

### 조류발전 시스템의 최대출력 알고리즘

안원영<sup>1</sup>, 김근수<sup>2</sup>, 이석현<sup>1</sup>, 이 천<sup>1</sup>, 조철희<sup>1</sup>  
 인하대학교<sup>1</sup>, 영진전문대학<sup>2</sup>

#### Maximum Power Point Tracking Algorithm in Seaflow Generation System

Won-Young An<sup>1</sup>, Gun-Su Kim<sup>2</sup>, Seok-Hyun Lee<sup>1</sup>, Cheon Lee<sup>1</sup>, Chul-Hee Jo<sup>1</sup>  
 Inha University<sup>1</sup>, Yeungjin College<sup>2</sup>

**Abstract** - 본 논문은 최근 이슈가 되고 있는 해양에너지 중 해류의 흐름을 이용한 조류발전 시스템에 관한 것으로 대학 실험실규모에서 조류발전 시스템의 성능 및 특성을 효율적으로 시험·평가할 수 있도록 구성된 모의실험 장치에 관한 것이다. 조류발전은 타 에너지원에 비해 발전의 제한조건과 단점이 거의 없으며 국내 자연환경에 적용하기에 적합한 많은 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 조류발전 시스템의 성능 및 특성을 시험할 수 있도록 Motor-Generator Set(M-G Set)을 구성하였고, 최대출력제어를 위해 사전에 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하여 최대 출력제어 알고리즘을 검증하였다. 구축된 조류 발전 모의실험 장치는 해양의 기후, 시간 변화에 따른 조류 속도 변화를 효율적으로 모의할 수 있도록 전동기 속도 제어를 가능하도록 하였다. 조류발전 시스템에서는 와류등으로 인해 유속을 측정하기 힘들고, 오차가 발생할 가능성이 많다. 그래서 유속 정보 없이 최대출력제어가 가능한 알고리즘을 시뮬레이션하여 수행하였다. 본 연구는 향후 실시간 발전 상황을 모니터링 할 수 있도록 LabVIEW 기반 모니터링 시스템에서 최대 출력제어 시스템을 구축하기 위한 좋은 자료로 쓰일 것이라 판단된다.

#### 1. 서 론

화석에너지의 고갈과 환경오염에 대한 관심이 커짐에 따라서 인류의 문명과 기술의 발전에 크게 영향을 미친 화석에너지원은 우리의 일상생활에 위협적인 요소로 다가오고 있다. 아울러 전 세계적으로 인구증가는 더욱 많은 전기에너지를 필요로 할 것이다. 그리고 화석에너지의 더 많은 이용에 따른 매장량의 감소는 미래의 발전에 장애가 될 것이다. 이에 따라 앞으로 에너지 문제를 해결하기 위해서는 화석에너지를 보다 효과적으로 이용함과 동시에 원자력 에너지의 안전한 이용을 포함하여 신재생에너지원(태양광, 풍력, 연료전지, 해양에너지)의 이용을 높이는 기술 개발이 필요하다. 더구나 전력산업의 구조개편이 세계적인 추세로 자리함으로써 신재생에너지의 입지변화는 불가피하리라 여겨진다.

조류발전은 해수의 유동으로 터빈이나 로터를 구동시켜서 이 때 발생하는 운동에너지를 전기에너지로 변환하여 에너지를 생산하는 기술로서 유속이 빠른 지역에 적용하게 된다. 일반적으로 조류발전을 위한 해수의 유속은 1m/s이다. 그러나 경제성 등을 고려할 때에는 2m/s 이상인 곳에 설치하게 된다. 이에 따라 조류발전은 기존의 에너지원과 비교해도 차이가 없고 발전비용이 저렴해서 청정에너지원으로 손색이 없음을 확인할 수 있다. 또한 조류발전은 발전량을 예측하기 힘든 태양광이나 풍력발전에 비해 발전량을 예측할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 조류발전의 상용화는 아직 본격적으로 실현되지 않고 있으며, 영국을 중심으로 미국, 캐나다 및 노르웨이 등에서 연구가 진행되고 있다. 국내 조류발전 기술은 세계 선진 기술과 비교하였을 때 매우 미미하여 독자적인 기술 확보를 위한 노력이 필요하다.[1]

본 논문에서는 조류발전 시스템의 성능 및 특성을 효율적으로 시험·평가할 수 있도록 Motor-Generator Set(M-G set)을 구성하였고, 최대출력제어를 위해 사전에 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 구축된 조류발전 모의실험 장치는 해양의 기후, 시간 변화에 따라 조류 속도 변화를 효율적으로 모의할 수 있도록 전동기 속도 제어가 가능하도록 하였다. 또한 Motor-Generator set을 이용하여 MPPT제어 실험을 하기 전에 PSIM을 사용하여 사전에 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 본 시뮬레이션에서는 영구자석 동기발전기에 Back-to-Back 컨버터를 사용하였다. 조류발전시스템에서는 와류등으로 인해 유속을 측정하기가 힘들고, 오차가 발생할 가능성이 많다. 그래서 유속 정보 없이 최대출력제어가 가능한 알고리즘을 시뮬레이션하여 검증하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 블레이드

조류발전 시스템에 입력되는 에너지는 해수의 유동에 의해 터빈을 구동시켜 이 때 발생하는 유동에너지를 회전에너지로 변환시킨다. 발전기에 공급하는 블레이드의 변환되는 기계적 에너지  $P_{blade}$ 로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{blade} = \frac{1}{2} A \rho V^3 C_p [W] \quad (1)$$

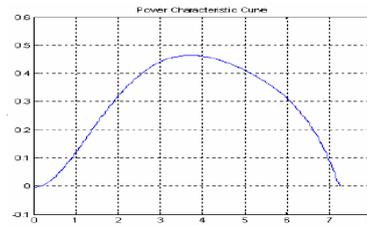
여기서  $P_{blade}$ 는 블레이드에 포획되는 전력[W], A는 블레이드의 회전 단면적[m<sup>2</sup>],  $\rho$ 는 유체의 밀도[Kg/m<sup>3</sup>], V는 유속[m/s],  $C_p$ 는 블레이드의 출력계수이다.

##### 2.2 주속비

주속비는 블레이드의 성능을 나타내는 파라미터의 하나로 “유입되는 유속에 대한 블레이드의 주속의 비”로 정의되어 식 (2)와 같이 나타내어 진다.

$$\lambda = \frac{wR}{V} \quad (2)$$

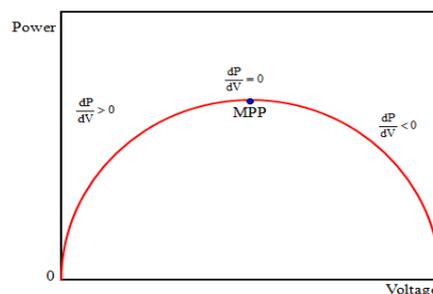
여기서  $\lambda$ 는 주속비,  $w$ 는 블레이드의 회전속도, R은 블레이드의 반지름,  $V$ 는 유속을 나타낸다.



<그림 1> TSR과  $C_p$ 의 관계

블레이드의 회전 단면적과 유속이 일정하다면  $C_p$  값은 그림 1과 같이 주속비는  $\lambda_{opt}$  값으로 갖는 속도를 가질 때 최대값이 된다.

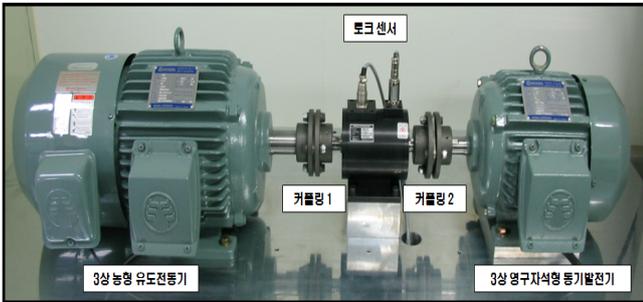
##### 2.3 MPPT제어



<그림 2> 발전기 속도 변화에 따른 MPPT 알고리즘

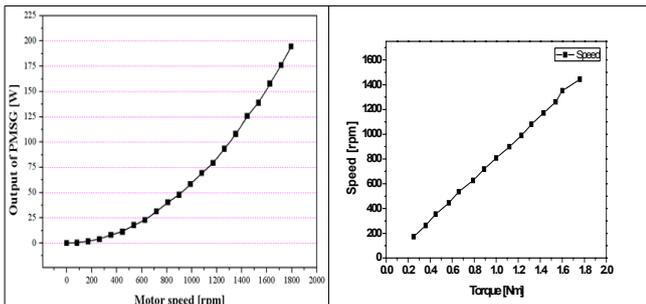
유속의 정보 없이 최대출력제어를 하기 위한 알고리즘을 그림 2에 나타내었다. 발전기의 속도가 증가하고 출력이 증가하게 되면 속도를 증가시키고 발전기의 속도가 증가하는데 출력이 감소하게 되면 속도를 감소시키게 된다. 또한 발전기의 속도가 감소하고 출력도 감소하면 속도를 증가시킨다. 그리고 발전기의 속도가 감소하고 출력이 증가하게 되면 속도를 감소시킨다. 이와 같이 발전기의 속도에 따라 최대 출력을 갖는 곳은 단 한 곳 밖에 없다. 따라서 최대출력 점을 찾기 위해서는 발전기의 속도를 증가시키거나 감소시키면서 최대출력 점을 찾는 것이다.[2]

## 2.4 실험장비



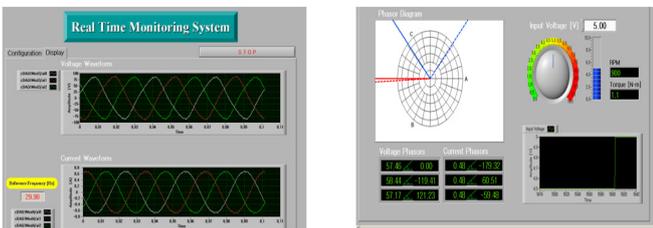
〈그림 3〉 조류발전 모의실험을 위한 M-G Set

그림 3은 조류발전 모의실험을 위한 구축한 M-G set의 사진이다. 본 논문에서는 농형 유도전동기와 영구자석형 동기발전기를 기본으로 실험실과 같이 규모가 작은 곳에서 구축하기 적당한 M-G Set을 이용하였다.



〈그림 4〉 M-G Set의 속도, 토크와 출력과의 관계

M-G Set을 구동하였을 때 RPM과 토크에 따른 출력 변화를 그림 4에서 보이고 있다. RPM과 토크가 증가함에 따라 출력이 증가하게 된다. MPPT제어를 하기 위해서 발전기의 속도를 증가, 감소시켜 최대출력을 결정하게 된다. 그러므로 이 MPPT 알고리즘을 사용하여 향후 최대출력제어 시스템을 구축할 계획이다.



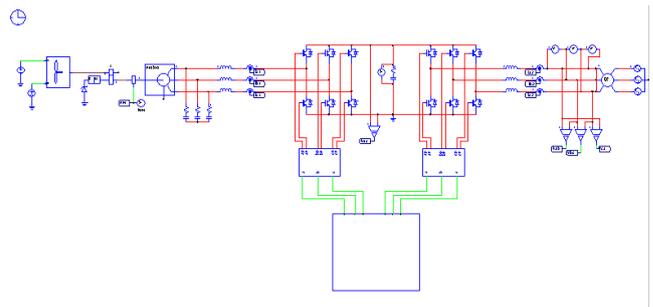
〈그림 5〉 LabVIEW 기반 모니터링 시스템

발전기 토크와 회전속도 및 발전기에서 출력되는 전기적 신호를 실시간으로 감시할 수 있는 LabVIEW 기반 모니터링 시스템을 그림 5와 같이 구축하였고, 파라미터에 변화에 따른 출력 데이터를 PC에 저장하여 효율적으로 운영할 수 있도록 시스템을 구축하였다.[3]

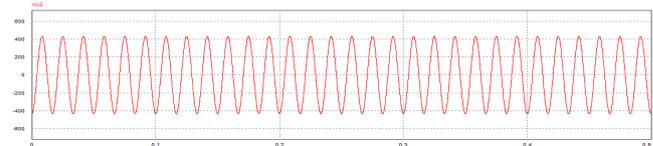
## 2.5 시뮬레이션

조류발전 시스템의 MPPT제어 알고리즘을 검증하기 위해서 영구자석형 동기발전기와 Back-to-Back 컨버터를 사용하여 Psim으로 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6는 시뮬레이션에 사용한 회로의 블록다이어그램이다.

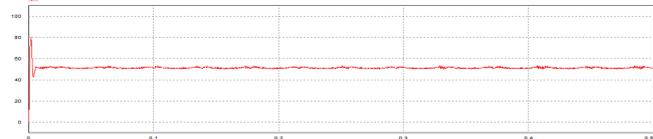
램이다.



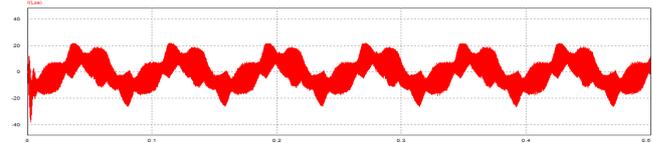
〈그림 6〉 Psim으로 구현한 조류발전 시스템 블록도



(a)계통측 상전압



(b)발전기의 속도



(c)계통측 상전류

〈그림 7〉 MPPT 제어시 출력파형

실제 와류로 인하여 유속을 측정하기 어렵기 때문에 유속정보 없이 최대출력제어를 추종하는 알고리즘을 통해 MPPT제어를 테스트 하였다. 그림 7은 발전기의 속도를 조절하였을 때 계통측 상전압, 발전기 속도 그리고 계통측 상전류를 보여주고 있다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 조류발전 시스템의 성능 및 특성을 효율적으로 시험할 수 있도록 Motor-Generator Set을 구축하였다. 또한 발전기의 토크와 회전속도 그리고 발전기에서 출력되는 전기적 신호를 실시간으로 감시할 수 있는 LabVIEW기반 모니터링 시스템을 구축하였다. M-G set을 이용한 최대출력제어를 위해 사전에 PSIM을 사용하여 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 본 시뮬레이션에서는 영구자석형 동기발전기에 Back-to-Back 컨버터를 사용하였다. 조류발전 시스템에서는 유속을 측정하기 힘들기 때문에 유속 정보없이 최대출력제어를 하기위해 발전기의 속도에 따라 출력을 증가, 감소시켜 MPPT제어가 가능하도록 하였다. 본 연구 결과는 향후 실시간으로 발전 상황을 모니터링 할 수 있는 LabVIEW 기반 모니터링 시스템에서 최대출력제어 시스템을 구축하기 위한 좋은 자료로 쓰일 것으로 판단된다.

본 연구는 인하대학교 “해양에너지 전문 인력 양성 사업”의 지원으로 수행되었습니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 조철희, “조류발전 특성과 국내의 기술개발 동향”, 한국태양에너지학회, Vol. 6, No. 1, pp. 9-16, 2007
- [2] 정해선, 이준민, 나재두, 김영석 “100kW급 고효율 부유식 조류발전 시스템의 MPPT 제어”, 대한전기학회 추계학술대회 논문집, PP. 196-199, 2009
- [3] 홍주일, 이석현, 안원영, 조철희 “LabVIEW 기반의 조류발전 모의실험 장치 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1219-1220, 2010