



2015년 8월

박사학위 논문

공기저항을 고려한 고속 경비정 개발에 관한 연구

On the development of high speed Patrol Boat Considering of Air resistance

조선대학교 대학원 선박해양공학과

조 경 훈



공기저항을 고려한 고속 경비정 개발에 관한 연구

2015년 8월 25일

조선대학교 대학원

선박해양공학과

조 경 훈



공기저항을 고려한 고속 경비정 개발에 관한 연구

지도교수 이 귀 주

이 논문을 공학박사학위 신청 논문으로 제출함 2015년 4월

조선대학교 대학원

선박해양공학과

조 경 훈



조경훈의 박사학위논문을 인준함

위문	관장	조선대학교	교수		박	제	Ю	(인)
위	원	조선대학교	교수		0	귀	주	(인)
위	원	조선대학교	교수		안	덕	명	(인)
위	원	거창대학교	교수		좌	순	원	(인)
위	원	DET NORSKE	VERITAS	,)				
		AS	검사관		김	경	화	(인)

2015년 6월

조선대학교 대학원



목 차

제1장 서론
제1절 연구 목적
제2장 100톤급 고속 경비정 선정 5
제1절 기본 조건
제3장 고속 경비정 선형의 유체역학적 성능시험 … 7
제1절 시험 조건
제2절 유체역학적 성능분석9
제3절 유체역학적 성능분석 결과 12
제4장 수치해석의 의한 선형분석 13
제1절 수치해석 조건
제2절 수치해석 결과 15
제5장 수치해석에 의한 상부구조물 공기저항성능 분석 ·· 16
제1절 상부구조물 설계 16



제2절 거	주구 주위 유동해석	18
제3절 유	동해석 결과	24
제6장 결	론	35
APPENDIX		38
APPENDIX		73
참고문헌		81



ABSTRACT

On the development of high speed Patrol Boat Considering of Air resistance

Cho, kyeong hoon Advisor : Prof. Lee, Kwi-Joo, Ph.D. Departmant of Naver Architecture & Ocean Enginnering Graduate School of Chosun University

'The United Nations Agreement in Law of the Sea' which was come into effect in 1994 defines the oceanic jurisdiction for all nations. It established the principle of a 200-nautical mile limit on anation's exclusive economic zone (EEZ) where by a nation controls the undersea resources, primary fishing and seabed mining for a distance of 200 nautical miles from its shore. In case of declaration, a solution should be approached fairly by mutual consent that makes a border if the EEZ overlaps with other countries.

In this study, a plan for improve of resistance performance which 100ton class high speed patrol boat

- 1) select the primary 100ton class high speed patrol boat
- 2) Model test in towing tank for check the performance of primary



100ton class high speed patrol boat

3) Using CFD code Shipflow, check the wavefattern, pressure distribution and Total resistance (compare with model test)

4) Using DNS, check the air resistance of primary 100ton class high speed patrol boat

5) Design of new Deck house (change the attack of angle 30° , 45° , $30^{\circ}+45^{\circ}$)

6) Using DNS, check the air resistance and flowpattern around the deck house (3 Case)

7) Calc. the Total resistance and compare the each cases.

8) Conclusion



제 1장 서론

제1절 연구 목적

1994년 발효된「해양법에 관한 국제연합협약」은 영해의 폭을 12해리로 확정하였고, 기존의 대륙붕 개념을 근본적으로 변화 시켰다. 이 법에 의하 면 연안국은 영해 외측에 200해리 배타적 경제수역(EEZ : Exclusive Economic Zone)을 설정할 수 있으며, 우리나라의 배타적 경제수역은 서쪽으 로는 중국과, 동쪽으로는 일본과 중첩되며, 제주도 남쪽으로는 중국 및 일 본과 중첩되는 북태평양 서쪽 내만에 위치하고 있다.

또한, 우리나라를 포함한 3국의 연안 해역은 어족자원이 풍부한 세계 4대 어장임은 물론이고, 석유, 천연가스 등 해저 광물자원의 매장이 유력한대륙 붕이기도 하며, 동북아시아는 역사적. 지리적으로 인접한 관계로 러. 일 간 의 북방 4개 섬 문제, 중. 일 간의 조어도(센카쿠열도) 문제 그리고 한. 일 간의 독도 문제 등 치열한 해양 영토 분쟁이 계속되고 있거나 분쟁의 소지 가 있어 상호 국력이 상충되는 지역이다.

이러한 상황에서 신 한.일 어업협정은 1996년 8월 협상이 시작되어 1998 년 11월 11일 서명, 1999년 1월 22일 발효되었으며, 한. 중 어업협정도 2000년 8월 3일 서명, 2001년 6월 30일 발효되어 한반도 주변수역의 새로운 어업질서가 형성되었다. (Fig. 1 한.중.일 어업협정 수역도)





Fig.1 한.중.일 어업협정 수역도

한. 중. 일 간의 어업 협정 이후, 지난 2005년 5월31일 일본 순시선이 부 산시 기장군 대변항 동쪽 49.6㎞ 해상에서 조업하던 장어 잡이 통발어선 502신풍호가 일본 EEZ를 침범했다며 나포를 시도, 한국 어선의 형사 관할권 을 두고 이틀간 대치한 사건이 발생하였으며, 우리나라 EEZ 내에서 불법 조 업을 하는 중국어선의 빈번한 출현과 함께 NLL(북방 한계선)의 침범 또한 빈번하게 발생하고 있다 (Fig.2 Table 1 불법 중국어선 단속 현황 참조).



Fig.2 불법 중국어선 단속 현황



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
중국어선 단속 총계	584	522	494	432	381	370	534	467	487
EEZ해역 단속건수	508	472	438	391	332	327	504	426	447
NLL해역 단속건수	76	50	56	41	49	43	30	41	40

Table 1 중국어선 총단속건수 [단위 : 척]

출처 : 해양경찰청 (내부행정자료)

이러한 시점에 일본과 중국에서는 자국의 영해 안보 차원에서 신형 고속 경비정개발과 건조를 지속적으로 추진하여 오고 있다.

우리나라와 독도 영유권 분쟁을 벌이고 있는 일본의 경우 최근까지는 연 안에서의 각종 해상범죄에 대한 감시활동을 위하여 기동성이 뛰어난 총톤수 3~5톤 규모의 소형고속정을 주로 건조하여 왔으나, 최근 들어서는 각종 장 비를 탑재하여 실질적인 경비 활동을 위한 중 대형급 선박들을 지속적으로 건조하고 있다.

2001년 이후 2005년까지 총톤수 약 220톤, 3기의 물분사 추진장치를 장착 한 최대 속력 40노트 이상의 고속 특수 경비정 PS201~PS206 6척을 건조하여 운항하고 있다. (Table 1-2, Fig. 1-2) 본 선박의 척 당 건조비는 약 225억 원(23억엔) 규모로 유사시 피해확대방지가 가능한 Damage Control System을 채용하고 있으며, 20mm 다총신 기관포를 갖추고 있다.[3]

일본의 경우는 막강한 경제력을 바탕으로 자위대와는 별도로 해상보안청 에서 최신 경비정을 지속적으로 건조하고 있으며, 이는 우리나라에 큰 위협 으로 다가오고 있다. 우리나라와 서남해안에서 부딪치고 있는 중국의 경우, 순시선에 대한 자 세한 정보는 베일에 가려져 있으나, Huludao급(만재배수량 180톤), Haiguan 901급(435톤), Haiguan 801급(98톤)이 주력이고, 최근에는 전장 100m급의 고속선이 상당수 배치된 것으로 전해진다[1]. 현재 각종 순시정을 1000척 이상 보유하고 있으나, 대부분 200 ~ 400톤 규모로 추정되고 있다.

주변 국가들의 이러한 적극적인 활동에 대응하여 우리나라에서도 EEZ 해 역의 해양주권 수호를 위해서는 고속 경비정의 확보 및 보급이 시급한 형편 이다.

이러한 상황 속에서 이웃한 일본 및 중국의 변화에 대응하기 위해서는 규 모 및 성능 면에서 더욱 연구, 개발해야 할 것이다.

본 논문은 향후 연안뿐만 아니라 근해에서도 운용될 수 있는 대형화된 고 속 경비정의 수요가 점차 증대될 것에 대비하여 상부구조물의 공기역학적 저항성능을 분석하는데 그 초점을 맞추었으며 대상으로 100톤급 경비정의 초기선형 선정하고 기 개발된 선형의 기본성능은 고속회류수조에서의 모형 시험을 통하여 확인하였다. 또한 전산 유체 역학(Computational Fluid Dynamics : CFD)을 이용하여 선형의 유동분석을 실시하여 모형시험 결과와 의 비교를 수행하였고 이와 더불어 상부구조물의 공기역학적 특성을 DNS Code를 이용하여 분석, 선형과 상부구조물 해석 결과를 합하여 그 특성을 비교 분석하였다.



제2장 100톤급 고속 경비정 선정

제1절 기본 조건

본 연구는 고속 경비정의 항주 시 상부 구조물에 의해 발생하는 공기저항 을 분석하는데 그 의의를 두고 있으며 그 대상으로 국내에서 보유하고 있는 기존의 최신 경비정을 기준으로 선정하였다.



Fig.3 고속경비정의 저항성분



Fig.4 고속경비정



선정된 100톤급 고속경비정의 주요제원과 도면은 다음과 같다.

	주요제원
L [m]	25.000
B [m]	6.100
D [m]	3.200
Af [m2]	26.442
Aw [m2]	450.237

Table 2 Principal Dimensions



Fig.5 고속경비정 LINES



제3장 고속경비정 선형의 유체역학적 성능시험

제1절 기본 조건

유체역학적 성능시험은 러시아 Krylove 연구소의 운동성능 시험 수조에서 수행되었으며 수조의 주요 제원은 다음과 같다.

- Length : 89m

- Width : 20m

- Water depth : 4m

- Max. carriage speed : 5m/s

유체역학적 성능시험은 선체의 저항 및 운동시험 수행하였으며 SKEG와 Bilge keel을 부착한 상태에서 실선속도 0, 10, 15, 30knot 속도에서 수행 하였다.

모형시험 상태는 Table 3에 보인바와 같고 모형시험 중 아래와 같은 사항 들을 계측하였다.

- Wave profile

- Trim or roll

- Sinkage of center of model mass

- Vertical accelerations

- Total resistance



	Model		
Wetted length	2.76 m		
Displacement	0.0726 t		
LCG from Frame 0	1.142 m		
Draught	0.129 m		
Trim at rest	0		
Meta center height	0.0715 m		
Pitch moment of mass inertia	0.0345 t*m ²		
Roll moment of mass inertia	0.00156 t*m ²		

Table 3 Test Load Conditions

운동 성능시험 중 해상 상태는 Table 4에 보인바와 같다.

Sea State	Significant wave height (Mean of range), h _{1/3} ,m	Most probable modal (peak) wave period,T _P , s		
3	0.88	7.5		
4	1.88	8.8		
5	3.25	9.7		

Table 4 Sea State Data



제2절 유체역학적 성능분석

정면파에서 0, 10, 15knot의 세 속도에 대해 Pitch와 Heave, Fr.10과 20 에서 Vertical Acceleration, 그리고 부가저항과 측면파에서 정지 상태에서 Heave와 Roll, Fr.10의 중앙과 우현에서 Vertical Acceleration 값을 계측 하였으며 이 계측값을 Table 2.1~2.8에 각각 수록하였다.

운동시험에서 계측한 값들을 정리한 그림에 대한 설명은 아래와 같다.

Head Sea

- Heave of center of mass response amplitude operator (heave of center of mass amplifier-frequency response)

$$\left| \Phi_{\zeta}(\omega) \right| = \frac{2\zeta}{h}$$

- Heave of center of mass phase-frequency responses $\delta_z(\omega)$
- Pitch response amplitude operator (pitch amplifier-frequency response) in view $\frac{\Psi}{a}$

$$\left|\Phi_{\psi}(\omega)\right| = \frac{\omega^2}{g}\frac{\psi}{\alpha}$$

- Pitch phase-frequency response $\delta_{arphi}(\omega)$
- Vertical accelerations at Fr.10 at CL response^{2a_{i0}} amplitu de operator (vertical accelerations amplifier-frequency response)



- Vertical accelerations at Fr.20 at CL response amplitude operator (vertical accelerations amplifier-frequency response)

$$\frac{2a_{20_CL}}{gh}$$

 Additional wave resistance response amplitude operator (addition wave resistance amplifier-frequency response)

$$\Phi_{R} = \frac{4R_{AW}(\omega)}{h^{2}}$$

Beam Sea

- Heave response amplitude operator (heave amplifier-frequency response)

$$\left| \Phi_{\zeta}(\omega) \right| = \frac{2\zeta}{h}$$

- Heave phase-frequency response $\delta_{\boldsymbol{\zeta}}(\boldsymbol{\omega})$
- Roll response amplitude operator roll amplifier-frequency response in view $\frac{\Theta}{\alpha}$

$$\left|\Phi_{\theta}(\omega)\right| = \frac{\omega^2}{g}\frac{\theta}{\alpha}$$



- Roll phase-frequency response

$$\delta_{ heta}(\omega)$$

- Vertical accelerations at Fr.10 at CL response amplitude operator (vertical accelerations amplifier-frequency response)

$$\frac{2a_{10_CL}}{gh}$$

 Vertical accelerations at Fr.10 at 3.46from CL to starboard response amplitude operator (vertical accelerations amplifier-frequency response)

$$\frac{2a_{10_stbd}}{gh}$$



제3절 유체역학적 성능 분석 결과

정면파에서 Heave, Pitch 운동과 Vertical Acceleration 해석결과는 Fig.3.1 ~ 3.4에 그리고, 측면파에서 Heave와 Roll운동은 Fig.3.5 ~ 3.8에 수록하였다.

해상 상태별 정면파에서 부가저항 해석결과는 Fig.3.9에, Roll Damping계 수는 Table 3.1, Fig.3.10에 수록하였다. 정수 중 선체 Rolling 계측결 과, 고유주기는 5.37초, 고유주파수(natural frequency)는 1.169 1/s이다.

Deck Wettness 계산결과 Table 3.2와 Fig.3.11~13에 수록되었으며 30노트에서 Vertical Acceleration 추정치는 Table 3.3과 Fir.3.11 및 3.12에 수록하였다.



제4장 수치해석에 의한 선형 성능 분석

제1절 수치해석 조건

고속경비정과 같은 고속선박에 대한 연구로서 정우철 등[]은 CFD code를 이용한 수치해석을 수행한 바 있다. 본 연구에서는 대상선형인 100톤급 고 속경비정 선형의 선체주위 유동장 및 선체저항을 추정하기 위하여 점성유동 해석을 수행하였다. 점성 유동장 계산은 사용 CFD code인 SHIPFLOW를 사용 하였으며 자유수면을 고려하였고 TRIM은 고정하였다. 해석조건은 제3장의 수조시험의 환경과 동일한 것으로 모형시험 결과와 비교가 가능하였다.

SHIPFLOW에서 Potential flow 해석을 위한 Mesh는 Fig. 6과 같이 구성되며 점성유동해석을 위한 Grid는 Fig. 7과 같은 형태를 취한다.



Fig.6 XMESH





Fig.7 XGRID

제2절 수치해석 결과

100톤급 고속 경비정의 45노트에서의 선체 주위 유동장을 CFD code인 SHIPFLOW를 이용하여 해석하였다.

Potential flow 해석을 통해 Fig 6, 7 과 같이 선체 주위 유동장을 해석하 였으며 Viscous flow 해석을 통해 Table 5와 같이 대상 선박의 전저항을 추 정할 수 있다.

 100톤 고속경비정

 전저항 (kg)

 13,286

Table 5 전저항 추정치



Fig. 8 선체 주위 Wave pattern



Fig. 9 Pressure distribution



제5장 수치해석에 의한 상부구조물 공기저항성능 분석

제1절 상부 구조물 설계

거주구 형상에 의한 공기저항의 크기를 비교하고자 주요 변수로서 거주구 전면부의 Angle을 각각 30°, 45°, 30°+ 45°의 3가지 Case를 추가하여 기존 선형의 거주구와 비교하였다. 거주구 측면 형상은 Fig.10에 비교 도시 하였고 Fig. 11,12에 각 거주구를 적용한 측면도, 크기는 Table 6에 비교하 였다. 여기서 Case-4는 기존실적선의 거주구형상이다.



Fig.10 Comparison of Structures (Side View)







Fig.11 Geometry of Case-1 and Case-2







Fig.12 Geometry of Case-3 and Case-4



	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
L [m]	25.000	25.000	25.000	25.000
B [m]	6.100	6.100	6.100	6.100
D [m]	3.200	3.200	3.200	3.200
Af [m2]	26.442	26.442	26.442	26.442
Aw [m2]	442.945	450.573	445.985	450.237

Table 6 Principal Dimensions



제2절 거주구 주위 유동해석

CFD 기술이 개발되면서 선체 주변의 유동은 실제적으로 상당히 정확히 계 산 할 수 있게 되었으며 CFD 기술은 디자인 단계의 선체 형태의 개발에 적 용되었다. 일반적으로 자유표면 아래 배주위의 점성유동은 난류를 모형화한 Navier-stokes 방정식을 이용하여 계산된다. 적합한 난류모형화로 실질적으 로 선체주변의 유동에 대한 정확한 계산결과를 얻게 된다.

이 결과는 실제선박에서 난류 모형화를 증명하는데 어려움이 있기 때문에 실제 선박의 유동이나 선체 부가물의 주위의 유동계산에 제한이 있게 된다.

반면에 난류의 계산을 하는 가장 직접적이고 단순한 접근방법은 이른바 DNS라 불리는 방법으로 평균을 구하거나 난류에 접근하지 않고 직접 Navier-Stokes방정식으로 해결하는 것이다. 이 방법은 선체주위의 점성유동 에 대한 계산으로는 충분해 보이나 유동 매개변수에 대한 격자 크기의 적합 성이 매우 중요하므로 주의를 기울여야 한다.

Kolmogorov의 차원해석에 의하면 DNS를 위한 격자점의 수가 대략 Re9/4가 된다. 여기서 Re는 레이놀드수이고 104의 Re 와 같은 격자수가 약 109만큼 요구된다. 계산에 사용된 좌표계는 Fig.3에 보인바와 같은 직각좌표계이고, 이 좌표계의 원점은 midship, centerline, baseline이 교차하는 점이다.



Fig.13 Coordinate System

DNS 코드는 비록 지금까지 계산시간이 오래 걸리는 단점이 있지만 선체주 위의 점성유동에 대한 계산에 효과적으로 적용되었고 정수 아래의 선체 형 태뿐만 아니라 갑판의 구조물계산에도 좋은 결과를 보내주었다.

거주구에 작용하는 Force Diagram은 Fig.4에 보인바와 같으며 이 그림에서 R, Rx, Ry는 global coordinate system이고, x, y는 local coordinate system이다.



Fig.14 Coordinate System of Force

본 계산을 수행하기 위하여 다음과 같이 격자를 구성하였다.

X방향 : 247 , Y방향 181 , Z방향 108

상기 격자 구성으로부터 총 480만개의 격자가 생성되었으며 거주구 주위 는 섬세한 격자로 구성하였다. 격자도는 Fig.15 및 Fig.16에 나타내었다.





Fig.15 Grid Distribution of Flow Domain Around the Structures (Side View)





Fig.16 Grid Distribution of Flow Domain Around the Structures (Top View)



제3절 유동해석 결과

선속 30노트 및 45노트에서 계산을 수행하였으며 계산결과 중 시간별 Fx, Fy는 Fig.17~18에 도시하였다.

표기된 T는 시간을 무차원화 한 값으로 다음식과 같이 유입속도를 배의 길 이로 나눈 값이다. 즉, 1.0 T의 의미는 유입 유동이 배의 길이를 지나는 시 간을 의미한다.

$$T = t(\sec) \frac{V(m/\sec)}{L(m)}$$





Fig.17 Convergence of Forces Acting on Structures (Vs=30 knots)





Fig.18 Convergence of Forces Acting on Structures (Vs=45 knots)



계산결과 중 백터 분포도는 Fig.19 부터 24에 도시하였으며 이 그림 중 contour 유입유동을 x방향으로 무차원화한 값이다.



Fig. 19 Velocity Distribution (Encounter Angle=0 deg)




Fig.20 Velocity Vector (Encounter Angle=0 deg)





Fig.21 Velocity Distribution (Z=5.0m, Encounter Angle=30 deg)





Fig.22 Velocity Distribution (Z=5.0m, Encounter Angle=30 deg)





Fig.23 Velocity Vector (Z=5.0m, Encounter Angle=30 deg)





Fig.24 Velocity Vector (Z=5.0m, Encounter Angle=30 deg)



45노트 경우 Cx값 계산결과는 Fig.15에 비교 도시하였으며 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 전진방향의 항력은 Case-2와 Case-3가 유사한 것으로 나타났다.



Fig.25 Comparison of Cx (Vs=45knots)

계산 결과 값은 Table 2 및 3에 보인바와 같으며 이 표에서 Cf , Cx, Cy 및 Rxf는 다음 식에 의해 계산되었다.

$$\begin{split} C_{f} &= 0.075 (\log(Rn-2))^{-2} \\ R_{xf} &= \frac{C_{f}}{\frac{1}{2} \rho V^{2} A_{W}} \\ C_{x,y} &= \frac{R_{x,y}}{\frac{1}{2} \rho V^{2} A} \end{split}$$



	Case	- 1	Case	Case - 2		Case - 3		Case - 4	
Vs [knots]	30	45	30	45	30	45	30	45	
Rn [E+7]	2.65	3.97	2.65	3.97	2.65	3.97	2.65	3.97	
Cf [E+3]	2.550	2.392	2.65	3.97	2.65	3.97	2.65	3.97	
Rxf [kg]	16,815	35,491	17,104	36,102	16,930	35,735	17,092	36,075	
Rxp [kg]	156,970	350,840	142,106	317,355	144,037	321,724	159,465	356,415	
Rx [kg]	173,785	386,331	159,210	353,458	160,967	357,459	176,557	392,491	
Сх	0.441	0.436	0.404	0.399	0.409	0.404	0.449	0.443	

Table 26 Calculation Results (Encounter Angle=0 deg)

Table 27	Calculation	Results	(Encounter	Angle=30	deg)
----------	-------------	---------	------------	----------	------

	Case	e – 1	Case - 2		Case - 3		Case - 4	
Vs [knots]	30	45	30	45	30	45	30	45
Rn [E+7]	2.65	3.97	2.65	3.97	2.65	3.97	2.65	3.97
Cf [E+3]	2.550	2.392	2.65	3.97	2.65	3.97	2.65	3.97
Rxf [kg]	16,815	35,491	17,104	36,102	16,930	35,735	17,092	36,075
Rxp [kg]	192,846	431,560	207,943	465,490	215,774	483,132	180,829	404,485
Rx [kg]	209,660	467,052	225,048	501,593	232,704	518,867	197,921	440,560
Ry _[kg]	564,364	1,269,819	572,885	1,288,992	571,953	1,286,893	561,792	1,264,032
Сх	0.533	0.527	0.572	0.566	0.591	0.596	0.503	0.497
Су	1.434	1.434	1.455	1.455	1.453	1.453	1.427	1.427



제6장 결 론

본 논문에서는 고속 경비정의 수요 및 기존 경비정의 거주구 개선 수요가 점차 증대될 것에 대비하여 100톤급 고속 경비정의 거주구 개선을 위한 연 구를 수행하였다.

먼저 대상선형의 기본성능은 예인수조에서의 모형시험을 통해 확인하였으 며, 선체 주위 유동장 및 선체 압력 분포 등 세부적인 사항은 CFD code인 SHIPFLOW를 사용하여 선체 부문의 유체역학적 성능을 분석하였다.

또한, 100톤급 고속 경비정의 공기저항에 대한 성능을 파악하고자 DNS방법 을 사용하여 해석하였으며, 거주구 형상에 따른 공기저항을 감소하고자 3가 지 CASE를 설계하여 동일한 방법으로 해석, 비교하였다.

본 연구를 통한 결론은 다음과 같다.

동일속도에서 선체저항이 13,286kg(모형시험기준)이므로 Case-2 및 Case-3인 경우 선체저항이 Table 4의 값을 환산하면 각각 약 2.66%, 2.69%, Case-4(실적선)인 경우 2.95%가된다.

Table 28 Comparison of Air Resistance(Encounter Angle=0 deg)

(단위 : kg)

	Case-1	Case-2	Case-3	Case-4
$R_{\rm P}$	350.8	317.3	321.7	356.4
R _F	35.5	36.1	35.7	36.1
R _{WIND}	386.3	353.4	357.4	392.5



여기서, R_{WIND} 및 R_P는 다음과 같이 계산되었다. R_{WIND} = R_P+R_F R_P = C_X × 1/2pAV2

이를 마력으로 환산하면 각각 약 12ps, 11ps정도이므로 Case-2와 Case-3은 저항 측면에서 거의 동등하며, Case-4(실적선) 대비 우수한 것으 로 나타났으며 이는 고속 경비정 설계 시 거주구 개선을 통한 저항성능 개 선에 큰 영향을 미친다.



< APPENDIX I>

		Head Sea		Beam Sea
ω	$\left \Phi_{\zeta}(\omega) \right = \frac{2\zeta}{h}$ (Vs = 0 kn)	$\left \Phi_{\zeta}(\omega) \right = \frac{2\zeta}{h}$ (Vs = 10 kp)	$\left \Phi_{\zeta}(\omega) \right = \frac{2\zeta}{h}$ (Vs = 15 kp)	$\left \Phi_{\zeta}(\omega) \right = \frac{2\zeta}{h}$ (Vs = 0 kp)
0.664	0.603	0.799	0.851	0.746
0.717	0.521	0.756	0.808	0.729
0.749	0.476	0.680	0.762	0.778
0.785	0.496	0.609	0.658	0.822
0.828	0.476	0.517	0.588	0.882
0.878	0.379	0.423	0.572	0.851
0.907	0.331	0.372	0.537	0.848
0.938	0.248	0.309	0.499	0.897
0.974	0.219	0.279	0.455	0.873
1.014	0.118	0.241	0.403	0.860
1.059	0.050	0.224	0.349	0.817
1.110	0.0028	0.221	0.272	0.849
1.170	0.0011	0.158	0.147	0.874
1.241	0.0074	0.115	0.082	0.780
1.327	-	-	-	0.736
1.433	0.00073	0.065	0.035	0.674

Table 29.a Heave of center of mass response amplitude operator (Regular Wave)



omoga		Head Sea		Beam	1	Follow Sea	Î.
unega	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	0.981	0.951	0.934	1.029	0.987	1.080	1.161
0.634	0.948	0.896	0.867	1.046	0.964	1.169	1.340
0.740	0.889	0.809	0.765	1.068	0.926	1.320	1.597
0.845	0.796	0.684	0.628	1.093	0.872	1.494	1.632
0.951	0.667	0.523	0.475	1.122	0.791	1.395	1.187
1.057	0.500	0.340	0.354	1.150	0.666	0.868	0.572
1.162	0.303	0.168	0.311	1.174	0.475	0.299	0.121
1.268	0.124	0.072	0.171	1.172	0.256	0.082	0.068
1.373	0.146	0.082	0.067	1.116	0.249	0.108	0.057
1.479	0.187	0.080	0.095	0.984	0.322	0.061	0.030
1.585	0.113	0.068	0.150	0.798	0.215	0.022	0.014
1.690	0.018	0.037	0.123	0.610	0.036	0.012	0.008
1.796	0.081	0.037	0.032	0.451	0.104	0.011	0.006
1.902	0.062	0.192	0.091	0.327	0.075	0.008	0.015

Table 29.b Heave of center of mass response amplitude operator (Irregular Wave)



		Head Sea		Beam Sea
ω	$\delta_{\zeta}(\omega)_{, \text{ deg}}$	$\delta_{\zeta}(\omega)_{, \text{ deg}}$	$\delta_{\zeta}(\omega)$, deg	$\delta_{\zeta}(\omega)_{, \text{ deg}}$
	(Vs=0 kn)	(Vs=10kn)	(Vs=15kn)	(Vs=0 kn)
0.664	8.73	351.6	333.4	321.3
0.717	11.35	352.8	336.3	314.6
0.749	-6.80	354.4	337.8	292.6
0.785	-14.20	353.4	336.9	286.8
0.828	8.19	354.7	340.2	294.4
0.878	-1.60	350.4	338.0	276.6
0.907	-7.70	351.1	336.5	258.1
0.938	0.96	342.1	339.1	274.4
0.974	-1.70	333.4	344.8	255.6
1.014	-10.70	313.9	352.3	239.2
1.059	-12.60	312.8	350.3	239.2
1.110	34.28	296.4	346.7	245.2
1.170	175.6	282.8	339.9	236.7
1.241	191.0	275.4	313.0	232.3
1.327	-	-	_	185.4
1.433	51.19	229.7	235.4	186.6

Table 30.a Heave of center of mass phase-frequency response (Regular Wave)



000000		Head Sea		Beam		Follow Sea	1
omega	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	8.443	7.210	6.758	0.730	-7.367	-7.281	-6.302
0.634	13.031	10.085	9.306	1.417	-11.015	-9.242	-4.829
0.740	19.276	13.167	12.414	2.632	-15.479	-7.509	6.072
0.845	27.619	16.454	17.202	4.547	-20.553	3.801	30.783
0.951	38.751	20.378	26.344	7.397	-25.677	27.407	60.893
1.057	53.954	26.652	43.208	11.577	-30.375	55.419	90.023
1.162	77.275	42.237	61.509	17.736	-36.374	74.189	94.120
1.268	133.354	99.531	44.782	26.525	-59.745	-2.758	9.194
1.373	234.268	161.929	44.478	37.578	-116.117	-23.190	-8.145
1.479	277.204	195.649	256.249	50.083	-126.069	-30.098	-29.498
1.585	307.785	230.796	264.536	61.657	-119.590	-63.003	-71.547
1.690	88.685	253.684	272.757	70.593	-163.728	-138.318	-127.829
1.796	150.293	66.817	238.894	76.743	-247.981	-190.192	-192.807
1.902	168.090	64.798	135.909	80.782	-241.756	-227.004	-185.398

Table 30.b Heave of center of mass phase-frequency response (Irregular Wave)



	Heac	I Sea	Beam Sea		
ω	$\left \Phi_{\psi}(\omega) \right = \frac{\omega^2}{g} \frac{\psi}{\alpha}$	$\left \Phi_{\psi}(\omega) \right = \frac{\omega^2}{g} \frac{\psi}{\alpha}$	$\left \Phi_{\psi}(\omega) \right = \frac{\omega^2}{g} \frac{\psi}{\alpha}$	$\left \Phi_{\theta}(\omega) \right = \frac{\omega^2}{g} \frac{\theta}{\alpha}$	
	(Vs = 0 kn)	(Vs = 10 kn)	(Vs = 15 kn)	(Vs = 0 kn)	
0.664	0.613	0.905	0.982	0.934	
0.717	0.629	0.920	1.033	1.021	
0.749	0.644	0.895	1.060	1.147	
0.785	0.636	0.876	1.059	1.212	
0.828	0.577	0.844	1.061	1.270	
0.878	0.533	0.817	0.994	1.385	
0.907	0.557	0.829	0.981	1.546	
0.938	0.455	0.809	0.884	1.633	
0.974	0.501	0.752	0.713	1.987	
1.014	0.401	0.663	0.607	2.018	
1.059	0.301	0.577	0.433	2.675	
1.110	0.164	0.380	0.268	2.683	
1.170	0.157	0.254	0.139	2.723	
1.241	0.147	0.090	0.066	2.055	
1.327	-	-	_	1.247	
1.433	0.048	0.029	0.012	0.722	

Table 31.a Pitch and roll response amplitude operator (Regular Wave)



		Head Sea		Beam		Follow Sea	i i
omega		Pitching		Rolling		Pitching	
	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	0.985	0.922	0.893	1.001	0.980	1.040	1.061
0.634	0.943	0.844	0.806	1.077	0.947	1.042	1.065
0.740	0.870	0.735	0.693	1.185	0.885	1.014	0.990
0.845	0.758	0.596	0.562	1.335	0.787	0.911	0.742
0.951	0.603	0.437	0.427	1.513	0.651	0.668	0.465
1.057	0.409	0.275	0.308	1.606	0.484	0.383	0.286
1.162	0.202	0.132	0.225	1.519	0.297	0.186	0.113
1.268	0.040	0.038	0.133	1.337	0.116	0.051	0.015
1.373	0.091	0.044	0.090	1.080	0.023	0.016	0.010
1.479	0.090	0.050	0.112	0.861	0.084	0.021	0.008
1.585	0.034	0.031	0.112	0.676	0.076	0.013	0.006
1.690	0.031	0.013	0.071	0.529	0.036	0.006	0.005
1.796	0.031	0.023	0.063	0.415	0.015	0.002	0.003
1.902	0.012	0.054	0.064	0.327	0.025	0.004	0.021

Table 31.b Pitch and roll response amplitude operator (Irregular Wave)



	Head	I Sea	Beam Sea		
ω	$\delta_{arphi}(\omega)_{, { m deg}}$ (Vs=0kn)	$\delta_{arphi}(\omega)_{, { m deg}}$ (Vs=10kn)	$\delta_{arphi}(\omega)_{, m deg}$ (Vs=15kn)	$\delta_{ heta}(\omega)_{, m deg}$ (Vs=0kn)	
0.664	87.14	177.1	92.78	45.83	
0.717	86.13	216.2	103.6	42.09	
0.749	70.17	235.7	117.4	25.15	
0.785	66.52	331.0	154.3	18.61	
0.828	87.78	48.1	195.0	27.06	
0.878	68.76	105.6	216.5	8.79	
0.907	62.72	175.0	249.4	-6.70	
0.938	77.01	198.3	276.4	8.10	
0.974	63.87	244.4	312.2	-6.10	
1.014	67.69	270.7	19.0	-14.50	
1.059	63.20	271.0	171.2	-5.20	
1.110	67.35	266.6	341.0	19.75	
1.170	66.02	311.0	257.0	36.14	
1.241	22.40	308.3	237.1	60.23	
1.327	-	_	_	32.50	
1.433	-57.90	29.8	89.3	-27.00	

Table 32.a Pitch and Roll phase-frequency response (Regular Wave)



		Head Sea	8	Beam		Follow Sea	L.
omega	14 17	Pitching		Rolling	9. 12	Pitching	
0.000	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	-101.691	-101.711	-100.873	-87.422	103.055	111.407	117.895
0.634	-104.677	-106.073	-104.874	-85.995	107.268	120.501	130.978
0.740	-107.822	-111.533	-109.414	-83.232	112.427	133.416	150.973
0.845	-111.066	-118.250	-113.921	-77.482	118.606	152.965	175.628
0.951	-114.390	-126.528	-117.739	-65.615	125.974	177.541	193.197
1.057	-118.011	-137.201	-120.779	-45.924	135.222	198.978	213.484
1.162	-124.350	-153.645	-125.963	-23.217	146.981	220.047	244.148
1.268	-178.262	155.540	-139.771	87.300	162.841	255.683	259.846
1.373	87.245	58.610	138.814	15.438	-21.694	47.201	113.206
1.479	77.867	34.151	76.177	29.942	9.269	79.784	97.631
1.585	48.569	16.925	50.189	41.403	28.901	79.788	56.538
1.690	-54.205	-38.254	11.229	50.244	57.118	73.399	57.610
1.796	-84.685	-109.456	-65.679	57.049	169.476	122.721	109.441
1.902	-147.669	-129.288	-108.152	62.435	227.212	218.591	245.220

Table 32.b Pitch and Roll phase-frequency response (Irregular Wave)



	Head Sea		Bearr	Beam Sea		
ω	$\frac{2a_{10_{CL}}}{gh}$, 1/m (Vs = 0 kn)	$\frac{2a_{10_CL}}{gh}, 1/m$ (Vs = 10kn)	$\frac{2a_{10_{CL}}}{gh}$, 1/m (Vs = 15kn)	$\frac{2a_{10_{CL}}}{gh}$, 1/m (Vs = 0 kn)		
0.664	0.031	0.072	0.100	0.031		
0.717	0.033	0.086	0.115	0.035		
0.749	0.035	0.090	0.140	0.041		
0.785	0.044	0.101	0.161	0.048		
0.828	0.042	0.114	0.194	0.056		
0.878	0.043	0.129	0.252	0.061		
0.907	0.050	0.143	0.286	0.069		
0.938	0.039	0.166	0.314	0.077		
0.974	0.046	0.184	0.338	0.083		
1.014	0.045	0.208	0.349	0.084		
1.059	0.043	0.219	0.281	0.083		
1.110	0.026	0.194	0.236	0.085		
1.170	0.035	0.182	0.158	0.102		
1.241	0.038	0.100	0.097	0.122		
1.327	-	-	-	0.127		
1.433	0.019	0.072	0.054	0.160		

Table 33.a Vertical accelerations at Fr.10 and CL response amplitude operator (Regular Wave)



00000	2	Head Sea		Beam		Follow Sea	1
omeya	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	0.156	0.080	0.051	0.165	0.159	0.282	0.373
0.634	0.217	0.092	0.050	0.241	0.224	0.479	0.695
0.740	0.277	0.095	0.042	0.335	0.293	0.798	1.255
0.845	0.324	0.087	0.029	0.448	0.361	1.277	1.856
0.951	0.343	0.068	0.016	0.582	0.415	1.627	1.884
1.057	0.317	0.043	0.006	0.737	0.431	1.345	1.229
1.162	0.232	0.020	0.002	0.910	0.373	0.602	0.344
1.268	0.113	0.007	0.000	1.082	0.239	0.210	0.251
1.373	0.156	0.007	0.000	1.208	0.273	0.346	0.267
1.479	0.231	0.005	0.003	1.236	0.410	0.240	0.176
1.585	0.160	0.003	0.013	1.151	0.315	0.108	0.102
1.690	0.029	0.001	0.022	1.000	0.061	0.072	0.069
1.796	0.148	0.000	0.010	0.834	0.196	0.079	0.062
1.902	0.126	0.000	0.047	0.679	0.158	0.064	0.199

Table 33.b Vertical accelerations at Fr.10 and CL response amplitude operator (Irregular Wave)



	Head Sea						
ω	$\frac{2a_{_{20}_CL}}{gh}, 1/m$	$\frac{2a_{_{20}_CL}}{gh}, 1/m$	$\frac{2a_{20_CL}}{gh}, 1/m$				
	(Vs = 0 kn)	(Vs = 10 kn)	(Vs = 15 kn)				
0.664	0.044	0.134	0.179				
0.717	0.062	0.194	0.291				
0.749	0.069	0.226	0.326				
0.785	0.086	0.231	0.423				
0.828	0.090	0.287	0.548				
0.878	0.101	0.379	0.673				
0.907	0.145	0.444	0.824				
0.938	0.121	0.508	0.850				
0.974	0.156	0.570	0.874				
1.014	0.150	0.643	0.904				
1.059	0.135	0.621	0.834				
1.110	0.088	0.579	0.593				
1.170	0.104	0.510	0.423				
1.241	0.125	0.258	0.249				
1.327	_	_	_				
1.433	0.071	0.169	0.110				

Table 34.a Vertical accelerations at Fr.20 and CL response amplitude operator (Regular Wave)



omogo		Head Sea	-	Beam		Follow Sea	I
omeya	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	-171.560	-172.790	-173.240	-179.270	172.630	172.720	173.700
0.634	-166.970	-169.920	-170.690	-178.580	168.990	170.760	175.170
0.740	-160.720	-166.830	-167.590	-177.370	164.520	172.490	186.070
0.845	-152.380	-163.550	-162.800	-175.450	159.450	183.800	210.780
0.951	-141.250	-159.620	-153.660	-172.600	154.320	207.410	240.890
1.057	-126.050	-153.350	-136.790	-168.420	149.630	235.420	270.022
1.162	-102.720	-137.760	-118.490	-162.260	143.630	254.190	274.120
1.268	-46.646	-80.469	-135.220	-153.480	120.260	177.240	189.190
1.373	54.268	-18.071	-135.520	-142.420	63.883	156.810	171.850
1.479	97.204	15.649	76.249	-129.920	53.931	149.900	150.500
1.585	127.780	50.796	84.536	-118.340	60.410	117.000	108.450
1.690	-91.315	73.684	92.757	-109.410	16.272	41.682	52.171
1.796	-29.707	-113.180	58.894	-103.260	-67.981	-10.192	-12.807
1.902	-11.910	-115.200	-44.091	-99.218	-61.756	-47.004	-5.398

Table 35.b Vertical accelerations at Fr.20 and CL response amplitude operator(Irregular Wave)



	Beam Sea			
ω	$2a_{10_stbd}$			
	gh (Vs = 0 kn)			
0.664	0.032			
0.717	0.037			
0.749	0.043			
0.785	0.051			
0.828	0.056			
0.878	0.069			
0.907	0.079			
0.938	0.092			
0.974	0.106			
1.014	0.106			
1.059	0.126			
1.110	0.113			
1.170	0.101			
1.241	0.077			
1.327	0.070			
1.433	0.106			

Table 36 Vertical acceleration at Fr.10 and 3.46m from CL to starboard response amplitude operator



	Head Sea					
ω	$\Phi_{R} = \frac{4R_{AW}(\omega)}{h^{2}}$	$\Phi_{R}=\frac{4R_{AW}(\omega)}{h^{2}},$	$\Phi_{R} = \frac{4R_{AW}(\omega)}{h^{2}}$			
	, $kN/m^2(Vs = 0 kn)$	kN/m²(Vs = 10 kn)	, $kN/m^2(Vs = 15 kn)$			
0.664	1.47	26.35	39.49			
0.717	3.79	29.77	47.72			
0.749	3.91	37.56	56.46			
0.785	8.78	41.63	67.22			
0.828	3.81	58.35	79.99			
0.878	8.13	75.71	129.5			
0.907	6.53	121.6	170.4			
0.938	2.75	147.5	180.0			
0.974	5.99	159.1	179.1			
1.014	6.96	161.1	149.3			
1.059	8.74	155.3	83.55			
1.110	4.32	134.8	47.93			
1.170	14.65	94.07	82.28			
1.241	11.59	79.17	74.04			
1.433	-2.59	18.30	139.8			

Table 37 Additional wave resistance response amplitude operator



θ , deg/s	$2v_{0\Theta}$
1.17	0.118
3.5	0.145
5.8	0.164
8.8	0.180
11.7	0.194

Table 38. Dimensionless Roll Damping Factor vs Roll Rate



Table 39 Data for Deck Wettness Calculation (Freeboard)

Freeboard

(Unit : m)

		Head Sea		Beam		Follow Sea	a
omega	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn	Vs=0 kn	Vs=0 kn	Vs=10 kn	Vs=15 kn
0.528	2.620	2.590	2.571	2.658	2.636	2.663	2.569
0.634	2.515	2.471	2.439	2.618	2.550	2.609	2.388
0.740	2.344	2.294	2.247	2.546	2.417	2.498	1.998
0.845	2.099	2.061	2.001	2.399	2.238	2.216	1.405
0.951	1.792	1.789	1.726	2.088	2.022	1.729	0.966
1.057	1.463	1.514	1.470	1.546	1.783	1.290	0.878
1.162	1.180	1.287	1.293	0.890	1.529	1.171	1.151
1.268	1.035	1.151	1.499	0.304	1.256	1.318	1.308
1.373	1.087	1.119	1.191	-0.158	1.036	1.372	1.290
1.479	1.264	1.153	1.214	-0.399	1.005	1.294	1.248
1.585	1.348	1.194	1.305	-0.436	1.146	1.229	1.222
1.690	1.245	1.212	1.341	-0.343	1.194	1.200	1.208
1.796	1.110	1.215	1.231	-0.193	1.113	1.191	1.200
1.902	1.094	1.242	1.063	-0.021	1.116	1.195	1.165



Table 40 Vertical Acceleration at Center of Mass

			Aw : way	ve Amp. (wave Height / 2)
omogo		Head Sea	Beam	Follow Sea
uneya	Vs=30 kn			Vs=30 kn
0.528	0.005			0.750
0.634	0.000			1.397
0.740	0.009			2.143
0.845	0.070			2.679
0.951	0.059			1.506
1.057	0.081			0.468
1.162	0.156			0.248
1.268	0.340			0.247
1.373	0.682			0.170
1.479	0.760			0.116
1.585	0.291			0.126
1.690	0.232			0.073
1.796	0.226			0.054
1.902	0.103			0.111

Amp. / (g Aw/ L)

Phase Lag [deg]

omogo		Head Sea	Beam	Follow Sea
omega	Vs=30 kn			Vs=30 kn
0.528	185.360			189.940
0.634	186.870			206.590
0.740	173.260			229.310
0.845	96.443			265.360
0.951	54.333			307.947
1.057	28.308			303.138
1.162	18.083			241.190
1.268	19.206			207.310
1.373	34.351			180.880
1.479	66.254			126.010
1.585	61.049			89.225
1.690	347.224			68.167
1.796	315.821			313.212
1.902	265.142			300.229





Fig.25.b Heave RAO in Head Sea (Irregular Wave)





Fig.26.a Heave Phase-frequency Response in Head Sea (Regular Wave)





Fig.26.c Heave Phase-frequency Response in Following Sea (Irregular Wave)



11

HOSUN UNI





Fig.27.b Pitch RAO in Head Sea (Irregular Wave)















Fig.28.c Pitch Phase-frequency Response in Following Sea (Irregular Wave)





Fig.29.b Vertical Acceleration RAO at Frame 10 in Head Sea (Irregular Wave)





Fig.29.c Vertical Acceleration RAO at Frame 10 in Following Sea (Irregular Wave)





Fig.30.a Vertical Acceleration RAO at Frame 20 in Head Sea (Regular Wave)





Fig.30.b Vertical Acceleration RAO at Frame 20 in Head Sea (Irregular Wave)



Fig.30.c Vertical Acceleration RAO at Frame 20 in Following Sea





Fig.32. Heave RAO in Beam




Fig.34 Roll RAO in Beam Sea









Fig.36 Vertical Acceleration RAO at Frame 10 and CL in Beam Sea





Fig.37 Vertical Acceleration RAO at Frame 10and 3.46 m from CL to Stbd in Beam Sea





CSU01. Heave Amplitudes (significant) Head Sea





CSU01. Pitch Amplitudes (significant) Head Sea

Fig.39 Pitch Amplitudes in Head Sea









Fig.41 Vertical Acceleration at Frame 20 in Head Sea









Fig.43 Heave at Various Sea conditions (Beam Sea, VS = 0)





CSU01. Vertical Acceleration (RMS). Frame 10. CL Beam Sea. Vessel's Speed = 0







(Dimensionless Roll Damping Factor vs Roll xRate)















APPENDIX II



Fig 51. Model manufacturing (|)



Fig 52. Model manufacturing (II)





Fig 53. Model prepared for seakeeping test



Fig 54. Seakeeping test at Okn (Full scale: λ = 55m; h = 2.6m) (|)





Fig 55. Seakeeping test at Okn (Full scale: λ = 55m; h = 2.6m) (II)



Fig 56 Seakeeping test at 10kn (Full scale: λ = 60m; h = 1.3m)





Fig 57. Seakeeping test at 15kn (Full scale: λ = 60m; h = 1.2m)



Fig 58. Seakeeping test at 10kn (Full scale: λ = 55m; h = 1.6m) (I)





Fig 59. Seakeeping test at 10kn (Full scale: λ = 55m; h = 1.6m) (II)



Fig 60. Seakeeping test at 15kn (Full scale: λ = 55m; h = 1.4m) (|)





Fig 61. Seakeeping test at 15kn (Full scale: λ = 55m; h = 1.4m) (II)



Fig 62. Model before free oscillation test.





Fig 63. Free oscillation test.



Fig 64. Seakeeping test at Okn, Beam sea
(Full scale: λ= 40 m; h = 1.3m)





Fig 65. Seakeeping test at Okn, Beam sea (Full scale: λ = 140m; h = 1.8m)



【참고문헌】

- [1] 민계식, 이귀주, 박만 : "활주형 선형의 단면형상 및 장/폭 비 변화에 따른 모형시험 결과", 현대중공업보고서, 1992.
- [2] 이귀주 : "캐비테이션 현상을 이용한 고속활주형선의 저항성능 개선 가능성 에 대한 연구", 기술현대, Vol. 14, No. 4, 1994.
- [3] 이귀주, 이광일 : "활주선형 고속어선의 단면형상 및 장-폭 비와 성능과의 관 계에 대한 연구", 한국어업기술학회지, 11권 3호, 1997
- [4] 박제웅, 정우철, 박찬원, 김도정 : "저중속 영역에서 6.67G/T급 연안어선의 저항특성에 관한 고찰", 한국해양공학회 추계학술대회 논문집, pp 89-93, 2002.
- [5] 이광일 : "활주형 선박의 선형특성과 저항성능과의 상관관계에 관한 실험적 연구", 조선대학교 석사학위논문, 1998
- [6] 김경배, 박명규, 최선응, 구종도 : "초고속 단동 개발 함형의 저항특성에 관 한연구", 대한조선학회 추계학술대회논문집, 1999.
- [7] 정우철, 정석호, 박제응 : "연안용 소형 고속 레저선 선형개발", 한국해양공
 학회지, 제 18권, 1호, pp 80-84, 2004.
- [8] 이귀주, 좌순원, 선재욱 : "실험적 방법 및 수치계산 방법(SHIPFLOW)을 이 용한 LPG 선형 유동해석 비교 및 고찰", 대한조선학회 춘계학술대회논 문집, 2003
- [9] 구종도, 최선응, 제병렬 : "고속정의 선형특성에 관한 연구", 대한조선학회
 추계학술대회논문집, 1999.



- [10] Larsson, L., Kim, K. J., Esping, B. and Holm, D. : "Hydrodynamic Optimization using Ship flow. In Practical Design ofShips and Mobile Units. J. B. Caldwell and G. Ward, Eds." ElsevierApplied Science, London, 1.1-1.16., 1992
- [11] Ragab S.A. : "An adjoint formulation for shape optimization in free-surface potential flow." J of Ship Research 45:269-278, 2001
- [12] Huang, C.H. and Huang, M. C. : "Inverse Problem inDetermining the Normal and Tangential Drag Coefficients of MarineCables" J of Ship Research, 38, 296-301. , 1994