
- [3] Yoshiho Ikeda, Gen Nishida, Toru Katayama, Yoshinori Yamaguchi, Jiro Niina, Takeru Oshima, 1996, "Development of an Experimental Method to Assess the Performance of a High Speed Craft (The 2nd report)", J. Kansai Soc. N. A., Japan, No. 226, pp. 262-269.
- [4] Koichi Mori, 1998, "Drag Characteristic of High Speed Small Boat", J. Kansai Soc. N. A., Japan, No. 230, pp. 319-329.
- [5] H. Wagner, 1990, "The Phenomena of Impact and Planing on Water", NACA Translation, 1366, ZAMM, August.
- [6] IMO, 2003, A.963 (23), "IMO Policies and Practices Related to the Reduction of Greenhouse Gasses Emission for Ships", Dec.
- [7] MEPC/Circ 684, 2009, "Interim Guide for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)", 17b Aug.
- [8] MEPC/Circ 683, 2009, "Guidance for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)", 17, Aug.
- [9] MEPC58/WP 8, 2008 "Report of the Working Group on Greenhouse Gasses Emission for Sgips, 9, Oct.
- [10] MEPC212 (63), 2012 "2012 Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (Eedi) For New Ships", 2, Mar.

2013년 7월 11일 원고접수

2013년 8월 12일(1차), 8월 19일(2차) 심사수정일자

2013년 8월 20일 게재확정일자