

조류발전의 MPPT제어 비교

김천규\*, 강형석\*, 김영조\*\*, 김영석\*  
 인하대학교\*, 유한대학\*\*

The MPPT Control Method of the Seaflow Generation by using the Fuzzy Controller

Cheon Kyu Kim\*, Hyoung Seok Kang\*, Young Jo Kim\*\*, Young Seok Kim\*  
 Inha University\*, Yuhan College\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 DC-DC 컨버터를 이용하여 조류 발전의 MPPT(Maximum Power Point Tracking) 제어를 제안하였다. 기존의 고정 듀티 제어를 이용한 발전 시스템과 가변 듀티를 이용한 발전시스템과의 비교를 통해서 가변듀티를 이용한 제어방법이 더욱 우수한 성능을 나타낸다는 것을 검증하였다. 제안한 시스템은 블레이드, 영구자석 동기전동기, 다이오드 정류기, DC-DC 컨버터로 구성되어 있으며, 고정듀티, 가변듀티, 퍼지제어를 이용한 가변듀티 방법을 이용하여 제어하였다. 본 시스템은 조류 속도의 측정 없이 컨버터의 듀티 가변으로 발전기가 최대 출력전력을 낼 수 있도록 제어하므로, 별도의 측정 장비가 필요 없다. 따라서 시스템 구성 비용 적고, 복잡성이 낮으며, 효율이 높다. 알고리즘의 유효성은 Matlab Simulink를 통해서 검증하였다.

변화에 대해 발전기의 출력 전력 변화가 0이 되는 지점, 즉  $dP/d\omega_{gen} = 0$ 인 지점에서 조류 발전기 출력이 최대가 되는 것을 알 수 있다. 따라서 제어를 통해서 발전기가 최대 출력점에서 회전할 수 있도록 해야 한다.

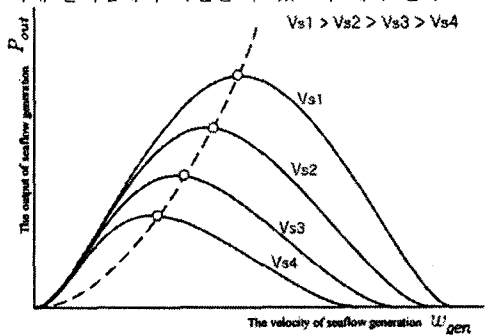


그림 1. 조류 속도에 대한 조류 터빈의 특성 곡선.

1. 서 론

최근 환경오염문제, 화석에너지자원의 고갈문제, 교도의정서 규약에 의한 CO2방출규제로 인해 풍력, 조력, 태양광, 지열등과 같은 환경 친화적인 신재생에너지에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히 신재생 에너지 자원 중 조류 에너지는 날씨변화에 따라서 발전량이 민감하게 변화하는 태양 및 풍력에너지에 비해 날씨변화에 대해 영향이 거의 없이 발전이 가능하다. 또한 kWh당 전력생산 비용이 타 발전시스템에 비해 낮고, 풍력에너지에 비해 에너지 밀도가 높아서 출력전력이 높다. 따라서 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라에 가장 적합한 발전형태로 판단된다.

본 논문에서는 기존의 고정속 발전 시스템에 비해, 보다 효율적으로 전력 생산이 가능하며 전체 시스템에 가해지는 기계적, 전기적 스트레스를 감소시키기 위해, 가변속 발전 시스템을 구현하고 있다. 특히 제안된 시스템은 특정 조류속도에서 최대전력(Maximum power point tracking)을 얻을 수 있는 곳으로 발전기의 회전속도를 제어함으로써 고정속 발전시스템에 비해 높은 효율을 갖는 시스템을 구현하였다. 또한 기존의 MPPT제어 방법에서는 조류속도를 측정하여 제어변수로 이용하였으나, 이러한 방법은 부가적인 측정장비가 필요로 하고 측정시 에러가 존재한다는 단점이 있다.

따라서 위와 같은 단점들을 개선하여 조류 속도 측정을 필요로 하지 않는 가변속 MPPT 발전 시스템을 본 논문에서는 제안하려고 한다.

2. 본 론

2.1 조류 발전기의 특성

조류 발전기의 특성은 그림 1에서 보는 것과 같이, 발전기의 특정 회전속도에서 최대 출력을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 이 지점은 조류 발전기 회전 속도의

2.2 MPPT 제어 원리

위에서 설명한 조류 발전기의 특성을 이용하여 가변듀티 제어를 위해 연쇄 법칙을 이용하여 MPPT제어를 위한 다음과 같은 관계식을 유도해 낼 수 있다.(1)(2)

표 1. DC-DC 컨버터에 따른 제어방법

Buck Converter	Boost Converter	Buck Boost Converter
$D_{buck} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$	$D_{boost} = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}$	$D_{bb} = \frac{V_{out}}{V_{in} + V_{out}}$
$\frac{dD_{buck}}{dV_{in}} = \frac{-V_{out}}{V_{in}^2} < 0$	$\frac{dD_{boost}}{dV_{in}} = \frac{-1}{V_{out}} < 0$	$\frac{dD_{bb}}{dV_{in}} = \frac{-V_{out}}{(V_{out} + V_{in})^2} < 0$
$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} = \frac{dP_{out}}{dD_{ratio}} \cdot \frac{dD_{ratio}}{dV_{in}} \cdot \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} = 0$		
$\frac{dV_{recount}}{d\omega_{gen}} > 0 \Rightarrow \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0$		
$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} = 0 \Leftrightarrow \frac{dP_{out}}{dD_{ratio}} = 0$		
$w_{gen} < w_{p,max}$		$w_{gen} > w_{p,max}$
$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} > 0, \frac{dD_{ratio}}{dV_{in}} < 0, \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0 \Rightarrow \frac{dP_{out}}{dD_{ratio}} < 0$		$\frac{dP_{out}}{d\omega_{gen}} < 0, \frac{dD_{ratio}}{dV_{in}} < 0, \frac{dV_{in}}{d\omega_{gen}} > 0 \Rightarrow \frac{dP_{out}}{dD_{ratio}} > 0$

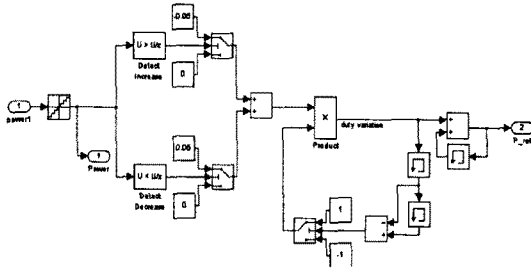
표 1에서 보는 것과 같이 발전기의 회전 속도제어가 DC-DC 컨버터의 듀티제어와 동일한 의미를 갖고 있다는 것을 알 수 있으며, 발전기의 최대 출력 점 이전에서의 속도제어와 이후에서의 속도제어가 다르다는 것을 알 수 있다.

### 2.3 가변속 제어 시스템 구성

측정된 전압과 전류값을 이용하여 전력값을 구하고 전력값의 증감을 비교하여 DC-DC컨버터의 듀티값을 제어한다. 따라서 듀티값의 증감을 이용하여 앞에서 설명했듯이 발전기의 회전속도의 제어가 가능하게 된다. 식 (1)에서 C의 값은 발전기가 안정적으로 최대출력을 낼 수 있는 방향으로 수정가능하다. 아래의 식을 Matlab Simulink로 구성한 것이 그림 2와 같다.

$$D_n = D_{n-1} + \Delta D_{n-1}$$

$$\Delta D_{n-1} = C \cdot \text{sign}(\Delta D_{n-2}) \cdot \text{sign}(P_{n-1} - P_{n-2}) \quad (1)$$



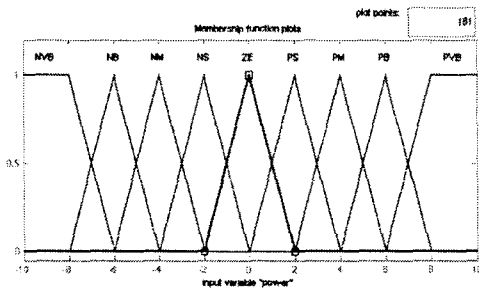
<그림 2> 가변 듀티 제어 블록도

### 2.4 퍼지제어기를 이용한 가변속 제어시스템 구성

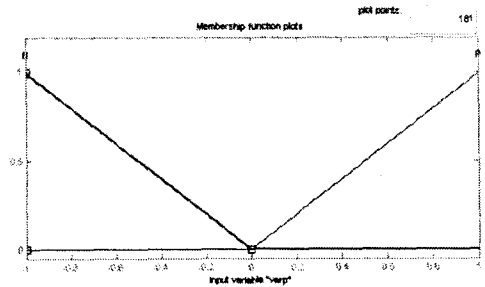
퍼지제어기를 이용하여 조류발전기를 제어하게 되면 노이즈 혹은 부정확한 입력 신호, 시스템 급변에 대해 신속하게 반응하므로, 제어를 빠른 속도로서 가능하게 한다. 위의 가변속 제어시스템에서는 C 값을 일정하게 놓고 제어를 하지만, 퍼지제어기를 이용하게 되면 전력의 변화정도에 따라서 C값을 조정할 수 있으므로, 더욱 효율적이고 안정적으로 시스템을 제어할 수 있다. 표2와 같은 퍼지 룰베이스 행렬을 Matlab Simulink로 구성한 것이 그림 3과 같다. (3)

표 2. 퍼지 룰 베이스 행렬 (fuzzy rule base matrix)

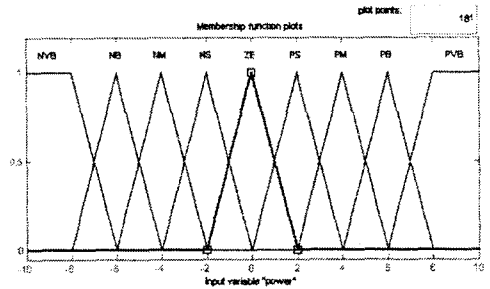
$\Delta P$ / $\Delta C P$	N	P
NVB	NVB	PVB
NB	NB	PB
NM	NM	PM
NS	NS	PS
ZE	ZE	ZE
PS	NS	PS
PM	NM	PM
PB	NB	PB
PVB	NVB	PVB



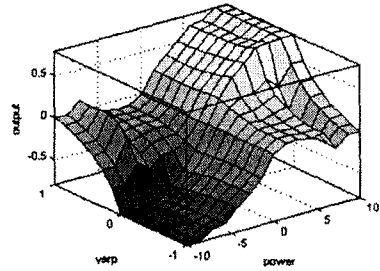
a. 전력 변화  $\Delta P$



b. 전력 변화의 비율  $\Delta C/P$



c. Fuzzy controller 출력값



d. 퍼지surface view

그림 3. Matlab Simulink를 이용한 퍼지 룰 베이스 행렬의 구성

### 2.5 조류발전 시스템 구성 및 시뮬레이션 결과

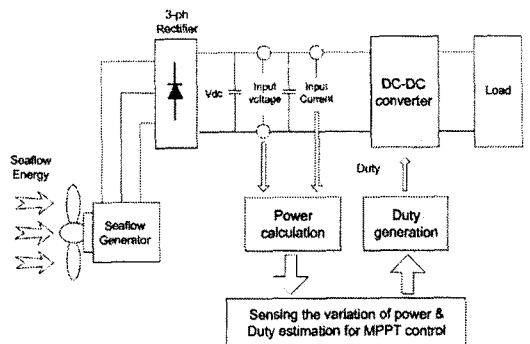


그림 4. 조류 발전 시스템의 구성

그림 4와 같이 조류 발전 시스템을 matlab simulink를 통해서 구성하고, 앞에서 제안한 제어 이론을 MPPT controller에 그림 2 및 그림 3과 같이 구현하면, 다음과 같은 파형을 얻을 수 있다. 입력 조류속도를 0초에 0m/s에서 서서히 증가시켜 2초에 2.2m/s가 된 후에 4초까지 속도를 유지한 후 5초에 1.8m/s가 되게 하였을 경우에, 그림5는 고정속 듀티의 경우 전압, 전류, 전력 파형이며, 그림 6은 가변속 듀티의 경우이고 그림 7은 Fuzzy 제어

기를 사용한 경우의 결과파형들을 보여준다.

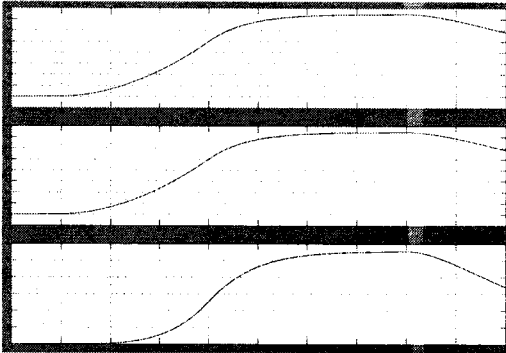


그림 5. 고정속 제어(듀티:20%)의 경우 전압, 전류, 전력 파형

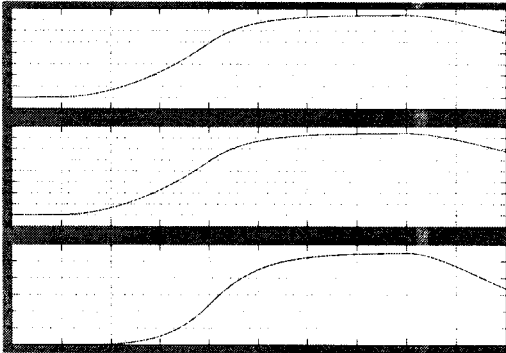


그림 6. 고정속 제어(듀티:50%)의 경우 전압, 전류, 전력 파형

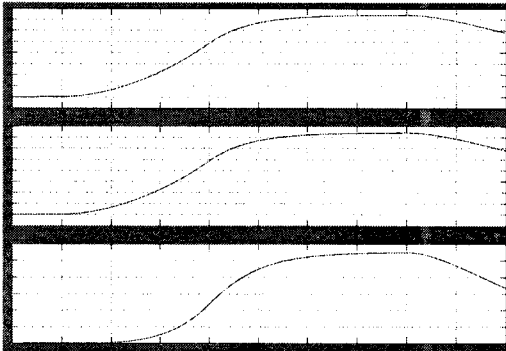


그림 7. 고정속 제어(듀티:80%)의 경우 전압, 전류, 전력 파형

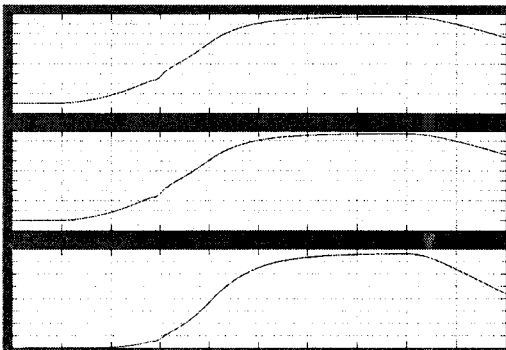


그림 8. 가변속 MPPT 제어의 경우 전압, 전류, 전력 파형

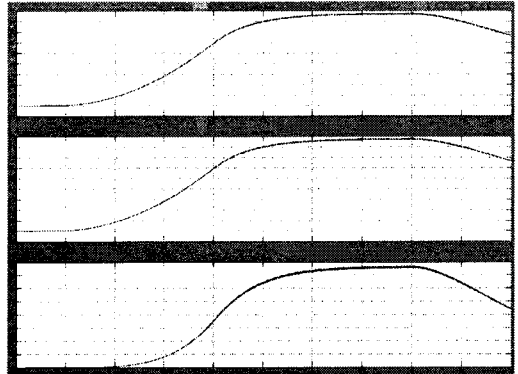


그림 9. 퍼지제어의 경우 전압, 전류, 전력 파형

### 3. 결 론

위의 그림들은 고정속, 가변속, 퍼지제어기를 적용하여 시뮬레이션을 한 파형들을 나타낸다. 고정속제어의 경우 듀티비를 20%, 50%, 80%로 가변하였을 때 전력의 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있고, 가변속 MPPT제어의 경우 고정속 제어에 비해서 24%정도의 성능 개선이 있었고, 퍼지제어기의 경우 가변속 제어에 비해 8%정도의 성능개선이 있다. 이를 통해서 알 수 있는 사실은 고정속 제어보다 가변속제어가 효율이 월등히 좋다는 사실을 알 수 있고, 퍼지제어의 경우는 가변속 MPPT제어에 비해 효율은 좋으나 그 차이가 확연히 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 그러나 이 경우는 조류 속도 변화가 심하지 않다는 것을 가정했을 때의 시뮬레이션이므로 조류 속도 변화가 심한 경우 퍼지 제어기가 가변속 MPPT제어에 비해 효율 향상을 가져 올 것으로 사료된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] E. Koutroulis, and K. Kalaitzakis, "Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications", IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.53, no.2, pp.486-494, 2006.
- [2] 최재신, 정락교, 한윤석, 김진선, 김영석, 조류발전을 위한 MPPT제어 방법, 2007년도 하계학술대회, pp1116-1117, 2007
- [3] 김천규, 강형석, 김영조, 김영석, boost 컨버터에 퍼지제어기를 이용한 조류 발전의 MPPT제어, 2008년도 춘계학술대회, pp131-133, 2008

감사의 글  
이 논문은 2008년 산업자원부 신재생 에너지 기술사업의 고효율 부유식 조류발전시스템 개발의 지원으로 연구되었음