

에너지저장시스템을 이용한 제주지역 풍력발전단지 용량 확대 방안

김범관*, 김일환**

< 목 차 >

- | | |
|------------------------|-----------------|
| I. 서론 | IV. 컴퓨터 해석 및 고찰 |
| II. 제주지역 풍력발전단지의 출력 특성 | V. 결론 |
| III. 에너지저장시스템 용량 산정 | 〈참고문헌〉 |

< 국문 초록 >

신·재생에너지 중 풍력은 오늘날 화석연료에 의한 발전단가 보다 낮은 경제성을 확보함에 따라 많은 국가에서 활발하게 보급하고 있다. 하지만 풍력은 풍속자원에 의해 설치여부가 결정되기 때문에 경제성을 확보할 수 있는 지역이 한정되어 있다. 제주도는 우리나라에서 풍속자원이 가장 풍부하여 풍력발전을 하기에 최적의 조건을 가지고 있다. 하지만 제주지역은 육지 지역에 비해 전력계통이 매우 취약한 지역으로서 갑작스런 전기적이나 기계적인 사고 등에 의해서 풍력발전단지가 동시에 차단되었을 때 풍력출력변동에 따른 전력계통의 안정도를 크게 떨어뜨릴 가능성이 매우 높다. 이를 방지하기 위해 현재 풍력설비 한계용량을 설정하여 운영되고 있다.

* 제주특별자치도 스마트그리드과

** 제주대학교 전기공학과 교수

따라서 본 연구에서는 제주 동부지역의 행원풍력발전단지와 서부지역의 한경풍력발전단지의 1년간 출력데이터 분석을 통하여 풍력발전단지 출력변동을 완화시켜 전력계통의 안정도를 높일 수 있는 에너지저장시스템의 용량을 산정하고 이를 컴퓨터 해석을 통하여 제안한 방법의 타당성을 입증하고자 한다.

핵심어: 신재생에너지, 풍력, 전력계통 안정도, 행원풍력발전단지, 한경풍력발전단지

I. 서 론

최근 풍력발전출력의 변동성을 완화하기 위하여 에너지 저장장치를 연계한 다양한 형태의 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다.

현재 미국에서 풍력에 대한 에너지 저장장치 적용 관련법을 담당하고 있는 연방에너지규제위원회(Federal Energy Regulatory Commission)는 고속으로 반응할 수 있는 에너지저장 장치가 주파수 조절 서비스에서 프리미엄을 얻을 수 있도록 각 전력시장에서 새로운 규칙을 적용하도록 권고하고 있다.

섬 지역인 경우에는 신·재생에너지 출력이 계통연계 시 계통의 안정도를 약화시킬 수 있기 때문에 설치 시에는 각 프로젝트의 출력 변동률을 제한해서 에너지 저장장치와 신·재생에너지설비의 통합시스템을 유도하고 있으며, 시스템 규모에 따라 2MW/min 에서 몇백 kW/min의 변동률 제한을 가하고 있다. 특히 미국 Xtreme Power 사의 하와이 풍력 프로젝트인 경우 풍력발전기의 최대출력의 3% 규모의 출력이 1분 안에 변동되지 않도록 하고 있으며, 그 결과 대략 풍력최대출력 대비로 볼 때 50%에서 30%의 정격출력과 30분이상의 정격 출력 저장 규모 (MWh)를 가진 시스템을 사용하고 있다.

Xtreme Power 사는 풍력에너지 저장장치는 지역과 출력 특성에 따라 다르지만 일반적으로 풍력의 변동성을 고려하여 빠르게 반응하는 에너지 저장장치 도입 시 적어도 30분이상의 출력을 내보낼 수 있는 저장규모를 가진 에너지 저장장치가 효과적이라는 의견을 제시하고 있다.

일본에는 세계 최초로 풍력발전단지에 배터리를 채용하여 운영하고 있는 롯카쇼무라 푸타타타 풍력발전소는 아오모리에 위치하고 있으며 총 51MW 용량의 풍력발전단지에 총 용량의 약 60%인 30MWh의 NaS 배터리를 채용하여 일본 풍력발전주식회사에서 운영하고 있다. 여기서 제어 체계를 살펴보면 풍력출력에 대해 단순한 평활화 제어, 일정 출력제어, 정격출력제어 등 다양한 방안에 대해서 실증과 상업운전을 하고 있다. 또한 신·재생에너지에 대한 매진 체계는 단순출력, 일정출력 제어, 정 출력제어 등 출력방법에 따라 요금체계를 다르게 하고 있다.

국내의 경우에는 국가 스마트그리드 실증사업의 일환으로 제주 행원풍력발전단지에 배터리를 채용하여 외국의 경우와 같이 출력에 대한 다양한 실증시험을 하고 있는 중이다. 하지만 배터리 용량 선정 시 적정 용량에 대한 연구는 아직 미흡한 상태이다.

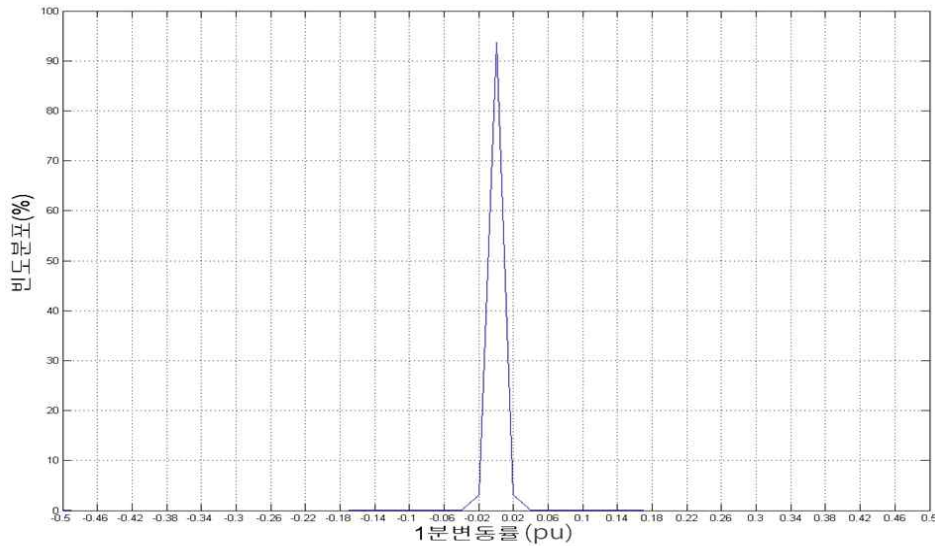
따라서 본 논문에서는 제주 동부지역에 위치한 행원풍력발전단지와 서부지역에 위치한 한경풍력발전단지의 1년간 실제 출력 데이터 분석을 통하여, 풍력발전단지 출력변동을 완화시켜 계통의 안정도를 증대시킬 수 있는 에너지저장장치의 적정 용량을 산정하고, 이를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 방법의 타당성을 입증하고자 한다.

Ⅱ. 제주지역 풍력발전단지의 출력 특성

1. 행원풍력발전단지의 출력 특성

행원풍력발전단지는 제주의 동부지역인 구좌읍에 자리 잡은 풍력발전단지이다. 이 발전단지에는 2010년 2월 현재에는 총 15기, 9.8MW(225kW×기, 600kW×2기, 660kW×7기, 750kW×5기) 규모로 운전되었으며 2012년 4월 현재에는 총 12기, 10.55MW(660kW×5기, 750kW×5기, 1500kW×1기, 2000kW×1) 규모로 운전되고 있는데, 출력의 계통연계는 전용선로를 통하여 성산변전소에 연계되어 운전되고 있다. 행원풍력발전단지의 출력 특성 분석을 위하여 전력거래소 SCADA에 연계되어 축적되어 있는 1년간 데이터, 즉 2009년 3월~2010년 2월까지 1분 단위의 데이터를 수집하여 풍력발전단지 출력 변동률

을 분석하였는데, [그림 II-1]과 [표 II-1]은 해당 기간의 1분 단위의 정격설비용량 대비 출력 변동량에 대한 빈도분포를 나타낸 것이다. 여기서 보면 전체 출력의 94%가 $\pm 3\%$ 이내의 출력 변동률을 보이고 있다.



[그림 II-1] 2009. 03 ~ 2010. 02 행원 1분 변동률

〈표 II-1〉 2009. 03 ~ 2010. 02 행원 1분 단위 풍력발전 출력 변동률 빈도분포

pu	합계		pu	합계	
	횟수	%		횟수	%
-0.5	0	0	0	14,631,914	94
-0.48	0	0	0.02	492,274	3
-0.46	0	0	0.04	5,069	0
-0.44	0	0	0.06	95	0
-0.42	0	0	0.08	11	0
-0.4	0	0	0.1	8	0
-0.38	0	0	0.12	5	0
-0.36	0	0	0.14	2	0
-0.34	0	0	0.16	1	0
-0.32	0	0	0.18	0	0

-0.3	0	0	0.2	0	0
-0.28	0	0	0.22	0	0
-0.26	0	0	0.24	0	0
-0.24	0	0	0.26	0	0
-0.22	0	0	0.28	0	0
-0.2	0	0	0.3	0	0
-0.18	0	0	0.32	0	0
-0.16	1	0	0.34	0	0
-0.14	4	0	0.36	0	0
-0.12	8	0	0.38	0	0
-0.1	8	0	0.4	0	0
-0.08	17	0	0.42	0	0
-0.06	84	0	0.44	0	0
-0.04	4,570	0	0.46	0	0
-0.02	484,344	3	0.48	0	0
			0.5	0	0

〈표 II-2〉에는 2009. 03. ~ 2010. 02.까지 1년간의 1분 단위 출력 변동률이 $\pm 30\%$ 가 넘는 사례가 10건을 기록하고 있다. 최대 출력 변동률이 발생한 시각은 2010년 1월 21일 12시였으며, 이때의 출력 변동률은 $66\%(-6.66\text{MW})$ 로 나타났다. 이에 따라 최대 출력 변동률을 대비하여 1분 단위 출력 변동률은 설비용량대비 약 66% 까지 고려해야 할 것으로 판단된다.

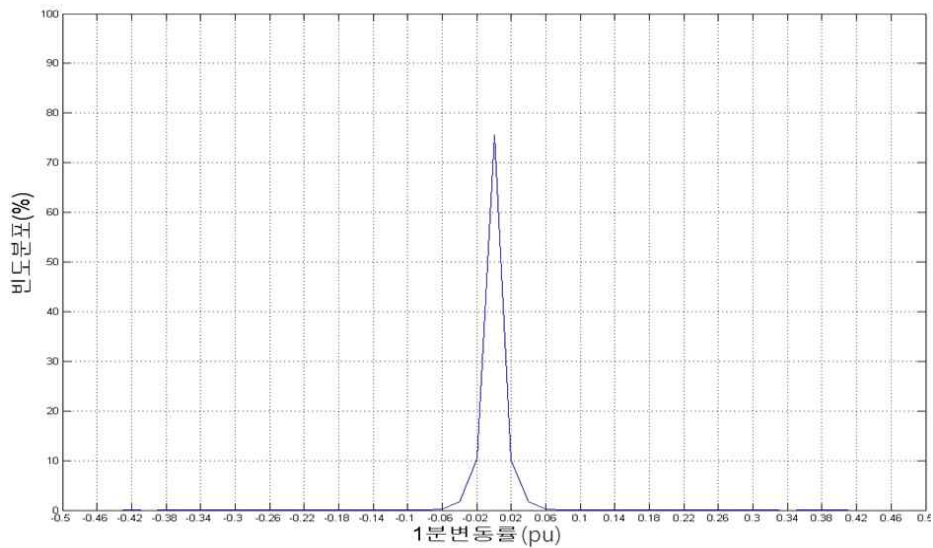
〈표 II-2〉 2009. 03 ~ 2010. 02 행원 1분 단위 풍력발전 최대 출력 변동률

일자	시간	발전량 (MW)	변동량 (MW)	변동률 (%)	일자	시간	발전량 (MW)	변동량 (MW)	변동률 (%)
2010 0121	12:20:14	6.7	-6.7	-66.6	2010 0112	18:53:00	3.2	3.9	38.8
2009 0602	12:56:54	5.5	-3.7	-37.4	2010 0121	12:36:34	2.5	3.3	32.6
2009 1215	6:55:18	5.4	-3.2	-32.0	2010 0213	16:33:00	3.8	3.2	31.6
2010 0225	11:45:54	5.6	-2.7	-27.0	2010 0218	0:52:24	2.1	3.2	31.4

2010 0213	9:09:00	6.9	-2.6	-26.4	2010 0219	16:47:24	4.1	3.1	30.6
2009 0707	9:05:02	5.6	-2.6	-26.0	2009 0602	19:32:48	2.5	3.0	30.3
2009 0520	21:24:58	5.4	-2.6	-26.0	2010 0225	5:57:16	3.9	3.0	30.0
2009 1130	8:34:32	6.8	-2.6	-26.0	2010 0108	19:03:28	3.8	2.9	29.1
2010 0204	3:49:46	6.2	-2.9	-25.9	2010 0212	23:26:30	4.3	2.8	28.3
2010 0203	14:59:24	6.4	-2.6	-25.7	2010 0203	15:52:08	4.1	2.8	27.7

2. 한경풍력발전단지의 출력 특성

제주시 한경면에 위치한 한경풍력발전단지는 한국남부발전(주)가 운영하는 발전소로써 1단계 사업에서 NEGMICON 사의 opti 슬립 타입 1.5MW 4기 총 6MW가 2004년 2월 준공되었고, 2단계 사업에서는 Vetas사의 DFIG 타입 V90 3MW 5기 총 15MW가 2007년 12월 준공되어 총 21 MW 용량의 설비가 구축되어 상업 운전을 하고 있다. 한경풍력발전단지의 계통연계는 22.9kV의 가공지선을 통하여 한림변전소에 연계되어 있다. opti 슬립에 의한 방식과 역률을 1로 제어하는 DFIG 타입이 혼재되어 운전하고 있어 전체 발전측면에서 보면 역률은 좋겠지만 풍속변화에 의한 출력변동은 풍속 변화에 좌우될 것으로 보이며, 행원풍력발전단지에 비해 한경풍력발전단지는 1.5MW 4기와 3MW 5기가 혼재되어 운전되고 있기 때문에 각 터빈 출력에 의한 평활화 효과는 떨어질 것으로 예상된다.



[그림 II-2] 2009. 03 ~ 2010. 02 한경 1분 변동률

〈표 II-3〉 2009. 03 ~ 2010. 02 한경 1분 단위 풍력발전 출력 변동률 빈도분포

pu	합계		pu	합계	
	횟수	%		횟수	%
-0.5	0	0	0	11,002,351	74
-0.48	0	0	0.02	1,537,283	10
-0.46	0	0	0.04	283,514	2
-0.44	1	0	0.06	49,075	0
-0.42	0	0	0.08	6,928	0
-0.4	1	0	0.1	940	0
-0.38	1	0	0.12	140	0
-0.36	0	0	0.14	18	0
-0.34	2	0	0.16	18	0
-0.32	2	0	0.18	6	0
-0.3	4	0	0.2	5	0
-0.28	3	0	0.22	5	0
-0.26	5	0	0.24	7	0
-0.24	7	0	0.26	6	0

-0.22	5	0	0.28	1	0
-0.2	7	0	0.3	2	0
-0.18	7	0	0.32	2	0
-0.16	8	0	0.34	1	0
-0.14	21	0	0.36	0	0
-0.12	77	0	0.38	1	0
-0.1	602	0	0.4	1	0
-0.08	5,306	0	0.42	1	0
-0.06	42,025	0	0.44	0	0
-0.04	277,705	2	0.46	0	0
-0.02	1,579,811	11	0.48	0	0
			0.5	2	0

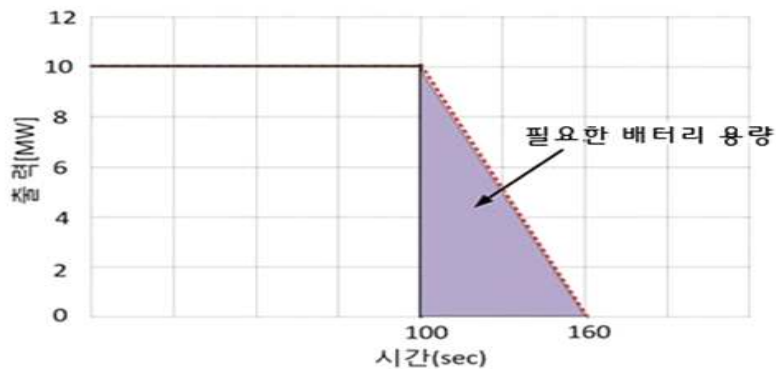
〈표 II-4〉 2009. 03 ~ 2010. 02 한경 1분 단위 풍력발전 최대 출력 변동률

일자	시간	발전량 (MW)	변동량 (MW)	변동률 (%)	일자	시간	발전량 (MW)	변동량 (MW)	변동률 (%)
2010 0113	0:10:10	13.4	-12.8	-60.8	2010 0207	5:41:24	2.5	14.7	70.0
2009 1017	3:23:32	14.4	-11.9	-56.7	2009 1017	3:28:04	3.4	11.7	55.6
2009 0827	15:38:04	12.7	-11.7	-55.8	2010 0210	10:14:40	6.9	8.8	42.0
2009 0320	3:22:32	17.9	-11.6	-55.1	2009 1114	23:24:08	8.9	8.6	41.0
2010 0201	5:55:28	14.8	-10.8	-51.6	2010 0113	15:52:08	7.3	8.5	40.4
2010 0210	10:20:28	14.1	-9.3	-44.3	2010 0114	5:49:44	2.8	8.0	38.3
2009 1231	5:46:12	16.3	-7.3	-34.6	2009 1217	7:39:44	6.6	8.0	38.1
2010 0112	17:54:46	14.4	-6.9	-32.8	2010 0206	3:16:32	2.6	7.6	36.2
2009 1219	2:53:06	14.2	-6.8	-32.2	2009 1218	8:27:20	6.2	7.3	34.9
2009 1218	22:08:28	16.6	-6.7	-31.9	2009 1121	6:25:04	8.6	7.2	34.2

Ⅲ. 에너지저장시스템 용량 산정

1. 남제주화력발전소 증·감발 기준

에너지 저장장치중 하나인 배터리를 이용하여 풍력발전단지의 출력을 평활화 하는데 있어서 [그림 Ⅲ-1]에 나타난 것과 같이 출력이 정격에서 0으로 변동할 때가 가장 안 좋은 조건이라 볼 수가 있다. 제주지역 전력계통인 경우 연계선이 동작한다면 이와 같은 경우에도 연계선이 빠른 시간 내에 응답해서 계통의 안정성이 문제가 되는 경우는 극히 적을 것으로 보이지만, 만약 모든 연계선의 동작이 정지되고 있을 때는 문제가 될 수가 있다.



[그림 Ⅲ-1] 풍력발전단지 출력 변동시간에 따른 배터리 용량

$$\text{필요한배터리용량} = \frac{\text{단지용량}[MW] \times \frac{\text{출력변동시간}}{60}[h]}{2} = [MWh]$$

이 경우에 제주계통의 주파수 안정도는 한국남부발전(주)의 남제주화력발전소(화순발전소) 100MW 급 No3와 No4 기력발전기가 제주계통의 주파수운전의 기준으로 정하여 운전하고 있기 때문에 이 발전기의 출력 증·감발 정수가 기준 요소가 된다. 이 발전기의 증·감발 출력 값은 10MW/분이다. 그러므로 제주지역의 계통안정을 위해서 풍력발전단

지의 시정수는 남제주화력발전기의 시정수보다 커야 한다. [그림 Ⅲ-1]에 나타난 것과 같이 풍력단지 출력은 정격 상태로부터 0 으로 떨어지는 시간이 1분 이상 되어야 한다.

그러므로 필요로 하는 최소배터리의 용량은 풍력발전단지 출력과 합성 출력 목표치에 둘러싸인 면적분을 흡수하는 용량을 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

[그림 Ⅲ-1]에서 나타나는 풍력발전단지 출력에서 증·감발 시정수를 증가시키기 위한 최소 배터리 용량은 식(1)에 의해서 구할 수가 있다.

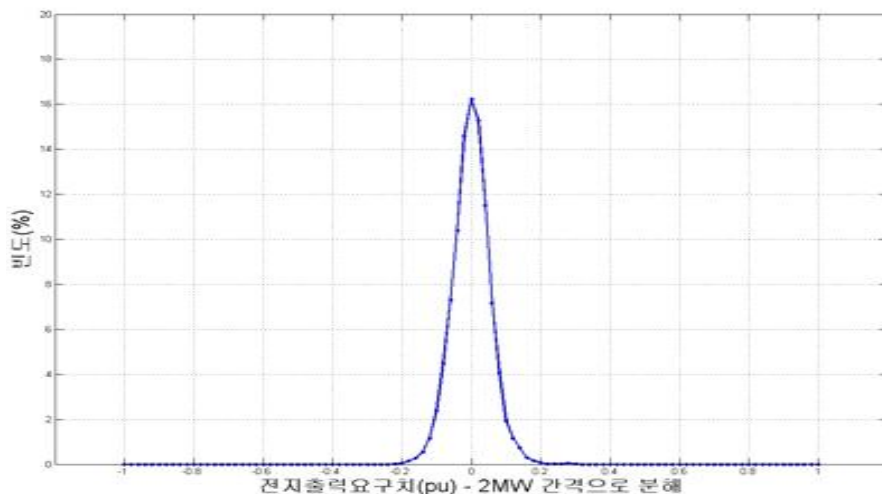
하지만 배터리 종류와 제어 조건에 따라 배터리의 용량은 달라진다. 특히 C-rate 조건에 따라 최소 요구 배터리용량이 달라지는데 본 논문에서 모델 배터리로 채택한 리튬이온 배터리는 5C 운전 까지는 가능하기 때문에 이를 적용하여 C-rate 값에 따른 풍력발전단지 용량별 배터리의 용량을 나타내고 있다.

〈표 Ⅲ-1〉 제주지역 풍력발전단지용량 배터리 요구량

풍력단지 용량 [MW]	ESS 용량 [MWh]	10MW/분 적용 C-rate(MWh)					비고
		단지용 량기준 C-rate	1C (100%)	2C (50%)	5C (20%)	10C (10%)	
10	0.08	120.0	10.0	5.0	2.0	1	
20	0.33	60.0	20.0	10.0	4.0	2	
30	0.75	40.0	30.0	15.0	6.0	3	
40	1.33	30.0	40.0	20.0	8.0	4	
50	2.08	24.0	50.0	25.0	10.0	5	
60	3.00	20.0	60.0	30.0	12.0	6	
70	4.08	17.1	70.0	35.0	14.0	7	
80	5.33	15.0	80.0	40.0	16.0	8	
90	6.75	13.3	90.0	45.0	18.0	9	
100	8.33	12.0	100.0	50.0	20.0	10	
150	18.75	8.0	150.0	75.0	30.0	15	
200	33.33	6.0	200.0	100.0	40.0	20	
250	52.08	4.8	250.0	125.0	50.0	25	
300	75.00	4.0	300.0	150.0	60.0	30	
350	102.08	3.4	350.0	175.0	70.0	35	
400	133.33	3.0	400.0	200.0	80.0	40	
450	168.75	2.7	450.0	225.0	90.0	45	
500	208.33	2.4	500.0	250.0	100.0	50	

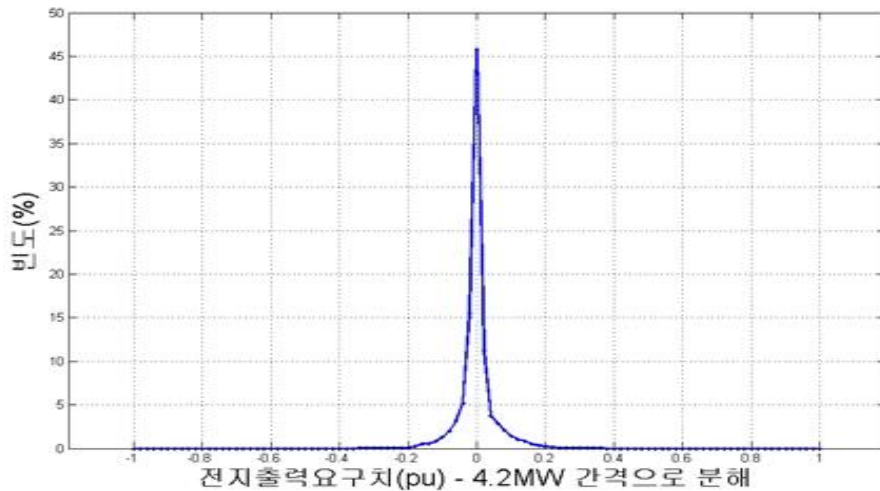
2. 풍력발전단지 출력 기준

〈표 Ⅲ-1〉에서 보면 풍력발전단지 용량에 따라 필요로 하는 배터리 용량은 배터리 운전 조건 즉 C-rate 에 따라 용량이 달라진다. 그러므로 제주지역의 풍력발전단지에서 필요로 하는 최적의 C-rate 운전조건을 얻기 위해서는 그림 4와 5에서 보면 행원풍력발전단지와 한경풍력발전단지는 출력변동 빈도가 주로 0.2 pu 이내에서 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 총 발전설비 용량의 약 20% 범위에서 출력변동이 이루어지기 때문에 행원풍력발전단지는 2MWh, 한경풍력발전단지는 4.2MWh가 필요함을 나타내고 있다.



[그림 Ⅲ-2] 행원풍력발전단지에 요구되는 배터리 용량

행원풍력발전단지의 최소 배터리용량은 식(1)에 의해서 $10\text{MW} \times (1/60) / 2 = 0.0833$ MWh 이다. 즉, 행원풍력발전단지가 계통에서 탈락 시 계통 주파수에 영향을 끼치지 않는 최소 배터리용량은 0.0833 MWh 이어야 한다. 단, 이 경우 배터리가 방전할 때의 C-rate은 최대 $10/0.0833=120$ 이 된다. 배터리에 C-rate를 5로 제한할 경우 제안된 배터리에 용량은 $120/5=24$ 배 증가(24×0.0833)시킨 2 MWh를 최소용량으로 가정하고 계산하여야 한다.



[그림 Ⅲ-3] 한경풍력발전단지에 요구되는 배터리 용량

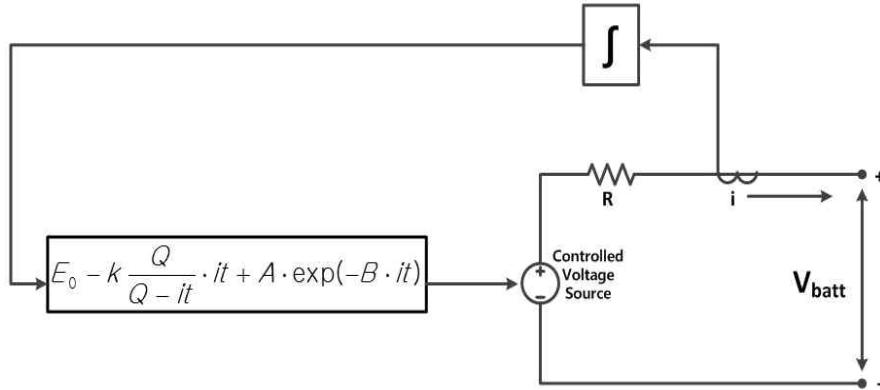
한경풍력발전단지의 최소 배터리용량은 식(1)에 의해서 $21\text{MW} \times (2.1/60)/2 = 0.3675$ MWh 이다. 즉, 한경풍력발전단지가 계통에서 탈락 시 계통 주파수에 영향을 끼치지 않는 최소 배터리용량은 0.3675 MWh 이어야 한다. 단, 이 경우 배터리가 방전할 때의 C-rate는 최대 $21/0.3675=57.143$ 이 된다. 배터리에 C-rate를 5로 제한할 경우 제안된 배터리에 용량은 $57.143/5=11.429$ 배 증가시킨 4.2 MWh를 최소용량으로 가정하고 계산 하여야 한다.

IV. 컴퓨터 해석 및 고찰

1. 제어시스템 모델링

본 논문에서 적용된 배터리 모듈은 국내 A 사의 제품으로 공칭전압 3.6V에 50Ah 180WAh의 정격용량을 가진다. 이 리튬이온 배터리 셀은 최대충전 시 4.2V, 방전 제한은 약 3.3V까지 가능하며 최대 방전전류는 10C(500A)까지 가능하여 본 논문에서도 이

정격을 적용하였다.



[그림 IV-1] Shepherd 비선형 배터리 모델

$$V_{batt} = E_0 - k \frac{Q}{Q - it} \cdot it - R \cdot it + A \exp(-B \cdot it)$$

$V_{battery}$: 배터리 출력전압 [V]

E_0 : 일정 배터리전압 [V]

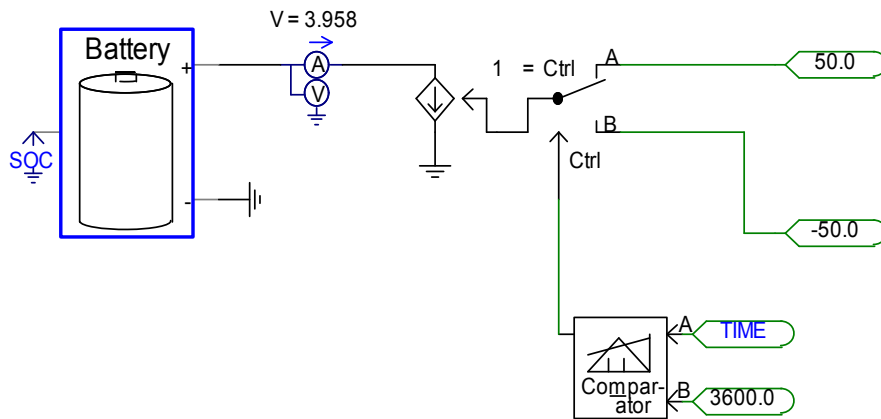
A : exponential zone amplitude [V]

B : exponential zone time constant inverse [Ah]⁻¹

Q : 정격용량 [Ah]

k : 극성전압 [V]

사용된 배터리 모델은 Shepherd model를 참조하여 [그림 IV-1]과 같이 단순한 가변 전압 소스와 직렬 연결된 저항으로 구성하여 모델링 하였으며, 모델링에 필요한 각종 상수들은 배터리의 실제 방전 곡선을 이용하여 도출하였다. 또한 식 (2)를 이용하여 방전 전류 및 SOC(State Of Charge)에 따른 전압의 동특성을 표현하였다. [그림 IV-2]는 PSCAD/EMTDC 프로그램으로 배터리 모델링을 위한 제어 구조도이다.



[그림 IV-2] PSCAD/EMTDC에 의한 배터리 모델링

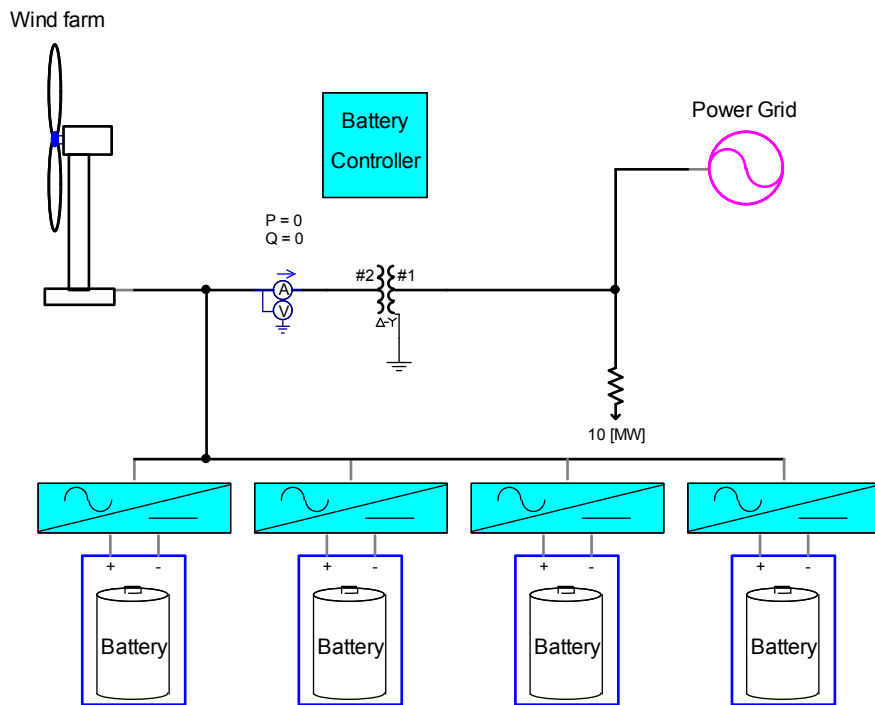
풍력발전단지에 배터리를 연계하여 출력의 평활화를 이루기 위해 본 연구에서 사용된 모델의 PSCAD/EMTDC 프로그램의 모델 파일은 [그림 IV-3]과 같다. 여기서 풍력발전 단지에 연계되는 배터리는 4 뱅크를 병렬 연계하여 운전하고 풍력발전단지는 행원과 한 정풍력발전단지가 되도록 각각의 용량에 따라 해석을 하도록 하였다. 그리고 계통에 10MW 또는 30MW 의 부하 용량이 연계되어 운전되고 또한 전원은 이상적인 전원으로 간주하여 해석하였다. 배터리 출력은 각 뱅크에 연결되어 있는 인버터에 의해 출력이 조절되도록 하고, 여기서 사용되는 인버터는 축약형 모델로 간단하면서도 해석시간을 단축하도록 모델링되어 사용하였다.

여기서 배터리 수명을 위하여 배터리 잔존용량(State of charge)을 0.2~0.8 까지 만을 사용하게 되면 사용가능 한 배터리 용량은 $4.2 \times 0.6 = 2.52$ MWh 가 된다. 실제 배터리의 잔존용량은 0.3675 MWh 만 있어도 계통 안정화에 문제가 없으므로 여유분 용량인 $2.52 - 0.3675 = 2.1525$ MWh를 풍력발전단지 출력에 평활화를 위하여 사용가능 하다.

배터리 SOC가 선형적으로 내려간다고 가정하면 실제로 제어되는 구간에서는 오히려 곡선이 완만하다. $0.2 + 0.3675 / 4.2 = 0.2 + 0.0875 = 0.2875$ 에서 0.2구간을 여유분으로 두고 나머지 부분을 출력 평활화 제어에 사용하면 된다. 결국 풍력발전단지 용량의 약 20% 정도의 배터리 용량을 가지면 <표 IV-1>과 같이 평활화 제어나 풍력발전단지 탈락 출력 제어를 행할 수 있을 것으로 여겨진다.

〈표 IV-1〉 배터리의 SOC 구간별 제어방식

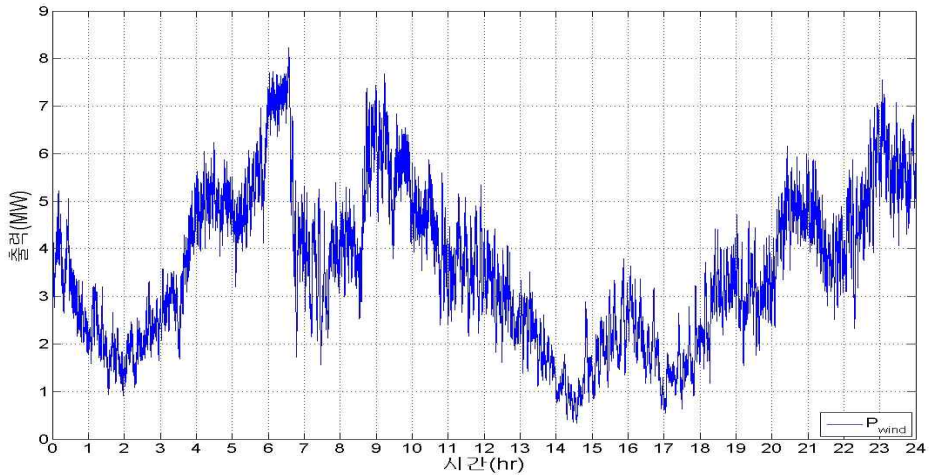
SOC	1.0 ~ 0.8	0.8 ~ 0.2875	0.2875 ~ 0.2	0.2 ~ 0
제어방식	비제어구간 (과충전구간)	평활화제어 / 풍력발전단지탈 락 출력제어	풍력발전단지탈 락 출력제어	비제어구간 (완전방전구간)



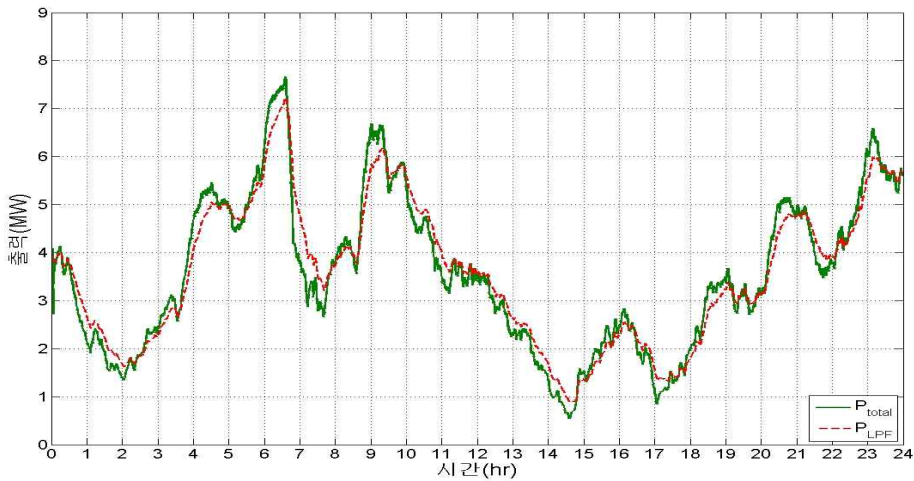
[그림 IV-3] 시뮬레이션용 PSCAD/EMTDC 모델

2. 해석 결론 및 고찰

제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 풍력발전단지의 약 20% 배터리 용량을 가지고 [그림 IV-4]와 같은 행원풍력발전단지의 실제 출력을 가지고 평활화 제어를 수행하였을 경우 [그림 IV-5]와 같은 결과를 얻을 수 있었다.



[그림 IV-4] 2009년 12월 15일 행원풍력발전단지 실제 출력

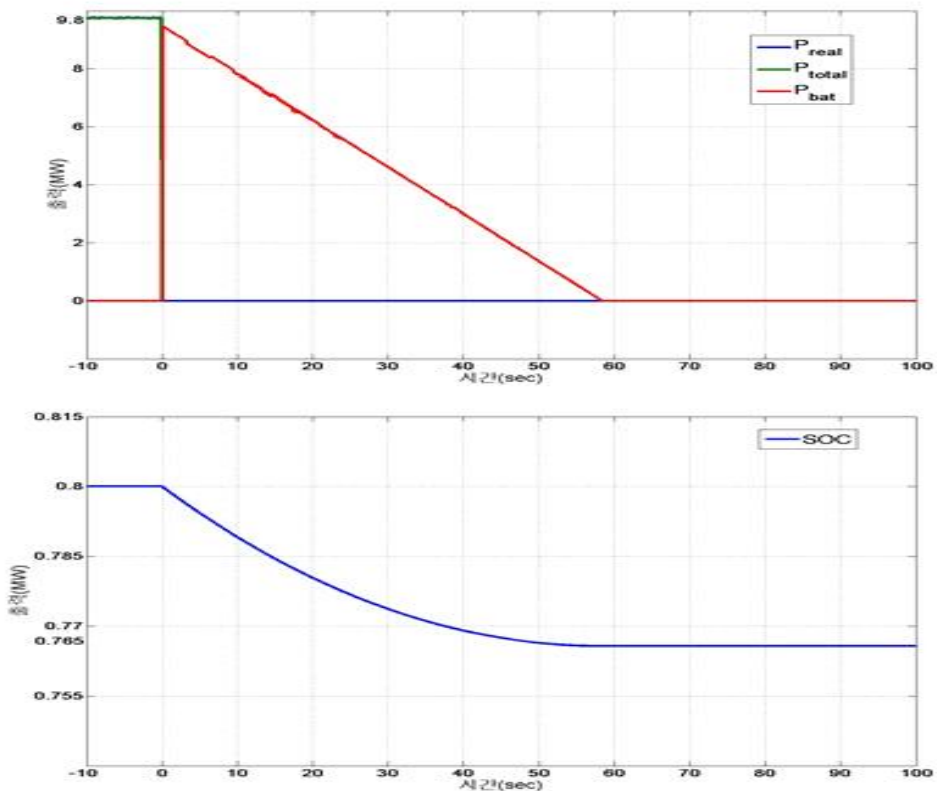


[그림 IV-5] 행원풍력발전단지의 LPF의 출력과 최종 계통 출력(2009. 12. 15.)

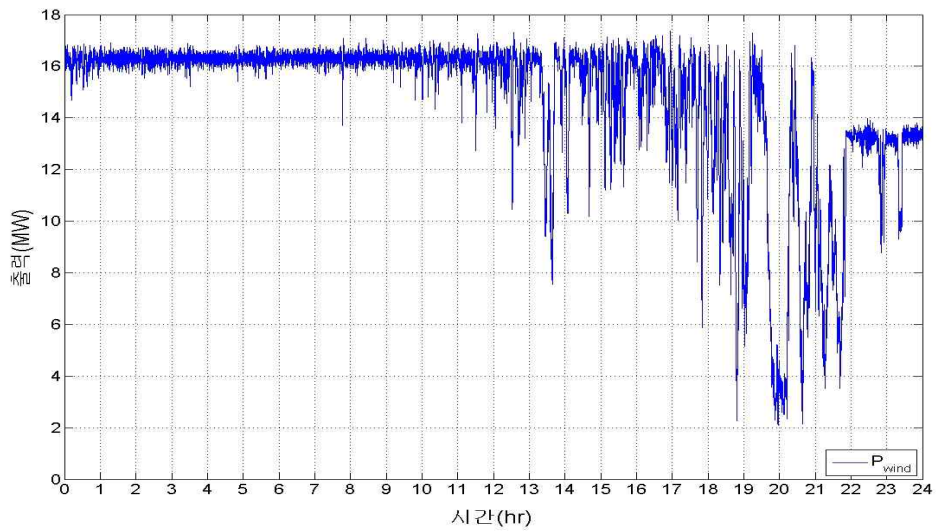
[그림 IV-5]에서 실선의 출력선은 배터리를 가지고 평활화 한 결과 파형이며, 파선은 실제출력의 저역통과필터를 통과한 출력이다. 이 출력은 실제 출력에서 저역통과 필터의 출력을 뺀 부분이 배터리가 평활화를 요하는 부분이다. [그림 IV-6]은 정격출력에서 탈락되었을 때 10MW/분의 시정수를 만족하기 위해 나타난 시뮬레이션 결과이다. 이 결과

에서 보면 제안한 풍력발전단지 용량의 20%를 가지고도 최소 출력 시정수를 만족하고 있음을 알 수 있다. [그림 IV-7]에서 [그림 IV-9]까지는 이 값을 적용하여 한경풍력발전 단지의 실제 출력을 평활화 했을 때의 출력과 정격에서 탈락하였을 때 배터리의 동작을 통하여 풍력발전단지의 증·감발 출력 특성이 행원풍력발전단지와 거의 비슷하게 나타나고 있다.

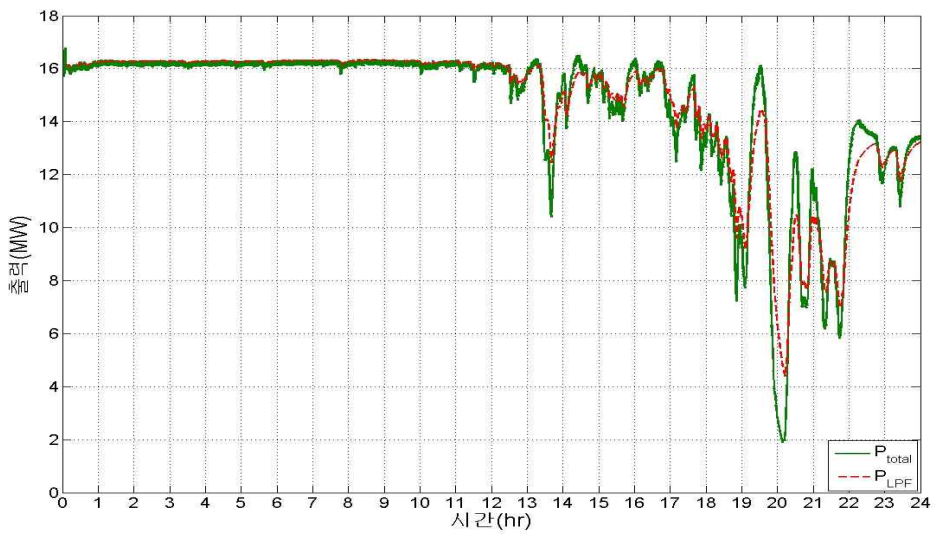
이상과 같은 결과에서 보면 행원풍력발전단지나 한경풍력발전단지의 설비용량의 약 20 % 배터리 용량을 연계하여 5C 로 운전한다면 출력 완화 제어나 정격에서 순간 탈락 시에도 원하는 결과 값을 얻을 수 있음을 나타내고 있다.



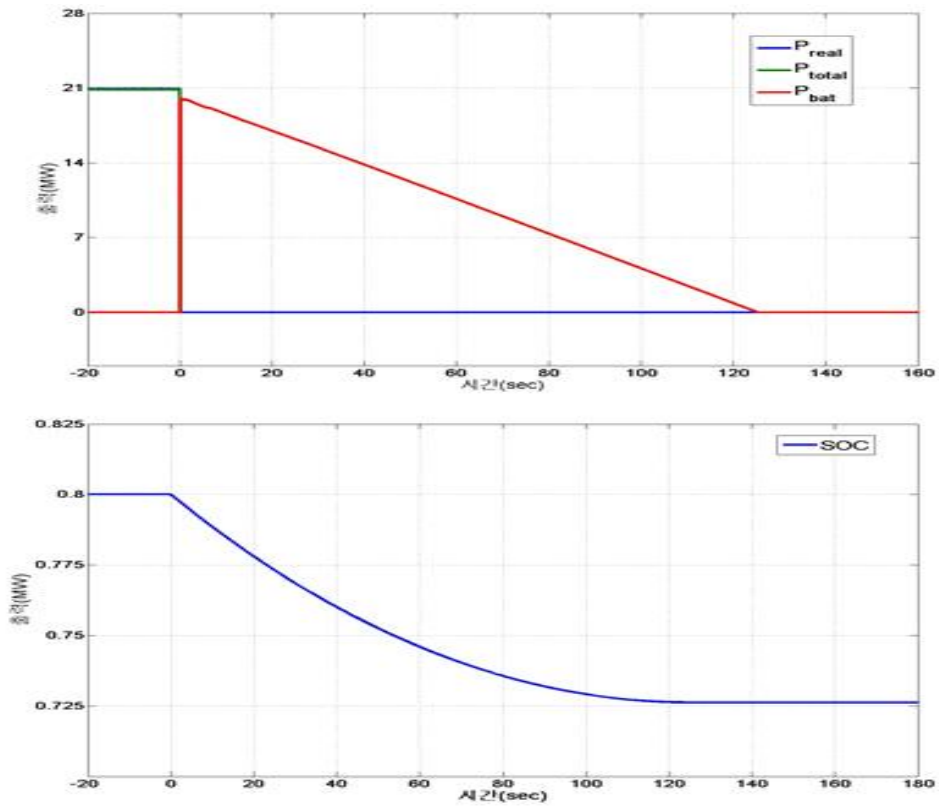
[그림 IV-6] 배터리가 채워진 행원풍력발전단지의 정격출력 변동



[그림 IV-7] 한경풍력발전단지의 최대출력 변동(2010. 01. 12.)



[그림 IV-8] 한경풍력발전단지의 LPF의 출력과 최종 계통 출력(2010. 01. 12.)



[그림 IV-9] 배터리가 채워진 환경풍력발전단지의 정격출력 변동

V. 결 론

본 연구에서는 제주지역 내 행원풍력발전단지와 한경풍력발전단지 용량의 약 20%의 배터리 용량을 가지고, 2009년 3월부터 1년간의 실제 출력을 이용하여 PSCAD/EMTDC 프로그램으로 배터리와 풍력발전 제어시스템을 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 풍력발전단지의 배터리 연계 운전 시 출력 특성 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 제주 동부서부 지역 각 1 곳의 풍력발전단지의 실제 출력을 가지고 컴퓨터 시뮬레

이선을 수행한 결과 풍력발전단지의 20% 배터리 용량으로 출력 평활화 제어 및 제주 계통 HVDC 운전 정지 시 풍력발전단지 정격출력 차단에 따른 조건을 만족할 수 있어, 풍력발전단지의 배터리 연계 운전 시 단지용량의 약 20% 이상으로 하면 계통안정화에 기여할 것으로 예견된다.

2. PSCAD/EMTDC 프로그램으로 배터리 및 풍력발전 제어시스템 모델링을 통하여 컴퓨터 시뮬레이션 한 결과, 연구목적을 만족하는 결과가 나타나고 있어 제안한 모델링이 유효함을 알 수 있었다.
3. 배터리 채용에 의한 풍력발전단지 운용 시 계통영향을 최소화 할 수 있기 때문에 제주지역에 풍력발전 한계용량을 높이는데 크게 기여 할 것으로 여겨진다.

이상과 같은 결과를 토대로 제주지역 풍력발전단지에 시설규모의 약 20% 용량 배터리를 채용하여 운전한다면 풍력발전 출력변동에 의한 계통 영향을 최소화 할 수 있어, 추후 제주지역에 새로운 풍력발전단지 건설 시에 제안한 방법으로 배터리 채용에 의한 풍력발전단지를 건설할 경우 계통영향 및 풍력발전 한계용량을 분석하는데 유익하리라 사료된다.

[참고문헌]

- 정기은(2010), "중국 아웃바운드시장 변화에 따른 효과적인 중국관광객 유치 전략에 관한 연구", 『중국연구』 제48권, pp. 525~540.
- Jun Shimizukawa, Kenji Iba, Yusuke Hida, Ryuichi Yokoyama(2010). "Mitigation of intermittency of wind power generation using battery energy storage system", UPEC 31st.
- 제주대학교(2011), "Smart Renewable 풍력발전 연구", 효성중공업.
- 일본 전원개발주식회사(2006), "풍력 발전 전력 계통 안정화 등 기술개발 - 성과 보고서 (중간)", 독립행정법인 신에너지 산업기술 종합 개발 기구.
- 김재홍, 김일환(2011), "리튬이온 배터리의 SOC 제어가 가능한 단상 멀티레벨 컨버터 시뮬레이션", 조명전기설비학회 논문집, pp122~128.
- 김재홍, 강명석, 김일환(2011), "풍력발전의 출력 변동 저감을 위한 ESS 최소용량 산정기법", 한국태양에너지학회 논문집, pp119~125.
- 제주대학교(2009), "2011년 이후 제주 전력계통에서의 전원별 최적화방안 연구", 지식경제부.
- 제주대학교(2012), "안정적 전력공급방안 및 풍력발전 한계용량 증대방안 조사", 제주특별자치도.
- 김윤성, 문대성, 원동준(2009), "출력변동 저감 및 출력범위 예측 향상을 위한 풍력-연료 전지 하이브리드 시스템의 운영방법", 대한전기학회논문지 제58권 제3호, pp431~654.
- Katsuhisa Yoshimoto, Toshiya. Nanahara(2006), "New Control Method for Regulating State-of-Charge of a Battery in Hybrid Wind Power/Battery Energy Storage System", IEEE, Power System Conference and Exposition, PSCE '06. 2006 IEEE PES, pp1244~1251.