

확률적 신뢰도기법에 의한 신재생발전기 용량가치 산정기법

류성호*, 류현수*, 심대섭*
전력거래소 전력계획처*

Probabilistic Reliability Method based Capacity Value of Wind Power

Seong-Ho Ryu*, Heon-Su Ryu*, Dae-Sub Shim*
Department of Power Planning, Korea Power Exchange*

Abstract - 신재생에너지 발전기는 출력가변성이 크기 때문에 장기 전력수급계획 수립시 발전용량을 얼마로 할 것인가에 대한 불확실성을 내포하고 있다. 본 논문에서는 확률론적 신뢰도 기법에 기반하여 신재생 발전기가 공급신뢰도에 기여하는 용량산정 방법을 제안하고 우리나라 전력수급기본계획에 적용하는 방안을 살펴보았다. 국내 발전설비계획 수립에 사용하는 공급지장확률(LOLP)을 이용하여 신재생 발전기의 공급신뢰도 기여용량을 산정하고 그 결과를 현재까지 사용해 온 신재생발전기 이용률에 기반한 기여용량 산정결과와 비교하였다. 특히 신재생발전기 중 우리나라에서 많은 부분을 차지하는 풍력 및 태양광에 대하여 용량가치를 산정하였다. 확률적 신뢰도기법 용량가치 산정법은 제5차 전력수급기본계획 수립시 적용된 바 있으며, 좀 더 정밀한 산정결과를 수립하여 수급계획에 적용할 필요가 있다. 본 연구의 결과는 향후 수급계획 수립에 신재생 발전원의 정확한 용량가치를 산정하는 방식을 선정하는데 참고자료로 활용될 수 있다.

1. 서 론

전력계통 신뢰도 요소 중 하나인 공급적정성의 핵심은 적정 설비에비 용량을 확보하는 것이다. 설비에비율을 산정하는데 있어 발전설비의 고장확률과 예방정비보수율 등을 감안한 용량을 사용하는 것이 일반적이다. 석탄 등 기존 발전기는 일정용량과 고장확률(FOR)로 모델링 가능하나, 신재생 발전기의 경우 전기에너지가 불규칙하게 발생하기 때문에 일정용량과 고장확률로 나타내기가 힘들다. 따라서 전력수급계획에 있어서 신재생 발전기의 기여용량을 정확히 산정하여 적정 설비에비율을 갖추는 것이 매우 어려운 문제로 남아 있다.

더욱이 신재생에너지의무할당제(RPS)가 시행되면 전체 발전설비중 신재생발전설비가 차지하는 비중이 급증할 것으로 전망되어 적정 설비에비율 산정에 어려움이 가중될 것이다. 제5차 수급계획에 의하면 신재생설비 용량이 '10년 3,405MW(4.4%)에서 '24년 19,158MW(17%) 증가할 것으로 전망되며, 이중 풍력발전 비율이 45%로 절반가까이에 이를 것으로 예상된다.

신재생 발전설비의 기여용량을 산정하는 기법에는 과거 실적으로부터 이용률을 산정하는 방법과 확률적 신뢰도 기반의 용량가치(Effective Load Carrying Capability, ELCC)를 산정하는 방법[2,3] 등이 있다. 지금까지 대다수 기관이 과거 피크시간대 이용률 방식을 이용하고 있으나, 미국국립신재생에너지연구소(NREL)와 IEEE PES의 TF를 중심으로 ELCC법의 이론적 기반을 정립하고 있어 전력분야 실무기관에서 점차 ELCC법을 채택하고 있는 상황이다. 우리나라에서도 제5차 전력수급기본계획 수립시 처음 ELCC법을 도입하여 기여용량을 산정하였다. 본 논문에서는 ELCC법의 특징을 살펴보고, 이를 이용한 국내 풍력발전기의 용량가치를 산정하는 절차를 검토하고자 한다. 실제 발전설비계획에 사용된 데이터를 이용하여 ELCC 적용 사례연구를 하였고 이때 사용한 전산모형은 WASP-IV이다.

2. 본 론

2.1 신재생에너지 발전설비계획 전망

'10년 현재 신재생설비는 전체설비대비 4.4%를 차지하고 있고, 정부의 신재생에너지 확대정책에 따라 신재생설비 비중이 증가할 것으로 전망된다. 신재생에너지 발전사업자의 건설의향은 수급계획에 100% 반영 중이고 '12년부터 신재생에너지의무할당제 도입확정에 따라 신재생설비가 급증할 것으로 보인다.

<표 1> 제5차 수급계획의 신재생에너지 설비전망('24년)

구분	풍력	해양 에너지	태양 에너지	연료 전지	기타	합계	비고
설비용량(MW)	8,628	3,038	3,813	661	3,018	19,158	전체설비: 112,593
비중 (전체설비)	45% (7.6%)	16% (2.7%)	20% (3.4%)	3% (0.6%)	16% (2.6%)	100% (17%)	

그러나 불확실한 출력을 나타내는 신재생발전기가 확대되면 장기 수급계획상 공급신뢰도의 저하문제가 대두된다. 즉 풍력, 태양광 등 신재생 에너지원에는 가변성 및 불확실성 존재하여 석탄 등 기존 발전기 용량산정 방식처럼 일정한 용량으로 나타내기가 곤란하다. 신재생설비 기여용량을 얼마나 정확하게 산정하느냐에 따라 장기 설비에비율의 신뢰성이 달려있다고 볼 수 있다.

2.2 신재생에너지 발전설비 기여용량 산정방식

대표적인 신재생에너지 발전설비의 기여용량 산정방식에는 다음과 같다.

2.2.1 첨두기간 이용률 산정(Peak-period Capacity Factor)

과거 신재생발전기의 실적치로부터 총설비대비 발전평균의 비율로 용량가치를 산정한다.

$$\text{용량가치} = \text{총설비용량(MW)} \times \text{이용률(Capacity Factor)}$$

이 방법에는 특별한 이론이 없고, 근사적으로 용량가치를 산정하는 방식이기 때문에 오차를 내포하고 있다. 그러나 직관적으로 이해하기 쉬워 미국의 계통운영기관인 PJM 등 널리 쓰이고 있는 방법이다

2.2.2 Garver 근사법 기반 산정방식

Garver에 의해 제안된 방법으로 공급지장확률(LOLP) 곡선을 지수함수로 근사화한 후 풍력추가에 의한 확률곡선변화를 추정하고, 추정된 그래프의 역함수로 용량가치 추정하는 것이다.

$$\text{LOLP} = Be^{(m \times \text{peak Demand})}$$

$$\text{용량가치 ELCC}(d) = -\frac{1}{m} \ln \left[\sum_i p_i e^{-m \times \text{풍력설비용량}} \right]$$

'60년대 개발된 모델로서 현재 쓰이지 않으나, 최근 연구 중인 확률적 신뢰도 기반 산정방법(ELCC¹⁾)에 이론적 근거를 제공했다는 데 의미가 크다.

2.2.3 확률적 신뢰도 기반 용량가치(ELCC) 산정방식

부하지속곡선에 기초한 확률적 시뮬레이션에 의해 용량가치를 산정하는 방식이다.

$$\text{용량가치} = \text{한 발전기가 계통에 투입되었을 때 투입전 신뢰도수준 (LOLP)의 변화없이 투입된 발전기가 담당할 수 있는 부하증가량}$$

최근 미국과 유럽에서 이와 관련된 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 풍력 등 신재생에너지원의 용량가치를 정확하게 산정할 수 있는 기법으로 평가되고 있다. 본 논문에서는 이 방식을 국내 발전설비계획 전산모형인 WASP으로 구현하는 방법과 국내 수급계획에 적용사례를 연구하였다

2.2.4 국내외 관련 기술동향

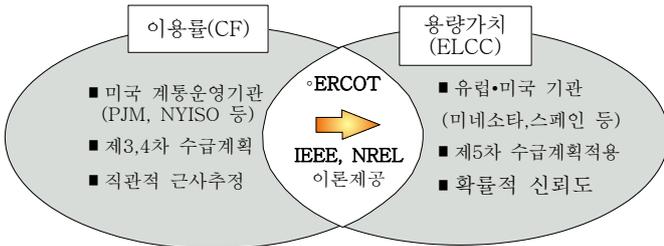
신재생에너지 발전기 비중이 높지 않았던 과거부터 지금까지는 주로 첨두기간 이용률(CF)산정법이 주종을 이루어왔다. 점차 신재생 비중이 높아지면서 이용률 방식보다 좀 더 정교한 산정방법이 필요하게 되었고, 연구계·학계 전문가에 의해 확률적 신뢰도기법 산정기법(ELCC)이 정립되고 있다. 현재 CF법과 ELCC법이 혼용되고 있으나 전력분야 실무기관은 ELCC법으로 전환을 시도하는 추세이다

<표 2> 분야별 기술개발 수준 및 적용현황

분야	개발 수준	적용현황
학계	• IEEE PES는 풍력용량가치 산정 WG을 결성하여 이론정립, 산정절차 개발 중	학계 논문발표
연구계	• 미국 신재생에너지연구소(NREL), • IEA를 중심으로 관련기술 연구	보고서 발표
산업계	• 미국은 주로 CF법, 유럽은 ELCC법	

1) ELCC : Effective Load Carrying Capability

해외 기관중 PJM, NYISO 등에서는 이용률 방식을 채택하고 있고, 미국 미네소타나 유럽 스페인 등에서는 ELCC방식을 채택하고 있다. 우리나라는 제5차 수급계획시 ELCC법을 최초로 도입하였다.



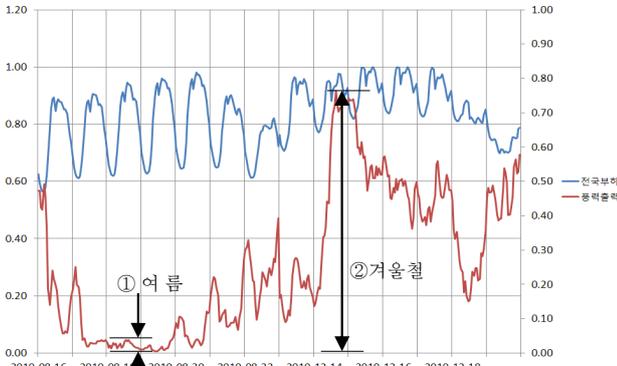
〈그림 1〉 이용률법과 ELCC법 비교

2.3 확률적 신뢰도 기반 용량가치(ELCC)산정법

전력수급계획에 있어서 공급신뢰도 적정성 핵심은 설비 가용용량에 기초한 적정 설비예비율을 확보하는 것이다. 설비예비율 산정시 국내에서는 확률적 시뮬레이션을 이용하여 공급지장확률(LOLP)=0.5일/년 기준을 충족하도록 설비구성을 갖춘다. 이때 발전기의 용량가치 부여문제가 대두된다. 석탄 등 기존발전기는 일정용량과 고장확률(FOR)로 모델링 가능하나, 신재생원은 불규칙하게 나타나기 때문에 일정용량과 FOR로 모델링 불가능하다. 그러나 자연에너지원 신재생발전기 출력에는 기상조건과의 상관성이 존재한다. 신재생출력과 전력수요는 동일 기후조건에 반응하여 나타나고, 또한 실적데이터에는 신재생발전기 고장실적 등이 담겨있다. 신재생 발전기 출력실적에 내재된 상관성과 고장정보를 이용하여 신재생 발전기의 용량가치를 산정하는 방식이 ELCC 방법이다. ELCC란 한 발전기가 전력계통에 투입되었을 때 투입전 신뢰도수준(LOLP=0.5일/년)의 변화없이 투입발전기가 담당할 수 있는 부하증가량을 의미한다.

2.3.1 신재생출력의 처리방식

부하곡선에서 신재생출력을 차감한 후 부하지속곡선을 생성하여 신뢰도를 계산한다. 즉 부하와 동일 시간대순으로 차감함으로써 부하와 풍력출력간 상관관계를 유지한 채 부하지속곡선에 발전기출력을 반영할 수 있다. 또한 부하지속곡선을 이용하기 때문에 출력(MW)과 전력량(MWh)을 동시에 반영할 수 있다.



〈그림 2〉 전국부하와 풍력출력 상관관계

2.3.2 산정절차

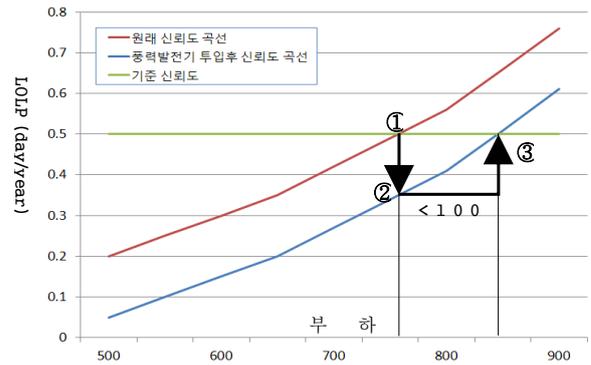
다음은 ELCC 산정절차이다.

- 발전기 리스트에서 신재생 발전기를 제외한 후 시간대별 계통부하 데이터(8760시간)에 대해 LOLP를 계산한다. 이때 신뢰도기준(LOLP=0.5일/년)을 만족하지 못하면 부하크기를 조정하여 기준신뢰도 수준으로 맞춘다.
- 시간대별 신재생발전기 출력을 음의 부하로 간주하여 시간대별 계통부하로부터 신재생출력을 차감한다. 다시 전력계통의 LOLP를 계산. 결과적으로 LOLP는 낮아지게 된다.
- 계통부하를 ΔL씩 증가시키면서 신뢰도기준과 동일한 LOLP로 높아질 때까지 반복계산.

$$ELCC = \sum \Delta L$$

2.3.3 적용방법

현 수급계획기법이 확률론적 시뮬레이션에 의해 공급지장확률을 산정하는 방식이기 때문에 ELCC법을 적용하기에 적합하다. 본 논문에서는 위 산정절차를 현 우리나라 발전설비계획 수립 전산모형인 WASP으로 시뮬레이션하였다.



〈그림 3〉 ELCC 산정 절차

2.4 사례연구

제5차 전력수급계획의 발전설비계획에 적용하여 ELCC법의 타당성을 살펴보았다. 이 때 전국 풍력발전기를 하나의 발전기로 취급하여 모델링 하였다. 풍력 다음으로 점유율이 높은 태양광에 대해서는 추가적으로 산출하였다. 표3은 시뮬레이션에 사용한 데이터이다.

〈표 3〉 사례연구용 시뮬레이션 적용데이터

종류	데이터	비고
전산모형	WASP-IV	LOLP=
발전기 자료	제5차 수급계획 수립용 데이터	0.5일/년
신재생실적	'08~'10년 실적데이터 정산서버로부터 취득	
전력수요	'11년 이후 : 제5차 수급계획 목표수요	

2.4.1 민감도 분석용 시나리오 선정

- 신재생 점유율 및 LOLP 변화에 따른 ELCC법의 민감도 분석
 - 전체용량 대비 점유율 : '10년 2.4% ↔ '15년 7.9%
 - 공급지장확률 (LOLP) : '10년 0.5일/년 ↔ '10년 1.0일/년

〈표 4〉 민감도 분석용 시나리오

시나리오	구 성	비고
시나리오1	2010년: 신재생점유율 2.4% LOLP = 0.5일/년	
시나리오2	2015년: 신재생점유율 7.9% LOLP = 0.5일/년	
시나리오3	2010년: 신재생점유율 2.4% LOLP = 1.0일/년	

2.4.2 모의결과

풍력의 경우 ELCC가 29.6%로 첨두기간 이용률(CF)보다 높게 나타나고, 태양광은 32%로 낮게 나타났다. 이는 첨두시간대(낮) 풍력은 출력이 낮으며, 태양광은 높기 때문에 이용률법은 첨두기간 특성만 반영하나, ELCC는 전시간대 부하와 신재생출력간의 상관관계를 반영하기 때문에 위와 같은 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

〈표 5〉 ELCC법 사례연구 시뮬레이션 결과자료

시나리오	풍력		태양광		비고 (CF)
	MW	%	MW	%	
시나리오1	108 364.7	29.6	110 343.8	32.0	풍 력:21.9 태양광:42.8 소수력:62.2
시나리오2	580 2,561	22.6	670 2,098	31.9	(제4차)
시나리오3	110 364.7	30.2	112 343.8	32.6	

또한 시나리오별 ELCC 결과를 분석해 보면 신재생 점유율이 높아질 수록 용량기여도는 낮아지고(시나리오 1↔2), 공급신뢰도가 낮은 시스템일수록 용량기여도는 높아지는(시나리오 1↔3) 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 연구에서는 신재생발전기 비중이 급증할 경우에 대비하여 정확한 용량기여도를 산정하는 방법에 대하여 살펴보았다. 신재생설비의 기여용량을 정확히 산정하는 것은 미래 전력수급계획에 있어서 공급신뢰도를 높일 수 있는 요인 중하나이다. 현재 산업계·학계 중심으로 연구 중인 확률론 기반 용량가치(ELCC) 산정방법론에 대해 알아보고, 제5차 수급계획에 사례검토로 결과의 타당성을 검증하였다. 앞으로 결과의 정확성을 높이기 위하여는 많은 실적데이터 축적 필요하고 충분한 검증 단계를 거친 후 전력수급기본계획에 적용하는 방안을 강구하여야 한다.

[참 고 문 헌]

[1] 지식경제부 “제5차 전력수급기본계획”, 2010.12
 [2] A. Keane, et al., “Capacity Value of Wind Power”, IEEE Trans. on Power Systems, Sep. 2010.
 [3] M. Milligan, et al., “Determining the Capacity Value of Wind: An updated Survey of Methods and Implementation”, NREL/CP-500-43433, Jun. 2008.