

# Dual Rotor 풍력발전을 이용한 선박에서의 효과적인 풍향 풍속 측정

## Efficient Measurement of Wind Velocity and Direction Using Dual Rotor Wind Power Generator in Vessel

최 원 연<sup>1</sup>, 박 계 도<sup>2</sup>, 이 장 명<sup>†</sup>

Choi Won-Yeon<sup>1</sup>, Park Gye-Do<sup>2</sup>, Lee Jang-Myung<sup>†</sup>

**Abstract** This paper proposes an efficient measurement system for the velocity and direction of the wind using the dual rotor wind power generator in vessel. Conventional digital measurement system recognizes the direction and the velocity of the wind using the electric compass or synchronous motor and Vane probe method using hall sensors. But each system has its own short-comings: the synchronous motor has a larger measurement error than the magnetic compass and magnetic compass is weak for the external disturbances such as fluctuation of the vessel. To compensate these short-comings, this paper proposes a new compensation algorithm for the fluctuation errors according to the external interference and the unexpected movement of the vessel along the roll and pitch directions. The proposed system is implemented with the dual compasses and a synchronous motor. The proposed independent power generation system can be operated by itself and can raise the efficiency of the wind power generation systems of 30 ~ 400 W installed along the vertical and horizontal axes. The proposed system also realizes the efficient and reliable power production system by the MPPT algorithm for the real-time recognition of the wind direction and velocity. An advanced switching algorithm for the battery charging system has been also proposed. Effectiveness of the proposed algorithm has been verified through the real experiments and the results are demonstrated.

**Keywords:** Wind power generator, wind velocity/direction, magnetic compass, synchronous motor, MPPT

### 1. 서론

최근 화석 에너지의 고갈 및 고유가 시대를 맞아 에너지 절약이 전 세계적으로 이슈화 되고 있으며 풍력이나 태양광, 바이오, 태양열, 수력, 지열 등을 이용한 대체 에너지

개발이 증가하고 있는 추세이다<sup>1)</sup>. 이중에서 풍력발전을 이용하여 에너지를 생산하고 반영구적으로 사용하는 것은 자원고갈과 환경오염 문제를 해결하는데 중요한 역할을 할 수 있는 반면 기후 변화에 영향을 많이 받고 부하에 따라 전력 생산량이 변화되는 단점이 있다<sup>2-4)</sup>. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 전력 생산의 효율성을 높이고 2차 전지를 활용하는 방안이 확산되고 있다<sup>5,6)</sup>. 그리고 선박에서의 정확한 풍향/풍속 측정은 선박의 안전하고 효율적인 항해와 정확한 항로 수행에 밀접한 관련이 있다<sup>7,8)</sup>. 기존의 풍향 풍속계의 경우 single magnetic compass 또는 synchronous motor를 이용하여 풍향을 측

Received : Jul. 14. 2010; Reviewed : Aug. 13. 2010; Accepted : Sep. 13. 2010

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0010).

※ 본 연구는 (부산대학교 특수환경 Navigation/Localization 기술연구센터를 통한) 지식경제부/ 정보통신산업진흥원 융복합형 로봇전문인력양성 사업의 지원으로 수행되었음.

<sup>†</sup> 교신저자: 부산대학교 전자전기공학과

<sup>1</sup> 부산대학교 전자전기공학과

<sup>2</sup> 부산대학교 로봇협동과정

정하였다. magnetic compass는 지구 자기장과 자기센서에 의해서 정확한 측정이 가능하지만 외부 자기장에 대한 간섭에 민감하게 반응하며 흔들림에 영향을 많이 받아 절대 방위의 지시에 어려움이 있다<sup>9,10</sup>. 반면 synchronous motor는 외부 간섭에 강인하고 짧은 시간의 방위에 대해서는 비교적 정확한 측정이 가능하나 장시간 측정 시 누적오차가 발생하고 정밀한 측정이 불가능하다<sup>11</sup>.

본 논문에서는 선박에서의 풍향 측정 오차를 해결하기 위한 방법으로 철 구조물로 인한 자기장의 변화에 강인하고 풍향 풍속계가 설치된 선박에서의 roll과 pitch운동에도 컴퍼스의 측정 값을 보정할 수 있는 dual compass와 synchronous motor를 이용한 알고리즘을 제안한다. 그리고 풍력발전을 이용하여 외부의 추가 전원 없이 에너지를 공급이 가능하며 효율적인 풍력 발전을 위한 최대 전력 점 추적(MPPT) 알고리즘과 battery 충전 알고리즘을 제안한다. 먼저 2장에서는 풍력 발전의 기본 원리에 대해 소개하며 3장에서 기존 풍향 풍속계의 측정 방법 대해서 간단히 설명한다. 4장에서는 풍력발전의 MPPT 알고리즘과 풍향 풍속계의 dual compass와 synchronous motor를 이용한 보정 알고리즘을 설명한다. 5장에서는 제안한 알고리즘의 타당성을 실험을 통하여 검증하며 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 풍력 발전 시스템

### 2.1 풍력 발전 원리

풍력 발전에 의해 발생하는 블레이드의 기계적 에너지  $P_{blade}$ 는 풍속과 밀접한 관련이 있으며 베즈의 법칙에 따라서 식(1)과 같이 표현된다.

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_p(\lambda) \tag{1}$$

$A$ 는 블레이드의 회전 단면적 $[m^2]$   
 $\rho$ 는 공기밀도 $[kg/m^3]$   
 $V_{wind}$ 는 풍속 $[m/sec]$   
 $C_p(\lambda)$ 는 블레이드의 출력계수로 주속비  $\lambda$ 의 함수

여기서, 출력계수  $C_p(\lambda)$ 는 풍속  $V_{wind}$ 이 가지고 있는 에너지 중에서 풍력 발전을 통해서 발생하는 에너지의 비율을 주속비  $\lambda$  (TSR : Tip Speed Ratio)라고 한다.

$$C_p \lambda = \frac{R_{blade} \omega_{blade}}{V_{wind}} \tag{2}$$

$R_{blade}$ 는 블레이드의 회전반경 $[m]$   
 $\omega_{blade}$ 는 블레이드의 회전 각속도 $[rad / sec]$

그림 1은 TSR에 따른  $C_p$ 의 출력 관계를 나타내었으며  $TSR_{OPT}$ 와  $C_{P\_MAX}$ 에서 최대 전력 값을 가지며 풍력 발전으로부터 최대 전력을 나타낸다.

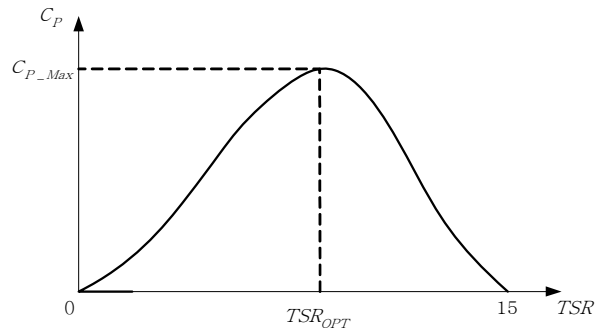


그림 1. 출력 계수와 주속비

### 2.2 풍력 발전 구성 요소

그림 2은 풍력 발전 시스템 구성을 나타내고 있다. PMSG (Permanent magnet synchronous generator)는 풍속 변동 시 빠른 추정 속도를 가지고 있어 소형 풍력 발전에 유리하며 효율적인 발전이 가능하다.

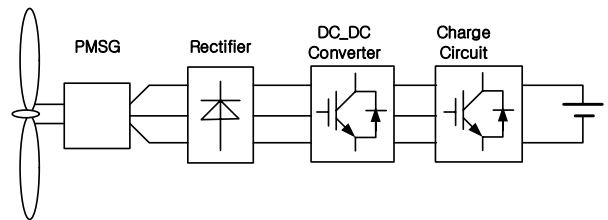


그림 2. 풍력 발전 시스템

## 3. 풍향 풍속 측정 원리

### 3.1 Synchronous motor을 사용한 풍향 측정

Synchronous motor는 고정자와 회전자로 구성되어 있고 transmitter와 receiver는 전기적으로 동기화 되어있다. synchronous TX로부터 측정된 각도 값을 receiver단으로 전달하여 출력 값을 얻는 방식으로 외부 간섭 및 움직임에 강인하며 가격에 장점이 있으나 장시간 측정 시 누적 오차

가 발생하며 정밀한 측정이 어렵다.

### 3.2 Magnetic compass를 이용한 풍향 측정

선박에서 설치되는 magnetic compass는 자기 저항 센서를 이용하여 지구 자기장을 검출한다. 미약한 지구 자기장을 측정하여 자북에 대한 지구 방위각을 구할 수 있는 방위각 센서이다.

본 연구에 사용된 센서는 Barber pole 형태의 2개의 소자가 90°로 직교된 것을 사용하여 x축과 y축을 동시에 측정하여 360° 전 방위를 검출할 수 있다. 그림 3(a)는 컴파스의 내부 구조를 나타내며, 컴파스를  $\alpha$ 방위로 360°회전시키면 그림 3(b)와 같이 지구 자기장은 x축 센서와 y축 센서에서 미소 전압 값으로 측정된다.

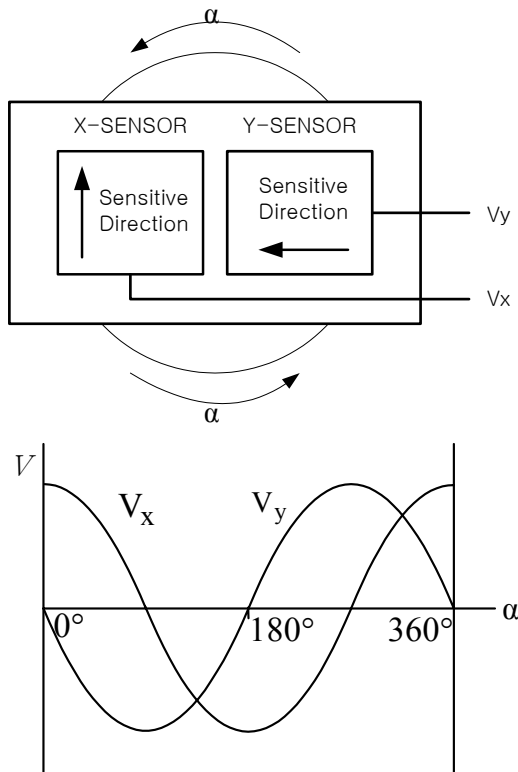


그림 3. (a) 센서의 구조 (b) 센서의 출력 특성

## 4. Dual rotor 풍향 풍속 시스템

### 4.1 Dual rotor 풍력 발전 system 구성

선박의 정확한 해상 정보 제공은 선박의 안전성과 밀접한 관련이 있으며 최적의 운항을 설계하기 위해서 정확한 풍향과 풍속이 측정 되어야 한다. dsPIC4012을 이용하여

풍속과 풍향을 측정을 하고 RS232 Serial을 통해 data을 송신하게 된다. 풍력 발전에서 최대 전력 전달을 위하여 실시간으로 풍속을 측정하여 PWM신호로 DC-DC Converter를 제어하여 효율성을 높이는 알고리즘을 적용한다. 또한, 충전회로에 battery를 연결하여 전자적 스위치를 이용한 switching알고리즘을 적용시켜 효율적으로 battery를 충전한다. 그림 4은 풍력발전을 이용한 풍향 풍속계의 시스템 구조이다.

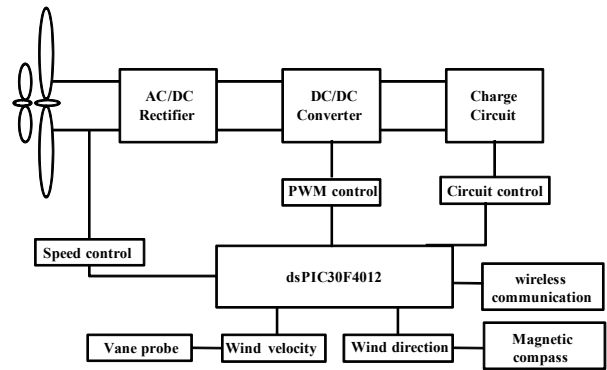


그림 4. 풍력 발전을 이용한 풍향 풍속계 구조

### 4.2 MPPT 알고리즘 및 battery 충전 알고리즘

풍력 발전의 경우 가변적인 바람의 영향으로 효율적인 출력을 얻어내기 힘들다. 따라서 풍력으로 최대 출력을 얻기 위해 최대 전력 점을 찾아 효율을 높이는 알고리즘을 제안한다. 그림 5과 6는 DC/DC Converter의 MPPT알고리즘과 배터리 충전회로 알고리즘을 나타내었다.

실 시간으로  $V_{Wind}$ 을 측정하여 이상적인 PWM 신호와  $\omega_{ref}$  얻을 수 있다. 실시간으로 측정되는  $\omega_{Wind}$ 와 비교하여 DC/DC Converter 부분에서  $dP/dV=0$ 을 만드는 방법으로 rotor speed 조절이 가능하여 풍속에 따른 최대 전력을 얻을 수 있다. 더 효율적인 에너지 저장을 위하여 2개 이상의 배터리를 충전하는 알고리즘을 제안한다. 배터리 용량 측정 chip을 사용하여 A/D Converter로 실시간 측정하며 배터리에 연결된 전자 스위치를 이용하여 충전회로 알고

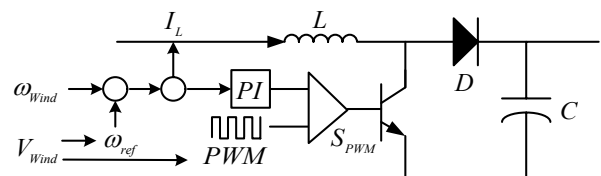


그림 5. DC/DC Converter MPPT 알고리즘

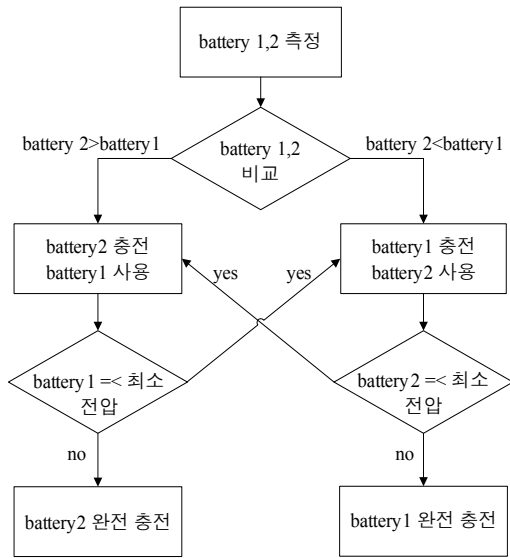


그림 6. Battery 충전회로 알고리즘

리즘을 적용할 수 있다. 본 알고리즘은 소형 풍력 발전에 적합하며 적은 가격으로 풍력 발전이 가능한 장점이 있으며 쉽게 구현이 가능하다.

### 4.3 Dual compass를 이용한 풍향 측정

Single compass에 발생하는 오차는 어떤 외부의 간섭 없이 설계상 발생하는 기본적인 3가지의 오차가 있다. 오프셋의 차이에서 발생하는 오차의 영점 보정, 소자의 감도에 의한 편차와 증폭률의 차이에서 발생하는 소자 출력 감도 차이, 센서 제작 시 발생하는 비 직교 오차가 있다<sup>12)</sup>.

이러한 오차는 single compass 보정 알고리즘으로 해결이 가능하다. 현재까지의 기술로는 고정된 위치에 있는 순간적인 외부 환경에 의해 발생하는 오차는 보정하기 어렵

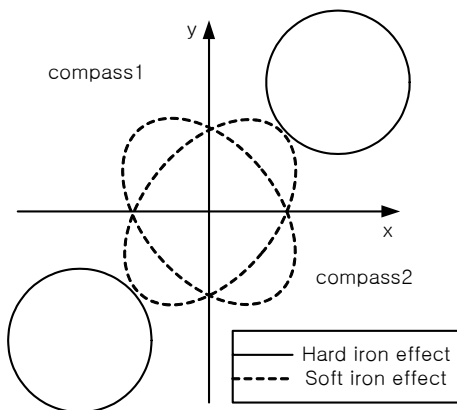


그림 7. 금속 영향에 의한 자화원 변화

다. 그림 7은 금속 영향에 대한 자화원 변화를 나타내었다.

선박에서 풍향을 측정하는 방법으로 2개의 전자 컴파스를 180° 위상을 가지도록 설치를 하여 dual compass로 오차를 보정하여 교정된 풍향을 측정할 수 있다. 그림 8의 양방향 교정 법칙에 의해 soft iron effect의 경우는 식(3)로 간단히 보정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 H1 + H2 &= \begin{pmatrix} H1_X \\ H1_Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} H2_X \\ H2_Y \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} He_X + Hi_X \\ He_Y + Hi_Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -He_X + Hi_X \\ -He_Y + Hi_Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2Hi_X \\ 2Hi_Y \end{pmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

위 식을 다시 정리하면 식(4)로 나타난다.

$$\begin{aligned}
 Hi_X &= \frac{1}{2}(H1_X + H2_X) \\
 Hi_Y &= \frac{1}{2}(H1_Y + H2_Y)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

그림 9와 같이 Hard iron effect의 경우 각각의 컴파스는 원점을 기준으로 양방향으로 shift된 2개의 원으로 분리되며 이는 시간에 대해서 일정하게 작용하므로 dual compass 3\_point calibration 방법을 이용하여 보정할 수 있다. 3개의 측정된 센서 값으로 원의 중심을 구할 수 있으며 간섭에 의해 이동된 자화원의 중심을 원점으로 이동 가능하다.

$$\begin{aligned}
 x_1^2 + y_1^2 + Ax_1 + By_1 + C &= 0 \\
 x_2^2 + y_2^2 + Ax_2 + By_2 + C &= 0 \\
 x_3^2 + y_3^2 + Ax_3 + By_3 + C &= 0
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

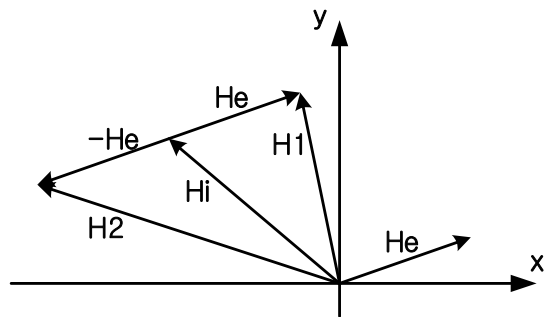


그림 8. 양방향 교정 법칙

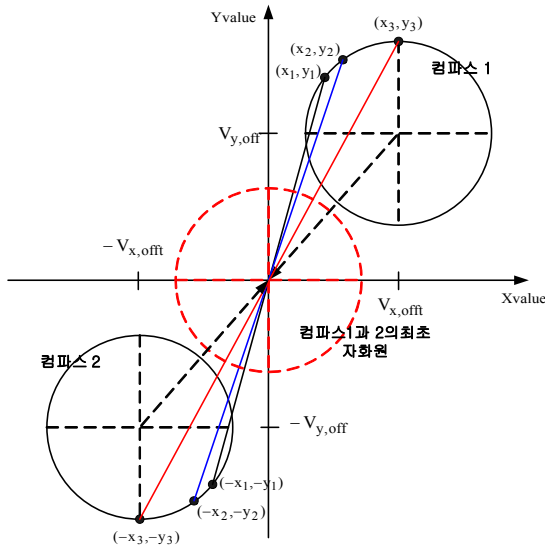


그림 9. 3-축 교정 방법

$$(P) \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = (Q) \begin{cases} P: 2 \times 2 \text{ matrix} \\ Q: 1 \times 2 \text{ matrix} \end{cases} \quad (6)$$

$$V_{X,off} = -\frac{A}{2}, \quad V_{Y,off} = -\frac{B}{2}$$

원에 대한 일반 식은 (5)과 같으며 A와 B를 통하여 원의 중심을 구할 수 있으며 최종적으로 식(6)에서 원의 제로 오프셋 값을 알 수 있다.

#### 4.4 Dual compass와 synchronous motor를 이용한 풍향 측정

풍향을 측정하는 경우 선박의 움직임과 동적인 외란 요소에 대하여 보정되어야 하며 실 시간으로 풍향의 정보를 측정하기 위하여 선박에서의 roll과 pitch운동을 항상 고려하여야 한다. Dual compass를 이용하여 방향을 측정할 경우 풍향이 변하지 않는 범위에서 선박의 움직임은 y축과 x축을 기준으로 수직과 수평으로 일정한 형태의 값이 발생하여 예측 값을 통해 보정하지만 풍향이 변할 때 선박의 움직임 에러는 보정하는데 한계가 있다. 이는 수직 축으로 설치된 synchronous motor에 의해서 보정 될 수 있다. Synchronous motor의 값은 외부 자기장과 선박의 움직임에 강인하며 상대적인 풍향 값 측정이 가능하다. 그림 10는 roll과 pitch 운동에 의한 컴파스의 오차를 나타내었다.

$V_{x1}, V_{y1}, V_{x2}, V_{y2}$ 는 두 개의 컴파스에 의한 출력 값으로

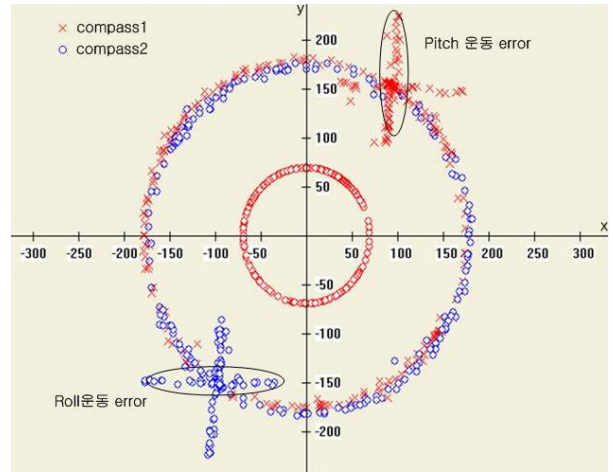


그림 10. Roll과 pitch 방향의 magnetic compass 에러

식(7)에 의해  $\theta$  값을 알 수 있다.

$$R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}, \quad \theta = \arctan \frac{V_y}{V_x} \quad (7)$$

Pitch와 roll운동을 할 경우 오차 보정 방법은 예측 값을 구하여 측정 가능하다. 예측 값은 FIFO(First in first out)을 이용해 구할 수 있으며 synchronous motor를 이용하여 측정된 값과 dual compass의 값 2가지를 측정하고 roll과 pitch의 영향을 거의 받지 않는 synchronous motor값의 특성을 이용하여 알 수 있다.

$$\hat{\theta}_{n, \text{compass}} = \theta_{n-1, \text{compass}} + \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \Delta \theta_{k, \text{compass}}$$

$$\begin{cases} \theta_{n, \text{compass}} & |V_{n, \text{compass}} - V_{n, \text{reference}}| < \varepsilon \\ \hat{\theta}_{n, \text{compass}} & |V_{n, x} - \hat{V}_{n, x}| < \varepsilon \text{ and } |V_{n, y} - \hat{V}_{n, y}| > \varepsilon \\ \theta_{n, \text{syncro motor}} & |V_{n, x} - \hat{V}_{n, x}| > \varepsilon \text{ and } |V_{n, y} - \hat{V}_{n, y}| < \varepsilon \\ & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

위 식에서  $\theta_{n, \text{compass}}$ 은 현재 측정되는 컴파스 값  $\hat{\theta}_{n, \text{compass}}$ 은 예측된 컴파스 값이며  $\theta_{n, \text{syncro motor}}$ 은 synchronous motor로 측정된 값,  $\varepsilon$ 는 컴파스의 에러 성분이다.

그림 11는 magnetic compass의 오차 보정 알고리즘이다. Iron effect와 motion운동에 따라 컴파스 예측 값, synchronous motor 측정 값, 컴파스 현재 값으로 효율적으로 오차를 보정하는 알고리즘이다.

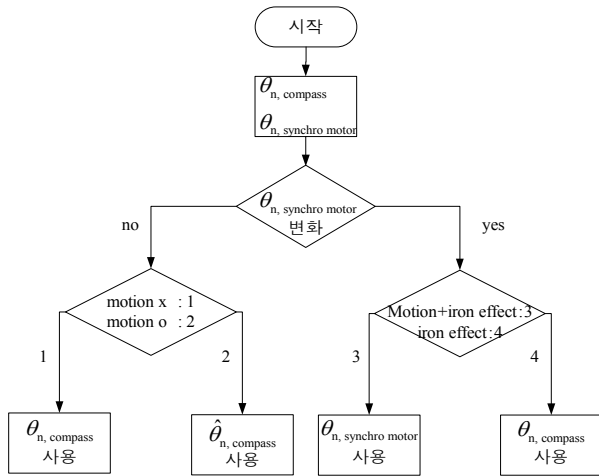


그림 11. Magnetic compass의 오차 보정 알고리즘

## 5. 실험 및 결과

### 5.1 실험환경

효율적인 풍향 풍속 측정과 MPPT, battery 충전 알고리즘



그림 12. 실험환경 (a)풍력 발전 풍향 풍속계 (b)컨트롤 회로

증을 검증하기 위하여 사용한 풍력 발전 풍향 풍속계와 실험 장치이다. 풍향 측정을 위한 컴파스는 KMZ52, 풍속 측정은 pb62를 사용하였다. 전체 시스템은 microchip(社)의 dsPIC30F4012를 사용하여 제어 하였다. 그림 12은 실험환경을 구성하는 풍력발전 풍향 풍속계와 컨트롤 회로이다.

### 5.2 풍력 발전 결과

풍력 발전기의 실험을 위해 회로를 구성하고 제안한 MPPT알고리즘을 적용하여 dsPIC4012에서 PWM신호를 조절하였다. 그림 13는 풍속에 따른 출력 전력 그래프이다. 0.5m/s 풍속 마다 일정 시간 동안 출력 전력을 측정하여 나타내었다. MPPT알고리즘을 적용하여 duty ratio 변화시킨 알고리즘은 붉은색 그래프이며 0.5의 일정한 duty ratio를 적용한 그래프는 푸른색이다.

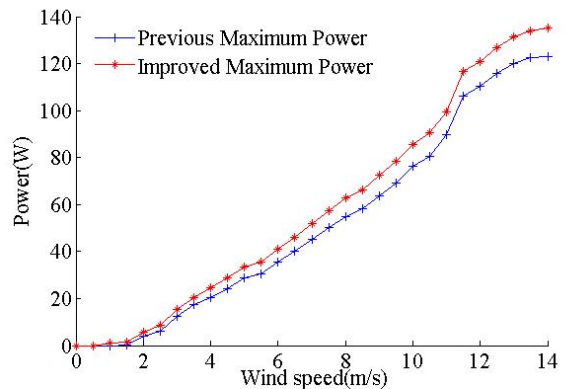


그림 13. 풍속에 따른 출력 전력

### 5.3 풍향 측정 결과

풍향을 측정하기 위하여 dual compass를 180° 위상 차로 설치를 하고 아래쪽에 수직 축으로 synchronous motor를 설치하여 실험을 하였다. 그림 14(a)는 일정한 각도에서 외부 간섭을 주었을 때의 결과를 나타내었으며 그림 14(b)는 풍향 측정 시 360° 회전하면서 외부에 간섭을 주었을 때 이를 보정하여 결과 값을 나타내었다. 그림 14(c)와 (d)는 결과 값의 오차율을 나타낸 그래프이다. 그림에서 dual compass와 synchronous motor를 이용하였을 때 가장 정확한 값을 나타냄을 알 수 있다.

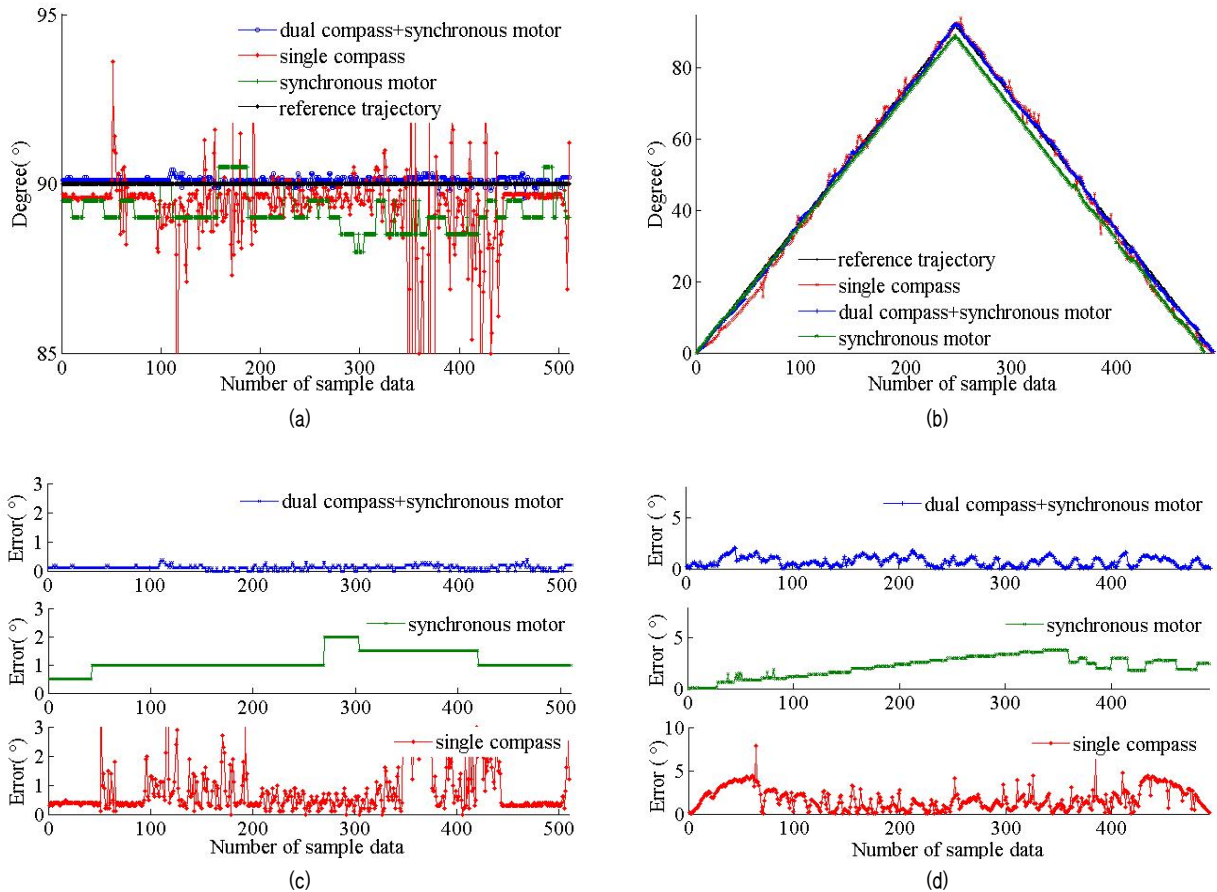


그림 14. (a) 정지 상태에서 풍향 측정 data, (b) 0-90° 동적 상태의 풍향 측정 data, (c) 정지 상태에서 풍향 측정 error, (d) 0-90° 동적 상태의 풍향 측정 error

표 1. 정지 상태 풍향 측정 에러(°)

	Dual compass+synchronous motor	Single compass	Synchronous motor
Mean error	0.05	0.05	0.1
Max error	0.40	6.1	2.0
Average error	0.21	1.52	1.01

표 2. 0-90° 동적 상태 풍향 측정 에러(°)

	Dual compass+synchronous motor	Single compass	Synchronous motor
Mean error	0.05	0.05	0.1
Max error	2.03	7.86	3.8
Average error	0.68	2.58	2.89

## 6. 결론

본 논문에서는 풍력 발전 시스템을 기반으로 풍향 풍속

계의 효율성을 높이는 알고리즘을 제안하였다. 기존의 시스템은 풍향 측정 시 평균 4° 이상의 오차를 발생하였지만 dual compass와 synchronous motor를 이용한 알고리즘으로 오차를 0.7° 이내로 향상시켜서 해상에서의 정밀한 풍향 측정이 가능하도록 하였다. 특히 선박에서의 흔들림을 안정적으로 보완함으로써 그 활용도가 높을 것으로 판단된다. 그리고 풍력 발전 시스템을 적용시켜 해상에서의 풍부한 풍력으로 자가발전이 가능하기 때문에 에너지 효율성에서 우수한 장점이 있다.

## 참고문헌

- [1] R. H. Liang, and J. H. Liao, "A Fuzzy-Optimization Approach for Generation Scheduling With Wind and Solar Energy Systems," IEEE Transactions on Power Systems, Vol.22, No.4,

November, 2007.

[2] R. J. Wai, C. Y. Lin and Y. R. Chang, "Novel maximum power extraction algorithm for PMSG wind generation system," Electric Power Applications, IET, Vol.1, No.2, pp.275-283, March, 2007.

[3] A. M. Debroe, S. Drouilhet and V. Gevorgian, "A peak power tracker for small wind turbines in battery charging applications," IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.14, No.4, pp.1630-1635, December, 1999.

[4] K. Tan, and S. Islam, "Optimum control strategies in energy conversion of PMSG wind turbine system without mechanical sensors," IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol.19, No.2, pp.392-399, June, 2004.

[5] Yuang-Shung Lee and Ming-Wang Cheng, "Intelligent control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings," Industrial Electronics, IEEE Transactions, Vol.52, No.5, pp.1297-1307, October, 2005.

[6] Liang-Rui Chen, "PLL-based battery charge circuit topology," Industrial Electronics, IEEE Transactions, Vol.51, No.6, pp.1344-1346, December, 2004.

[7] E. C. Kent, "A comparison of ship- and scatterometer-derived wind speed data in open ocean and coastal areas," International Journal of Remote Sensing, Vol.19, No.17, pp.3361-3381, January, 1998.

[8] David E. Weissman, Mark A. Bourassa and Jeffrey Tongue, "Effects of Rain Rate and Wind Magnitude on Sea Winds Scatterometer Wind Speed Errors," Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol.19, No.5, pp.738-746, May, 2002.

[9] Kyung-Moon Lee, Yang-Hwan Kim, Jae-Mu Yun and Jang-Myung Lee, "Magnetic-interference-free dual-electric compass," Sensors and Actuators, Vol.120, No.2, pp.441-450, May, 2005.

[10] Sun-Sin Han, Im-Yong Kang and Jang-Myung Lee, "Implementation of Spreader Pose Control Using Dual-Electric Compasses," IEEE Sensors Journal, Vol.9, No.1, pp.69-70, January 2009.

[11] Peter B. Schmidt, Michael L. Gasperi, Glen Ray and Ajith H. Wijenayake, "Initial Rotor Angle

Detection Of A Non-Salient Pole Permanent Magnet Synchronous Machine," IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Louisiana New Orleans, October 1997.

[12] 고재평, 강웅기, 김양환, 이장명, "동적 간섭 자기장에 강인한 전자컴파스," 제어.자동화.시스템공학 논문지, 제11권, 제1호, pp.27-33, 1, 2005.



**최 원 연**

2009 인제대학교 전자공학과 (공학사)  
2009~현재 부산대학교 전자  
전기공학과 석사과정 재  
학 중

관심분야: 지능로봇제어, 센서  
융합, Localization, 풍력 발전, 마이크로 프로세  
서 응용



**박 계 도**

2010 진주산업대학교 전자공  
학과 (공학사)  
2010~현재 부산대학교 로봇협  
동과정 석사과정 재학 중  
관심분야: 센서융합, 지능제  
어, 풍력 발전, 마이크로  
프로세서 응용





### 이 장 명

1980 서울대학교 전자공학과  
(공학사)

1982 서울대학교 전자공학과  
(공학석사)

1990 USC(미국 남가주 대학  
교) 컴퓨터공학과(공학  
박사)

1992~현재 부산대학교 전자전기공학과 교수

관심분야: 지능로봇제어, 로보틱스, 비선형제어, 특  
수환경 Localization 및 Navigation