

포드형 추진시스템을 이용한 카타마란형 솔라보트에 관한 연구

김명준* · 채규훈**

*, ** 군산대학교 해양과학대학 동력기계시스템공학전공

Study on Catamaran Type Solar Boat Using the Pod Propulsion System

Myoung-Jun Kim* · Gyu-Hoon Chea**

*, ** Division of Power System Engineering, Gunsan National University, Gunsan, 573-701, Korea

요 약 : 본 연구에서는 태양전지로 구동되는 전기추진 소형선박을 제안하여 선체의 설계 및 모형선 시험을 행하였다. 선체 모양은 배의 안정성 및 태양과의 수평면적을 고려하여 카타마란형으로 제작하였다. 계산에 의하면 설계 선박의 선속을 5knots로 할 때 1.1마력으로 충분한 추력이 산출되었으나 실제의 선속은 태양에너지 등 기후조건에 의해 산출된 값보다 약간 낮았다.

핵심용어 : 태양광에너지, 쌍동선, 신재생에너지, 전기추진, 포드형 추진시스템

Abstract : In this study, design of hull and test of model boat were carried out with electric propulsion small boat driven by photo-voltaic energy. The shape of boat was made with catamaran type by considering the ship's stability, the light-receiving area from solar. According to calculation, when speed of model boat is 5knots, it was estimated the available power for propulsion with 1.1[hp]. However, the natural energy such as solar energy is strictly dependent upon the climate conditions so the real boat speed is slightly lower than the estimated value.

Key Words : Photo-voltaic energy, Catamaran, New&Renewable energy, Electric propulsion, Pod propulsion system

1. 서 론

최근에 들어 에너지사용에 대한 심각성 및 환경오염에 대한 문제가 사회적으로 대두되고 있는 가운데 태양전지를 이용한 다양한 응용기술이 각광을 받고 있다. 이러한 태양광을 유효한 전기로 바꾸는 기술은 신재생에너지의 주류를 이루는 한 분야로 앞으로도 많은 산업시설 및 운송기관에 사용될 수 있어, 많은 분야에서 접목하기 위한 연구가 실시되고 있다(Ahmed et al., 2008; Yoon et al., 2011; 이 등, 2007).

또한, 선박의 경우에도 나날이 엄격해 지고 있는 환경문제 및 에너지 문제에 직면하고 있어 태양광을 동력원으로 사용하고자 하는 시도가 이루어지고 있으나, 신재생에너지가 가지고 있는 약점인 낮은 에너지밀도 및 간헐성 때문에 아직 실용화되고 있지 못하다(Chen et al., 1997).

본 연구는 이러한 약점은 가지고 있지만 에너지 유효이용 및 신재생에너지 활용이라는 측면에 중점을 두고, 1인승 카타마란형 솔라보트의 시제품을 제작하고 나아가 상수원 관리나 수자원보호 차원의 소형 선박에 대한 태양광의 활용 가능성을 타진해 보기 위한 연구이다(Gerr, 2001).

또한, 현 정부에서 역점을 두고 있는 사업인 4대강 정비사업으로 얻어지는 내수면에서의 관광용 보트로도 본 기술을 적용할 수 있어, 지역의 경제발전에 도 이바지할 수 있을 것으로 판단되며, 지역의 영세한 조선소에 대한 아이디어 제공 및 기술개발의 기회도 함께 제공할 수 있을 것이다(Kenjo, 1991).

본 연구에서 추구하는 카타마란(Catamaran)형 솔라보트는 태양광 발전을 통해 발생된 전기에너지를 이용하여 추진하는 에너지 절약형 친환경 선박이다. 일본과 유럽 각지에서 이미 태양광을 소형 선박이나 선박의 보조 동력원으로 사용하는 연구가 시도되고 있고 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 선박을 카타마란 형태의 선형으로 제작함으로써 보다 넓은 갑판면적을 얻을 수 있어 솔라시스템의 발전효율을 높일 수 있게 됨과 동시에 선체의 안전성을 확보할 수 있어 카타마란 형태의 선체를 많이 사용한다(Lee et al. 2007).

추진기의 경우 역시, 전기추진을 시도하고 있기 때문에 기존의 엔진형태와 비교할 때 보다 정숙하고 부하변동이 용이하게 되어, 추진효율을 높일 수 있으며 또한 극성의 교환만으로 전진 및 후진이 가능하게 되는 장점을 가지고 있다(Kurokawa, 2005).

본 연구에서 다루는 또 다른 중요한 목적으로는 전기추진장치를 선체의외부에 설치하여 조항을 동시에 행할 수 있는 포드

* 대표저자 : 종신회원, mjkim@kunsan.ac.kr, 063-469-1849

(Pod)형 추진시스템을 구성하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 전체적인 시스템이 간략화 되며 정숙한 운전과 친환경적인 운전을 모두 만족시킬 수 있는 선체를 실제로 제작하는 것이 목표이며, 선속 5노트의 2시간 연속운전이 가능한 선체를 제작하여 성능시험을 통해 태양광 구동형 소형 선박의 가능성을 타진해 보는 것이다(SEI, 2004).

2. 솔라셀의 발전효율과 열전달과의 관계

솔라셀은 모듈의 연결방식과 온도의 영향을 따라 그 효율이 다르게 나타난다. 이러한 영향의 관계를 알아보기 위해 본 실험에서는 선체에 솔라셀을 부착하기 전에 솔라셀이 부착되는 선체와의 간격에 따라 온도의 변화와 그때의 솔라셀의 발전효율을 알아보기 위해 건물의 옥상에 Photo 1과 같은 실험장치를 설치하였다. 그리고 Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

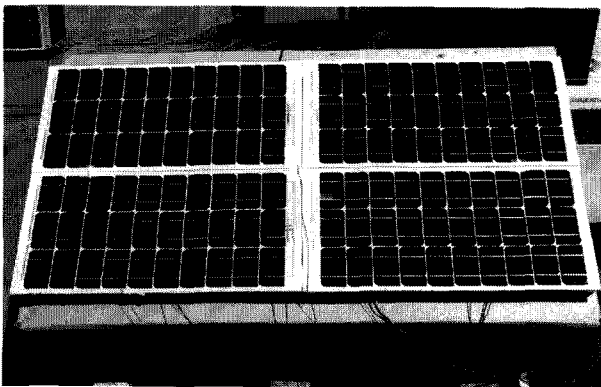


Photo 1. of Experimental apparatus.

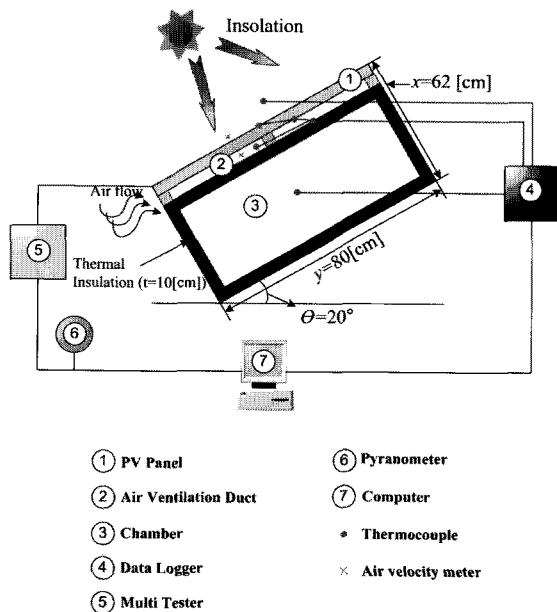


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

Fig. 2는 솔라셀과 설치면의 각 간격에서 온도변화에 따른 솔라셀의 발전효율을 나타낸 결과로써, 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이 솔라셀과 설치면의 간격의 외부공기의 온도가 낮을수록 솔라셀의 발전효율이 증가함을 알 수 있다. 이러한 이유는 솔라셀과 설치면의 간격에서의 온도가 자연대류의 영향에 의해 낮아지고, 이로 인해, 솔라셀의 표면온도 또한 떨어지기 때문에 태양으로부터의 복사에너지의 흡수가 증가하게 되고, 솔라셀의 발전효율 또한 상승되어 진다.

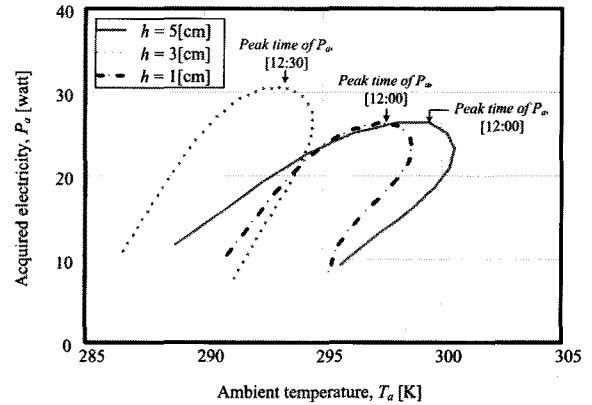


Fig. 2. Effect of Ambient temperature.

이러한 결과를 토대로 선체에 솔라셀을 부착할 때는 선체와 솔라셀과의 간격(3[cm])을 일정하게 유지하도록 하여 대류열전달 향상을 도모하였다.

실제의 경우, 열전달의 효과를 높이기 위해서는 갑판의 표면에 부착하는 형태보다는 차양의 형태로 선체를 제작하는 것이 더욱 많은 대류열전달 상승효과를 얻을 수 있지만, 선체의 안전성을 확보하기 위해 본 연구에서는 전술한 실험을 통해 얻은 데이터를 토대로 갑판과 솔라셀 사이의 간격을 3[cm]로 하여 총 28개의 솔라셀을 갑판에 부착하였다.

3. 선체 안전성

선체의 저항을 줄이기 위해서는 가늘고 긴 선형으로 제작하면 좋지만, 일반적으로 이러한 경우, 선체의 길이와 폭과의 비(L/B)가 6을 넘어가면 안전성에 대한 문제가 발생한다고 문헌에 기재되어 있다.

또한, 에너지밀도가 낮은 태양광을 선체의 추진동력으로 사용하기 위해서는 상부갑판의 면적을 크게 해야 한다. 이러한 이유로 기존에 개발되었거나, 시제품으로 만들어진 솔라보트는 대부분 카타마란(Catamaran)의 형태를 유지하고 있다.

본 연구에서는 같은 폭과 길이를 가지는 바지선과 카타마란의 안전성에 대한 비교를 계산을 수행하여 Fig. 4와 같은 결론을 얻었다. 계산에 사용한 더미형은 바지선과 같은 정방향의 물체 가상하여 보다 엄격한 조건에서의 계산을 실시하였다.

그래프로부터 알 수 있는 바와 같이 더미형간의 간격이 증가

할수록 횡요동 경사각이 급격하게 감소함을 알 수 있고, 실제로 제작한 상세값(Fig. 3)을 대입하여 계산한 결과 마지선의 경사각(약 7[deg])에 비해 절반정도(약 3[deg])로 횡요동이 감소한다는 것을 알았으며 이러한 결과로부터 선체의 안전성은 충분히 확보 되었다고 할 수 있다. 본 계산에서는 선체의 중심을 기점으로 왼쪽(Port side)으로 0.5톤의 하중이 0.6[m]이동하였을 때를 가정하여 계산한 결과이다.

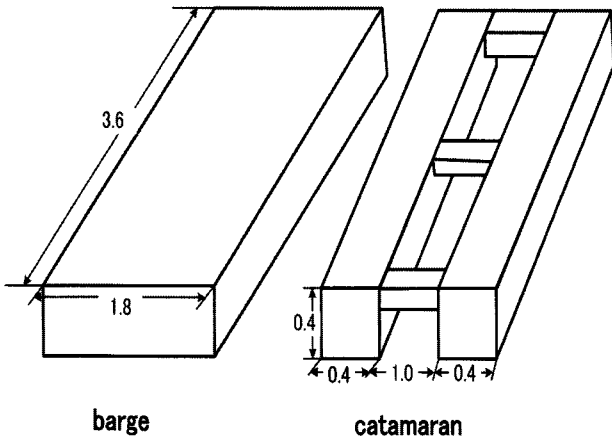


Fig. 3. Calculation models of barge and catamaran.

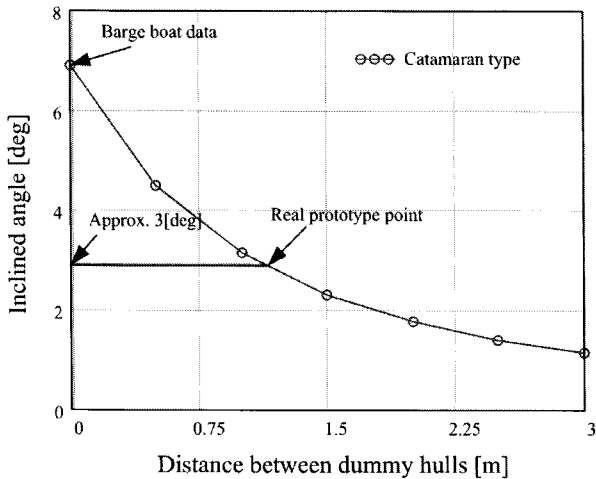


Fig. 4. Calculation result for ship's stability.

4. 전기구동 추진기

본 연구에서는 전기에 의해 구동되는 소형선박을 실제로 제작하여 설계 선속(5[knot])에 도달하는지의 평가 및 전기추진기계통을 제작하는 것을 목적으로 하고 있다. 기존의 엔진구동 방식은 현재 널리 사용되고 있지만, 배기가스 문제나 에너지수급에 관한 문제 등이 최근에 들어 대두되고 있어, 엔진구동방식을 대체할 새로운 추진계통을 연구해야 되는 시점에서 시도된 새로운 연구이다.

하지만 전기구동의 경우도 엔진의 경우와 마찬가지로 발열에 의한 에로사항을 극소화시키면서 효율을 높여야 한다는 문

제가 있고, 모터자체를 수중에서 구동될 수 있도록 제작하였다. 또한, 조향도 가능하도록 하는 포드(Pod)형태를 유지하도록 제작하여 조타와 추진을 동시에 만족시키도록 제작하였다(Photo 2, Photo 3).

블레이드는 3개의 날개로 이루어져 있으며, 부식 등을 방지하기 위해 Stainless 재질의 것을 사용하였다. 프로펠러를 매칭시키기 위해서는 보다 정밀한 계산 및 가공이 필요하나, 본 연구에서는 기초적인 연구로 태양광을 이용한 전기구동의 가능성에 초점을 두고 있어 간단히 제작하였다.

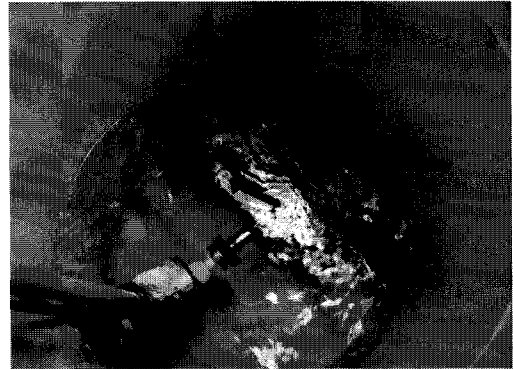


Photo 2. Motor test.

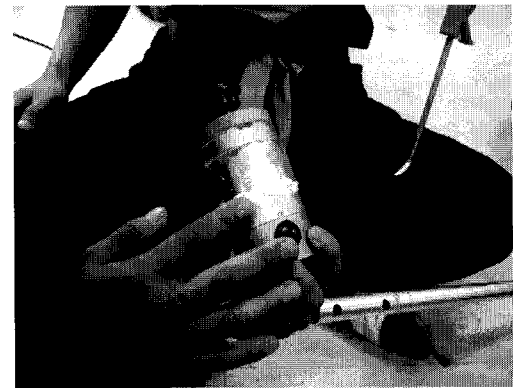


Photo 3. Waterproofing of motor.

5. 선속의 계산

본 연구에서는 LG산전의 솔라셀(메이커제시 출력, 30[watt])을 28장 선체에 탑재하여 실시제선을 제작하였다(총 840[watt]=1.1[hp]).

Fig. 5는 카타마란형 솔라보트의 예상 선속의 계산과정을 나타내고 있다. 본 계산에서 선속을 구하기 위해서는 반복계산을 필요로 하기 때문에 계산 전문 소프트웨어인 Mathcad(Ver. 13)를 이용하여 계산을 수행하였다. 이 계산시트로부터 알 수 있는 바와 같이 솔라셀(총 28장)을 사용한 경우에 발생한 전력은 설계 선속인 5[knot]로 구동시키기에 충분하다는 것을 알 수 있다. 하지만, 이 값은 어디까지나 기상이 매우 좋은 경우의 솔라셀의 메이커제시 값을 사용한 것이다.

Solar Cell Part

$$I := 2.0\text{-amp} \quad V := 15\text{-volt} \quad N := 28 \quad L := 60\text{-cm} \quad B := 35\text{-cm}$$

$$w := 4.0\text{kgf} \quad P := I \cdot V \cdot N \quad P = 1.126\text{hp} \quad W := w \cdot N \quad W = 112\text{kgf}$$

I : Amphere, V : Volt, N : Number,
 L : Length, B : Width, w : Weight,
 P : Power, W : Total weight

Hull Part

$$L_{OA} := 3.6\text{-m} \quad B_{OA} := \frac{L_{OA}}{2.4} \left(1.25 - \frac{L_{OA}}{60\text{-m}} \right) \quad B_{OA} = 1.785\text{m}$$

$$D := \frac{B_{OA}}{2} \cdot 0.2 \quad \Delta := L_{OA} \cdot B_{OA} \cdot D \cdot 0.13 \quad \Delta = 0.149\text{m}^3 \quad D = 0.179\text{m}$$

$$\rho := 1000 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \gamma := \rho \cdot g \quad \Delta' := \Delta \cdot \gamma \quad \Delta' = 0.164\text{tonf}$$

L_{OA} : Length over all, B_{OA} : Width over all,
 D : Draught, Δ : Volume,
 ρ : Density of Water, Δ' : Displacement

Motor Part

$$V_s := 5\text{-knot} \quad \zeta := \frac{V_s \cdot \frac{1}{\text{knot}}}{\sqrt{\frac{L_{OA}}{\text{m}}}} \quad \lambda := \frac{\Delta'}{\text{tonf}} \cdot \sqrt{\frac{L_{OA}}{\text{m}}}$$

$$\text{BHP} := 0.9$$

Given

$$\zeta = 1.4505 \cdot \left(\frac{\text{BHP}}{\frac{\Delta'}{\text{tonf}}} \right)^{0.3443} \quad \text{Find}(\text{BHP}) = 0.931$$

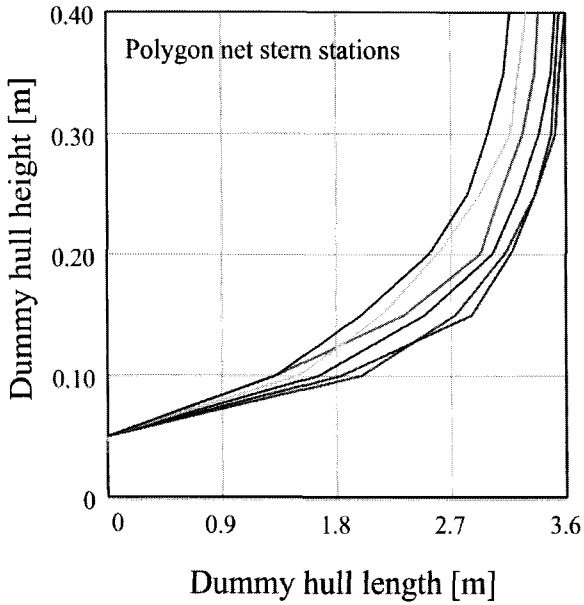
Fig. 5. Calculation sheet of boat speed.

6. 선체제작

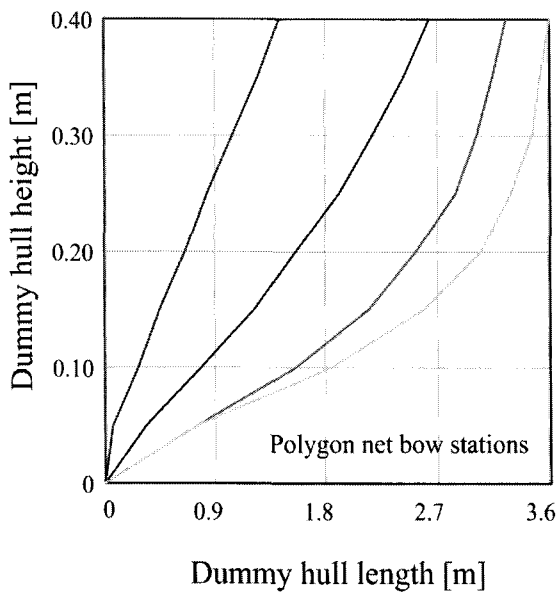
카타마란 형태의 선체를 가지는 솔라보트에 대한 연구는 선진국에서도 많이 시도되었고, 솔라보트의 경우 이러한 카타마란 형태가 적합한 것으로 여겨지고 있다. 따라서 카타마란 형태의 더미헬에 대한 설계를 우선 실시하였고, 이러한 설계도를

토대로 비교적 제작이 용이한 고밀도 압축 스티로폼을 사용하여 선체를 제작하였다.

Fig. 6은 더미헬을 완성하기 위한 설계도(라인즈)를 나타내고 있으며, Fig. 7은 설계도를 바탕으로 한 선체의 3차원 모습을 형상화한 것이며 Photo 4는 실제로 제작이 완료된 시제선의 외관사진을 나타낸 것이다.



(a) Polygon net stern stations



(b) Polygon net bow stations

Fig. 6. Dummy hull design.

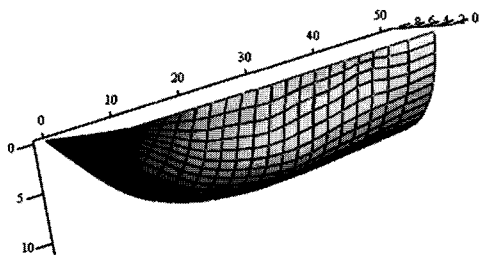


Fig. 7. 3-D design.

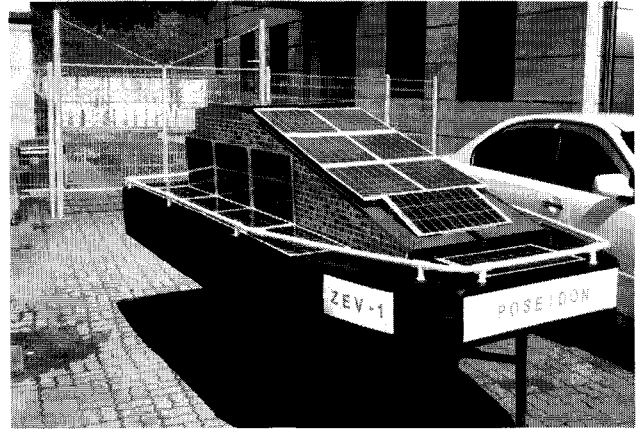


Photo 4. External appearance of prototype.

7. 시운전 및 고찰

상기에서 기술한 각 부분에 대한 연구결과를 토대로 실제의 시제선인 솔라보트를 제작하여, 시운전을 실시하였다. 시운전 시 날씨의 대체로 맑았으나 하늘에 구름이 조금 있는 상태였다. 그때의 일사량을 일사량측정기(HD2302.2)로 측정한 결과 시운전시간 동안 평균 $350 \text{ [watt/m}^2\text{]}$ 의 일사량을 기록하였다. 또한, 선체의속도가 일정하게 유지되는 시점을 기점으로 하여 일정거리(100 [m])를 통과하는 시간을 스톱워치로 소요시간(5회 시험, 평균 50 [sec])을 측정하여 선속을 계산하였다. 즉, 실제 시운전으로 얻은 결과 선속은 3.89 [knot]로 설계 선속에 약 20% 못 미치는 결과를 얻었다.

이 값은 선체의 성능을 규정하는 것이 아니고 일사량 기준으로 나온 선속이기 때문에 태양의 고도가 높아지는 봄철에서 여름철의 맑은 날씨일 경우에는 선속이 설계 선속까지 도달할 수 있을 것으로 판단된다. Photo 5는 시운전 시의 상황을 보여주는 사진들로서 전진과 후진이 모두 가능하였고, 조타의 경우도 만족스러운 결과를 얻었다.

향후 본 연구에 관한 부하변동 실험을 실시하여 보다 최적화된 카타마란형 솔라보트의 연구를 진행할 예정이다.



Photo 5. Photos of basin trial.

8. 결 론

본 연구는 선체의 형태, 전기를 동력으로 하는 추진기, 동력원의 전체적인 시스템이 간략화 되며 정속한 운전과 친환경적인 운전을 모두 만족시킬 수 있는 선체를 실제로 제작을 목표로 하는 연구로써, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 솔라셀과 설치면의 간격이 3[cm]의 경우, 외부공기의 대류열전달이 향상되어, 솔라셀의 발전효율이 증가함을 확인하였다.
2. 선체의 중심을 기점으로 왼쪽(Port side)으로 0.5톤의 하중이 0.6[m]이동하였을 때를 가정하여 계산한 결과, 실제로 제작한 바지선의 경사각(약 7[deg])에 비해 카타마란형태로 제작한 경우 절반정도(약 3[deg])로 횡요동이 감소한다는 것을 알 수 있었다.
3. 실제 시운전으로 얻은 결과 선속은 3.89[knot]로 설계 선속에 약 20% 못 미치는 결과를 확인하였고, 향후 본 연구에 관한 부하변동 실험을 실시하여 최적화된 카타마란형 솔라보트에 대한 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 2009년도 호남씨그랜트사업단 연구개발사업(태양광을 구동동력으로 하는 소형선박에 관한 연구)과제의 지원으로 진행되어진 연구임.

참 고 문 헌

- [1] 이정철, 김영국, 이준신, 윤경훈, 송진수(2007), Solar Grade 실리콘 기관특성에 따른 태양전지 성능 분석, 한국진공학회, 제 33회 하계학술대회 초록집, p. 196
- [2] Ahmed, Nabil A., Masafumi Miyatake and A. K. Al-Othman(2008), "Power fluctuations suppression of stand-alone hybrid generation combining solar photovoltaic/wind turbine and fuel cell systems" Building and Environment, pp. 2711-2719.
- [3] Chen, J. C., E. A. Hughes, S-L. Wang and W. J. Coils, (1997) "Implementing a Multidisciplinary System Design and Engineering Course Using Solar Splash '97," Proceedings of 1997 Frontiers in Education Conference, pp. 765-768.
- [4] Gerr, D.(2001), The Propeller Handbook : The Complete Reference for Choosing, Installing, and Understanding Boat Propellers, pp. 118-144.
- [5] Kenjo, T.(1991), "Electric Motors and Their Controls: An Introduction," Oxford University Press, pp.144-163.
- [6] Kurokawa, K.(2005), "Photovoltaic Technology Direction-

Japanese PV2030," Proceedings of the 31st IEEE Photovoltaic Specialists, pp. 1-6.

- [7] Lee, Seung Hee, Young Gill Lee and Sang Hyun Kim.(2007), "On the development of a small catamaran boat" Ocean Engineering, 34 pp. 2061-2073.
- [8] SEI: Solar Energy International(2004), Photovoltaics, Design and Installation Manua, pp. 40-73.
- [9] Yoon, Sang hoon, Sehyun Tak, Jinsoo Kim, Yongseok Jun, Kisuk Kang and Jiyoung Park.(2011) "Application of transparent dye-sensitized solar cells to building intergrated photovolatic systems" Building and Environment, pp. 1-6.

원고접수일 : 2011년 04월 28일

원고수정일 : 2011년 05월 27일 (1차)

: 2011년 06월 22일 (2차)

게재확정일 : 2011년 06월 23일