

풍력-연료전지 하이브리드 시스템 출력의 동특성 분석

문대성*, 김윤성*, 서재진*, 원동준*, 박영호**, 문승일**
 *인하대학교 전자전기공학부, **서울대학교 전기컴퓨터공학부

Dynamic performances of output power of wind turbine and fuel-cell hybrid system

Dae-Seong Moon*, Yun-Seong Kim*, Jae-Jin Seo*, Dong-Jun Won*, Young-Ho Park**, Seung-Il Moon**
 *School of Electrical Engineering, INHA University **School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - A hybrid system that uses a parallel combination of wind turbine and fuel cell is modeled. Wind energy source is characterized by its intermittent and variable nature. The output power generated by the fuel cell is stable and can be properly controlled. Therefore, fuel cell system can be added to the wind turbine system for the purpose of ensuring continuous power flow. Fuel cell helps to compensate power and regulate the frequency in power system. Simulation results show the effect of the hybrid system on power regulation. The excess power generated by the wind turbine was directed to an electrolyzer to generate hydrogen and the power deficit was compensated by the fuel cell.

Index Terms - wind turbine, fuel cell, inverter, hybrid system, regulation

1. 서 론

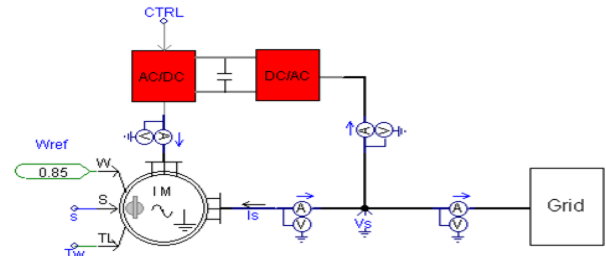
화석 연료 사용으로 인해 대기오염이 해마다 심화되고 있으며 특히 지구 온난화로 인한 세계 곳곳에서 기상이변과 같은 문제들이 속출하고 있다. 또한 최근 중국·인도 등 신흥공업국들의 에너지 수요 증가와 중동 지역의 불안정한 정세 및 산유량 감소 등의 이유로 국제유가는 꾸준히 증가하는 추세이다. 이러한 이유로 전 세계적으로 신재생에너지가 차세대 에너지원으로 주목받고 있으며 활발한 연구가 진행되고 있다. 신재생에너지의 종류로는 풍력, 태양광, 태양열, 조력, 바이오 매스, 지열, 수소 에너지 등이 있으며, 그 중에서 풍력 에너지는 태양 에너지의 지표면 차등 복사와 지구의 자전에 의해 발생하는 바람의 운동에너지를 이용하는 에너지원으로 전 세계에서 가장 빠르게 성장하는 에너지원이다. 전력 생산시 수 MW에 이르는 풍력발전기의 대형화 추세에 따른 단위 용량당 건설비 개선과 에너지의 이용효율증대로 장기적으로 전력생산 원가가 2.5cents/kWh까지 낮아질 것으로 전망되고 있다.

풍력 발전은 다양한 형태의 풍차를 이용하여 자연현상에서 발생하는 바람의 운동 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 발전기를 기계적 에너지로 구동하여 전력을 얻어내는 시스템으로 변환 과정에서 정정성과 고감도되지 않는 지속성을 갖는다. 하지만 풍력 발전의 특성상 끊임없이 변하는 바람의 속도로 인해 정속 운전이 불가능하기 때문에 출력 변동이 심하며 안정적인 출력을 얻는 데는 한계가 있다. 따라서 풍력 발전기는 계통에 연계된 부하에 전력을 공급하며 잉여 전력은 저장하고, 출력이 저하될 때 출력을 보상에 줄 수 있는 시스템이 필요하다. 연료전지 시스템은 잉여 전력을 수소로 저장 할 수 있으며, 보상시 안정적이고 제어 가 쉬운 출력을 낼 수 있으므로 이러한 풍력 발전의 문제점을 보완해 줄 수 있다. 따라서 연료전지를 풍력시스템과 연계한 하이브리드 시스템은 풍력의 출력변동을 보상하여 출력을 조절하는 데에 적합한 모델이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력 발전의 출력 저하 문제 발생 시 DC Bus에 병렬연결된 연료 전지의 투입을 통해 저하된 출력을 보상하는 것은 물론, 연료 전지의 DC/DC컨버터를 통하여 직접 DC BUS의 전력을 효율적으로 제어하는 풍력-연료전지 하이브리드 전력 시스템을 모델링하였다. 이 모델링을 통해 풍력 발전과 풍력-연료전지 하이브리드 시스템 각각의 출력 동특성을 얻고, 두 출력 특성을 비교, 분석하여 풍력-연료전지 하이브리드 시스템의 출력 개선 효과를 검증해 보도록 하겠다.

2. 본 론

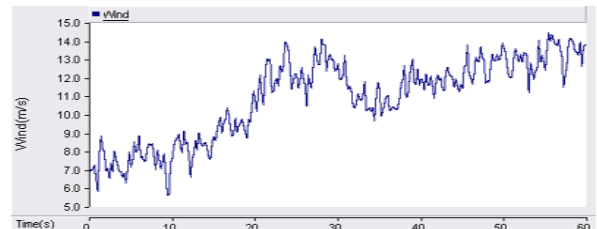
2.1 풍력발전 시스템 모델링



<그림 1> DFIG 풍력발전 모델링

이중역자 유도발전기 (Doubly fed induction generator 이하 DFIG)를 사용한 풍력모델은 다변화한 풍속에도 불구하고 인버터 제어를 통해 출력을 제어할 수 있는 장점을 가지고 있다. DFIG에서 회전자 권선은 슬립링과 브러시를 통해 회전자 측 컨버터에 연결되어 있고, 고정자 권선은 직접 그리드에 연결되어 있다. 풍력터빈에 의해 얻어진 기계적 출력은 DFIG에 의해 전기적 출력으로 변환되고, 이는 회전자의 고정자권선을 통해 그리드에 전송된다. 유도발전기의 로터측에 연결된 AC/DC 컨버터는 발전기의 고정자와 그리드 사이에 교환하는 유효 및 무효 전력을 제어하고, 그리드와 연결된 DC/AC 컨버터는 DC링크의 전압을 일정하게 유지시키며 역률을 향상시키는 역할을 한다. [1], [2]

2.2 풍력 발전의 출력 특성

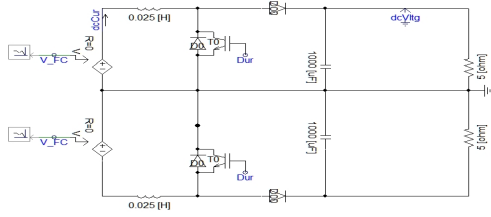


<그림2> Random 함수를 이용한 풍속 모델링 (PSCAD/EMTDC 모의)

풍력발전의 에너지원인 바람은 자연적 변화에 종속되어 있기 때문에 이러한 바람을 에너지원으로 사용하는 풍력발전은 순시적으로 변동이 심한 출력 특성을 갖는다. 이러한 다변적 특성은 출력 예측과 계통운영을 어렵게 하며, 부하예측을 어렵게 만든다. 대다수 풍력발전은 지역성이나 계절에 따른 기후 영향으로 인해 출력피크와 부하피크의 시간대가 서로 어긋나는 경우가 많다. 특정 풍속이상인 경우에는 발전기의 보호를 위해 운영을 중단 시키고 계통으로부터 분리해 해야 하므로, 계통은 풍력발전으로부터 높은 전력을 공급받다가 갑자기 공급이 중단되기 때문에 이로 인한 운영상의 문제가 존재하게 된다. <그림2>는 Random 함수를 이용하여 이러한 풍속의 변화를 모델링한 PSCAD/EMTDC 모의 결과로서 풍력의 순시적 변동을 보여준다.

2.3 연료전지 시스템 모델링 및 출력 특성

연료전지의 여러 가지 모델 중에서 Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC)은 다른 연료전지에 비해 작동온도가 낮은 편이고 빠른 시동이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 PEMFC는 빠른 동작 속도를 필요로 하는 풍력-연료전지 하이브리드 시스템에 적합한 모델이라고 할 수 있다.

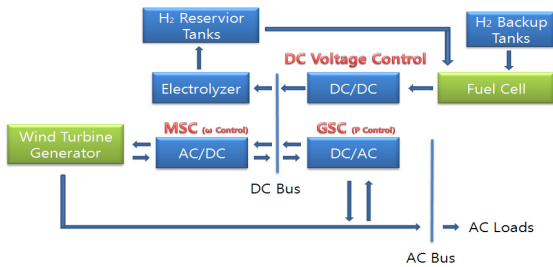


<그림3> DC/DC 컨버터를 포함한 연료전지 모델

<그림 3>에서는 PEMFC를 PSCAD/EMTDC로 모델링 하였다. 여기에서 V_{FC}가 연료전지의 출력전압을 나타내며, 이 연료전지의 출력전압은 부하에 따라 변동하므로 DC/DC 컨버터를 연결하여 일정한 전압을 유지하도록 동작한다. 연료전지 모델은 전극, 촉매, 전해질 막으로 구성되어 있는 직렬 저항 성분, 화학 반응 시 에너지 손실에 의해서 발생하는 병렬 저항 성분, 전극과 전해질 사이의 계면에 의한 정전 용량의 병렬 저항성분과 시정수로 구성 된 커패시턴스 성분, 그리고 연료전지의 입력 전압이 낮을 경우 전압을 보상해 줄 수 있는 Boost DC/DC 컨버터 성분으로 구성 되어있다.

기본적으로 연료 전지의 전류-전압 특성을 살펴보면 전해질/촉매 전극/반응가스의 계면에서 반응이 일어나기 때문에 이들 계면이 연료전지의 성능에 영향을 미치게 되고 이는 전압강하와 임피던스 변화를 가져온다. 즉, 연료전지에는 내부저항 성분이 있고 이들 인자에 의해서 전압강하가 일어난다. 이때 전압강하는 전류에 따라서 증가 되며 전류가 '0'인 전압은 내부 저항의 영향을 받지 않게 되며 이때를 기전력으로 설정한다. 또한 전지의 양단을 가변저항으로 연결하고 저항 값을 서서히 줄이면서 측정하면 전류는 전극면적에 비례하여 출력한다. 전류 값이 커짐에 따라서 내부 저항도 증가하고 이는 전압강하를 가져온다. [3]

2.4 풍력-연료전지 하이브리드 시스템

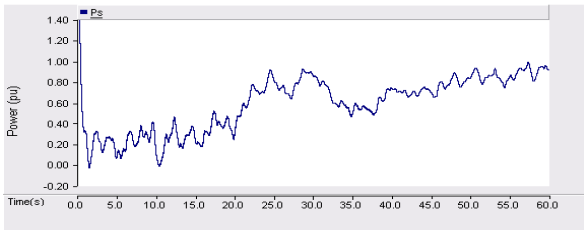


<그림 4> 풍력-연료전지 하이브리드 시스템의 구조

<그림 4>에서 DFIG 풍력모델과 연료전지는 DC Bus로 연결되어 있다. 풍력발전이 과도한 전력을 발생할 때는 DC Bus의 스위치를 이용하여 남은 전력을 Electrolyzer로 보내 수소를 발생시키고 이때 전기분해된 수소를 H2 Reservoir Tanks에 저장하게 된다. H2 Backup Tanks에 저장된 수소는 풍력의 발전력이 감소하게 되면 연료전지로 공급되며 생산된 전력은 DC Bus를 통해 계통으로 전달된다. 이러한 시스템의 운영을 통해 풍력으로 부터의 과출력을 수소로 저장 하고 다시 부족한 전력은 연료전지를 통해 보상받을 수 있기 때문에 에너지의 저장과 출력의 조정이 가능하게 된다.

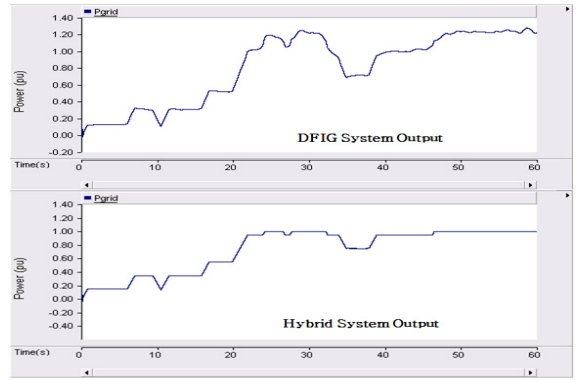
풍력-연료전지 하이브리드 시스템의 제어는 연료전지의 DC/DC 컨버터에서 DC Bus 전압 관리를 담당하고, Machine Side Converter(MSC)에서는 회전자 각속도(ω)를 제어하며, Grid Side Converter(GSC)에서는 고정자의 Power를 제어한다. [4]

2.5 시스템 출력 특성 분석



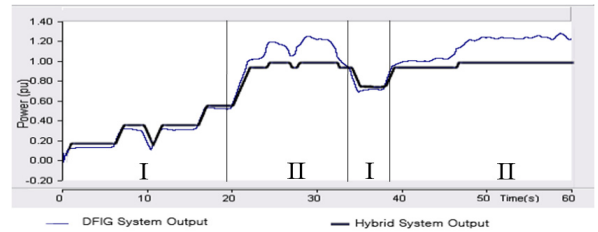
<그림 5> MSC 각속도 제어시 풍력시스템의 출력 특성

<그림 5>는 DFIG의 MSC에서 각속도(ω)를 제어하고 GSC에서 DC전압을 제어했을 때의 출력 값으로 그 값이 풍속에 따라 변동됨을 알 수 있다.



<그림6> DFIG 시스템과 풍력-연료전지 하이브리드 시스템의 출력 비교

DFIG 풍력 발전 시스템 모델과 풍력-연료전지 하이브리드 시스템 모델의 출력 특성을 <그림6>을 통해 볼 수 있다. DFIG의 MSC에서는 풍력발전 시스템의 출력을 제어하는 것으로 모델링 하였으며, 하이브리드 시스템은 MSC와 GSC에서 출력을, 연료전지가 DC 전압을 제어하는 것으로 가정하였다. 연료전지의 DC/DC 컨버터가 DC BUS에서의 전력의 흐름을 담당하는 것으로 가정하였기에 전체 하이브리드 시스템의 출력 변동 폭이 줄어든 것을 볼 수 있다.



<그림7> 풍력-연료전지 하이브리드 시스템과 DFIG 풍력의 출력

<그림7>의 I 구간은 연료전지가 풍력의 부족한 출력을 보충하는 구간이며, II구간은 DFIG 풍력 발전의 과잉 전력을 수소로 변환시켜 저장하는 구간으로 하이브리드 시스템의 정격 출력이 풍력시스템의 출력보다 낮은 모습을 볼 수 있다. 전체적으로 하이브리드 시스템의 출력이 좀 더 안정적인임을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 이중역자 유도형 풍력 발전 시스템 (DFIG System)과 연료전지(Fuel Cell)가 DC Bus에 병렬로 연결된 하이브리드 시스템을 PSCAD/EMTDC를 통해 모델링 하여 출력 특성을 분석하였다. 풍력 발전은 바람의 속도에 따라 순시적으로 출력 변동이 심하기 때문에 출력 제어 등의 계통운영 문제가 있지만, DFIG 시스템의 DC링크와 연료전지의 DC Bus를 서로 연결한 모델의 출력을 분석한 결과, 출력 전력을 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다. 과 출력일 때는 Electrolyzer로 부터 수소를 생성하고, 출력이 부족할 때는 연료전지로부터 보상받을 수 있는 하이브리드 시스템을 모델링하였으며 <그림7>에서 볼 수 있듯이 출력 특성이 개선됨을 알 수 있다. 따라서 출력 변동이 심한 현재 풍력 발전 시스템으로는 고립 계통의 설치 용량에 한계가 있지만, 본 논문에서 제안한 풍력-연료전지 하이브리드 시스템을 이용하면 출력 전압의 변동을 일정한 정격으로 유지 할 수 있으므로 고립계통에서의 풍력 발전 설치 규모를 늘릴 수 있게 된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 최정영, 장석명, “이중역자 유도발전기에 의한 가변속 풍력 발전시스템의 동특성 해석”, 대한전기학회 논문지 B 부분 제55권 6호, pp325~336, 2006
- [2] R. Pena, J.C.Clare, and G. M. As her, “Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converters and its application to variable speed wind-energy generation”, IEE Proc.-Electr. Applic. Vol. 143, No. 3, May, pp231~241, 1996.
- [3] Fuel Cell Handbook, 6th ed., National Energy Technology Lab., U.S.DOE, Pittsburgh, PA, Nov. 2002.
- [4] Kaushik Rajashekara, “Hybrid Fuel-Cell Strategies for Clean Power Generation”, IEEE Trans. Ind. Applic. Vol. 41, No. 3, May, pp682~689, 2005.