

EMTDC를 이용한 풍력발전 출력변동의 주파수 영향 분석

전영환, 정봉상, 이수미, 박민수, 맹종호  
홍익대학교

EMTDC simulation study on Frequency property due to Power Variations of Wind Generators

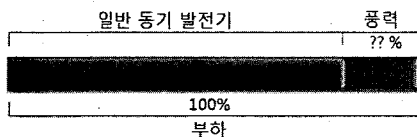
YeongHan Chun, BongSang Jeong, MinSu Park, su mi Lee, JongHo Maeng  
Hongik University

**Abstract** - 지구 온난화 및 에너지 위기에 대비하여 신재생 에너지의 비율이 점점 증가하고 있고 이에 따라 전력계통의 운영 환경도 이에 따라 변하고 있다. 특히 풍력의 경우에는 현재에도 대응량이 계통에 연계가 되어 운전이 되고 있기 때문에 풍력발전기의 계통에 미치는 영향에 대한 연구는 이전부터 진행이 되어 왔다. 본 연구에서는 EMTDC를 이용한 시뮬레이션을 통해 이전에 수행한 PSS/E의 연구 결과와 비교 분석하여 그 차이점에 대해서 분석하고 일관된 결과를 얻기 위한 계통의 데이터 및 시뮬레이션 조건에 대해서 생각해 보았다.

1. 서 론

지구 온난화 및 에너지 위기에 대처하기 위한 신재생 에너지의 도입이 점점 증가하고 있으며, 특히 풍력 발전의 경우에는 우리나라에서도 설비 용량이 증가하고 있다. 특히 제주 지방은 풍력발전기의 평균이용율이 매우 높아서 풍력발전의 건설 의향이 높은 지역 중의 하나이다. 그러나, 풍력발전기는 바람의 세기에 따라 출력의 변동이 심하게 나타나는 특성을 지니고 있기 때문에 HVDC로 육지 계통과 연계되어 운전이 되고 있는 제주 지역의 특성을 고려하면 현재의 여건에서 풍력 발전기의 건설이 계통 운영에 미치는 영향은 크게 나타날 수밖에 없다. 풍력발전의 용량 증가가 계통의 미치는 영향은 이전에 PSS/E를 이용하여 시뮬레이션을 통한 연구가 진행이 된 바 있으나, 본 연구에서는 EMTDC를 이용하여 연구 결과를 비교하고자 하였다. 시뮬레이션의 경우에는 모델의 정확도 및 사용 데이터에 따라 서로 다른 결과를 보이기 때문에 이에 대한 비교 연구도 의미가 있다고 사료된다.

제주 지역에서 실측된 풍력발전기의 출력변동 특성은 최대 출력에서 10초 동안에 출력이 반으로 떨어지는 정도로 심한 출력의 변동을 보이고 있다. 물론 풍력단지와 같이 많은 풍력 발전기가 접속이 되는 경우는 smoothing 효과에 의해 출력 변동의 폭이 줄어들게 되겠지만, 아직까지 smoothing 효과에 대한 데이터도 확보가 되어 있지 않으며, 최악의 경우를 가정하면 가장 출력 변동의 폭이 큰 경우를 생각할 수 있기 때문에 본 연구에서는 풍력의 출력 변동을 10초 동안에 반으로 감소시키고 다음 10초 동안 최대 출력으로 증가하는 것을 가정하였다.



<그림 1> 신재생 발전량의 비율

2. 시뮬레이션의 구성

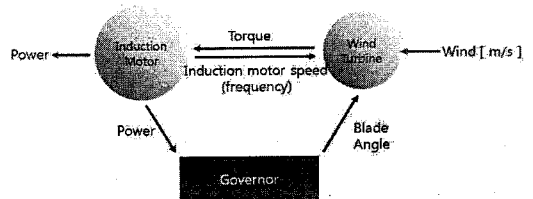
2.1 전원의 구성

시뮬레이션 연구를 위한 계통은 동기발전기를 모두 한 대의 등가 동기발전기로 모델링하고, 풍력발전단지도 하나의 등가 풍력발전기로 모델링하였다. 동기발전기의 경우, 정격 출력이 500MW로 모델링 하였으며 전 부하는 400MW로 모델링 하였다. 풍력발전기의 경우는 80MW로 모델링하였으며 출력량은 부하 400MW중 풍력이 차지하는 발전량의 비율에 따라 주파수 제어 특성을 비교하였다.

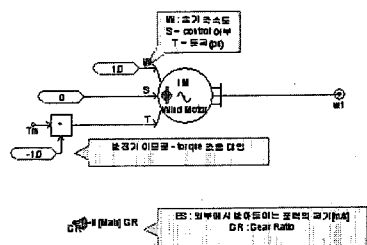
2.1.1 풍력 발전단 구성

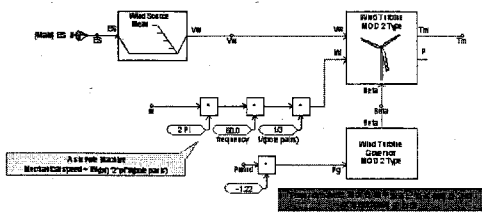
풍력 발전은 외부의 바람의 에너지를 받아 전기에너지로 변환시키는 장치로서 우리나라에서는 유도 발전기 타입이 많다. 그리고 풍력발전의 제어 방법은 크게 Blade angle를 조절하여 출력을 제어하는 방식을 사용하고 있다.

바람의 속도(m/s)는 외부에서 제어 가능하게 하도록 하였다. 조속기(Governor)는 현재 출력량을 Feedback 받아서 지정된 일정한 출력량을 맞추기 위해 발전기의 터빈에 있는 블레이드 각을 조절하게 되어 있다. 바람의 속도는 내부에서 임의대로 시뮬레이션 가능하게 되어 있으며 Noise외의 다른 바람 특성을 집어넣어 시뮬레이션 가능하다.



<그림 2> 풍력 시뮬레이션 구성



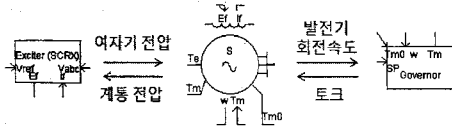


<그림 3> 풍력발전기 시뮬레이션 구성

본 논문에서는 풍력 발전단에서 풍력의 출력량이 변화할 때의 주파수의 변동 특성에 관심이 있기 때문에 풍력이 부족한 경우인 Blade angle이 0도 인 경우에 대하여 시뮬레이션 하였다.

### 2.1.2 일반 동기 발전기의 구성

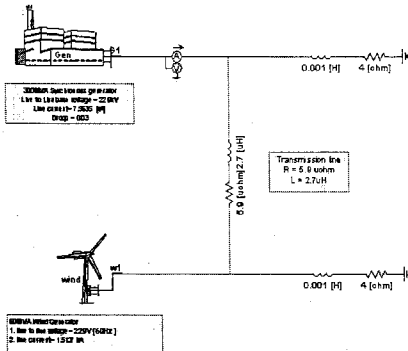
일반 동기 발전기는 크게 분류하면 발전기와 여자기, 조속기로 구성되어 있다. 여기서 조속기는 Droop의 값에 따라 주파수 제어특성이 달라지기 때문에 Droop을 5%, 7%, 9%로 조절하여 비교하였다.



<그림 4> 일반 동기 동기발전기의 구성

## 2.2 시뮬레이션

전원 구성은 부하와 풍력 발전기, 그리고 출력 제어가 가능한 동기발전기로 구성되어 있다. 부하단은 2개가 있으며 하나의 송전선으로 이어져 있다.



<그림 5> PSCAD/EMTDC 시뮬레이션 환경

번호	구분	부하(발전)량
1	풍력	80MW(발전량 조절 가능)
2	화력	500MVA [ R = 0.05, 0.07, 0.09 ]
3	부하A	0.001[H] , 4[ohm]
4	부하B	0.001[H] , 4[ohm]
5	부하량	400MW , 31MVAR

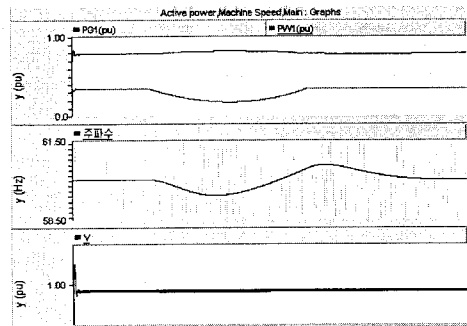
<표 1> 시뮬레이션 환경

### 2.2.1 풍력 발전량을 변화 시킨 경우 (R = 0.05)

PSCAD/EMTDC를 사용하여 각 부하를 담당하는 비율에서 풍력 발전기의 발전량을 10초 동안 반으로 감소시킨 후 다시 10초 동안 풍력 발전의 발전량을 늘려 전체 20초 동안의 풍력발전기 발전량의 변화에 따른 주파수의 특징을 시뮬레이션 하였다.

400MW 부하량		
	최저 주파수	최고 주파수
풍력 20% 담당	59.5722	60.0511
풍력 18% 담당	59.6047	60.0429
풍력 15% 담당	59.6849	60.0394
풍력 13% 담당	59.7219	60.0304
풍력 10% 담당	59.7767	60.0251
풍력 8% 담당	59.8468	60.0215
풍력 5% 담당	59.9106	60.0195

<표 2> (Droop = 0.05) 주파수 시뮬레이션



<그림 6> PSCAD/EMTDC 풍력발전

풍력 발전량을 10초일 때 감소시키며 20초에서 증가시켜 30초 일 때 원상 복구 시켰다. 10초에서 발전량의 부족으로 주파수가 감소하며 조속기에 의한 동기발전기의 출력 증가에 의해 주파수가 회복된다. 그 이후 풍력 발전기의 출력이 급격히 증가함에 따라 주파수는 overshoot가 발생한다.

표 2와 같이 풍력이 20%를 감당하고 있을 경우 주파수는 0.43Hz의 감소를 보였으며 10%를 감당할 경우 주파수를 0.23Hz를 감소시킨다.

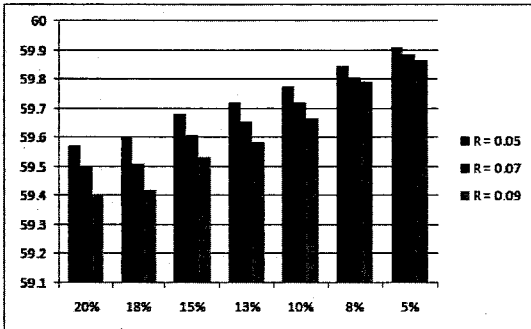
### 2.2.2 동기발전기의 Droop의 변화에 따른 특성

풍력의 발전량이 바람에 따라 변하더라도 동기발전기의 Droop(속도 조정률) 값에 따라 주파수 특성이 달라지기 때문에 그 특성을 비교해 보았다.

우리나라 발전기의 유효 Droop 값은 4% - 9% 의 범위에서 동작하는 특성을 가지고 있으므로, 동기발전기의 Droop 값을 5%, 7%, 9% 세가지의 경우에 대해서 주파수 제어 특성을 비교하였다.

400MW급 전력량			
	R = 0.05	R = 0.07	R = 0.09
20% 담당	59.5722	59.5001	59.4024
18% 담당	59.6047	59.5128	59.4217
15% 담당	59.6849	59.6084	59.5331
13% 담당	59.7219	59.6541	59.5869
10% 담당	59.7767	59.7217	59.6675
8% 담당	59.8468	59.8092	59.7921
5% 담당	59.9106	59.8884	59.8666

<표 3> Droop을 고려한 주파수 시뮬레이션



<표 4> Droop을 고려한 주파수 시뮬레이션

Droop이 커질수록 표4와 같이 최저 주파수가 떨어지는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

전원계통에서 전 발전량에 대한 풍력의 발전량의 비율을 변화시켜 가면서 적정 풍력 발전량 비율을 산정해 본 결과는 다음과 같다.

주파수가 0.3Hz이내의 계통을 운영할 경우에 대하여 생각하면 계통의 발전기정수(Droop)가 큰 경우에는 풍력 발전량은 15%정도로 운영하는 것이 바람직하며 발전기정수가 작은 경우를 생각하면 10%보다 적게 풍력발전량으로 들어가야 한다.

우리나라에서 적정 운전하는 주파수의 범위는 오차 0.2Hz 이내이다. 이런 오차범위 내의 주파수에서 계통을 운영할 경우에 대해서는 계통의 발전량의 8% 이내로 풍력발전량으로 감당해야 한다. 이 결과는 PSS/E를 이용한 시뮬레이션 결과와 상당히 차이를 보이고 있다. 앞으로 그 차이점에 대해서 분석하여 좀 더 정확한 시뮬레이션을 위한 조건을 검토해 볼 필요가 있다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] Wind Power in Power System, "Thomas Achermmann"
- [2] A.BERTANI, "Management of Low Voltage Grids with g h Penetration of Distributed Generation", CIGRE, 2006
- [3] Mukund R. Patel, "Wind and Solar Power Systems"