2012年 8月

博士學位論文

소형 고속 레저보트에 적용된 풍력터빈의 공기저항에 관한 연구

A Study on the Air Resistance of Wind Turbine on High Speed Leisure Boat

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

李 維 新

소형 고속 레저보트에 적용된 풍력터빈의 공기저항에 관한 연구

A Study on the Air Resistance of Wind Turbine on High Speed Leisure Boat

2012年 8월 24일

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

李 維 新

소형 고속 레저보트에 적용된 풍력터빈의 공기저항에 관한 연구

指導教授 朴 濟 雄

이 論文을 工學博士學位申請 論文으로 提出함

2012年 04月

朝鮮大學校 大學院

船舶海洋工學科

李 維 新

李 維 新의 博士學位論文을 認准함

- 委員長 朝 鮮 大 學 校 教 授 權寧燮 印
- 委員 船舶安全技術公團 本部長 金周男 印
- 委 員 韓國造船海洋 分院長 金道正 印 機資材研究院
- 委員 仁荷工業專門大學 教授 鄭宇哲印
- 委員朝鮮大學校 教授 朴濟雄印

2012年 06月

朝鮮大學校 大學院

목 차

List of Ta)les ······iii	i
List of Fi	gures ····································	1
Nomenclatu	⁻ es	l i
Abstract	vii	i

제 1 장 서 론
1-1 개요 1
1-2 연구 내용
1-3 연구방법 및 범위
제 2 장 풍력에너지 활용을 위한 시스템 구성
2-1 개요
2-2 전력량 추정 및 배터리 선정
2-3 풍력발전기 선정
제 3 장 풍력설비 적용을 위한 레저보트 선형설계
3-1 개요 ~~~~~ 21
3-2 선형결정
3-2-1 기준선 및 주요제원 선정
3-2-2 선형설계
3-3 모형시험 ~~~~~ 36
3-3-1 시험조건
3-3-2 시험결과
제 4 장 풍력터빈에 의한 저항증가와 계산식 도출 55
4-1 개요
4-2 모형시험
4-2-1 시험조건
4-2-2 시험결과
4-2-3 풍력터빈에 의한 공기저항 분석

제	5	장	결과	및 고칠	t	83
제	6	장	결론	•••••		86

List of Tables

Table	2-1	Estimation of power consumption
Table	2-2	Comparison for characteristics of wind turbine
Table	2–3	Principal dimensions of selected wind turbine
Table	3-1	Comparison of FRP and aluminum boats
Table	3-2	Estimated initial principal dimensions
Table	3–3	Estimation of weight
Table	3–4	Principal dimensions
Table	3-5	Comparison of principle dimensions and model test conditions 37
Table	3-6	Comparison of measured total resistance
Table	3–7	Comparison of total resistance over displacement(Rt/ \bigtriangleup)
Table	3-8	Comparison of measured total resistance
Table	3–9	Comparison of trim angle(degree)
Table	3-10	(a) Comparison of sinkage(% of Lpp). F.P
Table	3-10	(b) Comparison of sinkage(% of Lpp). Midship
Table	3-10	(c) Comparison of sinkage(% of Lpp). A.P
Table	3-11	Comparison of wetted surface area ratio 48
Table	3-12	Estimation of BHP49
Table	4-1	Model test condition
Table	4-2	Comparison of measured total resistance (gram)
Table	4-3	Comparison of trim angle (degree)
Table	4–4	Comparison of sinkage (% of Lpp) F.P
Table	4-5	Comparison of sinkage (% of Lpp) Midship
Table	4-6	Comparison of sinkage (% of Lpp) A.P
Table	4–7	Comparison of EHP for actual ship
Table	4–8	Power increment by wind turbine for actual ship
Table	4–9	Comparison of power increment for wind turbine by model test
		and ITTC-1978 for actual ship
Table	4-10	Relation between power due to air resistance by wind turbine
		and ITTC-1978 method's variable

Table	5-1	Power	increment	considering	energy	generation	by	wind	turbine
		for ac	tual ship			••••••			

List of Figures

Fig.	1-1 (Concept of IMO EEDI
Fig.	1-2	Actual ship combined wind turbine, Hybrid ferry, USA4
Fig.	1–3	Actual ship combined wind turbine, NYK Line, Japan 4
Fig.	1–4	Basic conception for developed system
Fig.	2-1	Vertical shaft wind turbine
Fig.	2-2	Design process
Fig.	2-3	Wind turbine design concepts
Fig.	2-4	Wind turbine power coefficient
Fig.	2-5	3D modeling of rotor and blade
Fig.	3-1	Comparison of hull weight by different material
Fig.	3-2	Aluminum fishing boat, Japan
Fig.	3-3	Aluminum leisure boat, NZ
Fig.	3-4	Relation between length and displacement
Fig.	3-5	Relation between length and draft
Fig.	3-6	Relation between length and breadth
Fig.	3-7	Relation between length and chine breadth
Fig.	3–8	Relation between length and depth
Fig.	3–9	Typical midship section shapes of planning boat
Fig.	3-10	Body plan of developed aluminum leisure boat
Fig.	3-11	General Arrangement
Fig.	3-12	Test model without wind turbine
Fig.	3-13	Comparison of measured total resistance
Fig.	3-14	Comparison of total resistance over displacement(Rt/ \triangle)
Fig.	3-15	Comparison of residual resistance performance
Fig.	3-16	Comparison of trim angle(degree)
Fig.	3-17	(a) Comparison of sinkage(% of Lpp) F.P
Fig.	3-17	(b) Comparison of sinkage(% of Lpp) Midship
Fig.	3-17	(c) Comparison of sinkage(% of Lpp) A.P

Fig.	3-18	Comparison of wetted surface area ratio
Fig.	3-19	Estimation of BHP
Fig.	3-20	Comparison of wave patterns, V=24knots
Fig.	3-21	Comparison of wave patterns, V=26knots
Fig.	3-22	Comparison of wave patterns, V=28knots
Fig.	3-23	Comparison of wave patterns, V=30knots
Fig.	3-24	Comparison of wave patterns, V=32knots
Fig.	4-1	General arrangement of developed system
Fig.	4-2	Sketch of wind turbine
Fig.	4-3	Test model with wind turbine
Fig.	4–4	Model test set-up and fan for wind generation
Fig.	4–5	Comparison of measured total resistance(gram)
Fig.	4–6	Comparison of trim angle(degree) 64
Fig.	4–7	Comparison of sinkage(% of Lpp) F.P
Fig.	4–8	Comparison of sinkage(% of Lpp) Midship
Fig.	4–9	Comparison of sinkage(% of Lpp) A.P
Fig.	4-10	Wave patterns for Case-1-2
Fig.	4-11	Wave patterns for Case-1-2
Fig.	4-12	Wave patterns for Case-1-2
Fig.	4-13	Wave patterns for Case-1-2
Fig.	4-14	Wave patterns for Case-1-2
Fig.	4-15	Comparison of EHP for actual ship74
Fig.	4-16	Relation between power due to air resistance by wind turbine
		and ITTC-1978 method`s variable

Nomenclatures

Lbp, Lpp	Length Between Perpendiculars (m)
L _{WL}	Length of Designed Load Waterline (m)
В	Breadth Moulded (m)
D	Depth Moulded (m)
d	Draught Moulded (m)
C _B	Block Coefficient $C_B = \bigtriangledown/(Lpp \cdot B \cdot d)$
CP	Prismatic Coefficient
C _M	Midship Section Coefficient $C_M = A_M/(B \cdot d)$
C _W	Waterplane Coefficient $C_W = A_W/(Lpp \cdot B)$
C_t , r $_t$	Total resistance coefficient $\cdots\cdots$ Rt= $R_t/ ho V^2 abla^{2/3}$
\bigtriangledown	Displacement Volume (m³)
riangle, W	Displacement Weight (ton)
V	Speed of Ship (m/s)
Rt	Total Resistance (kg) $ ext{C}_{ ext{t}} = R_t / rac{1}{2} ho V^2 S$
R _R	Residual Resistance (kg) $ ext{C}_{ ext{R}} = R_{R} / rac{1}{2} ho V^{2}S$
g	Acceleration due to Gravity (m/sec ²)
Fn	Froude Number Fn = V / $\sqrt{Lwl \bullet g}$
Rn	Reynolds Number
ho	Density of Air(kg.sec ² /m ⁴)

ABSTRACT

A Study on the Air Resistance of Wind Turbine on High Speed Leisure Boat

Lee, You-shin Advisor : Prof. Park, je-woong Ph. D. Department of Naval Architecture & Ocean Engineering Graduate School of Chosun University

Recently, national attention on the regulations for carbon dioxide emission has risen. Thus, diverse attempts are being actively carried out to reduce the resistance of ships and to develop a new propelling system that reduces the emission of carbon dioxide.

The UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) is promoting a carbon dioxide stabilizing policy to maintain the level of atmospheric carbon dioxide at 450~550ppm for the prevention of global warming. As the international concern for the prevention of global warming is at its rise, it is expected that the carbon dioxide regulations for ships will soon hit the stride as ships are known to be responsible for the emission of 1billion tons of carbon dioxide per year.

The International Maritime Organization (IMO) have enacted the EEDI (Energy Efficiency Design Index) and EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) which are enforced regulations that measure the energy efficiency for the purpose of reducing carbon dioxide emissions of ships. These regulations are waiting to be implemented in 2013. It is highly possible that the EEDI, which displays the ratio of environmental impact and economical benefit, will become a core index to represent the technical abilities of a shipyard.

In order to enhance the fuel consumption efficiency, it is necessary to reduce the frictional resistance, which is a major part of a ship's resistance. Research to reduce the frictional resistance has been consistently ongoing in the field of mechanical engineering together with the advancement of viscous flow analysis methods.

Furthermore, the demand for the reduction of a ship's sailing power to make ship management economically feasible has increased in the field of marine engineering. Thus, research for the application of the currently developed frictional resistance reducing methods has become gradually vitalized.

Another measure suggested to satisfy both the carbon dioxide regulation and the economic feasibility of a ship is the use of hybrid energy. Ships are constantly exposed to the sun and wind during sail or at anchor and research to utilize wind and solar power as the energy source is being attempted in various methods.

This study aims to induce methods to utilize the generated wind power for the electrical energy source of a ship's lighting, air conditioning and heating, etc. by installing a compact wind power facility on the experiment target; a small gliding high-speed vessel. The vessel targeted for application is a 30ft high-speed leisure boat made of aluminum alloy instead of the usually used FRP (fiber reinforced plastic). The wind power facility installed on the hull and the batteries that will be charged by the electric energy generated by the wind power system were considered at the designing stage of the boat. A new presumption equation for air resistance of wind turbines and efficient measures for management are suggested based on a model experiment that verifies the basic performance of the wind-powered leisure boat.

제 1 장 서론

1-1 개요

최근 들어 이산화탄소 규제에 대한 범국가적 관심이 고조되면서 선박의 저항 감소뿐 아니라 새로운 추진시스템 개발을 통하여 온실가스를 감축시키고자 하 는 관점에서의 다양한 시도가 활발하게 이루어지고 있다.

유엔의 기후변화협약 (UNFCC: United Nations Framework Convention on Climate Change)에서는 지구 온난화를 방지하기 위해 대기 중의 이산화탄소 농 도를 450~550 ppm으로 유지하려는 이산화탄소 안정화 정책을 추진하고 있다. 이와 같이 지구 온난화를 방지하고자 하는 전 세계적인 관심이 증가하는 가운 데, 매년 10억 톤 정도의 온실가스를 배출한다고 알려진 선박에 대한 온실가스 규제가 본격화 될 것으로 전망된다[1].

국제해사기구(IMO)에서는 선박에서 배출되는 이산화탄소(CO2) 감소를 위하여 에너지 효율성을 측정할 수 있는 강제 규정으로 신조선 선박 에너지효율 설계 지수(EEDI: Energy Efficiency Design Index)와 선박 에너지효율 운항지표 (EEOI: Energy Efficiency Operational Indicator)를 제정하여 2013년 시행을 앞두고 있다. 이 EEDI는 환경영향과 경제적 이득의 비율을 나타내는 것으로 조 선소의 기술적 능력을 보여 주는 핵심지표로 대두될 가능성이 높다.

Fig. 1-1은 EEDI 규제의 기본 개념도이다.



선박의크기(재화중량, 탱크체적 또는 총톤수)

Fig. 1-1 Concept of IMO EEDI

이처럼 선박의 제조 단계에서부터 연료소비율 향상과 이산화탄소 배출량을 절감시키는 등 환경을 위한 노력은 계속되어지고 있다.

연료소비율을 향상시키기 위해서 선박 저항의 상당부분을 차지하는 마찰저 항의 감소가 필요한데 마찰저항 감소법을 개발하기 위한 연구는 점성 유동해석 기법의 발전과 더불어 기계공학 분야에서 꾸준히 수행되어 왔다.

조선공학 분야에서도 선박의 운항동력 절감에 의한 선박 운용 경제성 향상 에 대한 요구가 점점 증대 되면서 지금까지 개발된 마찰저항 감소법을 실제 선 박에 적용하기 위한 연구가 점차 활성화 되고 있다. 최근에는 공기를 직접 선 체 주위의 유동에 주입하는 방식으로 마찰저항을 감소시키기 위한 연구들이 러 시아를 비롯해서 미국과 일본 등 외국뿐만 아니라 국내에서도 김종현, 김규선 등에 의하여 시도되었다[2][3][4].

이산화탄소 배출규제와 선박의 경제성이라는 두 가지 조건을 만족시키기 위 하여 제시되는 또 하나의 방법은 복합에너지를 사용하는 방법이다. 선박은 정 박이나 항해도중 바람과 태양에 계속적으로 노출되는데 이 바람과 태양광을 활 용하여 에너지원으로 활용하는 연구가 다양하게 시도되고 있다.

이미 독일은 풍력을 이용하여 연료절감과 이산화탄소 배출을 줄인 "Sky sails"[5] 라는 화물선을 운항중이며, 국내에서는 STX조선에서 2009년 9월 선 상에 500kW급 풍력발전 설비와 43kW급 태양광발전시설을 갖춘 친환경 선박인 GD ECO-ship을 개발하였다[6]. 박우석 등[7]은 국내연안에서 Sky Sail의 도입 과 효율성을 분석하였으며, Takeshi Katagi 등[8]은 선박의 화석연료의존도 감 소를 위한 태양광 발전 시스템을 제안하였으며 최한규 등[9]은 선박용 태양광 하이브리드 발전시스템의 설계와 정우철 등[10]은 친환경 태양광 레저보트 등 을 개발하였다.

Fig. 1-2와 Fig. 1-3은 풍력설비가 장착된 해외선박 사례이다. Fig. 1-2는 미국의 64피트급 하이브리드 페리이며 1.2kW급 수직축 풍력발전장치가 장착되 어 있다. Fig. 1-3은 일본의 자동차 운반선으로 62,000톤급 선박이며 여기에 적용된 풍력발전장치는 본 연구에서 개발하고자 하는 시스템과 비슷한 구조의 수직축 자이로밀 타입이다. 발전용량은 최대 풍속 25m/s에서 약 30kWh의 전기 를 생산할 수 있다[11][12].

본 연구에서는 활주형 소형고속선에 소형 풍력설비를 장착하여, 여기에서 발 생한 풍력에너지를 선박 내 전등, 냉난방 등에 필요한 전기에너지로 활용할 수 있는 방안을 도출하고자 하였다. 적용 대상선은 그동안 소형 레저선에 많이 적 용된 FRP소재에서 환경 친화적인 소재인 알루미늄 합금을 이용한 30피트급 고 속레저보트이다. 선체에 장착된 풍력설비와 이로부터 발생한 전기를 충전할 수 있는 배터리 등을 고려한 선박이 설계되었으며, 모형시험을 통하여 풍력설비를 고려한 레저보트의 기본 성능을 검증하고, 풍력터빈에 의한 새로운 공기저항 추정식과 효율적인 운용 방안을 제안하였다.



Fig. 1-2 Actual ship combined wind turbine, Hybrid ferry, USA[11]



Fig. 1-3 Actual ship combined wind turbine, NYK Line, Japan[12]

1-2 연구내용

본 연구에서는 해상에 존재하는 풍력을 선박에 필요한 에너지로 활용하고자 지금까지 중형급 이상의 선박에서 장착하였던 풍력설비를 소형레저보트에 장착 하여 그 가능성을 검토하였다.

적용 대상선은 환경 친화적인 소재인 알루미늄 합금을 이용한 30피트급 고속 레저보트이고, 풍력발전기는 200W급 규모의 수직순환형 중에서 본 연구대상선 박의 선폭을 고려하여 터빈지름이 1.5m인 발전기를 선정하여 블레이드와 로터 를 설계하였다. 선체에 장착된 풍력설비와 이로부터 발생한 전기를 충전할 수 있는 배터리 등을 고려하여 선박이 설계되었으며, 모형시험을 통하여 풍력설비 가 장착된 레저보트의 기본 성능을 검증하였다.

모형시험은 고속회류수조에서 수행되었으며, 회류수조 제파판 상부에 풍속을 조절할 수 있는 별도의 송풍기를 부착하여 바람의 영향을 고려하여 시험을 수 행하였다.

본 논문의 제 1장에서는 본 연구의 자세한 연구 방법과 내용을 수록하였으 며, 제 2장에서는 풍력에너지 활용을 위한 시스템 구성을 언급하였다. 제 3장 에서는 본 연구에서 개발한 레저보트의 설계 및 그 성능을 언급하였고, 제 4장 에서는 풍력터빈이 장착된 레저보트의 성능에 대한 모형시험결과를 설명하고, 풍력터빈에 의한 저항증가량을 분석하여 새로운 공기저항 추정식을 제안하였 다. 제 5장에서는 풍력설비의 효율적인 운용 방안을 제안하였다. 끝으로 제 6 장에서는 본 연구의 종합적인 토론과 최종 결론을 정리하였다.

1-3 연구방법 및 범위

본 연구에서는 활주형 소형고속선에 소형 풍력설비를 장착하여, 여기에서 발 생한 풍력에너지를 선박 내 전등, 냉난방 등에 필요한 전기에너지로 활용할 수 있는 방안을 도출하고자 하였다. 본 연구의 기본 개념도를 Fig. 1-4에 간략히 나타내었다.



Fig. 1-4 Basic conception for developed system

본 연구의 적용 대상선은 환경 친화적인 소재인 알루미늄 합금을 이용한 30 피트급 고속레저보트이다. 알루미늄합금제를 이용한 레저보트는 기존에 널리 사용되고 있는 FRP 소재의 레저보트와는 재료의 물성치가 다를 뿐 아니라, 풍 력설비 및 배터리 등이 배치되어야 하므로 선체 중량이 다르게 된다. 따라서 정확한 초기 배수량 추정이 매우 중요한 설계요소이다. 본 연구에서는 정확한 배수량을 먼저 추정하고, 이를 바탕으로 기존 실적선의 분석을 통하여 주요제 원을 결정하였으며, 설계전용 S/W인 MAXSURF를 이용하여 선형을 개발하였다. 개발된 레저보트의 기본 성능을 고속회류수조에서 모형시험을 통하여 분석하였 다. 선체에 장착하고자 하는 풍력설비는 선박의 규모와 배치를 고려하여 200%급 수직순환형으로 결정하였다. 선체에 풍력설비를 장착하고 항주할 경우, 풍력설 비에 의하여 공기저항이 증가하게 된다. 그 증가량을 정확히 추정하는 것이 에 너지의 효율적인 운용 측면에서 매우 중요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 선 체모형에 풍력모형을 장착하여 회류수조에서 모형시험을 실시하였다. 본 연구 의 풍력터빈은 10m/s(약 20노트)이상에서 정격 출력이 발생하도록 설계되었으 며 고속 레저보트의 통상 운항속도는 25-30노트 범위이므로 24-30노트의 범위 에서 모형시험을 수행하였다. 수조 앞쪽 상부에 풍속을 조절할 수 있는 송풍기 를 설치하여 바람을 일으키면서 모형시험을 수행하여, 풍력설비에 대한 저항증 가량을 도출하였다. 이를 통하여 풍력터빈에 의한 공기저항을 추정할 수 있는 새로운 추정식을 제안하고, 본 개발 시스템의 효율적인 운용방안을 제안하였 다.

제 2 장 풍력에너지 활용을 위한 시스템 구성

2-1 개요

최근 신재생에너지에 대한 관심이 증가하면서 풍력발전에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 풍력발전기는 바람의 에너지를 전기에너지로 바꿔주는 장치로 서, 풍력발전기의 날개를 회전시켜 이때 생긴 날개의 회전력으로 전기를 생산 한다. 풍력발전기는 날개, 변속장치, 발전기로 구성되어 있다.

풍력 발전기는 풍속이 세고, 풍차가 클수록 더 많은 전기 에너지를 생산할 수 있기 때문에 풍력 발전기의 발전량은 바람의 세기와 풍차의 크기에 의존하 고 있다. 또한 높이가 높아질수록 바람이 세게 불기 때문에 높은 곳의 발전기 가 낮은 곳의 발전기보다 발전량도 많다. 풍력으로 효율적인 발전하려면 평균 초속 4m/s 이상으로 부는 바람이 필요하다고 알려져 있다. 따라서 선박운항 시 발생하는 풍속은 풍력발전을 위하여 충분한 속도라고 판단된다.

본 장에서는 연안에서 레저 활동용으로 많이 사용하는 규모인 30피트급 레저 보트에서 냉난방 및 조명을 위하여 필요한 전력량을 추정하고, 선박에서의 탑 승자의 이동 동선과 운항 시 조건 등을 고려하여 선상에 설치가 적합한 풍력발 전기 선정에 대하여 언급하였다.

2-2 전력량 추정 및 배터리 선정

본 연구에서 선체에 장착한 풍력발전기의 주목적은 앞에서 언급한 바와 같이 선내 전등 및 계절별 냉난방설비를 위한 에너지원 확보이다. 30피트급 레저보 트의 주 사용목적이 근거리 낚시와 같이 연안에서의 레저 활동인 점을 고려하 여 1일 최대 8 시간을 운항한다고 가정하였다.

본 연구에서 개발하고자 하는 소형레저보트에서 필요한 전열, 전기기구는 소 형 선실에서 필요한 냉난방기, 전기온돌 그리고 LED 조명이다. Table 2-1와 같 이 전력사용량을 추정하여 전체 사용전력예상량과 사용전류로 볼 때 200W급 풍 력발전기에서 연속적으로 전기를 충전하여 주고 선박의 엔진에 장착된 발전기 에서 발생되는 전기를 충전하여 사용하면 전열기구등을 사용하는 데는 큰 무리 는 없을 것으로 예측된다.

전열기구	전력 사용량	사용전류	
전기온돌	0.4kW*2시간=0.8kWh	1.8(A)	
냉난방기	0.9kW*2시간=1.8kWh	4.1(A)	
LED조명	60W*6시간=0.36kWh	0.3(A)	
총사용량	2.96kWh	6.2(A)	

Table 2-1 Estimation of power consumption

풍력발전기에서 발생한 전기에너지를 저장하기 위하여 배터리가 필요하다. 본 연구의 대상인 30피트급 레저보트는 배수량 약 5톤 내외인 활주형 선박으로 전체 배수량 및 무게 분포가 활주성능에 큰 영향을 주게 된다. 따라서 선박 성 능을 고려할 경우, 가능하면 Battery를 적게 탑재하여 무게를 줄여야 한다. 본 연구에서는 이를 고려하여 최소의 배터리를 탑재하도록 시스템을 구성하였다. 최근 리튬-이온 배터리 또는 리튬-폴리머 배터리가 가볍고 부피가 작은 장점 때문에 널리 이용되고 있으나, 가격이 고가이고, 폭발의 위험성이 있다는 단점 이 있다. 또한 해상에서는 염분에 대한 내구성이 강해야 하므로 리튬-인산-철 배터리가 적합하다고 판단된다. 본 시스템에는 12V, 100Ah 리튬-인산-철 배터 리 3개를 병렬로 구성하여 사용하면 본 개발 소형레저보트에 필요한 전기에너 지 용량에 적합하다고 판단된다. 선정된 배터리는 총 중량 약 100Kg 정도로 이 는 레저보트 설계 시 배수량 계산과 공간배치에 고려되었다. 이에 대한 자세한 내용은 뒤의 제 3장에서 다시 언급한다.

2-3 풍력발전기 선정

최근 풍력발전기에 대한 관심이 증가하면서 저렴한 소형 풍력발전기가 많이 시판되고 있다. 따라서 본 연구에서는 개발하고자 하는 레저보트에 적합한 종 류와 규모의 풍력발전기를 선정하여 이를 탑재하는 방안을 고려하였다.

풍력발전기는 회전축 방향에 따라 수직축과 수평축 형식으로 나눌 수 있으 며, 공력이용 방법에 따라 양력식과 항력식으로 크게 분류된다. 수평축 풍력발 전기는 구조가 간단하고 설치가 용이하며 에너지변환 효율은 좋으나 바람의 방 향에 따라 시스템을 회전시킬 수 있는 요잉장치가 필요하고 소음이 심한 단점 이 있다. 수직축 풍력발전기는 수평축 풍력발전기에 비하여 효율이 낮은 단점 이 있으나, 날개 형상이 단순하고, 소음이 작을 뿐 아니라 바람 방향에 큰 영 향을 받지 않는다는 장점이 있는 관계로, 본 연구대상의 경우와 같이 임의의 방향으로 이동하는 선체에 부착하기에는 유리하다고 판단된다[13].

Fig. 2-1에 대표적인 수직축 풍력발전기를 나타내었고, 각각의 특징을 비교 하여 Table 2-2에 나타내었다.

수직축 풍력발전기 중 양력식 발전기는 항력식 발전기에 비하여 효율이 높 고, 구조가 간단할 뿐 아니라 유지보수가 용이하다는 장점이 있다[13]. 이러한 이유로 본 연구에서는 대표적인 양력식 발전기인 Gyromill type 풍력발전기를 선정하였다.



Fig. 2-1 Vertical shaft wind turbine

항목	자이로밀	사보니우스	다리우스	수평축
블레이드형상	단순	복잡	복잡	복잡
요잉장치	불필요	불필요	불필요	필요
피칭장치	불필요	불필요	불필요	필요
타워	필요	필요	불필요	필요
지지강선 (Guy wire)	불필요	불필요	필요	불필요
소음	낮음	낮음	보통	문 문
블레이드 면적	보통	미이 미이	이이 고리	넓지않음
블레이드 하중	보통	보통	낮음	유민
자력기동	가능 (설계의존)	가능	불가능	가능
타워간섭	적음	적음	적음	ПП
전체적 구조물	단순	중간	단순	복잡

Table 2-2 Comparison for characteristics of wind turbine

본 연구에서 대상으로 한 레저보트는 30피트급으로 일반적으로 선폭이 약 2.5미터 내외이다. 풍력발전기를 선체에 탑재할 경우, 선내에서 탑승자들의 이 동 동선과 미관을 고려하면 터빈의 지름을 가능한 작게 하여야 한다. 그러나 이 지름이 지나치게 작게 되면 날개 상호간의 간섭으로 인하여 효율이 저하되 고 소음이 발생하는 등 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이를 고려하여 터빈의 지름이 최대선폭의 60% 내외가 되는 1.5m 지름의 풍력발전기를 설계한 다. 본 연구에서 적용된 자이로밀 풍력발전기의 설계는 정격풍속 및 회전수, 출력 등을 고려하여 진행하였으며 그 과정은 Fig. 2-2와 같이 표현될 수 있다.



Fig. 2-2 Design process

Fig. 2-3은 자이로밀 풍력 발전기 블레이드 설계에 관한 개념도를 도식화 한 것으로 이론적인 부분과 시행착오를 통한 반복적인 설계의 조합이 이루어져야 한다.



Fig. 2-3 Wind turbine design concepts

(식 2-1)은 풍력발전기로 입사되는 바람의 동력을 나타내고, (식 2-2)는 풍 력 발전기에 의해 발생하는 기계적 출력을 나타낸다. 풍력 발전기 출력은 풍속 의 세제곱에 비례하고 로터 회전 면적에 비례한다. 이러한 이론적 배경을 바탕 으로 풍력발전기 로터를 설계한다.

$$P = \frac{1}{2}\rho A V^{3} - \dots - (4 \ 2-1)$$

$$P_{T} = T\omega - \dots - (4 \ 2-2)$$

여기서 ho : 공기밀도 (kg/m^3)

- A: 로터 회전 면적 (m^2)
- V: 풍속 (m/s^2)
- T: 풍력발전기 축 토크 (N•m)
- ω: 풍력발전기 회전 각속도 (rad/s) 이다.

풍력발전기 로터 설계에 있어서 입사되는 바람의 동력으로부터 로터에서 변 환되는 동력의 비율을 동력 계수 (power coefficient)라고 하며 이는 공기역학 적 에너지 변환효율 개념이다. 이론적으로 동력 계수의 최대값은 5.593으로 이는 베츠 한계 (Betz limit)라고 알려져 있다. 이 동력 계수는 풍력발전기의 형 식마다 다르며 설계시 적절한 동력 계수 값을 가정하여 사용하여야 한다. (식 2-3)은 동력 계수를 나타낸다.

$$C_P = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho A V^3} \quad ----- \quad (4 \ 2-3)$$

Fig. 2-4는 풍력발전기 형식에 따른 동력 계수를 도시한 것이다.



Fig. 2-4 Wind turbine power coefficient

(식 2-4)는 동력 계수 및 동력전달 효율을 고려한 풍력발전기의 출력을 나타 낸다.

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \eta C_P \quad ----- \quad (4 \ 2-4)$$

여기서 η : 발전기 효율 이다.

블레이드가 회전할 때 블레이드의 끝이 움직이는 속도를 선단속도라고 하고, 이 속도가 증가할수록 소음발생도 증가하기 때문에 중요하게 취급되는 변수이 다. 주속비는 풍력발전기 블레이드의 선단속도와 풍속의 비로 정의되며 (식 2-5)와 같이 나타낸다.

$$\lambda = \frac{R\omega}{V} = \frac{R2\pi n}{V} \quad (4 \ 2-5)$$

여기서 R : 로터 반경 (m)

n : 로터 회전수 (RPM) 이다.

풍력 발전기의 성능을 특징짓는 또 하나의 중요한 변수로 솔리디티 (solidity)가 있다. 솔리디티는 풍력발전기의 로터 회전면적에 대한 로터 블레 이드의 전 투영면적의 비로 정의된다. 여기서의 투영면적은 회전축의 수직인 면에서의 투영을 의미하고 있어 수직축 풍력 발전기에서는 사보니우스형이 자 이로밀형보다 솔리디티가 크다. (식 2-6)은 솔리디티를 도시한 것이다.

$$\sigma = \frac{A_P}{A} = \frac{NK}{2\pi R} \quad (4 2-6)$$

여기서 N : 블레이드 개수

A_P: 각 블레이드 면적의 합 (m²)
K: 코드 길이 (m)를 의미한다.

자이로밀 풍력 발전기 블레이드를 설계하기 위해서는 정격 출력, 공기 밀도, 정격 속도, 회전수, 블레이드 수, 블레이드 높이, 블레이드 코드 길이와 같은 주요 변수들이 존재한다.

Table 2-3은 (식 2-1)부터 (식 2-6)을 이용하여 설계된 200W급 자이로밀 풍 력발전기 사양을 나타낸다. 설계된 자이로밀 수직축 풍력발전기는 NACA 63415 에어포일을 사용한 4개의 블레이드를 가지며 400 RPM의 로터 회전에서 200W의 출력을 가지도록 설계하였다.

Item	Value
Airfoil Type	NACA63415
Power based on generator	200 W
Rated Wind Velocity	10 m/s
No. of Blades	4
Turbine Radius	0.75 m
Length of Blade	0.8m
Turbine Shaft Radius	0.1 m
Rotational Speed	400 RPM
Blade Chord Length	0.4m

Table 2-3 Principal dimensions of selected wind turbine

Table 2-3의 사양으로 설계된 블레이드 및 로터의 자세한 3차원 모델링을 도 시하여 Fig. 2-5에 나타내었다.



Fig. 2-5 3D modeling of rotor and blade

제 3 장 풍력설비 적용을 위한 레저보트 선형설계

3-1 개요

인간과 밀접한 환경인 바다는 화석연료를 대체할 자원 개발의 대상으로 활발 한 연구와 탐사가 이루어지는 동시에 여가생활을 영위하기 위한 레저 활동의 공간으로 사용되고 있다. 하지만 이러한 바다는 늘 오염이라는 문제를 안고 있 다. 그 중 인간에 의한 직접적인 원인도 있지만 운항하는 선박에서 나오는 각 종 오염물질과 내구연한이 다 되어 버려지는 선박에 발생되는 폐기물 등은 또 다른 오염원이 되고 있다.

인류는 선박을 만들어 활용하면서 점차 안전하면서 활용하고자 하는 용도에 적합한 선박을 만들기 위해 노력해 왔다. 특히 선박의 고속화 및 내구성 향상 을 위하여 선체를 구성하는 선각재질과 건조공법 등은 계속적인 연구와 발전을 해 오고 있다. 소형선박의 경우 FRP 소재를 사용하여 선체를 제작하는 방법을 널리 사용하여 왔다. FRP를 소재로 하는 선체는 가볍고 강도는 우수한 장점이 있지만 인화성이 높기 때문에 화재에 취약한 단점을 가지고 있다. 또한 건조 시 각종 분진을 발생시켜 작업자의 건강을 위협하고 있으며, 그 동안 건조되어 왔던 FRP 소재 선박들이 폐선을 하면서 환경에 직접적인 영향을 주고 있다. 따 라서 이를 대체할 소재 등이 필요한 시점이다. 국내에서는 이러한 문제에 대한 인식이 최근 들어 증가하면서 FRP 소재를 대신할 소재로 알루미늄합금에 대한 관심이 증가하고 있다.

소형선박에 대한 기술개발 경험이 많은 일본, 뉴질랜드, 호주 등 선진국에서 는 레저선박 및 작업선, 어선과 여객선 등 다양한 선박에 알루미늄 합금재료를 오래전부터 사용하고 있다[14]. 일본의 경우, FRP 폐선 처리 시 발생하는 환경오염 등의 문제점 해결을 위하 여 재처리시설 투자와 제3국에 일정 선령이상의 노후어선을 무상으로 제공하는 등 자국 내 폐선처리를 최대한 억제하고 있으며, 지속적인 선질 개량으로 약 2 천여척의 알루미늄 합금어선을 보급하고 있다[14]. 현재 60여개의 알루미늄합 금제 전문 조선소가 주로 경비정, 어선, 유어선 및 레저보트 등을 건조하고 있 다. 일본의 알루미늄 어선의 예를 Fig. 3-2에 나타내었다.

뉴질랜드의 경우 대량생산을 필요로 하는 선박은 주로 FRP를 이용하고 있으 나, 약 20여개의 알루미늄합금제 전문 조선소가 어선과 작업선 및 주문제작 레 저보트 등을 건조하고 있다[15]. 뉴질랜드의 알루미늄 레저보트의 예를 Fig. 3-3에 나타내었다.

소형선의 경우 사용재료에 따라 선각중량의 차이가 있고, 고속선의 경우 중 량 경감을 위하여 재료 선택에 주의하여야 한다. FRP와 연강 및 알루미늄 합금 의 경우에 대한 선각중량 비교를 다음 Fig. 3-1에 나타내었다[14]. 5m 미만의 소형선박에서는 FRP 소재와 알루미늄합금 사이에 큰 차이는 없으나, 10m 이상 이 되면서 알루미늄합금제 선박의 선각 중량이 FRP 소재에 비하여 가벼워지고, 길이가 증가할수록 그 차이가 커진다는 것을 알 수 있다. 따라서 선각중량 측 면에서 알루미늄 합금이 상당한 경쟁력이 있음을 알 수 있다.

FRP 재질의 선박과 알루미늄합금제 재질 선박의 장단점을 Table 3-1에 비교 하여 나타내었다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같이 풍력발전기와 배터리를 탑재하여야 하므로 가능한 가벼운 재질을 사용하여야 하고, 친환경 선박의 개념에 적합한 알루미늄합금 레저보트를 개발하였다.


Fig. 3-1 Comparison of hull weight by different material[14]



Fig. 3-2 Aluminum fishing boat, Japan[14]



Fig. 3-3 Aluminum leisure boat, NZ[15]

구분	FRP선박	알루미늄 선박
장점	가공시간이 짧음 대량생산가능 경제성이 높음	내부식성 친환경적 소재 우수한 강도
단점	화재 시 확산속도가 빠름 전단강도가 낮음 폐선 시 환경오염	가공이 어려움 비교적 높은 건조 단가

Table 3-1 Comparison of FRP and aluminum boats

3-2 선형결정

3-2-1 기준선 및 주요제원 선정

활주형 소형 고속레저보트를 설계할 때 정확한 배수량 추정과 적절한 무게 분포는 활주성능에 큰 영향을 미치므로 매우 중요한 설계변수가 된다. 초기설 계 단계에서는 유사 실적선 통계자료를 널리 사용하고 있으나, 국내에는 그 실 적자료가 충분치 않은 관계로 본 연구에서는 길이 20m미만, 25노트 이상의 해 외 실적선 80여척을 분석하여 주요제원 결정에 활용하였다. 이 실적자료들은 거의 대부분이 FRP 소재의 보트인 점을 고려하면, 비슷한 크기의 알루미늄 소 재의 보트는 선각 중량이 다소 가벼워지게 된다.

본 개발선은 30피트급 고속레저보트로, 최대속력은 30노트 이상, 승선인원은 4인 가족 2가구가 함께 승선함을 기준으로 최대 8인승으로 계획하였다. 유사한 규모의 FRP 레저보트의 만재배수량은 약 5톤 내외이고, 선각중량은 약 1.5톤 내외이다. 본 개발선의 재질이 알루미늄합금제 임을 고려하면, 선각중량이 다 소 가벼워 질 것이나 본 선박에는 200%급 풍력설비와 배터리가 추가적으로 탑 재되므로 이를 고려하여 배수량은 5톤 내외로 가정하였다.

수집된 고속선들의 주요제원 간의 상관관계를 Fig. 3-4 ~ Fig. 3-8에 나타내 었다. 배수량 5톤 내외일 경우 전장은 약 9~10m 정도이고, 흘수는 0.4m 내외이 다. 전폭과 깊이는 각각 2.5m와 1.5m 내외가 된다. 한편 Chine 폭은 약 2m 내 외이다. 이를 바탕으로 추정된 주요제원은 Table 3-2에 정리하여 나타내었다.



Fig. 3-4 Relation between length and displacement





Fig. 3-6 Relation between length and breadth



Fig. 3-7 Relation between length and chine breadth



ltems		Dimension
L.0.A	(m)	9.5
Breadth	(m)	2.5
Depth	(m)	1.5
draft	(m)	0.4
Displacement	(ton)	4.8~5.5

Table 3-2 Estimated initial principal dimensions

3-2-2 선형설계

본 연구를 통하여 개발하고자 하는 레저보트는 활주형 선박으로, 선체와 수 면 사이의 동적 압력에 의하여 선체가 부양됨으로써 물 위를 활주하여 저항을 감소시키고 고속성능을 향상시키도록 고안된 선형으로서, 설계 및 건조가 용이 하고 흘수가 낮아서 항구 및 항로 개설이 용이하다는 등의 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 악천후 시 선체의 동요가 심하여 내파성능이 불량하고, 일반적으 로 프로펠러가 경사지게 설치되는 관계로 추진효율이 떨어지고 선체진동이 심 해지는 단점이 있으나, 본 연구에서는 Stern driver를 사용하여 이러한 소음, 진동 및 효율 문제를 해결하고자 하였다.

활주선은 Fig. 3-9와 같이 단면은 크게 오목(Concave), 볼록(Convex), 직선 (Straight), 오목 볼록(Inverted bell) 등 네 가지를 기본형상으로 하여 여기 에 약간씩 수정을 가하여 사용하고 있으며[16],[17], 일반적인 배수량형 선박 과는 달리 항주 시 그 부상 량이나 자세변화가 크고, 자유표면에 스프레이 (Spray) 현상이 존재하는 관계로 이론적인 접근이 매우 어렵다. 따라서 지금까 지는 주로 경험적인 방법이나 모형시험에 의존하여 선형개발이 수행되어 왔다. 본 연구에서는 알루미늄 재질의 공작성을 고려하여 직선형 단면을 채택하였다.



Fig. 3-9 Typical midship section shapes of planning boat

종방향 중심위치는 활주시 트림을 변화시켜 성능에 민감한 영향을 준다. Niwa[18]는 실적선 분석을 통하여 중심의 종방향 위치는 선미단에서 선체 길이 의 40% 정도가 적당하다고 제안하였다. 본 개발선의 경우, Niwa의 제안에 따라 종방향 중심위치를 선미단에서 선체 길이의 40% 위치에 오도록 설계하였다.

Clement[19]는 고속으로 항주하는 활주선의 경우 선저로부터 발생된 급류를 선미에서 신속히 제거시키기 위한 방안으로 선미 트랜섬 폭을 최대 폭의 60% ~ 70%정도가 적합하다고 제안하였다. 본 개발선의 경우, 그 평균값인 65%로 결정 하였다.

Kihara & Ishii[20]는 모형시험을 통하여 내항성능 관점에서 파랑 중 선수부 상하 가속도와 선저 경사각과의 관계를 설명하였다. 선저 경사각이 커질수록 파 랑 중 선수 상하 가속도가 줄어드는 경향을 보이지만, 이 각이 커지면 추진효율이 나빠지는 문제가 있다. 따라서 최대 30°가 넘지 않도록 하고, 보통 15°~ 25° 정 도를 제안하고 있다. 그러므로 이 선저경사각은 차인의 위치와 배수량, 흘수 등과 함께 변화하기 때문에 개발선의 주요제원에 맞추어 적정하게 결정 하여야 한다. 본 개발선의 경우, 만재상태에서 선수부 차인의 위치를 가능한 많이 흘수선 아래 위치 시키기 위하여 선저경사각은 15°로 다소 작게 하였다.

활주선의 차인(chine)은 고속에서 선체로부터 파도의 분리를 촉진시켜 충격 가속도를 감소시키는 역할을 할 수 있으며 최대 폭은 선미 끝단으로부터 전장 의 60~65% 전방에 위치하는 것이 적합하고[19][21], Spray rail은 고속에서의 저항감소와 파인딩 시 충격하중 감소, 운동성능 개선에 크게 도움이 된다고 알 려져 있다[22]. 본 개발선의 경우, 차인의 최대 폭은 선미 끝단으로부터 전장 의 60% 전방에 위치시켰으며, 선수부 차인이 흘수선과 8.5 Station에서 만나도 록 설계하여 선수 차인에 작용하는 유체력에 의하여 초기트림이 가능한 크게 발생하도록 하였다. Spray strip은 통상의 레저보트와 동일하게 두 개를 부착 하였다. 이상의 과정을 통하여 본 개발선이 설계되었으며, 주요제원은 배수량을 고려 하여 다소 수정되어 초기에 추정한 값과 다소 차이가 난다. 본 개발선의 중량 추정결과와 주요제원을 Table 3-3과 Table 3-4에, 그리고 Body plan과 G/A를 Fig. 3-10과 Fig.3-11에 각각 나타내었다.

ltem	Weight(kg)	Remarks
Hull Weight	852	
Diesel Oil Tank Weight	1270	
Engine Weight	663	
Water Tank	200	
Teak	40	
Interior fittings weight	55	
Passenger	600	8 person
Reinforcing bar material	230	
ETC(1)	15%	
ETC(2)	700	Wind turbine system
Total weight	5196.5	

Table 3-3 Estimation of weight

ltems		Dimension
L.0.A	(m)	9.5
L.P.P	(m)	7.3
Breadth	(m)	2.5
Depth	(m)	1.5
draft	(m)	0.5
Displacement	(ton)	5.2

Table 3-4 Principal dimensions



Fig. 3-10 Body plan of developed aluminum leisure boat



Fig.3-11 General Arrangement

3-3 모형시험

3-3-1 시험조건

본 개발선은 앞에서 언급한 바와 같이 200W급 풍력발전기와 배터리가 탑재되 어 총 배수량이 5.2톤이고, 풍력설비를 탑재하지 않을 경우에는 배수량이 약 4.5톤 정도이다. 두 배수량 조건에서 모형시험을 수행하여 기본성능을 비교하 였다.

모형시험은 서일본유체기술연구소 고속회류수조에서 24노트~32노트 범위에서 수행하였다. 본 연구의 풍력터빈은 10m/s(약 20노트)이상에서 정격 출력이 발 생하도록 설계되었으며 고속 레저보트의 통상 운항속도는 25-30노트 범위이므 로 24-30노트의 범위에서 모형시험을 수행하였다. 본 장에서는 풍력발전기에 의한 공기저항 증가는 고려하지 않았으므로 공기는 발생시키지 않고 시험을 수 행하였다. 이에 대한 내용은 제 4장에서 다시 언급한다. 모형시험조건은 Table 3-5와 같다.

시험모형은 Lpp=0.7m로 하드우레탄으로 제작하였다(Fig. 3-12).

ltems		Dimension & Test condition	
		Case-1 Case-2	
L.0.A	(m)	9.	500
L.P.P	(m)	7.	300
Breadth	(m)	2.	500
Depth	(m)	1.	500
draft	(m)	0.500	0.456
Lcb	(m)	0.519	0.539
Cb		0.580	0.551
Wetted surface	area (m²)	18.473	17.180
Displacement	(ton)	5.2	4.5

Table 3-5 Comparison of principle dimensions and model test conditions

(*) Lcb(m) : distance from midship to stern part

Case-1 : Full Load condition

Case-2 : Without wind turbine



Fig. 3-12 Test model without wind turbine

3-3-2 시험결과

저항계측결과를 Table 3-6와 Fig. 3-13에 나타내었다. 배수량 차이로 인하여 Case-1의 저항이 전 속도 영역에서 Case-2에 비하여 큰 값을 보인다. 이는 Case-1의 배수량과 침수표면적이 Case-2에 비하여 크기 때문이다. 그러나 고속 선의 중요한 성능지표인 배수량 톤당 저항성능(Rt/△)을 보면, 배수량 5.2톤인 Case-1의 배수량 톤당 저항성능이 오히려 우수한 경향을 보인다(Table 3-7, Fig. 3-14). Case-1의 침수표면적이 Case-2에 비하여 더욱 크기 때문에 마찰저 항이 증가하였고, Table 3-8과 Fig. 3-15에서 보는 바와 같이 배수량 증가로 인하여 조파저항이 증가하였음에도 불구하고 배수량에 대한 상대적인 저항성능 이 우수하다는 의미는 배수량 증가에 비하여 선체 부상이 잘 일어났기 때문이 라 판단된다. 이에 대한 자세한 설명은 뒤에 다시 언급한다.

두 경우에 대한 트림과 침하량변화를 Table 3-9와 Fig. 3-16, Table 3-10과 Fig. 3-17에 각각 나타내었다. Case-1의 트림이 Case-2에 비하여 다소 큰 경향 을 보인다. 선미부에서는 두 경우의 침하량은 유사하나, 선수부에서는 Case-1 이 Case-2에 비하여 전반적으로 선체가 잘 부상되고 있다. 비록 Case-1의 배수 량과 침수표면적이 더욱 클지라도 전반적인 트림과 선체 부상 량이 크기 때문 에 배수량 톤당 저항성능이 Case-2에 비하여 우수하다고 판단된다.

앞의 Table 3-5에서 본 바와 같이 Case-1과 Case-2 두 경우의 차이는 동일한 선형에서 흘수 변화에 따른 침수표면적과 배수량 차이가 가장 크고, 무게중심 위치는 거의 동일하다. 또한 선저경사각도 동일하다. 따라서 Niwa[18], Kihara & Ishii[20]가 설명한 활주성능에 큰 영향을 주는 변수는 큰 차이가 없다. 그 럼에도 불구하고 두 경우의 트림과 침하량이 차이가 나는 원인은 Case-1의 선 수부 차인이 수면하부에 많이 잠기기 때문에 차인에 작용하는 유체력이 더욱 크기 때문이라고 판단된다. 이는 정우철 등[23]의 연구결과와 동일한 경향으 로, 활주선의 차인은 파도를 분리시키는 역할 뿐 아니라 활주성능에도 큰 영향 을 준다고 판단된다. Froude의 비교법칙을 이용하여 실선의 소요마력을 추정하였다. 고속 활주선 의 경우, 속도별 자세변화가 심한 관계로 침수표면적 변화가 크게 된다. 본 연 구에서는 저항성능 해석을 위하여 필요한 침수표면적은 매 속도별 자세변화를 고려하여 다시 계산하였다. Table 3-11과 Fig. 3-18은 Case-1과 Case-2의 정지 상태에 대한 속도별 침수표면적 변화 비율을 보인다. 두 경우 모두 약 40% 정 도의 침수표면적이 감소하는 동일한 경향을 보이고, 속도가 증가할수록 침수표 면적 변화가 줄어들고 있다. 또한 Case-1의 침수표면적 변화가 상대적으로 더 크다. 이는 Case-1의 상대적인 선체 부상 량이 더 크고, 두 경우 모두 속도가 증가하면서 안정된 활주자세를 유지하고 있다는 것을 의미한다.

Case-1과 Case-2의 실선 소요마력을 추정하여 Table 3-12와 Fig. 3-19에 나 타내었다. 추진효율(η)은 0.65로 가정하였다. 설계속도 30노트를 위하여 Case-1의 경우, 약 180kW(240HP) 정도가 필요하고 Case-2의 경우는 약 155kW(200HP) 정도가 필요할 것으로 추정된다.

Case-1과 Case-2의 속도별 파형을 비교하여 Fig. 3-20 ~ Fig. 3-24에 나타내 었다. Case-1의 파형이 Case-2의 파형보다 다소 크게 나타나고 있으나, 배수량 이 증가한 것을 고려하면 그 차이는 미비하며 이는 Case-1의 배수량 톤당 상대 적인 조파저항 성능이 Case-2에 비하여 우수하다는 것을 의미한다. 이는 앞에 서 언급한 바와 같이 Case-1의 선체 부상 량이 Case-2에 비하여 상대적으로 크 기 때문이고, 이는 Case-1의 선수부 차인이 수면하부에 많이 잠기기 때문에 차 인에 작용하는 유체력이 더욱 크기 때문이다.

이상의 결과로부터 선수부 차인의 위치는 트림과 선체 부상에 큰 영향을 미 치고, 저항성능 향상을 위한 중요한 설계변수가 된다는 것을 확인하였다.

	Case-1	Case-2
Fn	Rt(gr)	Rt(gr)
1.44	741.7	641.9
1.58	760.6	669.4
1.72	781.8	694.8
1.82	803.7	714.4
1.95	827.2	752.2

Table 3-6 Comparison of measured total resistance



Fig. 3-13 Comparison of measured total resistance

	Case-1	Case-2
Fn	Rt/W	Rt/W
1.44	0.1662	0.1659
1.58	0.1705	0.1730
1.72	0.1752	0.1795
1.82	0.1801	0.1846
1.95	0.1854	0.1944

Table 3-7 Comparison of total resistance over displacement(Rt/\triangle)



Fig. 3-14 Comparison of total resistance over displacement(Rt/△)

Froude No.	$C_{R \bigtriangledown} imes 10^3$		
	Case-1	Case-2	
1.44	11.15	9.72	
1.58	8.75	7.65	
1.72	6.73	5.92	
1.82	5.75	5.10	
1.95	4.77	4.18	

Table 3-8 Comparison of residual resistance

$$C_{R\nabla} = \frac{R_R}{1/2\rho V^2 \nabla^{2/3}}$$



Fig. 3-15 Comparison of residual resistance performance

	Case-1	Case-2
Fn	trim(deg)	trim(deg)
1.44	5.30	4.70
1.58	4.90	4.30
1.72	4.40	3.90
1.82	4.20	3.70
1.95	3.90	3.50

Table 3-9 Comparison of trim angle(degree)



Fig. 3-16 Comparison of trim angle(degree)

	Case-1	Case-2
Fn	SF(%Lpp)	SF(%Lpp)
1.44	9.57	8.72
1.58	9.29	8.37
1.72	8.97	8.08
1.82	8.81	8.02
1.95	8.67	7.81

Table 3-10 (a) Comparison of sinkage(% of Lpp). F.P



Fig. 3-17 (a) Comparison of sinkage(% of Lpp). F.P

	Case-1	Case-2
Fn	Sm(%Lpp)	Sm(%Lpp)
1.44	4.88	4.48
1.58	4.99	4.50
1.72	5.11	4.57
1.82	5.15	4.66
1.95	5.27	4.72

Table 3-10 (b) Comparison of sinkage(% of Lpp). Midship



Fig. 3-17 (b) Comparison of sinkage(% of Lpp). Midship

	Case-1	Case-2
Fn	Sa(%Lpp)	Sa(%Lpp)
1.44	0.19	0.25
1.58	0.69	0.62
1.72	1.25	1.06
1.82	1.50	1.31
1.95	1.87	1.62

Table 3-10 (c) Comparison of sinkage(% of Lpp). A.P



Fig. 3-17 (c) Comparison of sinkage(% of Lpp). A.P

Wetted surface area ratio ($S_{V=V\!\!s}/S_{V=0}$)					
Froude No.	Case-1		Case-2		
	W.S.A	ratio	W.S.A	ratio	
1.44	11.32	0.613	10.66	0.621	
1.58	11.18	0.605	10.62	0.618	
1.72	11.07	0.599	10.55	0.614	
1.82	11.01	0.596	10.46	0.609	
1.95	10.95	0.593	10.38	0.604	

Table 3-11 Comparison of wetted surface area ratio



Fig. 3-18 Comparison of wetted surface area ratio

	Case-1	Case-2
Vs(Knot)	BHP(kW)	BHP(kW)
24.0	142.6	120.1
26.0	154.3	131.9
28.0	165.9	142.4
30.0	177.8	153.8
32.0	193.3	170.2

Table 3-12 Estimation of BHP



Fig. 3-19 Estimation of BHP



(a) case-1



Fig. 3-20 Comparison of wave patterns, V=24knots



(a) case-1





Fig. 3-21 Comparison of wave patterns, V=26knots



(a) case-1



Fig. 3-22 Comparison of wave patterns, V=28knots



(a) case-1



Fig. 3-23 Comparison of wave patterns, V=30knots



(a) case-1



Fig. 3-24 Comparison of wave patterns, V=32knots

제 4 장 풍력터빈에 의한 저항증가와 계산식 도출

4-1 개요

본 장에서는 앞의 제 3장에서 언급한 알루미늄 레저보트에 풍력발전기를 탑 재하여 운항할 경우, 풍력터빈에 대한 저항증가 대하여 언급하였다.

에너지 보존법칙에 따르면, 선체 상부에 풍력터빈을 설치하고 항주할 경우 발생하는 풍력에너지는 터빈에 부딪히는 바람에 의한 저항증가보다 작게 될 것 이다. 그러나 바다에는 항상 바람이 존재하고, 선박이 운항하지 않을 경우에는 저항증가 없이 에너지 생산이 가능하므로 풍력설비를 장착한 선박들이 개발되 어 운항되고 있다(Fig. 1-2, Fig.1-3). 본 연구에서는 활주형 소형고속선에 소형 풍력설비를 장착하여, 여기에서 발 생한 풍력에너지를 선박 내 전등, 냉난방 등에 필요한 전기에너지로 활용할 수 있는 방안을 도출하고자 하였다. 선내 동선 확보를 위하여 풍력터빈을 거주구 상부에 부착하였고, 복원성 확보를 위하여 배터리는 선체 하부에 배치하여 무 게중심을 낮추도록 하였다. 풍력터빈이 부착된 본 개발선의 개략적인 개념도를 Fig. 4-1에 나타내었다.



Fig. 4-1 General arrangement of developed system

본 개발 레저보트에는 앞에서 언급한 바와 같이 200W급 풍력설비가 탑재된 다. 본 장에서는 풍력설비에 의하여 발생되는 에너지와 풍력터빈에 의한 저항 증가 상호간의 연관성을 분석함으로서, 본 개발 시스템의 효율성을 검토하고, 풍력터빈에 의한 공기저항 증가를 추정할 수 있는 새로운 수식을 제안하였다.

4-2 모형시험

4-2-1 시험조건

앞의 제 3장에서 언급한 본 개발선은 200W급 풍력발전 시스템과 배터리가 탑 재되어 총 배수량은 5.2톤이다. 앞의 Table 3-5에서 본 바와 같이 배수량 5.2 톤에서 흘수는 0.5m이고, 이 조건에서 모형시험을 수행하였다. 선박에 대한 시 험모형은 제 3장의 시험모형과 동일하다.

본 선박에 탑재되는 풍력 터빈은 제 2장에서 언급한 바와 같이 Gyromill type 수직 순환 형으로 주요제원은 Table 2-3과 같다. 풍력 터빈의 시험모형은 나무와 아크릴로 가볍게 제작하여 항주 시 선박의 자세에 영향을 미치지 않도 록 하였으며, 축척비는 선박모형과 동일하다. 따라서 풍력터빈의 시험모형의 지름은 14cm이다. 풍력터빈은 모형시험 시 바람에 의하여 자유롭게 회전이 가 능하도록 부착하였다. 모형제작을 위한 풍력터빈의 스케치를 Fig. 4-2에 나타 내었다.

풍력터빈이 장착된 시험모형을 Fig. 4-3에 나타내었다.



Fig. 4-2 Sketch of wind turbine




Fig. 4-3 Test model with wind turbine

모형시험은 서일본유체기술연구소 고속회류수조에서 14노트 ~ 32노트 범위에 서 수행하였다. 수조 앞부분에 속도 제어가 가능한 송풍기를 설치하여 유속과 동일한 속도로 바람을 일으키면서 시험을 수행하여 풍력 터빈에 작용하는 공기 저항을 계측하였다(Fig. 4-4).



Fig. 4-4 Model test set-up and fan for wind generation

모형시험조건을 Table 4-1에 수록하였다. 여기에서 Case-1-1은 제 3장의 Case-1과 동일한 배수량 5.2톤 조건에서 유속과 동일하게 바람을 일으킨 경우 이고, Case-1-2는 풍력터빈이 부착된 경우이다. 풍력터빈은 개발선의 조타실 상부에 부착할 예정이나 모형시험 시 저항계측에 방해가 되지 않도록 다소 선 수 쪽에 부착하였다. 터빈의 설치 위치에 따라 모형선의 저항성능이나 운동성 능에 약간의 영향은 있을 수 있으나 모형선은 배수량에 따라 흘수를 맞추고 모 형시험을 수행함으로 터빈의 설치위치에 따른 영향은 무시하기로 한다. 본 시 험의 주목적이 풍력 터빈에 작용하는 바람에 의한 저항증가를 계측하는 것이기 때문에 그 위치는 큰 영향을 미치지 않는다고 판단된다.

Test case	Condition	Remarks
Case-1-1	- Displacement = 5.2 Ton - without wind turbine	제3장의 Case-1 5.2ton을
Case-1-2	- Displacement = 5.2 Ton - with wind turbine	기준으로 함.

Table 4-1 Model test condition

4-2-2 시험결과

저항계측결과를 Table 4-2와 Fig. 4-5에 나타내었다. 속도가 증가할수록 풍 력 터빈을 부착한 경우의 저항이 커지고 있다. 두 경우 모두 동일한 배수량 조 건에서 시험을 수행하였고, 유속과 동일한 속도로 풍속을 부여하였다. 따라서 계측된 저항값의 차이는 풍력터빈에 의한 공기저항 차이이다.

트림변화를 Table 4-3과 Fig. 4-6에 Sinkage 계측결과를 Table 4-4부터 Table 4-6까지와 Fig. 4-7부터 Fig. 4-9에 각각 나타내었다. 풍력 터빈 부착과 관계없이 동일한 결과를 보인다. 트림의 경우, 20노트 이하의 저 중속 영역에 서는 7도 내외로 다소 큰 값을 갖다가 속도가 증가하면서 지속적으로 감소하는 전형적인 고속 활주선의 트림 변화를 보이고 있다.

Fig. 4-10부터 Fig.15은 Case-1-2의 속도별 파형분포이다. 20노트 이하인 저 중속 영역에서는 큰 선미트림으로 선미파가 크게 발생하다가 속도가 증가하면 서 선체가 부상하면서 선미파가 줄어들고 있다. 제 3장의 Case-1과 비교해 보 면 속도별 파형 차이는 크게 나타나지 않는다.

	Case-1-1	Case-1-2	
Fn	Rt(gr)	Rt(gr)	
0.856	829.5	834.2	
0.980	811.9	813.3	
1.099	765.8	769.4	
1.218	732.0	737.8	
1.338	732.0	740.3	
1.457	742.8	763.3	
1.583	774.2	781.2	
1.712	807.6	810.0	
1.824	844.8	855.2	
1.947	882.9	897.6	

Table 4-2 Comparison of measured total resistance (gram)



Fig. 4-5 Comparison of measured total resistance (gram)

	Case-1-1	Case-1-2	
Fn	trim(deg)	trim(deg)	
0.856	7.34	7.45	
0.980	7.33	7.35	
1.099	6.65	6.70	
1.218	5.85	5.88	
1.338	5.50	5.50	
1.457	5.04	5.12	
1.583	4.57	4.69	
1.712	4.16	4.28	
1.824	3.89	3.96	
1.947	3.60	3.69	

Table 4-3 Comparison of trim angle (degree)



Fig. 4-6 Comparison of trim angle (degree)

	Case-1-1	Case-1-2	
Fn	SF(%Lpp)	SF(%Lpp)	
0.854	9.52	9.60	
0.979	9.99	9.98	
1.100	9.97	10.13	
1.217	10.00 10.11		
1.340	9.70 9.81		
1.457	9.37	9.40	
1.583	8.81	8.95	
1.712	8.46 8.60		
1.824	8.36 8.28		
1.943	8.22	8.13	

Table 4-4 Comparison of sinkage (% of Lpp) F.P



Fig. 4-7 Comparison of sinkage (% of Lpp) F.P

	Case-1-1	Case-1-2	
Fn	Sm(%Lpp)	Sm(%Lpp)	
0.854	-3.36	-3.49	
0.979	-2.86	-2.93	
1.100	-1.68	-1.62	
1.217	-0.25	-0.19	
1.340	0.06	0.19	
1.457	0.56	0.44	
1.583	0.81	0.75	
1.712	1.18	1.12	
1.824	1.56	1.37	
1.943	1.93	1.68	

Table 4-5 Comparison of sinkage (% of Lpp) Midship



Fig. 4-8 Comparison of sinkage (% of Lpp) Midship

	Case-1-1	Case-1-2	
Fn	Sa(%Lpp)	Sa(%Lpp)	
0.854	3.08	3.06	
0.979	3.56	3.53	
1.100	4.15	4.26	
1.217	4.87	4.96	
1.340	4.88	5.00	
1.457	4.97	4.92	
1.583	4.81	4.85	
1.712	4.82	4.86	
1.824	4.96	4.83	
1.943	5.09	4.91	

Table 4-6 Comparison of sinkage (% of Lpp) A.P



Fig. 4-9 Comparison of sinkage (% of Lpp) A.P



Vs = 14.0 knots



Vs = 16.0knots

Fig. 4-10 Wave patterns for Case-1-2



Vs = 18.0knots



Vs = 20.0knots

Fig. 4-11 Wave patterns for Case-1-2



Vs = 22.0knots



Vs = 24.0knots

Fig. 4-12 Wave patterns for Case-1-2



Vs = 26.0knots





Fig. 4-13 Wave patterns for Case-1-2



Vs = 30.0knot



Vs = 32.0knots

Fig. 4-14 Wave patterns for Case-1-2

계측된 저항값을 Froude의 비교법칙에 따라 실선의 저항값으로 환산한 후, 이를 다시 유효마력으로 환산하여 Table 4-7과 Fig. 4-15에 비교하여 나타내었 다. 두 경우의 유효마력 차이는 풍력터빈에 작용하는 공기저항에 기인한 것이 다. 속도가 증가하면서 유효마력의 차이는 점차 커지는 경향을 보인다. 이는 공기저항은 속도의 제곱에 비례하기 때문이다. 이에 대한 자세한 내용은 뒷장 에서 다시 언급하기로 한다.

Ship speed	EHP (kW)			
(knots)	Case-1-1	Case-1-2		
14	63.1	63.2		
16	69.5	69.8		
18	72.4	72.8		
20	74.3	75.0		
22	80.2	81.1		
24	86.7	87.8		
26	94.8	96.0		
28	104.1	105.4		
30	113.7	115.3		
32	126.4	128.3		

Table 4-7 Comparison of EHP for actual ship



Fig. 4-15 Comparison of EHP for actual ship

4-2-3 풍력터빈에 의한 공기저항 분석

소형고속선에서 공기저항에 관한 체계적인 실험결과는 발표된 바가 없는 관 계로, 본 연구에서는 일반 상선에서 사용하는 공기저항 추정식과 본 연구의 모 형시험 결과로부터 도출된 터빈에 의한 공기저항 증가량을 비교해보고, 그 오 차 원인을 분석하였다. 또한 새로운 공기저항 추정식을 제안하였다.

본 연구에서 대상으로 한 풍력발전기는 앞의 제 2장에서 언급한 바와 같이 1.5m 지름과 0.8m 높이의 터빈을 갖는 200W급으로, 적정풍속은 10m/s(약 20노 트) 이상이다(Table 2-3). 따라서 모형시험 결과 중 20노트 이상의 속도로 항 주할 경우에 대하여 터빈에 의한 실선의 공기저항 증가량만을 정리하여 Table 4-8에 나타내었다. 앞에서 언급한 바와 같이 속도가 증가할수록 두 경우의 마 력차이가 함께 증가하는 경향을 보인다. 이는 공기저항은 풍속의 제곱에 비례 하기 때문이다.

Ship speed (knots)	Power increment (kW)
20	0.7
22	0.9
24	1.1
26	1.2
28	1.3
30	1.6
32	1.9

Table 4-8 Power increment by wind turbine for actual ship

Taylor는 운항 중 선체에 작용하는 공기저항은 수면상부에 돌출된 부분의 투 영면적과 풍속의 제곱에 비례하고, 다음 식(4-1)과 같은 공기저항 추정식을 제 안하였다[24].

R_{AA} = 0.00435× $\frac{1}{2}A_{VT}$ ×(V_R)² ------ (식4-1) 여기에서 R_{AA} : 공기저항(Ib) A_{VT} : 투영면적(ft²) V_R : 상대속도(knot) 이다.

한편, ITTC에서는 다음 식(4-2)와 같은 공기저항 추정식을 제안하였고, 현재 이를 국제 표준으로 널리 사용하고 있다. 본 연구에서도 ITTC-1978 추정식을 사용하여 터빈에 의한 공기저항 증가량을 추정하여 모형시험 결과와 비교하였 다. $C_{AA} = 0.001 \times (A_{VT}/S)$ ------ (44-2)

여기에서 C_{AA} : 공기저항계수

위 식은 다시
$$C_{AA}$$
 = $\frac{R_{AA}}{\frac{1}{2}\rho SV^2}$ 로 표현될 수 있다.

식(4-2)를 정리하면 공기저항은 다음 식(4-3)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} R_{AA} &= 0.001 \cdot \frac{1}{2} \rho S V^2 \cdot A_{VT} / S \\ &= 0.0005 \cdot \rho \cdot A_{VT} \cdot V^2 \\ &= 0.0005 \cdot (0.125) \cdot A_{VT} \cdot V^2 \end{aligned}$$

따라서

 $R_{AA} = 0.000063 \times A_{VT} \times (V_R)^2 \quad ----- \quad (-4.4-3)$

여기에서 R_{AA} : 공기저항(kg) A_{VT} : 투영면적(m 2) V_R : 상대속도(m/s) 이다.

위 식을 활용하여 공기저항에 의한 유효마력을 다음과 같이 정리할 수 있으 며 최종 식은 (식4-4)와 (식4-5)로 표현된다.

$$HP = \frac{R_T \cdot V}{75} = \frac{0.000063}{75} \cdot A_{VT} \cdot V^3 \quad \dots \quad (44-4)$$

여기에서 P_{AE} : 공기저항에 의한 소요마력(kW) A_{VT} : 투영면적(m²) V_R : 상대속도(m/s) 이다.

본 연구에서는 ITTC-1978 수식(식4-5)에서 사용된 투영면적 대신, 날개의 단 면적을 적용한 수식으로 풍하중을 추정하여 모형시험 결과와 함께 비교하였다. 단면적 계산 수식은 아래와 같다.

 A_{VT} =높이×ChordLength×날개수 이다.

위 식을 사용하여 계산한 단면적은 1.28m²(0.8 X 0.4 X 4)이고, 이를 (식 4-5)에 대입하여 풍력터빈에 작용하는 공기저항을 추정하였고, 이를 모형시험 결과와 비교하여 Table. 4-9에 나타내었다. 단, 이 때 터빈에서 생산되는 에너 지는 무시하였다.

모형시험결과로부터 추정한 실선의 공기저항값과 ITTC-1978 방법을 적용한 계산값의 차이가 매우 커서 두 값의 직접적인 비교는 의미가 없다고 본다. 그 이유는 ITTC 방법은 상선의 공기저항 추정에 사용되도록 고안된 수식인 관 계로 본 경우와 같은 고속활주선의 공기저항 추정에는 그 적용상 한계가 있기 때문이다.

Ship speed	P_{AE} (kW)				
(knots)	Model test	I TTC-1978	ITTC-1978		
		(투영면적)	(단면적)		
20	0.7	0.0008	0.0009		
22	0.9	0.0011	0.0012		
24	1.1	0.0014	0.0015		
26	1.2	0.0018	0.0019		
28	1.3	0.0022	0.0024		
30	1.6	0.0028	0.0030		
32	1.9	0.0033	0.0036		

Table 4-9 Comparison of power increment for wind turbine by model test and ITTC-1978 for actual ship

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안을 제시하고자 하였다. ITTC-1978 방법(식 4-5)에서 제안한 변수를 이용하여 터빈에 작용하는 공기에 의한 마력 증가량을 정리하여 Table 4-10에 나타내었고, 이를 도시화하여 Fig. 4-16에 나타내었다. 본 결과로부터 공기저항에 의한 새로운 마력증가량 추정식 을 다음과 같이 제안하고자 한다.

 $P_{AE} = 0.0004 imes A_{VT} imes (V_R)^3$ ------ (식4-6) 여기에서 P_{AE} : 공기저항에 의한 소요마력(kW)

 A_{VT} : 투영면적(m²)

 V_R : 상대속도(m/s) 이다.

상기 식(4-6)은 Gyromill type의 수직순환형 풍력터빈에 작용하는 저항증가, 즉, 힘을 추정할 수 있는 수식으로, 향후 본 연구와 같이 동일한 형태의 풍력 터빈을 선체에 설치하고 운할 할 경우 뿐 아니라, 육상에 설치할 경우에도 유 용하게 활용될 수 있으리라 판단된다.

Power increment(kW)	ITTC-1978 method's variable ($A_{VT} \!\! imes (V_R)^3$)
0.70	1320.75
0.90	1698.11
1.10	2264.15
1.20	2830.19
1.30	3584.91
1.60	4339.62
1.90	5283.02

Table 4-10 Relation between power due to air resistance by wind turbine and ITTC-1978 method's variable



Fig. 4-16 Relation between power due to air resistance by wind turbine and ITTC-1978 method's variable

제 5 장 결과 및 고찰

해상에 존재하는 바람과 선박이 항주하면서 발생되는 바람을 활용하여 선체 상부에 설치된 풍력터빈을 기동하여 선박에 필요한 전기에너지를 확보하고자 하였다. 이는 단순한 시스템의 설치뿐 아니라 본 연구에 적용된 개념을 근거로 다양한 복합에너지 활용 선박의 개발 가능성을 제시하였으며, 선박의 이산화탄 소 배출을 줄이는데 활용할 수 있는 실험적 연구라 할 수 있다.

이를 위하여 선박 내에 필요한 전력량을 산출하였으며 이에 따른 적정규모의 발전기를 설계하였으며 터빈을 모형선에 장착하여 회류수조 모형시험을 수행하 였다. 모형시험은 풍력터빈을 설치하지 않은 상태와 풍력터빈을 설치한 상태로 진행하였으며 이를 통하여 동일한 선형에서 차인의 위치에 따른 선박의 저항성 능을 확인할 수 있었다.

모형시험은 실제 운항조건에 따른 풍속을 계산하여 공기를 공급하여 선박의 운항 시 공기저항에 대한 실험을 수행하였고 그 결과를 ITTC에서 제시한 계산 방법과 비교하였으며 상관관계를 분석하여 새로운 수식을 도출하였다.

Table 5-1은 모형시험으로부터 추정한 풍력터빈에 작용하는 공기저항에 의한 마력증가와 풍력발전 에너지 200W와의 차이, 즉 풍력터빈에 의한 순수한 에너 지 손실량을 나타낸 것이다.

Ship speed (knots)	Power increment (kW)		
20	0.5		
22	0.7		
24	0.9		
26	1.0		
28	1.1		
30	1.4		
32	1.7		

Table 5-1 Power increment considering energy generation by wind turbine for actual ship

일반적인 30피트급 고속레저보트는 연안에서 낚시용으로 가장 널리 사용되고 있다. 따라서 본 개발 시스템도 다음과 같이 연안에서 낚시용으로 사용한다고 가정하여 운용방안을 분석하였다.

① 1시간 거리의 낚시위치로 이동시 30노트로 왕복 2시간 운항

② 낚시 위치 이동 시 20노트로 2시간 운항

따라서 본 개발 레저보트는 정지하여 낚시를 할 경우를 포함하여 1일 20시간 을 정박하게 되고, 그 중 15시간만 100% 전기를 생산한다고 가정하였다.

30노트로 2시간 운항할 경우 터빈에 의한 에너지 손실은 2.8kWh이고, 20노트 로 2시간 운항할 경우의 에너지 손실은 1.0kWh이다. 따라서 운항 시 발생하는 총 에너지 손실은 3.8kWh가 된다. 이에 반하여 200W급 풍력발전기가 15시간 동 안 생산하는 전기에너지는 총 3.0kWh이다. 따라서 이 경우, 800W의 에너지 손 실이 발생한다. 정시 시 20시간동안 100% 전기에너지를 생산한다고 가정하여도 총 생산 전기에너지는 4.0kWh로, 생산된 에너지가 운항 중 저항증가로 모두 소 모되게 된다.

낚시 위치로 이동하는 최대속도를 25노트라고 가정할 경우, 터빈에 의한 총 에너지 손실은 3.0kWh가 되므로 이를 충당하기 위해서는 15시간동안 100% 꾸준 히 전기가 생산되어야 한다.

해상에는 항상 바람이 존재한다고는 하지만, 본 연구에서 사용된 200%급 풍 력발전기의 정격 풍속이 10m/s인 관계로 정지 시 100% 전기에너지를 생산한다 는 것은 어려운 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서와 같이 소형 레저보트에 풍력발전기를 탑재할 경우에는 운항 시 터빈에 작용하는 공기저항을 최소화하 기 위하여 터빈을 접었다가 정지 시 이를 다시 펼칠 수 있는 방법을 활용하는 것이 바람직하다고 판단된다. (식4-5)와 (식4-6)에서 알 수 있듯이 풍력이 작 용하는 면적을 작게 하면 운항 중 터빈에 작용하는 공기저항은 줄어들게 되므 로 풍력에너지의 효율적인 활용이 가능하다. 이에 따른 터빈의 구조적 안정성 과 접이식 시스템이 간편하게 적용될 수 있는 방안마련 등의 추가적인 연구도 필요하다고 사료된다.

제 6 장 결론

본 연구에서는 해상에 존재하는 풍력을 선박에 필요한 에너지로 활용하고자 지금까지 중형급 이상의 선박에서 장착하였던 풍력설비를 소형레저보트에 장착 하여 그 가능성을 검토하였다.

적용 대상선은 환경 친화적인 소재인 알루미늄 합금을 이용한 30피트급 고속 레저보트이고, 풍력발전기는 200W급 규모의 수직순환형이다. 선체에 장착된 풍 력설비와 이로부터 발생한 전기를 충전할 수 있는 배터리 등을 고려한 선박이 설계되었으며, 회류수조 모형시험을 통하여 풍력설비를 고려한 레저보트의 기 본 성능과 풍력설비에 작용하는 공기저항을 계측하였다.

본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다

(1) 본 연구를 통하여 개발한 200W급 수직순환형 풍력터빈에 작용하는 공기 저항을 계측하여 실선에서 풍력터빈에 의한 에너지 증가를 추정할 수 있는 새 로운 수식 P_{AE}(kW)= 0.0004×A_{VT}×(V_R)³ 을 제안하였다. 본 수식은 유사한 규모의 육상 풍력발전 설비에서도 터빈에 작용하는 풍압을 추정할 때 유용하게 사용할 수 있다.

(2) 일반적으로 선박의 공기저항을 추정할 때 사용하는 국제표준식인 ITTC-1978 수식은 본 연구와 같은 고속선에 작용하는 공기저항을 추정할 경우 큰 오차가 발생하게 된다. 이는 ITTC-1978식이 일반 상선에 적합하도록 제안된 수식이기 때문이다.

(3) 에너지 보존법칙에 따르면, 선체 상부에 풍력터빈을 설치하고 항주할 경

우 발생하는 풍력에너지는 터빈에 부딪히는 바람에 의한 저항증가보다 작게 되고, 본 연구에서는 모형시험을 통하여 이를 확인하였다. 따라서 고속선에 풍력 터빈을 장착하고 운항할 경우에는 풍력설비에 의한 공기저항이 최소화될 수 있 는 접이식이나 탈착식 등의 적절한 시스템이 필요하다.

(4) 본 연구를 통하여 개발한 알루미늄 레저보트의 경우, 배수량이 증가함에 도 불구하고 고속선의 중요한 성능지표인 배수량 톤당 저항성능(*Rt/Δ*)이 우 수하다. 동일한 선박에서 배수량만을 증가시킬 경우, 고속선 성능에 중요한 영 향을 주는 선수미 선저경사각은 동일하고, 본 선박의 경우 종방향 중심위치도 큰 변화가 없으므로 차인 위치만 변하게 된다. 따라서 흘수선과 만나는 차인의 위치가 고속선의 성능에 민감한 영향을 준다는 것을 확인하였다.

(5) 흘수선과 만나는 차인의 위치가 선수부에 위치할수록 차인에 작용하는 유체력이 증가하면서 상대적으로 큰 트림을 유발하고, 속도가 증가할수록 선체 를 잘 부상시켜 저항성능이 우수해 진다.

[참 고 문 헌]

[1] IMO MEPC 59 report, 2007.

[2] Y. Doi, K. Mori and T. Hotta : "Friction Drag Reduction by Microbubbles", J. SNAJ, Vol. 170, pp. 55-63, 1991.

[3] 김종현 : "선박 저항성능 개선을 위한 공기 윤활법 적용 연구", 인하 대학교 대학원 박사학위 논문, 2010.

[4] 김규선 : "자유 순환 공기윤활을 이용한 고속선 저항성능 개선에 관한 연구", 조선대학교 대학원 박사학위 논문, 2011.

[5] http://www.skysails.info.

[6] http://www.stx.co.kr/Front.

[7] 박우석, 박진희 : "국내 연안에서의 SkySails 시스템 활용에 대한 검토 와 효용분석" 한국항해항만학회지 v.32 no.10, pp.813 - 819 , 2008.

[8] Takeshi Katagi, Yoshimi Fujii, Eiichi Nishikawa, Takeshi Hashimoto, Kenji Ishida : "Photovoltaic Generating System on Ships to Reduce Fossil Fuel Dependence" Journal of the Korean Society of Marine Engineers, pp.176-186, 1996.

[9] 최한규, 김희제, 이경준 : "선박용 태양광 하이브리드 발전시스템 개념 설계" Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority / no.29, 2010년, pp.2-15.

[10] 정우철 : "태양광 추진 소형 레저보트 해그린-1호 선형개발" 선박안 전기술공단 선박안전지 제 30권, 2011.

[11] http://www.alcatrazcruises.com/website/hybrid.aspx

[12] SES Project(Japan), http://jrtt.go.jr, 2010.

[13] 김병국, 김영호, 송우석, 이승배, 남상규, 김사만 : "수직축 풍력터빈 성능개선에 관한 실험적 연구", 유체기계저널 제 10권, 제3호 PP.17-24, 2007.

[14] 구현모, 강병재, 강대선 : "알루미늄합금제 연안소형 어선의 설계 및 건조공법 연구" 선박안전기술공단 선박안전지 제 23권, 2007.

[15] Alloy Yachts International (www.alloyyachts.co.nz)

[16] H. E. Saunders : "Hydrodynamics in Ship Design", Vol. 2, SNAME, 1957.

[17] J. G. Koelbel : "Performance Prediction", Small Craft Engineering Resistance, Propulsion and Sea keeping, SNAK, 1978.

[18] S. Niwa: "高速艇工學", 丹艇協會出版部, 1971.

[19] E. P. Clement : "Development and Model Tests of an Efficient Planing Hull Design", DTNSRDC Report No. 1314, 1959.

[20] K. Kihara and T. Ishii : "A New Method of Initial Design for High Speed Craft(2)", Trans. of WJSNA, Vol. 72, pp 293-300, 1986. [21] E. P. Clement : "Reduction of Planing Boat Resistance by Deflection of the Whisker Spray", DTNSRDC Report No. 1929, 1964.

[22] M. Komatsu and M. Yamaguchi : "Resistance and Propulsion of High Speed Craft",高速艇과 性能 Symposium,日本造船學會,pp 75-118, 1989.

[23] 정우철, 류철호, 오대균 : "50피트급 고속 탄소섬유 레저보트 저항특 성에 관한 연구", 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, 2012.

[24] SNAME : "Principles of Naval Architecture(4th Edition)", pp 314-318, 1977.

	저작물 이용 허락서					
학 과	선박해양공학과	학 번	2009)7411	과 정	박사
성명	한글: 이 유	신 한문	:李 維	新 영문	: LEE,	YOU SHIN
주 소	인천 부평구	그 갈산동	159			
연락처	E-MAIL : ap	otofp@na	ver.com			
논문제목	논문제목 한글 : 소형 고속 레저보트에 적용된 풍력터빈의 공기저항에 관한 연구 영어 : A Study on the Air Resistance of Wind Turbine on High Speed Leisure Boat					금기저항에 rbine on
본인이 저작물을	저작한 위의 저작 이용할 수 있도 ^를	물에 대하 루 허락하기	여 다음과 고 동의합니	같은 조 다.	건아래 조	선대학교가
 - 다 음 - 1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함 2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집 · 형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 3. 배포 · 전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함. 6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음 7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송 · 출력을 허락함. 						
동의여부 : 동의(0) 반대()						
2012년 0월 기기기 · · · · · · · · · · · · · · · · · ·						
서삭사 : 이 유 신 (서명 또는 인)						
조선대학교 총장 귀하						