

신재생에너지 발전전원의 용량가치 평가기법

조기선 · 이창호
한국전기연구원

Assessment Technique of Capacity Credit for Renewable Energy Sources

Ki-Seon Cho · Chang-Ho Rhee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 본 논문은 신재생에너지 발전전원 중 단속적 특성이 강한 풍력발전 전원의 용량가치 평가방법에 관한 것이다. 풍력발전의 설비가치는 확률론적 접근방법과 용량률에 의한 결정론적 접근방법을 사용할 수 있으며, 미국의 주요 산정방법을 살펴보고 국내 적용가능한 대안을 수립한다. 풍력발전의 설비가치를 실효성있게 산정하기 위해서는 관련자료의 확보가 우선되어야 하나 국내의 자료확보체계 및 그 기간이 짧은 관계로 용량률에 근거한 단순기법이 실효성이 있을 것으로 판단된다.

Keywords - 용량크레딧(Capacity Credit), 용량율(Capacity Factor), 단속전원(Intermittent Generation), 첨두부하시간대(Peak Period)

1. 서 론

기후변화협약과 같은 새로운 국제질서에 적절히 대응하고 자국의 자원을 효율적으로 이용하여 에너지안보체계를 구축하기 위한 대안으로 전 세계는 신재생에너지의 개발에 박차를 가하고 있으며, 국내에서도 신재생에너지의 개발·이용·보급 촉진을 위한 다양한 정책 수단을 사용하고 있다. 신재생에너지를 적극적으로 개발함에 있어서 우선시되어야 할 사항은 신재생에너지 자원이 가진 가치를 정성적 및 정량적으로 파악하는 것이다. 현재의 기술수준에서 신재생에너지 발전전원이 기존 발전전원에 비해서 경제성이 낮지만 지속적으로 신재생에너지를 개발해야 하는 당위성과 기꺼이 그 비용을 모든 소비자가 지불할 의사를 제고하기 위해서 신재생에너지 자원이 갖는 가치에 대한 평가가 우선되어야 한다.

신재생에너지 발전전원의 가치는 생산한 에너지의 관점에서, 설비의 용량의 관점에서, 그리고 환경의 관점에서 파악할 수 있는 데 에너지 및 환경적 관점에서는 가치평가가 어느 정도 이루어진 상태이나 설비의 관점에서는 많은 연구가 진행되고 있지 못한 것으로 판단된다. 설비측면의 가치평가에 대한 연구가 미진한 이유는 설비가치를 평가하는 데 요구되는 기초자료가 충분히 확보되지 못하고 동시에 입지나 계절에 따른 특성이 지역에 따라 서로 다르고, 다년간의 기초자료와 함께 평가되어야 하는 등의 여러 제반사항을 그 원인으로 들 수 있다.

신재생에너지 발전전원 중에서 풍력발전과 태양광발전은 바람과 태양에너지를 기계적 또는 전자적 변환을 통해 전기에너지를 얻는 발전방식으로 바람과 태양에너지를 에너지원으로 사용함으로써 발전사업자가 인위적으로 출력을 증가시킬 수 없어 전력시장의 급전지령에 응할 수 없으며, 그 출력이 간헐적인 자연의 힘에 의존해서 결정되는 단속성(intermittency) 특성을 지닌 발전전원이다. 이러한 단속성 전원은 전력시스템 부하가 특정시간대에 예를 들어 매일 13시에 출력을 요구한다하였을 때 해당전원이 해당설비용량으로 전력을 생산해낼 가능성은 매우 낮다. 여기서 매우 낮다라고 함은 일별 생산가능한 발전량 대비 실제생산량의 비율이 100%를 달성할 수 있는 가능성이 국내 사례를 통해서 파악할 때 확률적으로 영(zero)에 가깝다는 의미이다. 결국 단속성 전원은 해당 설비의 명판용량보다는 낮은 설비용량의 가치를 가짐은 자명한 사실이나 과연 얼마의 용량가치로 평가할 것인지에 대한 방법론의 개발과 함께 의사결정이 필요하다.

전력시스템 운용자는 전력소비자에 대한 공급의무를 충실히 이행하고 전력시스템을 안정적으로 운용하기 위해서 소비자의 미래 전력수요에 대응할 수 있는 충분한 설비용량을 확보하도록 대부분의 국가에서 규정하고 있으며, 충분한 발전설비용량을 확보함에 있어서 의무적으로 구매하고 있는 신재생에너지 발전전원의 설비용량에 대한 가치평가 수준에 따라서 전원구성의 비중을 비롯한 생산전원의 경제성이 달라질 수 있으므로 단속성 전원의 설비가치 평가는 매우 중요한 문제로 인식되고 있다.

본 논문에서는 출력의 단속성을 갖는 신재생에너지 발전전원으로 풍력 발전에 대해서 설비가치를 평가하는 접근법으로 용량률(capacity factor)을 기초로 한 방법과 현실적으로 국내에서 자료의 제한성을 감안하여 적용할 수 있는 대안으로 첨두부하시간대의 용량가치 평가 방법을 제안한다. 국내 풍력발전에 대한 시간대별 자료는 접근이 용이하지 않아 일별 풍황 및 전력생산량 자료를 활용하였으며, 일부 발전소에 대한 시간대별 평균값을 통해서 시간대별 특성을 고려하였다.

2. 신재생에너지 발전전원의 용량가치

2.1 용량크레딧 정의

신재생에너지 발전전원은 기존 발전전원과는 달리 사용하는 에너지원을 임의로 조정할 수 없는 특성으로 전력생산이 단속적(intermittent)으로 이루어지므로 이들 전원이 전력시스템의 신뢰도에 기여하는 정도를 가치화하고 계량할 수 있는 방안이 요구되며, 용량크레딧(Capacity Credit)은 발전전원의 용량가치를 평가하는 하나의 계량지표이다.

용량크레딧을 정의함에 있어 고장의 개연성이 큰 발전기는 이보다 낮은

발전기에 비해서 낮은 크레딧을 가져야하며, 첨두부하시간대에 전력을 전송할 수 있는 발전자원은 그렇지 않은 발전기에 비해서 높은 크레딧을 가져야 한다. 또한, 미래의 특정 시간에 확정적인 용량을 생산할 수 있는 발전기는 생산량의 불확실성을 안고 있는 발전기에 비해서 높은 크레딧이 부여되어야 한다. 결국, 용량크레딧은 특정 발전자원이 투입될 전력시스템의 신뢰도 관점에서 어느 정도 기여할 수 있는지에 대한 정량적인 평가하는 기준을 의미한다. 이러한 사항들을 종합적으로 고려할 수 있는 방안은 확률론적 접근이 사용된다.

2.2 용량크레딧 산정방법

용량크레딧을 산정하는 접근기법으로는 확률론적인 접근방법과 결정론적 단순방법으로 크게 나눌 수 있다. 확률론적 용량크레딧을 결정하는 방법으로는 유효부하전달용량(Effective Load Carrying Capability; ELCC)기법이 사용되고 있으며, ELCC는 전력시스템의 신뢰도 수준, 설비규모, 비첨두 대비 첨두용량을 차별적으로 고려할 수 있으나 기본적으로 발전기의 정격용량, 고장정지율, 유지보수계획 등의 기본자료와 단속적 전원의 시간대별 발전전력을 통해서 ELCC가 산정되며, 전력시스템의 기준발전기에 대해서 상대적인 랑으로 계량화하는 방법이 사용되고 있다.

ELCC는 대상 전력시스템의 LOLE(Loss of Load Expectation)를 기초로 산정하게 되는 데, 근사적인 방법으로는 관심 대상설비의 고장정지율을 이용하여 단순하게 산정할 수 있다.

$$ELCC_i \approx (1 - FOR_i) \times MW_i$$

여기서 $ELCC_i$ 는 i 번째 발전기의 유효부하전달용량 즉 용량가치이고, FOR_i , MW_i 는 각각 i 번째 발전기의 고장정지율, 정격용량이다. 단속성전원의 경우에는 설비의 기계적인 가동률에 의한 고장정지율(FOR)과 함께 바람이나 태양에너지가 가용하지 않은 시간에는 전력을 생산할 수 없기 때문에 비가용시간도 고장과 동일한 것으로 평가하여 유효고장정지율(EFOR; Effective Forced Outage Rate)을 사용한다.

결정론적 단순방법으로는 전력시스템의 리스크가 높은 시간대를 선별하여 이 시간대에 특정전원 특히나 단속성전원의 출력량(실적)을 기준으로 설비의 용량가치를 판단하는 방법이 있다. 이러한 접근방법에는 주로 해당설비의 용량률(Capacity Factor)에 근거하여 정의되는 데, 용량률을 정의하는 시간에 따라서 다양한 방안들이 검토될 수 있다.

2.3 해외 사례

미국을 중심으로 단속성전원이 풍력발전의 용량크레딧 산정방법과 용량가치의 수준을 먼저 살펴보자.

PJM은 풍력발전의 용량크레딧을 하계기간(6.1~8.31), 첨두시간대(오후 3~7시)의 풍력발전의 용량률에 기초하여 산정하고 있다. 신규 풍력발전설비에 대해서는 설비용량 대비 20%의 용량 크레딧을 적용하고 이후에 운전실적을 고려하여 용량률의 3년 이동평균을 통해서 개별 설비의 용량크레딧을 결정하고 있다.

NYISO는 PJM과는 달리 동계와 하계 첨두부하 수준이 유사하여 타계의 용량에 대해서도 가치를 부여하고 있다. NYISO는 하계(6.1~8.15)와 동계(11.1~4.15)에 연속 4시간 최대출력을 근거로 용량크레딧을 산출하지만 적용할 때는 하계의 정보만을 사용하고 있다. NYISO는 실적자료와 전원의 유지보수시간을 근거로 월단위로 용량크레딧을 조정하고 있으며, 육상풍력에 대해서는 설비용량 대비 9%를 해상풍력은 40%를 적용하고 있다.

SPP(Southwest Power Pool)은 월간 산정기법을 도입하고 있으며, 해당 월의 최상위 10% 부하시간을 조사하여 이 시간대에 풍력발전의 출력에 대한 순위를 부여하고 부하시간의 85%를 초과하는 부분을 용량가치로 산정하고 있다. SPP 지역의 풍력발전의 용량크레딧은 정격설비용량의 3~8% 수준이다.

RMATS(Rocky Mountain Area Transmission Study)는 관할 지역내의 모든 풍력발전에 대해 정격용량의 20%에 해당하는 용량크레딧을 사용하고 있다. RMAT는 지역의 부하모델을 사용하고 있으나 송전제약을 고려하지 않고 있으며 지역별 차이와 풍력발전의 프로파일 및 전력시스템부하와의 상관성은 고려하고 있지 않다.

미네소타 통상부(The Minnesota Department of Commerce, MN/DOC)는 풍황 자료에 기초해서 산정된 연간상태전이행렬(annual state transition matrix)의 반복성플링을 수행하는 순차 몬테카를로기법(Sequential Monte Carlo)을 사용하여 용량크레딧을 산정하고 있으며, 다년간의 출력특성을 반영할 수 있는 메커니즘을 도입하고 있다. 실제 풍력발전의 용량크레딧은 설비용량대비 26.7%를 산정하고 있다.

ERCOT(Electric Reliability Council of Texas)는 풍력발전의 용량크레딧을 결정하기 위해서 운전중인 발전기에 대한 분석을 통해 첨두부하시간대

인 7~8월의 오후 4~6시까지의 풍력발전량을 토대로 이 기간동안에 풍력발전의 평균출력이 정격용량의 16.8%였으나, 자원의 단속성을 고려하여 신 설인자를 고려할 경우 용량가치는 정격설비용량의 2% 수준으로 판단하고 있다.

Idaho Power는 첨부월인 7월의 오후 4~8시 사이에 100MW 풍력발전기가 생산할 수 있는 70%이상의 계획출력에 근간해서, 풍력발전의 용량크레딧으로 5%로 할당하고 있다. Idaho Power의 산정방법은 실질 용량률에 주관적인 통계치를 곱한 값으로 SPP와 유사한 형태를 취하고 있다.

미국내 여러 지역에서 풍력발전의 용량가치를 평가하는 방법과 가치의 수준이 서로 다르게 판단되고 있으며 이를 <표 1>에 정리하였다. 산정방법은 확률론적 접근방법으로 ELCC 방법과 전력시스템의 부하패턴을 고려한 특정시간대에 풍력발전의 용량률에 근거한 방법이 주류를 이루고 있으나, 평가한 수준에 있어서는 큰 차이를 보이고 있음을 <표 1>을 통해서 확인할 수 있다.

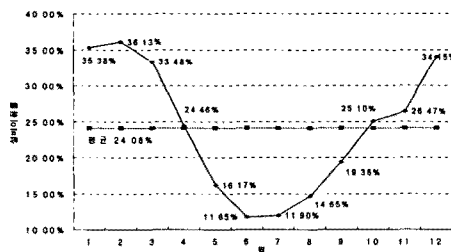
<표 1> 미국 지역/전력회사별 풍력발전의 용량가치

지역/전력회사	산정인	범위	산정결과 및 산정기법
CA/CEC	ELCC	20%	Rank bid evaluations for RPS
MN/DOC/Xcel	ELCC	26~34%	순차 몬테카를로시뮬레이션 이용
PacifiCorp	ELCC	20%	순차 몬테카를로시뮬레이션 이용
GE/NYSERDA	ELCC	40% 10%	해상풍력 육상풍력
CO PUC/Xcel	ELCC	30% 10%	PUC/Xcel연구결과에 따라 변할 수 있음 Xcel, MAPP 접근법을 내부적으로 수행
PGE		33%	
ERCOT		10%	May change to capacity factor, 7월 오후4~6시 (2.8%)
RMATS	Rule of thumb	20%	RMATS 지역의 입자에 관계없이 적용
PJM	Peak Period	20%	7,8월 오후3~7시 용량률의 3년 이동평균 실적 자료가 확보되는 실제값을 대체
MAPP	Peak Period		월간 4시간 moving window, 중앙값
Idaho Power	Peak Period	5%	7월 오후 4~8시 (5%)
PSE & Avista	Peak Period	20% 이하	PSE will revisit the issue 20%이하 또는 1월 용량률의 2/3
SPP	Peak Period		Top 10% loads/month: 85th percentile

3. 국내 풍력발전의 운전특성

3.1 국내 풍력설비의 평균 용량률(Capacity Factor)

국내 풍력발전설비는 '05년말 기준으로 총 113MW가 운용중에 있으며, 이 중에서 4개 발전소(한경, 행원, 영덕,)가 발전차액지원제도의 지원을 받고 운전중에 있다. 국내에서 운전중인 풍력발전설비의 대한 설비이용률을 살펴보면 계절별 특성이 뚜렷하게 나타나 동계에 비해서 하계에 출력이 낮은 것으로 나타났다. 이를 전력시스템의 리스크가 높은 시간대에 대한 설비 가치가 낮음을 의미할 수 있다.



<그림 1> 국내 풍력발전소(4개소) 원별 설비이용률 평균

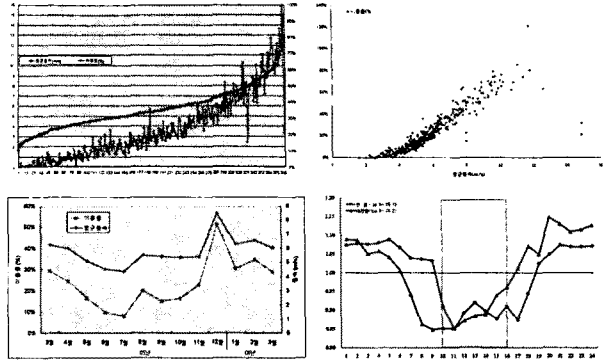
3.2 국내 풍력설비 출력특성

국내 대표적인 풍력발전소의 사례를 보면 <그림 2>과 같이 국내 전력시스템의 첨두부하시간대인 7월과 8월 중 특히 7월의 출력저하 특성이 파악되었으며, 그 수준은 전술한 국내 풍력발전소 평균보다 낮은 수치를 보이고 있어 7월의 설비용량가치는 설비의 용량률에 비해 낮은 것으로 판단된다. 또한, 평균풍속과 이용률의 관계에서 알 수 있듯이 평균풍속은 7m/s 이하에서 용량률은 40%이하의 출력특성을 보이고 있다.

또한 의미있는 사실은 풍력발전의 시간대별 특성을 통해 전력시스템의 리스크와의 관계에 있다. 하지만 국내 시간대별 풍력발전설비의 실적자료에는 접근이 용이하지 않아 시간대별 평균자료('04.3~'05.2, 한경/대관평)를 통해서 파악해본 바로는 오전 10시부터 오후 4시사이의 출력량이 평균치에 약 90% 수준에 있었다. 이는 전력시스템의 리스크가 커지는 주간시간대에 풍력발전기의 출력량이 평균치에 미치지 못하여 실제로 시간대별 설비용량가치를 평가함에 있어서 보다 낮은 용량크레딧으로 평가될 수 있다는 것이다.

'05년도 국내 전력시스템의 최대수요는 7월 18일부터 총 5회의 걸친 갱신으로 8월 17일 12시에 연간 최대수요가 발생되었는데, 동일 시각의 국내 풍력발전소의 출력특성은 자료가 가용하지 않아 해당일의 총발전량에 대한 설비이용률을 통해서 살펴보면, 공급률계도 최대수요 발생일의 설비이용률이 0으로 나타났다. 이날 평균풍속은 2.5m/s로 cut-in speed 이하로 전력을 생산하지 못하는 에너지조건에 있었다. 따라서, 특정일의 출력량을 기준으로 풍력발전의 용량가치를 산정할 경우에는 용량크레딧을 전혀 인정할 수

없는 상황도 발생할 수 있다.



<그림 2> 국내 풍력발전소 출력특성

<표 2> 2005년 최대수요 발생일의 국내 풍력발전소 출력 예시

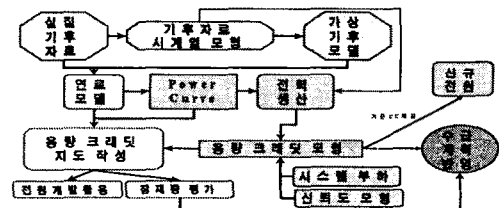
날짜	평균풍속	이용률	가용률
2005.7.18	5.6	16.4%	91.5%
2005.7.20	5.7	16.0%	90.5%
2005.7.21	5.2	16.3%	89.8%
2005.7.22	4.8	7.8%	91.5%
2005.8.17	2.5	0.0%	90.5%

4. 풍력발전의 용량가치 산정방안

단속적인 신재생에너지 발전전원의 용량가치는 ELCC와 같은 확률론적인 접근과 특정시간대의 실적(용량률)을 기초로한 결정론적 접근이 있으나 어느 것을 사용할 것인가는 정책적 의사결정 문제라 판단되나, ELCC에 의한 용량크레딧을 산정하기 위해서는 전력시스템의 LOLP 산정과 관련한 프로그램의 기술적인 문제가 선행되어야 하며, 단기적인 접근방안으로는 용량률에 의한 결정론적인 용량크레딧 산정방안이 실효성이 있을 것으로 판단된다.

$$CC_i \approx CF_i \Big|_{\text{기간대안타트}} \Omega = (\text{년, 월, 첨두부하월, 첨두부하시간대, LDC}(10, 20, 30\%))$$

단속성 풍력발전 전원의 설비가치를 평가하는 용량크레딧을 산정하기 위해서는 설비의 입지특성을 비롯한 접속되는 전력시스템의 특성을 포괄적으로 산정되어야 하며 동시에 자연에너지의 다년간 특성을 고려할 수 있도록 우선적으로 관련 자료를 확보하는 것이 급선무이며, 이를 체계적으로 관리분석함으로써 국내 단속적 풍력발전의 용량크레딧을 현실적으로 산정할 수 있다.



<그림 3> 풍력발전의 용량크레딧 구축 체계

3. 결 론

본 논문에서는 풍력발전 설비의 단속적 특성을 고려한 용량가치산정 기법을 중심으로 미국의 사례를 살펴보고 국내에 단기적인 접근방법으로 용량률에 기초한 접근안을 제시하였다. 풍력발전설비의 용량가치를 평가하는 방법(ELCC, CF(용량률))에 있어서 어느 것을 채택할 것인가 하는 문제는 정책적 의사결정이 필요할 것으로 판단되나, 관련자료의 가용성이 떨어지고, 연간 바람에너지의 분포 및 연간특성을 효과적으로 고려할 수 있는 수단이 없는 상태에서 단기적으로 접근하기 용이한 방법은 용량률에 의한 결정론적인 방안이라 판단하여 본 연구에서는 기간대안에 따른 용량률에 기초한 용량크레딧 방안을 제시하였다. 단속성 전원의 용량크레딧을 산정함에 있어서 특정일에 특정용량이 가용할 확률은 미미하다 판단되지만 전력시스템의 최대수요에 따른 리스크가 커지는 기간 동안에 대한 평가라면 분명 일정부분 설비로서의 가치가 평가될 수 있을 것으로 판단한다.

향후 본 연구에서 제시한 용량률에 기초한 접근방안들에 대해서 체계적인 사례연구를 수행하여 현실적인 대안을 수립할 필요가 있으며, 기간대안에 따른 용량가치의 수준에 대한 평가와 함께 전력수급기본계획 등과 같은 중장기 전력수급계획에 활용할 수 있는 풍력발전의 설비가치 평가체계를 구축하는 연구를 수행할 계획이다.

[참 고 문 헌]

[1] M. Miligan, "Renewable Capacity Value Analysis", CWEC, 2003
 [2] M. Miligan, "Variance Estimates of Wind Plant Capacity Credit", 1996
 [3] Thomas Ackerman, "Distributed Generation", EPSP, pp. 195-204, 2001