

# 도시형 풍력발전 시스템을 위한 퍼지로지 기반 MPPT 알고리즘 개발

## Design of Fuzzy Logic based MPPT(Maximum Power Point Tracking) Algorithm for Urban Wind Turbine System

육의수\* · 김성호\* · 이장호\*\* · 장미혜\*\*\*

Yui-Su Youk\*, Sung-Ho Kim\*, Jang-Ho Lee\*\* and Mi-Hye Jang\*\*\*

\* 군산대학교 전자정보공학부

\*\* 군산대학교 기계자동차공학부

\*\*\* 전북대학교 대체에너지공학과

### 요 약

일반적으로 풍력발전은 광범위한 영역에 지속적인 바람을 요구하는 대형 시스템 위주로 개발이 되어왔다. 그러나 소형 풍력발전 시스템은 유저에게 보다 친숙하고, 대형에 비해 보다 광범위한 적용이 가능하다는 점 때문에 최근 이에 대한 관심이 증가되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 배터리 충전에 효과적으로 도입될 수 있는 도시형 풍력 발전을 위한 프로토타입 시스템에 대해 기술하며, 프로토타입 시스템에 효과적으로 도입될 수 있는 퍼지로지 기반의 최대 전력점 추종 알고리즘을 제안하고자 한다. 또한 제안된 기법의 유용성 확인을 위해 Matlab을 통한 시뮬레이션 및 이를 통해 얻어진 알고리즘을 실제 DSP에 적용하여 보고자 한다.

**키워드 :** 도시형 풍력발전 시스템, 배터리 충전, 퍼지 로직, 최대 전력점 추종

### Abstract

Generally, wind industry has been oriented to large power systems which require large windy areas and often need to overcome environment restrictions. However, small-scale wind turbines are closer to the consumers and have a large market potential, and much more efforts are required to become economically attractive. In this paper, a prototype of a small-scale urban wind generation system for battery charging application is described and a fuzzy logic based MPPT(Maximum Power Point Tracking) algorithm which can be effectively applied to urban wind turbine system is proposed. Through Matlab based simulation studies and actual implementation using DSP of the proposed algorithm, the feasibility of the proposed scheme is verified.

**Key Words :** Small-scale Urban Wind Turbine, Battery charging, Fuzzy logic, MPPT( Maximum Power Point Tracking)

## 1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈에 대비한 친환경적인 대체 에너지 지원으로 풍력발전이 주목을 받고 있다. 독일, 네덜란드 및 덴마크를 중심으로 서유럽 여러 나라에서는 1970년대부터 풍력발전에 대한 많은 연구가 있어 왔고, 그 결과 최근에는 수 MW급 풍력발전 시스템을 상용화하기에 이르렀다[1-3]. 국내에서도 다수의 연구기관을 중심으로 풍력발전 시스템의 국산화 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 또한 정부 지원의 지역 에너지 사업을 통해 제주도 등 다수의 지역에

중대형 국내의 시스템이 도입되어 설치 운전되면서 국내 풍력 자원 개발의 가능성을 검토하고 있는 실정이다.

최근 군산대학교는 지식경제부에서 지원하는 신재생에너지 기술 개발사업 분야의 도시형 풍력연구센터를 유치한 바 있다. 본 연구센터에서는 사람이 사는 곳에서 멀리 떨어진 곳에 설치되어 운영되고 있는 기존의 풍력발전 시스템과는 달리 사람들이 많이 모여 사는 도심에 적용가능한 도시형 풍력발전 시스템의 체계적인 개발에 연구 목표를 두고 있다. 구체적인 연구 개발은 풍력가로동, 건물풍력 및 조형물 풍력 등으로 나뉘어지며 이와 관련된 체계적인 연구개발이 진행되고 있다.

풍력발전 시스템은 에너지 변환 흐름에 따라 블레이드, 동력 전달부 등의 기계 부분과 발전기, 전력변환회로 등의 전기 부분으로 구분되며 이에 본 연구에서는 풍력가로동 및 건물풍력 시스템에 적용 가능한 300W - 500W 규모의 수

접수일자 : 2009년 11월 3일

완료일자 : 2009년 12월 17일

감사의 글 : 본 연구는 지식경제부 신재생에너지 기술 개발사업의 일환(2009T100100576)으로 수행되었습니다.

직형 풍력발전 시스템의 전기 부분 개발과 관련된 기초 연구를 수행하고자 한다.

본 논문에서는 가변속 풍력발전이 가능한 수평형 풍력발전기의 에너지/토크 곡선을 얻은 후, 이 특성 곡선을 기반으로 발전기 후단에 연결된 정류기 및 부스트 컨버터의 출력을 최대화 할 수 있는 다양한 형태의 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 알고리즘에 대해 고찰하고자 한다. MPPT와 관련된 연구는 이미 태양광 발전 시스템에 널리 적용되고 있으며 이에 본 연구에서는 태양광 발전 시스템에 적용되고 있는 여러 형태의 MPPT 알고리즘의 도시형 풍력 발전 시스템에의 적용가능성을 확인하고 기존 기법의 성능을 향상시킬 수 있는 퍼지 로직 기반의 MPPT 알고리즘을 제안하고자 한다[4-7].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 도시형 풍력발전 시스템의 전체 구성 및 풍력 터빈의 토크/출력과 관련된 제반 사항에 대해 고찰하고 3장에서는 도시형 풍력발전 시스템에 적용가능한 일반적인 형태의 풍속센서 기반의 MPPT 알고리즘에 대해 설명하고 4장에서는 현재 태양광 발전 시스템에서 사용되고 있는 각종 MPPT 알고리즘 및 본 연구에서 제안된 퍼지 로직 기반의 MPPT에 대해 설명한 후, 5장에서는 제작된 소형 풍력발전시스템을 대상으로 기존 기법 및 본 연구에서 제안된 MPPT의 성능 비교 실험을 수행하며 마지막으로 결론을 기술하고자 한다.

## 2. 도시형 풍력발전 시스템의 전체 구성

본 연구센터에서 최종 목표로 하는 도시형 풍력 발전 시스템의 전체 구성은 그림 1과 같다. 그림에서와 같이 도시형 풍력발전 시스템은 풍력가동 및 조형물 풍력에 도입 · 운영될 수 있도록 설계되어야 되기 때문에 효율적인 전력확보를 위해 풍력 및 태양광 발전이 병행 · 운전될 수 있도록 구성된다.

본 연구에서는 도시형 풍력발전 연구의 초기 단계로서 풍력터빈, 발전기, 정류기, DC/DC 컨버터 및 배터리로 구성되는 독립 운전형(stand-alone) 발전 시스템(그림 1의 박스안쪽부분)과 관련된 연구를 진행하고자 한다.

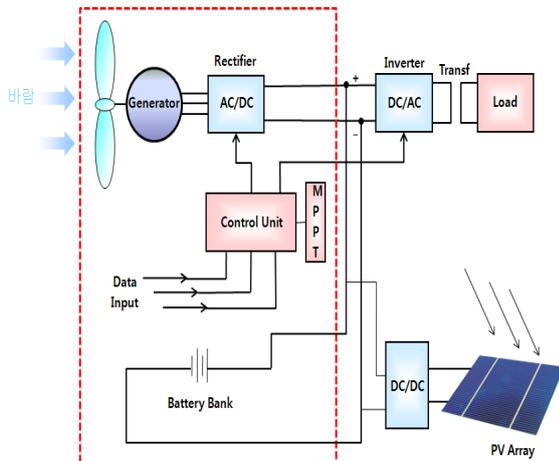


그림 1. 도시형 풍력발전 시스템의 전체 구성도  
Fig. 1. Entire configuration of urban wind turbine system

## 2.1 풍력 터빈의 토크/출력 특성

풍속  $V_{wind}$ 의 바람이 불 때, 블레이드가 바람으로부터 받아들이는 에너지는 식(1)과 같이 출력계수(power coefficient)  $C_P$  와 풍속의 3승에 비례한다[4-5].

$$P_{wind} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 C_P \quad [W] \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 회전자의 단면적[ $m^2$ ],  $\rho$ 는 공기의 밀도로 약  $1.25 [Kg/m^3]$ 이다.

따라서 매 순간 풍속의 변화에 따라 블레이드가 바람으로부터 받아들일 수 있는 토크  $T_{wind}$ 는 식(2)와 같이 표현된다.

$$T_{wind} = \frac{P_{wind}}{w_{blade}} = \frac{1}{2} A \rho V_{wind}^3 \frac{C_P}{w_{blade}} \quad [Nm] \quad (2)$$

여기서  $w_{blade}$ 는 블레이드의 회전속도[rad/sec]이다.

상기 식(1), (2)의 출력계수  $C_P$ 란 풍속  $V_{wind}$ 의 바람이 갖고 있는 에너지 중에서 블레이드가 받아들이는 에너지의 비율을 의미하며, 풍속에 대한 블레이드의 회전속도의 비율인 주속비(TSR: Tip Speed Ratio)  $\lambda$ 에 따라 변한다. 주속비  $\lambda$ 는 다음 식과 같이 정의되며,  $R$ 는 블레이드의 반경이다.

$$\lambda = \frac{R w_{blade}}{V_{wind}} \quad (3)$$

그림 2는 주속비에 따른 출력계수 변화의 한 예를 보이고 있다. 즉, 블레이드가 회전을 개시하여, 주속비가 점점 커지면 블레이드의 출력계수, 즉 출력 효율이 증가하다가 어느 속도 이상으로 회전하게 되면 효율이 오히려 떨어진다는 것을 나타낸다. 이러한 출력계수는 블레이드의 설계에 따라 달라지며 Betz의 연구결과 및 Rankine-Froude 모델에 따르면 출력계수의 이론적 최대값은 0.59임이 알려져 있다.

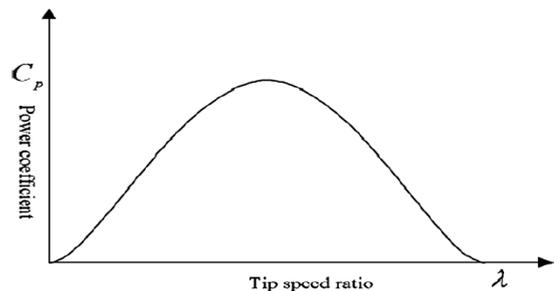


그림 2. 주속비와 출력계수의 관계

Fig. 2. Relationship between tip speed ratio and power coefficient

일반적으로 풍력발전 시스템으로부터 최대의 출력을 인출하기 위한 최대 전력점 추종 알고리즘(MPPT: Maximum Power Point Tracking)을 구현하기 위해서는

기계적 발전시스템(풍력터빈 및 발전기 포함)에서 가장 중요한 특성중 하나인 토오크/출력 특성 곡선을 아는 것이 요구된다.

식(2)의 풍속  $V_{wind}$ 의 바람으로부터 터빈이 받아 들인 토오크는 블레이드와 발전기의 구동 토오크로 사용되며 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$T_{wind} = J_w * \frac{dw_{blade}(t)}{dt} + T_{load} \quad (4)$$

여기서  $J_w$ 는 터빈의 관성모멘트이고,  $T_{load}$ 는 터빈에 연결된 발전기의 회전에 사용되는 토오크이다.

식(4)의  $T_{load}$ 는 터빈 샤프트와 발전기 샤프트가 증속기를 거치지 않고 직결되었다면 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T_{load} = J_g * \frac{dw_{blade}(t)}{dt} + F_g w_{blade}(t) + T_g \quad (5)$$

여기서  $J_g$ 는 발전기의 관성 모멘트이고,  $F_g$ 는 발전기의 마찰계수 그리고  $T_g$ 는 발전기의 부하단에서 인출되는 토오크를 의미한다.

따라서 식(5)를 식(4)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 풍력 발전 시스템의 토오크 관련 수식을 얻을 수 있다.

$$T_{wind} = (J_w + J_g) \frac{dw_{blade}(t)}{dt} + F_g w_{blade}(t) + T_g \quad (6)$$

또한 블레이드의 출력특성은 식(6)의 양변에  $w_{blade}(t)$ 를 곱하여 구할 수 있으며 이를 나타내면 다음과 같다.

$$P_{wind} = J \frac{dw_{blade}(t)}{dt} \cdot w_{blade}(t) + F_g w_{blade}(t)^2 + P_g \quad (7)$$

풍속 및 블레이드의 회전속도에 따른 출력 특성의 한 예를 나타내면 그림 3과 같다.

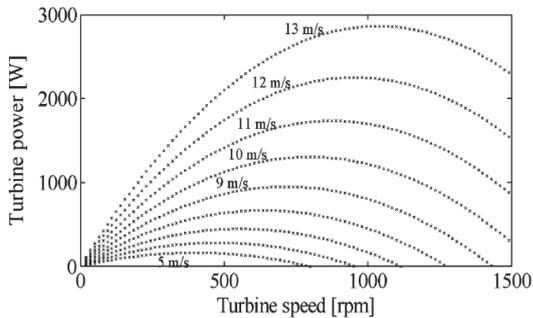


그림 3. 풍속에 대한 블레이드의 회전속도와 출력간의 특성  
Fig. 3. Characteristic of turbine power and speed of blade corresponding to wind speed

## 2.2 풍력 발전시스템의 PCS(Power Conditioning System)

본 연구에서는 그림 1의 도시형 풍력발전시스템의 전체 구성 중, 충전을 위한 전압을 발생시킬 수 있는 바람의 크기에서 발전기로부터 발생된 전력을 충전용 배터리에 저장하여 DC 부하 등을 구동시킬 수 있는 다음과 같은

stand-alone 형태의 풍력발전용 PCS에 대해 고찰하고자 한다.

그림 4는 본 연구에서 고찰할 도시형 풍력발전용 전력변환 시스템의 구조를 나타낸 것으로 풍력 터빈에 직결된 영구자석형 동기발전기에서 교류가 출력된다. 또한 발전기로 생성된 교류 전압은 정류 다이오드를 통하여 직류로 변환된 뒤, DC/DC 컨버터에 의해 배터리를 충전하게 된다.

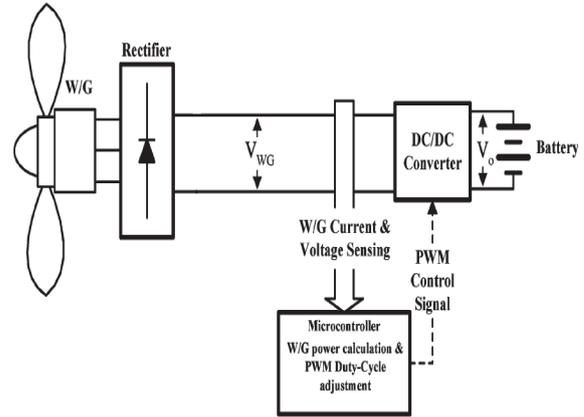


그림 4. 독립형 도시형 풍력발전 시스템을 위한 PCS의 구조

Fig. 4. Structure of PCS for stand-alone type wind turbine system

## 3. 도시형 풍력발전 시스템에 적용가능한 각종 MPPT 알고리즘

일반적인 풍력발전 시스템에 적용가능한 MPPT 알고리즘은 그림 5와 같이 풍속계의 사용 여부에 따라 여러 형태로 분류될 수 있다.

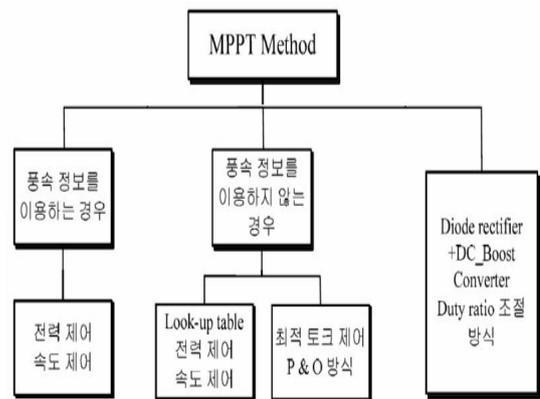


그림 5. 일반적인 풍력발전 시스템에 적용가능한 각종 MPPT 알고리즘의 종류

Fig. 5. Various MPPT algorithms which can be applied to general wind turbine system

그림 5에서 풍속정보를 이용하지 않는 대표적인 제어 시스템의 구조는 다음과 같다. 그림 6과 같은 시스템은 마이

크로프로세서의 ROM에 저장된 look-up 테이블(블레이드 회전속도-최적 전력 특성)을 이용하여 부하에 공급될 수 있는 최적의 전력을 구한 후, 이를 기반으로 부하의 출력을 제어하는 제어 시스템이다(전력제어기법).

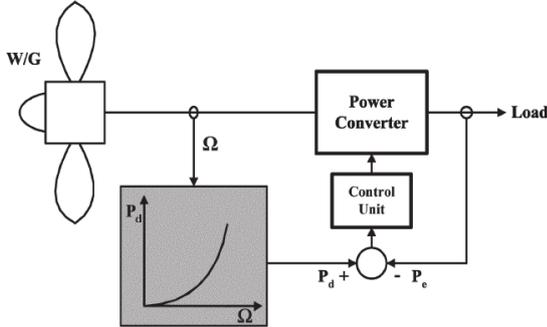


그림 6. 풍속 정보를 사용하지 않는 제어 시스템의 구조  
Fig. 6. Configuration of the control system without use of wind speed information

이에 반해 발전기의 출력으로부터 최적의 블레이드 속도를 구한 후, 블레이드의 회전속도를 최적의 회전속도가 되도록 제어하는 방법(속도제어기법)도 제안된 바 있다.

풍속정보를 이용한 대표적인 제어 시스템은 그림 7과 같으며, 그림 7과 같은 시스템의 경우, 풍속계로부터 현재의 풍속을 기반으로 그림 3과 같은 특성곡선으로부터 최대의 출력을 낼 수 있는 블레이드의 속도를 구한 후, 블레이드의 회전속도가 이를 추종할 수 있도록 전력변환기를 제어하는 기법으로 고가의 풍속계 및 부정확한 풍속 계측으로 인해 가격 및 성능 면에서 많은 문제점을 갖는다.

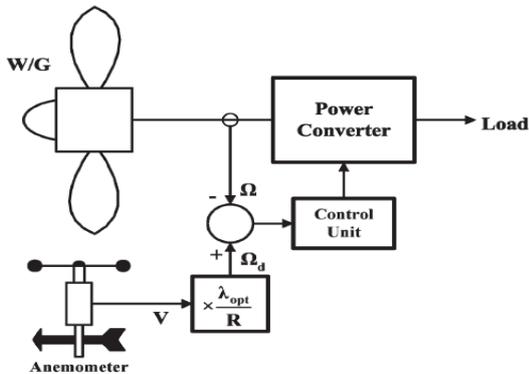


그림 7. 풍속 정보를 이용한 제어 시스템의 구조  
Fig. 7. Configuration of the control system with use of wind speed information

이에 반해 풍력 터빈과 발전기를 하나의 시스템으로 간주하고 DC/DC 컨버터의 duty ratio를 변화시켜 가면서 발전기로부터 최대의 전력을 인출하는 제어 방법이 있으며(그림 5의 Diode-Booster converter Duty ratio 제어방법), 가격대 성능면에서 다른 기법들보다 우수하다는 점 때문에 최근 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 이 기법은 이미 태양광 발전시스템을 위한 MPPT 에도 광범위하게 적용되어 유용성이 입증된 제어 기법이다.

이는 풍력발전 시스템이 발전기 출력단의 전력(전압\*전

류) 및 전압 특성 곡선이 태양광 전지의 전력-전압 특성과 유사하는 점에 기인한다. 일반적인 풍력발전 시스템의 전압-전력 특성을 나타내면 그림 8과 같다.

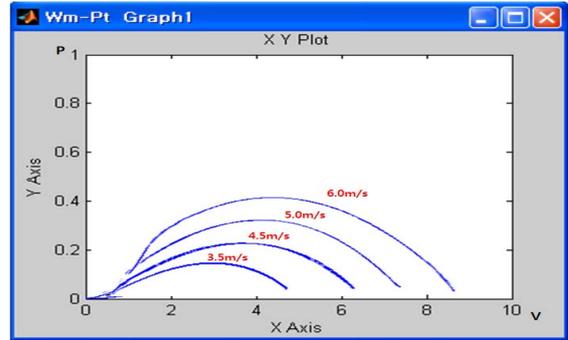


그림 8. 풍속에 따른 발전기의 전압-전력 곡선  
Fig. 8. Voltage-power curve of generator corresponding to various wind speed

그림으로부터 발전기로부터 전류를 인출하게 되면 발전기 출력단의 전압이 줄어들며, 어느 일정 전압 이하에서는 발전기로부터 인출될 수 있는 전력의 크기가 줄어드는 현상이 발생하게 됨을 알 수 있다. 이는 그림 3과 같은 터빈 블레이드의 회전속도-전력 특성에 기인한다.

#### 4. 제안된 도시형 풍력발전 시스템을 위한 MPPT 제어 알고리즘

본 장에서는 그림 4와 같은 Stand-alone 형의 도시형 풍력발전 시스템에 효과적으로 도입될 수 있는 새로운 형태의 MPPT 제어 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안된 알고리즘은 풍속계를 사용하지 않고 Booster converter의 duty ratio 만을 조절하여 최대 전력점 추종을 가능케 하는 방법으로 구체적인 설명에 앞서 이와 관련된 기존의 연구에 대해 살펴보려 하자.

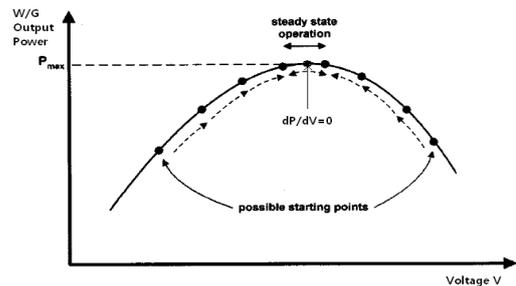


그림 9. 풍력발전기 출력단의 전압-전력 곡선을 이용한 MPPT 알고리즘  
Fig. 9. MPPT algorithm based on voltage-power curve from electric generator

##### 4.1 Incremental Conductance 기법

태양광 발전 시스템에 도입 · 운영되고 있는 기법으로 그림에서와 같이 전력의 최대점에서  $dP/dV=0$ 이 된다는 사

실제 근거하여 Boost converter의 PWM 값을 조절하여  $dP/dV$  가 0이 되도록 하는 기법이다.

그림 10에서 풍력 발전기의 출력단 전압 및 전류를 연속적으로 측정하여 매 샘플타임마다 다음과 같이 표현되는  $dP/dV$ 를 구하고 이 값이 0이 되도록 하는 MPPT 제어하는 방법이다.

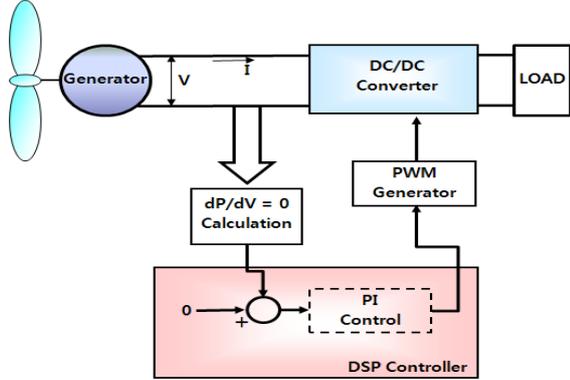


그림 10.  $dP/dV=0$  에 기반한 MPPT 알고리즘  
Fig. 10. MPPT algorithm based on the concept of  $dP/dV=0$

$$\frac{dP}{dV}(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (8)$$

여기서  $P(n) = V(n)I(n)$ 은 n-순간의 전력을 의미한다.

#### 4.2 순시 $V_{ref}$ 에 기반한 MPPT 알고리즘

태양광 발전의 MPPT에 적용된 방법중 하나로 그림 11과 같이 마이크로프로세서를 사용하여 발전기의 전압과 전류를 측정하여 전력을 계산한 후, Boost converter의 Duty ratio를 제어하는 방법이다. 그러나 앞서의 MPPT와는 달리 매 순간 얻어지는  $V_{ref}$  값과 발전기의 출력 전압의 오차를 PI 제어기의 입력으로 사용한다는 차이점이 있다.

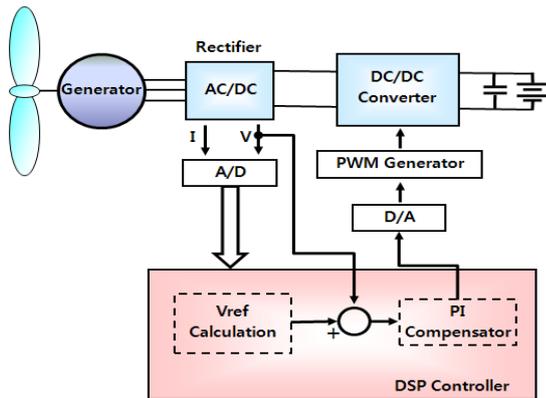


그림 11.  $V_{ref}$ 를 이용한 MPPT 알고리즘  
Fig. 11. MPPT algorithm based on  $V_{ref}$

PI 제어기의 reference로 사용되는  $V_{ref}$ 는 다음과 같은 알고리즘에 의해 결정된다.

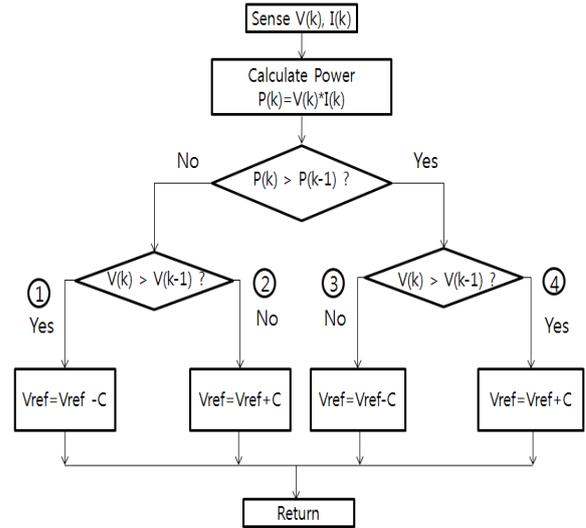


그림 12.  $V_{ref}$ 의 도출 알고리즘  
Fig. 12. Algorithm for Calculation of  $V_{ref}$

#### 4.3 본 연구에서 제안된 도시형 풍력발전 시스템을 위한 MPPT 제어 알고리즘

본 연구에서는 전절에서 고찰한 MPPT 알고리즘의 성능 향상을 도모할 수 있는 새로운 형태의 MPPT 알고리즘을 제안하고자 한다. 그림 12로부터 알 수 있듯이  $V_{ref}$ 는 현재 발전기로부터 인출되는 출력 및 전압이 이전 스텝의 전력 및 전압과 비교되어 일의적으로 변경되므로 정상상태에 도달하였을 경우, 진동 현상이 필연적으로 발생된다. 이에 본 연구에서는 이전 스텝과의 전력 및 전압의 증감에 따라 C의 크기가 변화하도록 퍼지규칙을 기반으로 하는 기법을 제안하고자 하며 제안된 기법의 구체적인 설명은 다음과 같다.

##### 4.3.1 퍼지화 과정

제안된 방법에서는 다음과 같이 두 개의 입력 및 한 개의 출력 변수를 정의한다.

$$CP(k) = P(k) - P(k-1) \quad (9)$$

$$CV(k) = V(k) - V(k-1) \quad (10)$$

$$C(k) = \text{Output of Fuzzy Logic} \quad (11)$$

퍼지화 과정은 퍼지로직의 입력변수인  $CP(k)$ 와  $CV(k)$ 를 퍼지추론을 위해 각각의 소속함수에 의해 퍼지 값으로 변환하는 과정을 의미한다. 입력변수는 수치 값이고 퍼지로직에서 쓰이는 변수는 퍼지집합을 기반으로 하는 퍼지 값이므로 수치 값들에 대한 퍼지화 과정이 필요로 된다.

퍼지화 과정은 개념적으로 대집합 X에 속한 수치적인 값  $x_0$ 를 하나의 퍼지집합 A로 매핑하는 것을 의미한다.

$$A = \text{fuzzifier}(x_0) \quad (12)$$

다음 그림은 입력변수  $CP(k)$  및  $CV(k)$ 의 소속함수를 나타낸 것으로 PB는 Positive Big, PM은 Positive Medium, ZO는 Zero, NB는 Negative Big, NM은 Negative Medium을 의미한다.

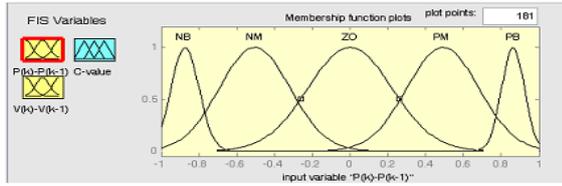


그림 13 (a)

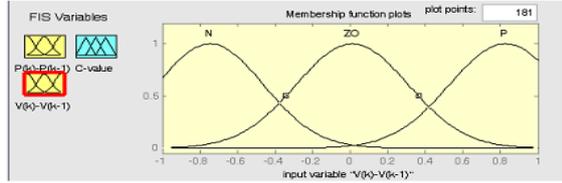


그림 13 (b)

그림 13. (a)  $CP(k)$ 에 대한 소속함수(NB, NM, ZO, PM, PB), (b)  $CV(k)$ 에 대한 소속함수(P, Z, N)  
 Fig. 13. (a) Membership function(NB, NM, ZO, PM, PB) of  $CP(k)$ , (b) Membership function(P, Z, N) of  $CV(k)$

출력 변수  $C(k)$ 에 대한 소속함수를 나타내면 다음과 같다.

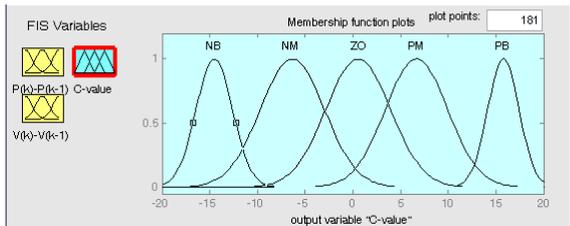


그림 14.  $C(k)$ 에 대한 소속함수  
 Fig. 14. Membership function of  $C(k)$

4.3.2 퍼지추론

본 연구에서는 다음과 같은 상황을 고려하여 퍼지 규칙을 도출하였다.

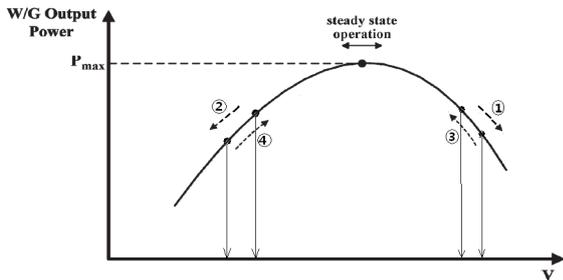


그림 15. 퍼지규칙의 도출  
 Fig. 15. Extraction of fuzzy rule

기존 기법은 정점 부근에서도 상황에 따라 상수 C가 가감되어 정상부근에서 진동이 발생하게 되며 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 규칙을 생성하였다. 도출된 규칙은 표 1과 같다.

표 1. 도출된 규칙

Table 1. Extracted fuzzy rule

	CP(k)	NB	NM	ZO	PM	PB
CV(k)		NB	NM	ZO	PM	PB
P		NB	NM	ZO	PM	PB
Z		NB	NM	ZO	PM	ZO
N		NB	NM	ZO	PM	PB

도출된 규칙은 입력변수( $CP(k)$ ,  $CV(k)$ ) 각각에 대해 5개, 3개의 퍼지 소속함수를 할당하였으며 따라서 총 15개의 규칙으로 구성된다.

4.3.3 비퍼지화

비퍼지화는 퍼지추론에 의해 결정된 C의 퍼지값을 실제 수치로 바꾸어주는 과정을 의미한다. 본 연구에서는 가장 간단한 형태의 무게중심 비퍼지화 기법을 사용하였다.

5. 제안된 기법의 프로토타입 시스템의 적용

5.1 설계 제작된 프로토타입 시스템의 구성

본 연구에서는 우선, Matlab에서 구동되는 Simulink의 Real-time workshop을 이용하여 제안된 알고리즘의 유용성 확인한 후, Simulink에서 사용한 각종 파라미터 및 블록을 이용하여 DSP용 코드를 얻은 후, 이를 기반으로 DSP 기반의 퍼지로지 기반 MPPT 알고리즘을 실제 구현하여 제작된 프로토타입 시스템에 실제 적용을 수행하였다.

본 연구에서는 실제 제작된 풍력터빈의 부재로 인해 다음과 같은 도시형 풍력발전 시스템 프로토타입을 제작하여 실험에 사용하였다.

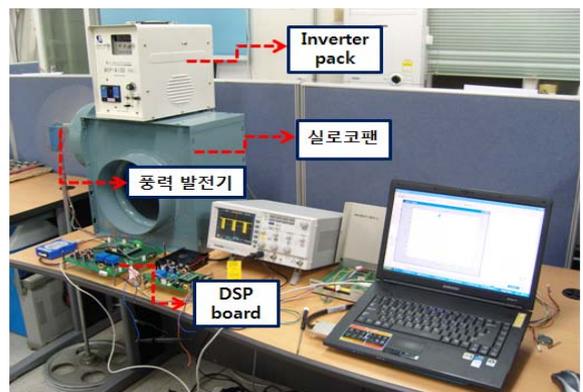


그림 16. 도시형 풍력발전 프로토타입 시스템  
 Fig. 16. Prototype for urban wind turbine system

프로토타입 시스템은 1W 출력의 풍력발전기와 boost 컨버터 및 DSP 보드로 구성되며 또한 풍량의 발생 및 제어를 위해 인버터팩으로 제어되는 실로코펜을 사용하였다.

5.2 프로토타입 시스템의 PCS(Power Conditioning System)

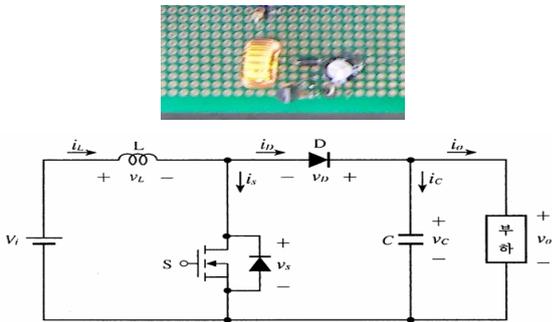


그림 17. Boost Converter 전력 변환부 및 설계도  
Fig. 17. Circuit diagram for boost converter

발전기의 출력단에 연결되어 부하에 인가되는 전압을 조절하기 위해 boost 컨버터가 사용되었으며, 설계·제작된 boost 컨버터의 사양은 다음과 같다. PWM 입력이 인가되는 스위칭 소자로는 2N2222를 사용하였으며, L은 10uH, C는 330uF, 부하 저항은 10%의 5KΩ을 사용하였다.

5.3 DSP 기반의 기 제안된 MPPT 알고리즘의 응답 특성

MPPT 알고리즘의 DSP 보드를 사용한 실시간 제어 특성을 고찰하고자 하였다. DSP 보드로의 제안된 MPPT 알고리즘의 포팅을 위해 그림 18과 같은 Simulink 블록을 구성하였고 이로부터 TMS320F2812 DSP 칩에 포팅 가능한 C 코드를 Real-time workshop을 통해 얻은 후, 이를 TI사에서 제공하는 Code Composer Studio를 통해 포팅을 수행하였다.

5.3.1 dP/dV = 0 에 기반한 MPPT 알고리즘

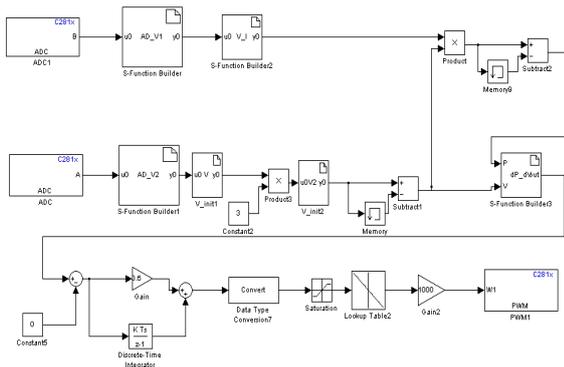


그림 18. DSP용 코드 발생을 위한 dP/dV=0 기반의 MPPT 알고리즘용 Simulink 블록 다이어그램  
Fig. 18. Simulink block diagram for the generation of DSP code of dP/dV=0 based MPPT algorithm

그림 19는 DSP 보드를 사용한 실시간 제어 특성을 나타낸 것으로 풍속의 변화(3.5m/s - 6m/s)에 따라 효과적인 최대 전력점 추종이 이루어 짐을 알 수 있다. 사용된 PI 제어기의 이득은 각각 P=0.6, I=0.03으로 선정하였다.

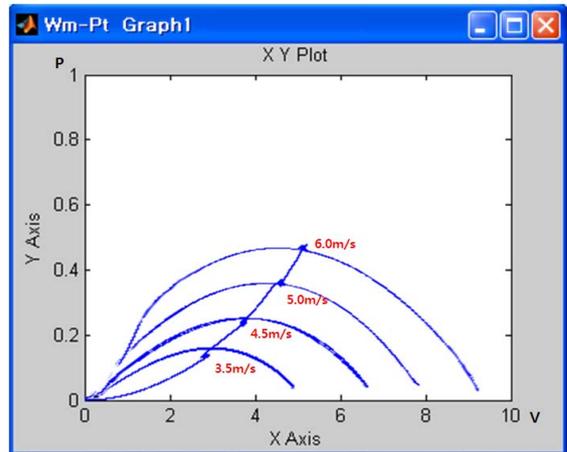


그림 19. DSP에 의한 dP/dV = 0 기반의 MPPT 제어 알고리즘의 특성  
Fig. 19. Characteristic of dP/dV = 0 based MPPT algorithm implemented by DSP

5.3.2 순시 \$V\_{ref}\$를 이용한 MPPT 알고리즘

4.2절에서 고찰한 MPPT 알고리즘의 응답 특성은 그림 20과 같으며 그림으로부터 알 수 있듯이 C의 선정에 따라 정상상태 부분에서 약간의 진동 현상이 발생됨을 확인할 수 있었다.

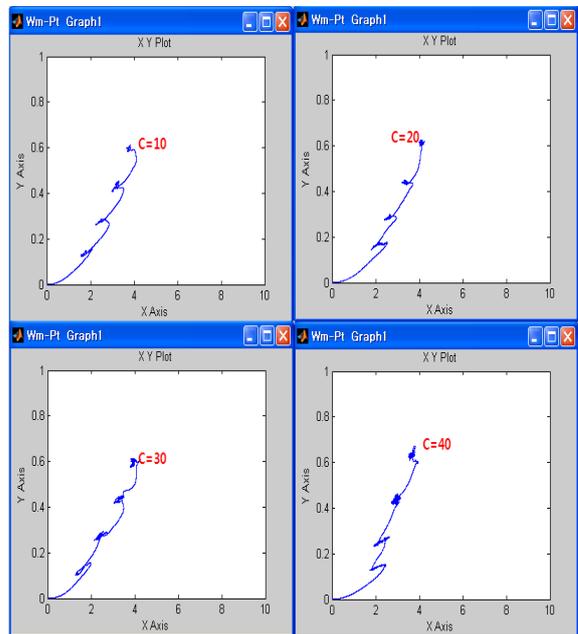


그림 20. 순시 \$V\_{ref}\$ 기반의 MPPT 알고리즘의 제어특성  
Fig. 20. Control characteristic of \$V\_{ref}\$ based MPPT algorithm

5.4.3 제안된 퍼지 로직 기반 MPPT 알고리즘

본 연구에서 제안된 퍼지 로직 기반의 MPPT 알고리즘의 구현을 위해 구성된 Simulink 블록 다이어그램은 그림 21과 같으며 이를 DSP로 구현한 실제 계통의 응답 특성은 그

림 22와 같다.

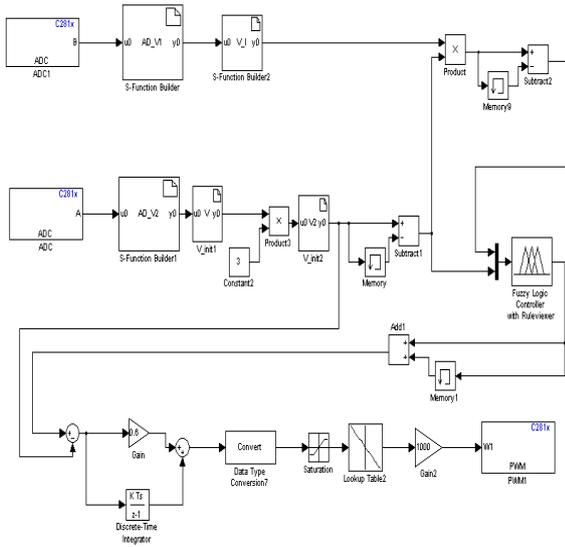


그림 21. 퍼지 로직 기반 MPPT 알고리즘의 구현을 위한 Simulink 블록 다이어그램  
Fig. 21. Simulink block diagram for fuzzy logic based MPPT algorithm

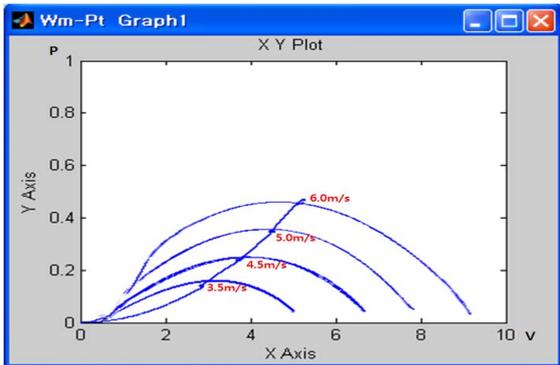


그림 22. 퍼지 로직 기반 MPPT 알고리즘의 제어 특성  
Fig. 22. Control characteristic of fuzzy logic based MPPT algorithm

그림 22로부터 알 수 있듯이 제안된 기법을 사용할 경우, 기존 기법에서 발생하는 정상상태에서의 진동 특성은 사라지게 되며 풍속의 변화에 따른 효율적인 최대 전력점 추종이 가능하게 됨을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 도시형 풍력발전 시스템에 적용가능한 퍼지 로직 기반의 MPPT 알고리즘을 제안하고 제안된 기법의 실제 유용성 확인을 위해 Matlab Simulink상에서의 Real-time workshop 및 TMS320F2812 DSP를 통한 실시간 적용 실험을 수행하였다. 실험결과 제안된 퍼지 로직 기반의 MPPT 알고리즘은 고가의 풍속계의 설치 없이도 효율적인 최대 전력점 추종이 가능함을 확인할 수 있었다. 향

후, 본 센터에서 수평축 풍력발전기의 개발이 완료되면 본 연구에서 제안된 MPPT 기법의 실제 적용을 통해 유용성을 확인할 계획이며 또한 DC/DC 컨버터 출력단에 연결된 계통 연계형 인버터의 효율적 전력 전송을 위한 다양한 형태의 MPPT 제어 기법에 대해서도 연구하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Hoffmann, P. Mutschler, "The Influence of Control Strategies on the Energy Capture of Wind Turbine", *2000 IAS Conference Record*, pp.886-893, 2000
- [2] Anders Grauers, "Efficiency of three wind energy generator system", *IEEE Trans. Energy Conversion*, Vol. 11, No. 3, pp.650-657, 1996
- [3] Shibashis Bhowmik, Rene Spee, Hohann H.R. Enslin, "Performance Optimization for Doubly Fed Wind Power Generation Systems", *IEEE Trans. Industry Application*. Vol. 35, No. 4, pp.949-958, 1999
- [4] Z. Salameh and D. Taylor, "Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays," *Sol. Energy Proc.*, vol. 44, no. 1, pp. 57 - 61, 1990
- [5] D. B. Snyman and J. H. R. Enslin, "Analysis and experimental evaluation of a new MPPT converter topology for PV installations," in *Conf. Rec. IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, pp. 542 - 547. 1992
- [6] U. Herrmann, H. G. Langer, and H. Broeck, "Low cost DC to AC converter for photovoltaic power conversion in residential applications," in *Conf. Rec. IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, pp. 588-594, 1993.
- [7] C. Y. Won, D. H. Kim, S. C. Kim, W. S. Kim, and H. S. Kim, "A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller," in *Conf. Rec. IEEE Power Electronics Specialists Conf.*, pp. 396 - 403, 1994
- [8] Z. Salameh and D. Taylor, "Step-up maximum power point tracker for photovoltaic arrays," *Sol. Energy Proc.*, vol. 44, no. 1, pp. 57 - 61, 1990.
- [9] J. H. R. Enslin and D. B. Snyman, "Simplified feed-forward control of the maximum power point in PV installations," in *Conf. Rec. IEEE Industrial Electronics Conf.*, 1992, pp. 542 - 547
- [10] V. Arcidiacono, S. Corsi, and L. Lambri, "Maximum power point tracker for photovoltaic power plants," in *Conf. Rec. IEEE Photovoltaic Specialists Conf.*, 1982, pp. 507 - 512

저 자 소 개



**육의수(Yui-Su Youk)**

2004년 : 군산대학교 전자정보공학부 학사 졸업  
2006년 : 군산대학교 전자정보공학부 석사 졸업  
2007년 ~ 현재 : 군산대학교 전자정보공학부 박사과정

관심분야 : 고장진단, 공장자동화, 센서네트워크  
E-mail : sixofnum@hanmail.net



**김성호(Sung-ho Kim)**

1984년 : 고려대학교 공과대학 학사 졸업  
1986년 : 고려대학교 대학원 석사 졸업  
1991년 : 고려대학교 대학원 박사 졸업  
1988 ~ 1990년 : 고려대 생산기술연구소 연구원  
1995 ~ 1996 : JAPAN HIROSHIMA UNIVERSITY POST-DOC

1997년 : 군산대 제어계측공학과 부교수 임명

관심분야 : 뉴럴 네트워크, 퍼지, 센서 네트워크, 공장 자동화 및 오류검출  
E-mail : shkim@kunsan.ac.kr



**이장호(Jang-ho Lee)**

1988년 : 서울대학교 학사  
1995년 : 포항공과대학교 공학석사  
2004년 : 포항공과대학교 공학박사  
1988 ~ 1999년 : LG전자 선임연구원  
2005 ~ 현재 : 군산대 기계자동차공학부  
2009 ~ 현재 : 군산대 풍력기술연구센터장

관심분야 : 풍력발전시스템, 태양열 및 바이오매스연계 열공학시스템  
E-mail : jangho@kunsan.ac.kr



**장미혜(Mi-Hye Jang)**

2000년 : OHIO STATE UNIVERSITY, USA 박사과정 연수  
2001년 : 연세대학교 공과대학 박사 졸업  
2002년 ~ 2006년 : NIST(National Institute of Standards and Technology, USA) 연구원  
2006년 : 연세대학교 연구교수

2008년 : 전북대학교 대체에너지공학과 초빙교수  
2008년 : 한국신재생에너지연구원 연구위원  
2006년 : 차세대풍력발전연구센터

관심분야 : 초전도, 전력전자 및 기기, 신재생에너지, 풍력발전, 전력 IT  
E-mail : jangmi@jbnu.ac.kr