

## 선외기 구동을 위한 BLDC 전기모터 개발

신철기<sup>1</sup>, 김진사<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> 부천대학교 전자과

<sup>2</sup> 조선이공대학교 메카트로닉스과

### Develop of BLDC Electric Motor for Outboard Motor Drive

Cheol-Gi Shin<sup>1</sup> and Jin-Sa Kim<sup>2,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronics Engineering, Bucheon University, Bucheon 420-735, Korea

<sup>2</sup> Department of Mechatronics, Chosun College of Science & Technology, Gwangju 501-744, Korea

(Received August 29, 2013; Revised September 3, 2013; Accepted September 4, 2013)

**Abstract:** This paper tried to develop a BLDC electric motor securing the 800 W-level watertight structure for driving the outboard motor. For this purpose, this paper developed a high-efficient controller-integrating BLDC electric motor system for underwater propulsion and designed and developed a triple watertight structure. Besides, this study developed a outboard motor integrating motor, propeller and controller based on the production of a controller for BLDC motor which can the speed control by selecting low-voltage, high-current power element. The characteristics of developed outboard motor were 24 V input voltage, over 800 W motor output, and max. 3,000 rpm motor, and 84.9% motor efficiency, and the developed outboard motor could secure the watertight structure in 5 m in water depth.

**Keywords:** BLDC motor, Watertight, Outboard motor, Hard anodizing

#### 1. 서 론

2008년 정부는 제2차 신 성장 동력산업 분야 규제 개혁 과제의 일환으로써 해양레저 산업 관련 규제의 합리화 방안을 발표하고 산업 육성 대상 제품으로 해양레저 장비를 크게 동력 해양레저 장비 (슈퍼요트, 모터보트, 수상 오토바이 등)와 무동력 해양레저 장비 (크루즈요트, 딩기요트, 수상스키 등)로 지정하고 이를 통해 그동안 후진성을 면치 못했던 국내 해양레저

장비 산업의 활성화를 진행하고 있는 실정이다. 2007년 기준 국내 조선산업은 대형 조선소 위주로 세계 1위의 점유율을 나타내지만 소형 조선소는 한중일 어업 협정, 한미 FTA 체결 등으로 존립 기반마저 흔들리고 있어 모터보트, 요트 등 소형 선박의 전면 개방에 맞서 국내 레저산업을 활성화시켜야 할 필요성이 절실해지고 있는 상황이다. 또한 기존 가솔린 엔진 및 DC 배터리로 구동하는 전동 선외기의 연비 및 효율을 개선하기 위하여 소형화, 고효율, 고효율 BLDC 모터 개발이 필수적인 현실이다. BLDC 모터 개발 시 해양 레저산업의 동력레저 장비의 국산화로 수입대체 효과 및 경제발전 (2020년 세계 레저장비 시장의 약 20%인 100억불 수출 기대)과 소형 정치망 어선 등의 확대로 국내 수산업에 큰 발전이 예상된다. 그리고 기존의 가솔린 엔진을 이용함으로써 나타나는 환경오

a. Corresponding author; kimjs@cst.ac.kr

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

염 문제 등을 전기모터로 구동시킴으로써 해결할 수 있으며, 고부가 가치 레저 선박시장 진입을 통해 연근해 어업 위축의 영향을 탈피하고 중소형 조선 산업의 혁신 동력으로 역할을 수행하여 영세 어민들에게도 고부가 시대의 대체 에너지에 대한 활용 대책으로도 큰 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다 [1].

따라서 기존 산업용 모터제조기술 노하우를 바탕으로 수중에서의 수밀 구조, 하우징 설계 및 수중에서의 부식 방지를 위한 하우징 코팅기술 (하드아노다이징)을 적용하여 저전압, 고전류에 적합한 BLDC 제어기 설계로 추진체의 원활한 속도 조절과 회전자의 위치 검출이 가능하고 효율이 뛰어난 선외기용 모터를 개발하고자 한다.

## 2. 실험 방법

BLDC 모터 설계 시 전압 방정식 및 토크를 수식화하여 전기적 힘을 기계적 힘으로의 변동에 따른 전기적 설계를 행하였다. 영구자석의 등급 및 형상, 회전자 형상 및 고정자 형상 등으로 자기적 설계 사항을 고려하여 진행하였다. 권선의 단락, 고열 및 권선과 전기강판의 도통에 따른 절연설계를 하였고, 효율적 제작에 따른 기계적 설계를 행하였다. 모터 제작 전 형상 및 특성을 파악하기 위하여 모터의 전기적 해석 프로그램인 Maxwell을 사용하여 저 전압, 고 전류에 적합한 권선 방법에 따른 모터의 설계 사양을 설정하고 특성 분석 및 최적화 생산 기술을 확보하였다 [2,3].

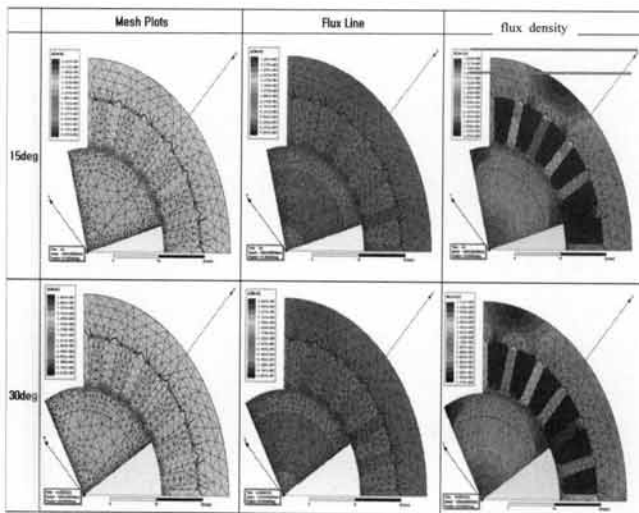


Fig. 1. Explanation of magnetic flux density.

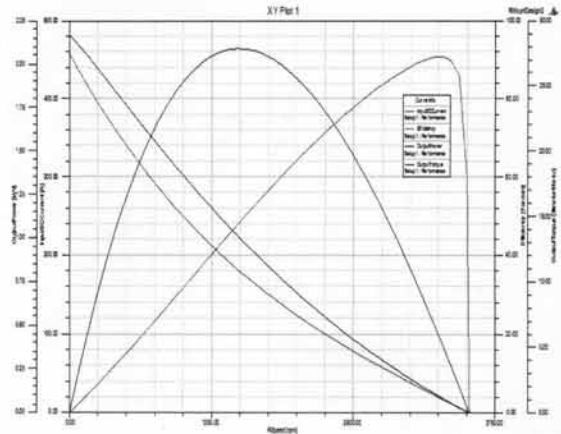


Fig. 2. N-T performance curve of BLDC motor.

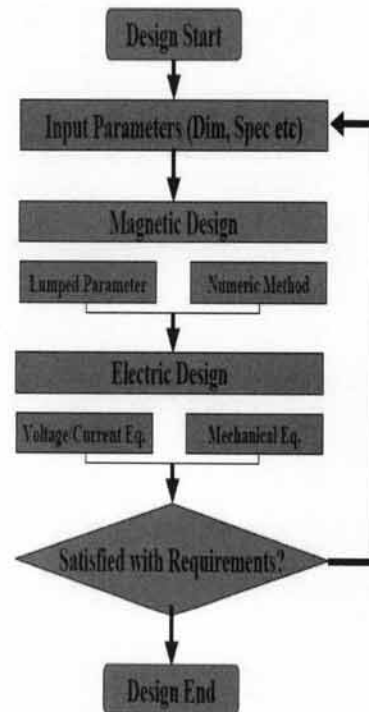


Fig. 3. Development process of BLDC motor.

그림 1에 모터 설계 전 유한요소법에 의한 자속밀도 해석 설계를 나타내었으며, 그림 2는 해석을 통한 BLDC 모터의 N-T 성능 곡선 결과를 나타내었다. 또한 그림 3에 모터 제작 전 설계 과정과 제작 과정 및 검사 과정 등의 BLDC 모터의 전반적인 개발 과정을 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 4와 같이 수밀 구조된 모터 및 프로펠러, 그리고 일체형 선외기 개발을 위하여 우선적으로 프레임 및 케이스 기초 설계를 완성하여 워킹 목업 개발을 진행하였다.

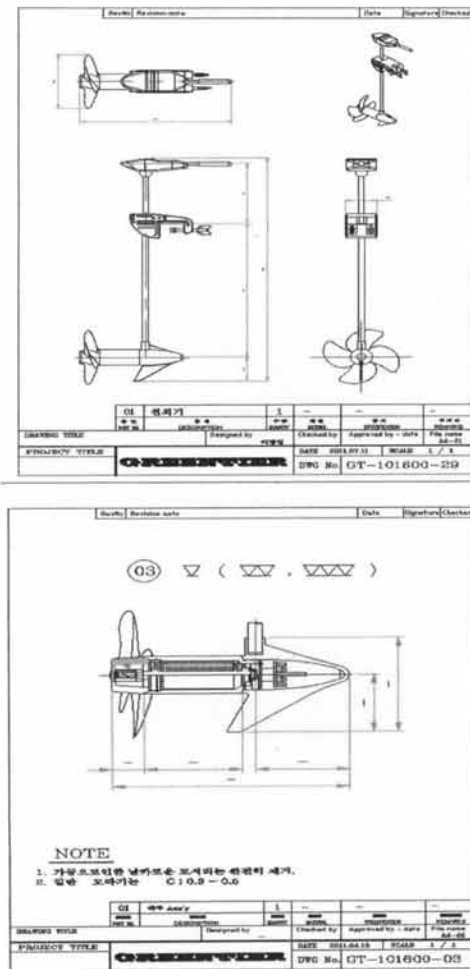


Fig. 4. Frame of outboard motor and propulsion system.

BLDC 모터설계 및 생산 기술 개발을 위해 권선 방법에 따른 모터의 설계 사양을 설정하고, 특성 분석 및 최적화 생산 기술을 개발하여 설계 사양에 따른 시제품 제작 후 성능 분석 및 출력 사항에 대해 정 전압 및 연속 회전 수를 유지하고, 정격토크 특성과 효율 특성을 분석하였다. 모터진동 분석, 온도 변화 및 소음 강도를 측정하였고, 생산 기술과 관련하여 전기강판 선정과 분석, 마그네틱 선정과 분석 및 기존 생산제품 (dc모터)과 비교하여 보다 우월한 모

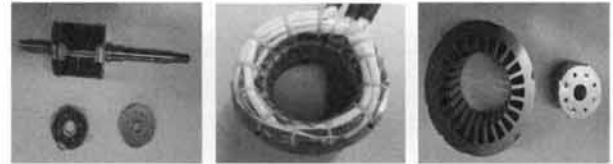
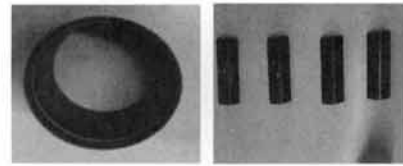


Fig. 5. Parts of manufacture motor.

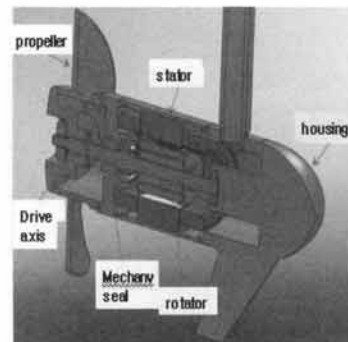


Fig. 6. Watertight housing.

터를 제작하였다.

그림 5는 모터 제작에 필요한 부품으로서 모터프레임, 마그네트, 모터회전자, STATOR ASS'Y 및 모터 CORE & ROTO를 나타내었다.

또한 수밀구조를 확보한 하우징 소재, 설계 및 제작을 하였고, 하우징 소재로는 부식에 강하고 무게비가 적고, 방수 능력이 뛰어난 알루미늄 6061 재료를 선정하였다. 또한 hard anodizing 공법을 이용하여 알루미늄 표면의 성질을 철강보다 강하고 경질크롬 도금보다 내마모성이 우수한 하우징을 제작하였다 [4].

그림 6에 수밀 구조로 하우징 처리되어 개발한 모터의 내부 구조 및 그 외형을 나타내었다. 자동화용 BLDC 제어기는 특성상 속도 제어 및 토크 제어가 필요하므로 제어기에 산업용 서버와 같은 전반적인 기능을 구현하였다. 구현한 기능을 바탕으로 쉽게 사용할 수 있게 인터페이스를 구현하여 홀센서와 인터페이스가 가능하도록 하였다. 또한 고정도의 속도 제어 성능을 고려하여 속도 제어를 위한 PWM 출력 회로설계, 전류 제한 회로설계를 하였다.

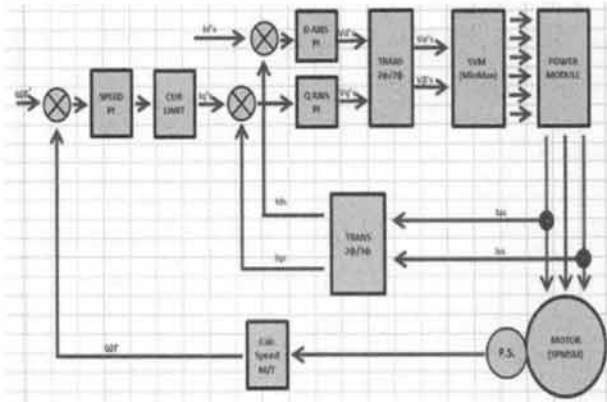


Fig. 7. Block system of velocity control.



Fig. 8. A finished product of BLDC controller.



Fig. 9. A finished product of outboard motor.

그림 7에 이를 위한 속도 제어의 블록도를 나타내었다. 또한 BLDC 모터용 driver 회로 개선과 모듈화를 이루었고, hall 소자 event 처리 회로설계와 저전압 고

Table 1. Final result of outboard motor.

Classification	Results
Input voltage[V]	24 V
Motor power[W]	800 (max.1725)W
Velocity[rpm]	750 (max.3,000)rpm
Maximum torque[N-m]	10 N-m
Efficiency[%]	84.9%
Weight[kg]	10.5 kg
Watertight[m]	5 m
Salt water test[h]	48 h

전류용 파워 소자를 선정하여 제어기를 제작하였다 [5].

그림 8에 최종 제작한 제어기 내부와 외부를 나타내었다.

그림 9는 제작한 BLDC 모터에 해수 부식 방지를 위해 선정된 재질로 하우징하여 수심 5[m] 이내에서 사용될 하우징과 제어기를 연계한 수중 추진체를 최종적으로 제작 완료한 사진이다 [6]. 최종 제작된 전동 선외기의 제원은 다음 표 1과 같다.

#### 4. 결론

고효율 BLDC 전기모터를 적용한 전동선외기를 연구한 결과는 다음과 같다. 출력이 800 W 이상이며 모터 최대 회전 수가 750~3,000 rpm이고, 추진 속도는 5 km/h였다. 또한 수밀 구조를 위한 기구설계를 개발하여 하우징을 설계한 결과, 최대 작동 깊이는 수중 5 m인 수중 추진용 수밀 구조 타입 BLDC motor를 개발하였으며, 이에 따른 자가 진단 가능한 모터 드라이브를 개발하였다. 또한 수중 운전 조건을 고려한 최적의 프로펠러를 선정하였고, 선외기용 BLDC motor는 입력 24 V, 최대 토크 10 N-m, 모터 효율 84.9% 등의 성능을 얻을 수 있었다. 특히 일반 DC모터로 제작한 선외기의 효율보다 우수한 모터 효율을 얻음으로써 제작된 BLDC 모터를 통하여 국내외 선외기 시장을 더욱 활성화시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2011년도 중소기업청에서 시행한 산학연 공동기술개발사업 (No.00047043)의 지원을 받아 수행된 연구임.

**REFERENCES**

- [1] S. W. Lee, J. H. Lee, J. W. Hong, and Y. J. Lee, *J. KMI*, 139 (2009).
- [2] S. H. Kim, *Motor Control of DC AC BLDC* (Bokdu, Seoul, 2010) p. 449.
- [3] U. K. Madawala and J. T. Boys, *IEEE Trans.*, 41, 2384 (2005).
- [4] J. U. Lee and, M. Eng, *Thesis*, p. 1-57, Bukyong National University, Busan (2005).
- [5] C. H. No and G. S. Park, *Trans. KIEE*, 55, 2 (2006).
- [6] Konett Trading and Torqeedo Catalogue, <http://www.konett.com> (2007).