

제주도 풍력발전의 한계운전 용량 산정과 활성화 방안

■ 문 승 일 / 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수

1. 서론

1.1 신재생에너지와 풍력발전

전 세계적인 환경에 대한 관심은 전력산업에도 큰 변화를 가져왔다. 환경 친화적인 신재생에너지원(풍력, 태양광, 연료전지 등)의 계통 연계를 위해 많은 연구, 투자가 진행되어 왔으며 유럽 등지에는 이미 국가 전력 수요의 상당부분을 풍력발전에 의지하고 있는 등 그 성과가 가시화 되고 있는 상황이다.

우리나라의 경우도 정부의 신재생에너지 기술개발 추진 의지에 따라 신재생에너지 관련 산업 및 연구에 총 5,333억 원이 지원된 바 있다('88~'02). 또한 신재생에너지 보급 특히 풍력발전 보급 목표치가 발표되어 중장기적인 신재생에너지 산업의 발전방향에 대한 계획이 수립되었다. 제 2차 국가에너지 기본계획(2002. 12)에 따르면 신재생에너지를 2011년까지 5%로 확대 보급할 계획이다.

신재생에너지원 중 풍력발전에 거는 기대는 실로 크다. 우선 풍력발전은 현재 1kWh 당 발전단가가 107.6원 수준으로 우리나라 전기 생산 평균 단가를 고려해 볼 때 가장 경제성이 있는 신재생에너지 전원 중 하나이다.

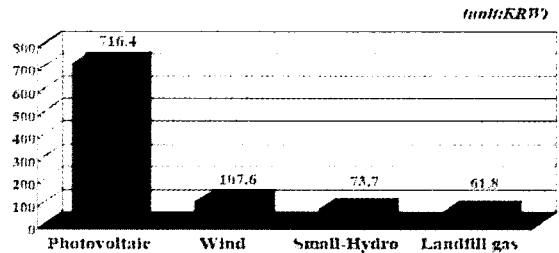


그림 1 신재생에너지 전원의 발전단가 [1]

정부가 이러한 풍력발전의 경제성을 고려하여 제 2차 신재생에너지 기술개발 보급 기본계획(2003.12)에서 밝히고 있듯, 2012년까지 풍력발전을 총 2,250MW까지 보급할 계획이다.

1.2 대규모 풍력발전 운영시의 어려움

하지만, 풍력발전 특유의 출력변동 및 출력 예측의 어려움 등의 특징은 전력계통의 안정운영이 힘들게 할 수 있으므로, 대규모의 풍력발전단지가 계통에 연계되기 전에 면밀한 검토와 준비가 필요하다.

또 한가지 고려할 사항은 풍력발전의 입지문제이다. 풍력발전 사업자들은 수익성을 위해 풍황 조건이 좋은 입지를 선택할 수 밖에 없는데, 도서지역이

나 해안가, 산간지역 등 전력계통의 규모가 작거나 계통이 취약한 지역이 평균 풍속이 높아 풍력발전의 주요 설치 후보지가 된다는 점이다.

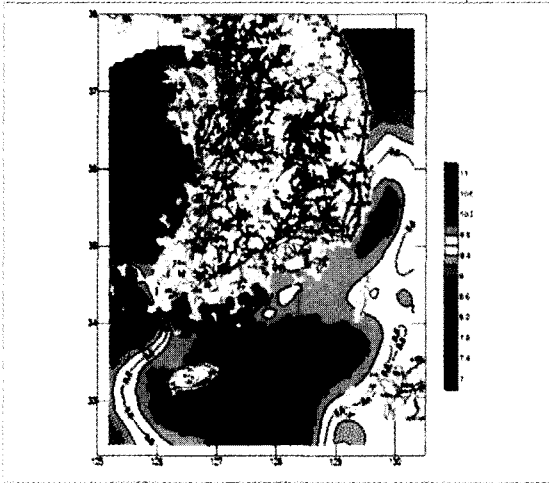


그림 2 한반도 인근 평균 풍속 [1]

1.3 도서 계통의 풍력발전 한계 용량 산정

특히 제주도의 경우 올해 예상 최소부하가 300MW, 최대부하가 600MW 규모의 소규모 계통인데 반해 좋은 풍황 조건으로 인해 2009년 2월까지 많은 풍력발전사업자들이 송전용 전기설비 이용신청을 접수했으며 그 누적 용량은 238.9MW에 달한다. 이는 계통 최소부하의 약 80%에 달하는 양이다.

제주와 유사한 소규모 독립 계통에서의 풍력발전 점유율 제한 규정을 살펴보면 그리스의 크레타 섬의 경우 제주와 계통 규모가 유사하며 Public Power Corporation(PPC)에서 풍력발전의 점유 용량을 순시 부하의 30%로 제한하고 있다. 또한 아일랜드 역시 순시 부하의 30%를 넘지 않도록 풍력발전량을 제한하고 있다. 이러한 사례에 비해서도 제주에 건설을 희망중인 풍력발전단지의 예상 점유율은 과도한 측면이 있다.

따라서 풍력발전이 제주도 전력계통에 미칠 영향을 분석하고, 전력계통의 안정운동을 보장할 수 있는 풍력발전의 한계 운전 용량을 산정할 필요가 있다.

동시에, 신재생 에너지원의 활성화를 위해 제주도

에서의 풍력발전 한계용량을 증대시키기 위한 방안을 마련해야 한다

2. 제주 풍력발전 한계 운전 용량의 산정

2.1 풍력발전의 특징

풍력발전은 풍황에 따라 출력이 빈번하게 변화하는 측면이 있다. 다음 그림 3은 현재 설치된 행원풍력과 한경 풍력의 10초 단위 출력변동을 보여준다.

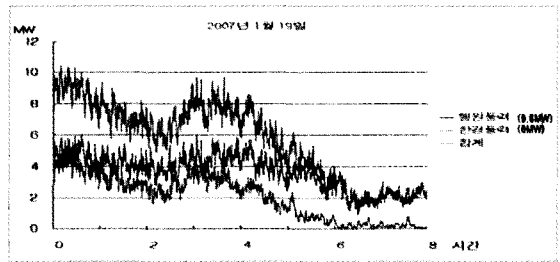


그림 3 한경/행원 풍력발전단지의 출력변동

출력변동의 경우 설치된 풍력발전기의 대수가 늘어나고 지역적으로 넓은 지역에 분포될수록 여러 풍력발전기의 출력이 서로의 변화를 상쇄하는 효과를 내게 된다. 이를 Smoothing effect라고 부르는데, 제주의 경우 약 100여기의 풍력발전기가 동,서부 해안가를 중심으로 건설될 예정으로 일정수준의 Smoothing effect를 기대할 수 있을 것이다 [2].

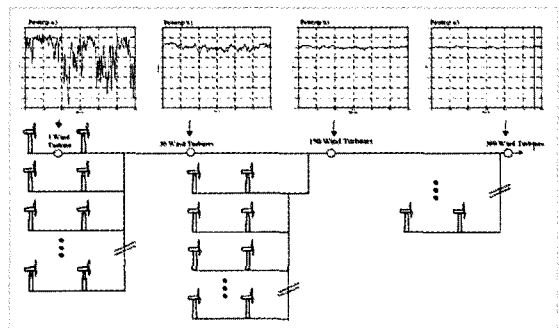


그림 4 Smoothing Effect (출처: RISO-덴마크) [2]

풍력발전의 출력변동보다도 풍력발전 출력을 예측하기 어렵다는 점이 계통 운영을 더욱 어렵게 한다. 독일의 발전기 운영 계획을 수립하는데 있어

려움을 겪을 수 있다.

따라서 풍력발전의 출력을 기대하고 제주 계통 발전기를 정지하는 것은 현실적으로 어려우며, 오히려 충분한 예비력을 확보하고 계통 발전기들을 운전해야 할 필요가 있다. 이를 독일에서는 Controlling power라고 한다 [2].

2.2 관련 규정 및 제주 계통 상황

현재 한국에는 10MW이하의 소규모 분산전원의 계통연계에 대한 규정만이 있을 뿐, 풍력발전기의 계통 연계에 따른 계통 연계 기준이 미비하다 [3]. 현재 한전, 발전회사, 전력거래소, 풍력발전사업자들이 이에 관해 활발히 논의 중이지만, 현 상태에서는 계통 연계 기준이 없다는 점을 전제로 한계용량을 산정해야 한다.

한편 풍력발전기의 출력은 현행 규정상 최우선 구매 대상이며 대체에너지 이용 발전전력의 기준가격 지침(산업자원부)에 따라 기준가격과 시장가격의 차액을 보상받고 있다. 최우선 구매대상이라는 것은 Merit order가 0순위라는 것을 의미하며, 따라서 풍력발전기의 변동하는 출력을 우선적으로 계통이 모두 받아주어야 함을 의미한다. 반면 제주 계통 발전기와 HVDC는 출력변화를 추종하며 운전해야 한다.

2.3 풍력발전 한계운전용량 산정 기준

풍력발전 한계운전 용량을 산정하기 위해 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다.

발전기 최소 발전량에 따른 기준(기준 1) : 투입된 발전기는 마모 등을 방지하고 발전비용의 효율을 위해 일정 수준 이상의 출력을 유지해야 한다. 이는 보통 정격의 40~50% 정도로 투입된 발전기의 대수가 많아질수록 발전기들이 무조건 생산하는 최소발전량의 합이 커지게 되므로 풍력발전량이 그만큼 제한을 받게 된다 [4].

제주 계통의 예비력 크기 및 증감발률에 따른 제약(기준 2) : 풍력발전의 출력변동을 추종할 수 있는 예비력의 증감발 능력이 허용하는 한도 내에서 풍력발전량은 제한을 받을 수 있다. 물론 제주 계통은 육

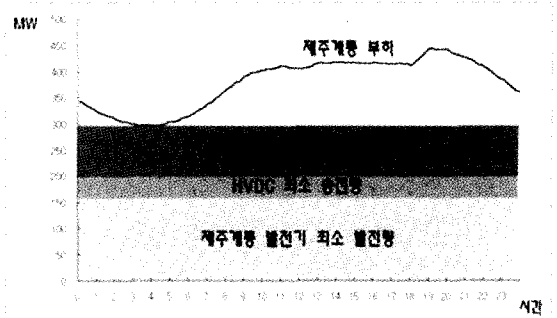


그림 5 최소발전량 기준

지와 HVDC를 통해 연결되어 있는데, HVDC의 경우 매우 빠른 응답특성을 가지고 있어 필요한 전력을 즉각적으로 송전할 수 있다. 하지만 이 경우에도 예비력의 운용 한계 내에서 제한을 받아야 하는 점은 동일하다.

Dynamic Penetration Limit(기준 3) : 풍력발전기는 기존 발전기들에 비해 동시에 대규모의 풍력발전기가 계통에서 탈락하는 사고가 발생할 수 있다는 특징이 있다. 태풍 등으로 인해 풍력발전기의 최대 풍속 한계를 넘는 순간, 저전압으로 인한 동시 연계 차단 등이 가능하다. 저전압 시에도 일정기간 계통 연계를 유지할 것을 규정하는 것이 Fault Ride Through라는 계통연계기준이며, 세계 각국의 풍력발전 선진국들은 모두 해당 규정을 보유하고 있다. 따라서 해당 국가에 설치되는 풍력발전기들은 모두 저전압 시에도 설비를 보호하면서 계통 연계를 유지하는 능력을 갖추고 있다. 하지만 이 경우에도 제주와 같이 계통이 취약한 경우 계통 사고시 전압 강하의 폭이 깊어 육지계통에 비해 저전압으로 인한 연계 차단 사고의 확률이 높다. 따라서 계통 안정도를 고려하여 계통 투입 발전기의 일정 비율 이상을 풍력발전기가 넘지 않도록 제한하고 있다. 그리스 계통 운영자들은 일반적으로 계통 투입 발전기 정격의 30%로 제한할 것을 제안하지만, 보수적으로 계통을 운영하는 경우 15%도 적절하다 [4]. 제주 계통의 경우 계통 특성의 상이함을 고려할 필요가 있으며, HVDC의 특성 또한 고려해야 하므로 계통 모델링 및 시뮬레이션을 통해 검증수 수행할 필요가 있다.

앞선 세가지 기준에 따라 제주계통의 풍력발전 한계 용량을 산정해보았다. 제주 계통의 경우 HVDC의 운전 여부에 따라 그 특성이 달라지는데 HVDC는 1년에 약 2주간의 기간 동안 overhaul을 수행한다. 이 기간 동안은 제주는 외부와 연계가 없는 완전한 독립계통이 된다.

따라서 HVDC overhaul 기간 및 HVDC 정상운전 기간으로 나누어 풍력발전 한계용량을 산정했다.

제주 계통은 2008년 최소부하 300MW를 대상으로 구성하였는데 이는 부하가 가장 작은 시점에 풍력발전량이 최대가 되어 점유율이 높아지는 최악의 상황을 상정하기 위해서이다. 비록 확률적으로 낮은 경우지만 전력계통의 안정운영은 모든 순간에서 지켜져야 하기 때문이다. 한편, 앞선 기준들은 계통에 투입된 발전기의 개수에 큰 영향을 받는 만큼, 발전기 투입 대수 선정은 다음 원칙을 고려하였다.

우선 최소부하에서 부하가 증가할 것을 고려하여 수요를 감당할 수 있는 발전기를 투입하되, 실제 제주계통의 운영방법을 고려하여 일간 첨두 부하시에는 가스터빈을 운전하는 것을 고려하였다. Merit order를 고려하였고, 동일 순위의 발전기에 대해서는 송전손실, 무효전력 공급을 고려하여 지리적인 분산을 고려하였다.

풍력발전의 경우 출력 예측의 오차가 최대 100%까지도 난다는 점과 풍력발전을 고려한 급전운영 경험이 부족하다는 점을 고려하여 풍력발전 때문에 발전기 Unit commitment시 투입하는 발전기의 대수를 줄이지 않았다.

2.4 풍력발전 한계운전용량(HVDC overhaul 시)

발전기 최소 발전량에 따른 기준(기준 1) : HVDC overhaul 기간 중 최소 부하일에 투입되는 발전기 조합은 다음 표 1과 같다. 이 때 발전기 최소발전량의 합은 224MW로 최대 설치 가능한 풍력발전용량은 76MW로 산정된다. 만약 그 이상의 풍력발전기가 투입되어 최소부하시점에 최대의 발전량을 생산하게 된다면 발전력이 부하를 초과하는 상황이 생기게 된다.

표 1 제주계통 발전기 정격 및 최소발전량

	Pmax [MW]	Pmin [MW]
남제주내연 #1	18	7
남제주내연 #2	17	7
제주내연 #1	38	26
남제주 TP3	93	50
남제주 TP4	93	50
제주 TP2	74	42
제주 TP3	74	42
합계	407	224

제주 계통의 예비력 크기 및 증감발률에 따른 제약(기준 2) : 전체 풍력발전단지의 출력변동을 예상하기 위해 기존 데이터를 이용하였다. 제주에 예상되는 풍력발전단지는 크게 제주 서부와 동부 지역에 중점적으로 건설됨에 따라 각 지역에 위치한 한경과 행원 단지의 기존 발전실적 데이터를 기반으로 스케일링을 수행하였다 [5].

가장 풍력발전 변동량이 심한 날을 기준으로 전체 풍력발전량을 예측해 본 결과는 다음 그림 6과 같다. 10분 최대 변동량은 19.8%로 예상된다. 이는 미국 Lake Benton II 풍력발전단지의 최대 출력변화로 기록된 25.1%와 비교해볼 때 유사한 정도이다. Lake Benton II의 경우 설비 용량이 103MW로 제주와 비교해 볼 때 약간 작은 편으로 Smoothing Effect가 상대적으로 적게 일어난 탓에 약간 더 변동이 심한 것으로 보인다.

하지만, 제주 계통의 발전기들이 10분간 추종할 수 있는 최대 용량은 138MW로 충분한 추종 속도를 보유한 만큼, 운전 예비력의 여유 내에서 풍력발전 한계용량을 제한할 경우 183MW로 산정된다.

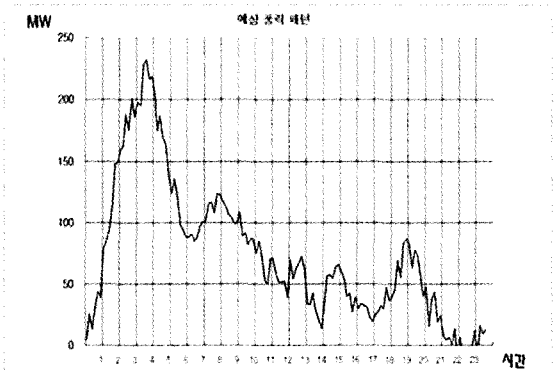


그림 6 제주 풍력발전단지의 출력 예상 패턴

Dynamic Penetration Limit(기준 3) : 한편 HVDC overhaul 기간 중 제주 계통 발전기의 최대용량은 407MW이며, 15%의 dynamic penetration limit factor를 적용하였을 때 한계 용량은 61MW로 산정된다. 다만 이 값은 해외 기준을 적용한 것으로 본 연구 과정에서 PSS/E를 이용한 계통 시뮬레이션을 통해 이 값을 검증해 보았으며 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

HVDC overhaul 기간 중 한계 운전 용량 : 세 기준에 의해 계산된 한계 운전 용량 중 모든 기준을 만족하기 위해서 최소의 값을 선정하였고 HVDC overhaul기간 중 풍력발전 한계용량은 61MW로 계산된다.

2.5 풍력발전 한계운전용량(HVDC 정상운전시)

발전기 최소 발전량에 따른 기준(기준 1) : HVDC는 N-1 Contingency에 의해 150MW를 상한으로 송전량을 제한하고 있다. 또한 한국전력에서는 제주 HVDC의 최소 송전량을 40MW로 제한하고 있다. 이를 고려한 발전기 투입조합은 다음 표 2와 같다. 이때 풍력발전 한계 운전 용량은 120MW이다.

표 2 제주계통 발전기 정격 및 최소발전량

	Pmax [MW]	Pmin [MW]
남제주내연 #1	18	7
남제주내연 #2	17	7
제주내연 #1	38	26
남제주 TP3	93	50
남제주 TP4	93	50
HVDC	150	40
합계	409	180

제주 계통의 예비력 크기 및 증감발률에 따른 제약(기준 2) : 앞선 Case I과 마찬가지로 HVDC의 빠른 응답특성을 고려할 때 제주 계통의 잉여 예비력의 크기만을 고려하였고 이때의 풍력발전 한계용량은 229MW이다.

Dynamic Penetration Limit(기준 3) : Dynamic penetration limit factor는 동일하게 15%로 적용하였지만 이는 제주 계통 발전기에 대해서만 적용하였다. HVDC의 경우 송전량을 즉각적으로 증가할 수

있는 것으로 잉여 송전량 만큼 Dynamic penetration limit를 늘려주는 효과가 있다. 이 경우 역시 PSS/E를 통한 시뮬레이션 검증을 수행하였으며 그 과정은 참고문헌에 자세히 소개되고 있다 [5].

이 경우 Dynamic penetration limit은 149MW로 산정된다.

HVDC 정상운전 기간 중 한계 운전 용량 : 세 기준에 의해 계산된 한계 운전 용량 중 최소의 값인 120MW가 HVDC 정상 운전 기간 중의 풍력발전 한계 운전 용량으로 볼 수 있다.

2.6 풍력발전 한계운전용량 적용시의 주의사항

풍력발전 한계운전용량을 산정하였고 그 결과는 HVDC overhaul 기간 중 61MW, HVDC 정상 운전 기간 중 120MW이다. 하지만 풍력발전기 운전 경험이 미비한 관계로 풍력발전량을 단계적으로 증가시켜가야 할 필요가 있다. 일본 북해도의 경우 북해도 전력계통 운영자인 HEPCO(일본 북해도 전력)에서 추정하고 있는 풍력발전 한계 운전용량은 2007년 300MW이다. 이들은 2006년 250MW의 한계 용량에서 2007년 300MW로 한계 운전 용량을 증가시킨 목표치를 잡았지만, 실제 운영상에서 문제가 드러날 경우 250MW로 다시 하향조정하는 방침을 적용하고 있다. 이렇듯 단계적으로 증가하면서 계통 적용시 발생하는 실제 문제들을 적절히 대처해 가면서 풍력발전량을 점진적으로 늘려가는 것이 중요하다.

특히 HVDC의 운전 여부에 따라 산정용량이 크게 차이가 나는 만큼, HVDC가 Overhaul 하는 기간 중이라도 풍력발전량을 최소로 유지하는 것이 필요하다.

3. 제주 풍력발전 활성화 방안

3.1 계통연계 기준의 제정

계통 연계 기준은 풍력발전기에 여러 가지 계통 측면의 요건을 요구하는 것으로 풍력발전 사업자에게는 일정부분 부담으로 작용할 수도 있다. 하지만, 제주 계통의 경우에는 계통 연계 기준을 제정함으로써, 오히려 풍력발전을 활성화 시키는 계기가 될 수

있다. 이는 계통 규모가 작고 취약한 계통인 제주의 특징을 고려할 때 아무런 제약을 받지 않는 풍력발전기의 운전을 대규모로 받아들이기 힘들다는 데에서 기인한다. 최근 풍력발전 시장에서 가장 넓은 점유율을 기록하고 있는 이중여자 유도형 풍력발전기 혹은 직접구동형 풍력발전기의 경우 제어 목적에 따라 유효전력 및 무효전력 제어가 일정부분 가능한 특징이 있다.

앞서 산정한 풍력발전 한계용량의 경우 유효전력 출력을 제어할 수 없다는 가정하에서 최소부하와 최대 풍력발전량이 겹치는 낮은 확률을 고려했다. 하지만, 만약 이 경우 유효전력 출력을 제한할 수 있다면 더 많은 풍력발전단지가 설치되는 것 또한 가능할 것이다.

해외 각국의 계통 연계 기준의 주요 내용을 참고할 때 다음과 같은 기준들은 제주 계통에 반드시 필요하다고 판단된다.

풍력발전의 출력조정 기능 : 유효전력 제어 기능을 갖추어야 한다. 피치각 제어를 통해 풍력발전기도 유효전력 급전지령을 따를 필요가 있다. 덴마크의 경우 풍력발전기는 다음과 같은 주요 유효전력 제어 기능을 수행할 수 있도록 계통연계기준에 명시하고 있다. 출력의 절대량 제한, 예비력 확보 운전, 급전지령 추종 운전, 출력 증감발 속도 제한, 계통 보호를 위한 출력 조정 모드, 주파수 추종 운전 모드 등 기준발전기와 상당부분 유사한 기능을 요구하고 있다.

전압 조정 기능(무효전력 제어) : 기존 풍력발전기들은 유도발전기가 직접 계통에 연계되어 출력에 따라 무효전력을 소모하는 방식인데 반해, 이중여자 유도형 풍력발전기나 직접 구동형 풍력발전기 방식의 경우 인버터를 통해 계통에 연계되는 특징에 따라 무효전력 제어를 넓은 범위에 걸쳐 수행할 수 있다. 따라서 계통 연계 기준에 무효전력 제어에 관한 기준을 포함시킬 경우 더욱더 안정적인 계통 연계를 기대할 수 있다. 계통 운영자와 풍력발전단지 간의 통신 및 지령 기능 : 계통 운영자는 유.무효전력 제어 지령을 풍력발전단지 운영자에게 보낼 수 있어야 하며, 풍력발전단지의 현재 운전 상태를 실시간으로

파악할 수 있어야 한다.

전기품질 유지 규정 및 주파수에 따른 계통 연계 유지 기능 그리고 Fault ride through 기준이 포함될 필요가 있다.

3.2 출력 조정을 통한 풍력발전의 활성화 방안

출력제어 기능에 대한 요건 및 기준이 마련된 것을 가정된 상황에서는 출력제어를 통해 한계 용량을 증대시킬 수 있다. 부하상황에 따라 풍력발전의 출력을 제한할 수 있을 경우 앞선 방법으로 산정된 한계용량은 순시적인 풍력발전의 운전 용량의 한계로 개념을 바꾸어 적용할 수 있다.

우선 계통 상황을 분석하고 부하량 및 발전기 투입 조합을 선정한다. 그리고 한계용량 산정 방법론을 적용하여 계통 상황에 따른 풍력발전기 출력 제어 지령을 내리게 된다.

다음 그림 7은 부하량에 따라 제주 계통의 풍력발전 한계 운전 용량을 산정한 결과이다. 풍력발전량이 그 시점의 풍력발전 한계 운전 용량을 초과할 경우에만 출력을 제한할 수 있으면 이상적으로는 풍력발전 설치 용량의 제한은 무의미해질 수 있다.

다만, 설치용량이 과도해질수록, 풍력발전기도 출력제한을 받는 시간이 늘어나 경제적인 고려가 필요

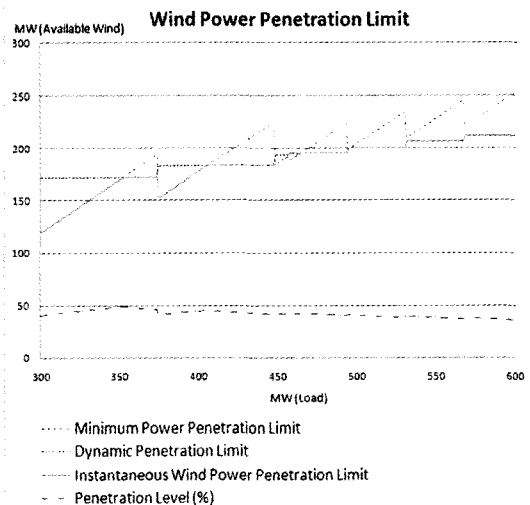


그림 7 부하에 따른 풍력발전 한계 운전 용량

해 질 것이다. 2009년 2월까지 계획된 풍력발전기들이 모두 건설 된 것을 가정하여 확률적 분석을 수행하여 풍력발전 출력제한 시간과 제한 받는 에너지량을 산정해보았다.

약 240MW의 풍력발전단지가 설치된 것을 고려할 경우 연간 예상 풍력발전량은 692,290[MWh]로 설치 용량 대비 31.61%의 이용률을 기록한다. 출력 제한을 받는 총 시간은 약 1224시간으로 한달 반 가량에 해당한다. 하지만 실제 제한 받는 전력량은 약 9308MWh로 전체 풍력발전 전력량의 1.35%에 불과하다. 이는 대부분의 시간에 걸쳐 풍력발전 출력량이 풍력발전 한계 운전 용량을 약간 상회하는 데에 따른 것이다.

즉 출력조정 기능을 갖출 경우, 제주 계통은 현행 한계 용량 이상의 풍력발전을 수용하면서도 출력제한으로 인한 경제적 손실은 상대적으로 미비함을 알 수 있다.

다만, 출력제한을 위한 설비 구축 및 계통 연계 기준이 전제되어야 한다는 점은 다시 한번 고려해야 할 것이다.

확률적 검토를 위한 자세한 과정은 참고문헌에 나타나 있다.

3.3 신규 설비를 통한 풍력발전의 활성화 방안

2011년 건설 예정인 제2 HVDC의 건설을 고려할 경우 풍력발전의 한계용량은 또한 증대될 수 있다.

제 2 HVDC를 지금과 같이 육지에서 제주로 단방향 송전만을 고려하여 운전한다면 지금의 상황을 개선시키기는 어렵다. 하지만, 양방향 운전이 가능해진다면, 잉여전력을 육지로 역송전하는 방식으로 풍력발전 설치량을 증대시킬 수 있다. 특히 기존 HVDC의 경우도 약간의 제어 방식의 변경을 통해서 연속적인 양방향 운전이 가능하다는 점을 고려한다면 신규설비가 제주 계통의 풍력발전을 활성화시킬 수 있다.

4. 맺음말

제주 계통의 풍력발전 현황을 살펴보고, 제주 계통의 풍력발전 한계 용량을 산정하였다. 최소발전량 기준, 예비력 증감발률 기준, Dynamic penetration limit의 세가지 기준에 따라 풍력발전 한계용량을 산정해보았다. 제주 HVDC의 운전 여부에 따라 HVDC overhaul 시 61MW, HVDC 정상 운전시 120MW의 풍력발전 한계 용량이 산정되었다.

한편 제주 계통 풍력발전의 활성화 방안 또한 살펴 보았다. 계통 연계 기준을 제정하고 풍력발전기의 제어 성능을 향상시킬 경우 풍력발전 출력조정을 통해 풍력발전 한계 용량을 증대시킬 수 있다. 또한 신규 HVDC 설비의 양방향 운전을 통해 잉여전력을 육지로 역송전하는 방법으로 풍력발전을 활성화시킬 수 있다.

풍력발전은 경제성을 확보할 가능성이 가장 높은 신재생 에너지원이다. 풍력발전을 활성화 시키기 위한 노력들을 하루빨리 시작해야 할 시점이다.

참 고 문 헌

- [1] Wind Energy in Korea, KWEDO
- [2] Thomas Ackermann, Wind power in power systems, John Wiley and Sons Ltd, 2005
- [3] 분산형 전원 배전 계통 연계 기술 기준, 한국전력 배전처
- [4] Stavros A. Papathanassiou, and Nikos G. Boulaxisb, "Power limitations and energy yield evaluation for wind farms operating in island systems" Renewable Energy Volume 31, Issue 4, pp 457-479, April 2006.
- [5] Jin-woo Park, Young-ho Park and Seung-il Moon, "Instantaneous Wind Power Penetration in Jeju Island", IEEE PES General Meeting, Pittsburgh, USA, 2008