

신재생에너지 전원의 전력공급 신뢰도 평가·분석

'06. 04.

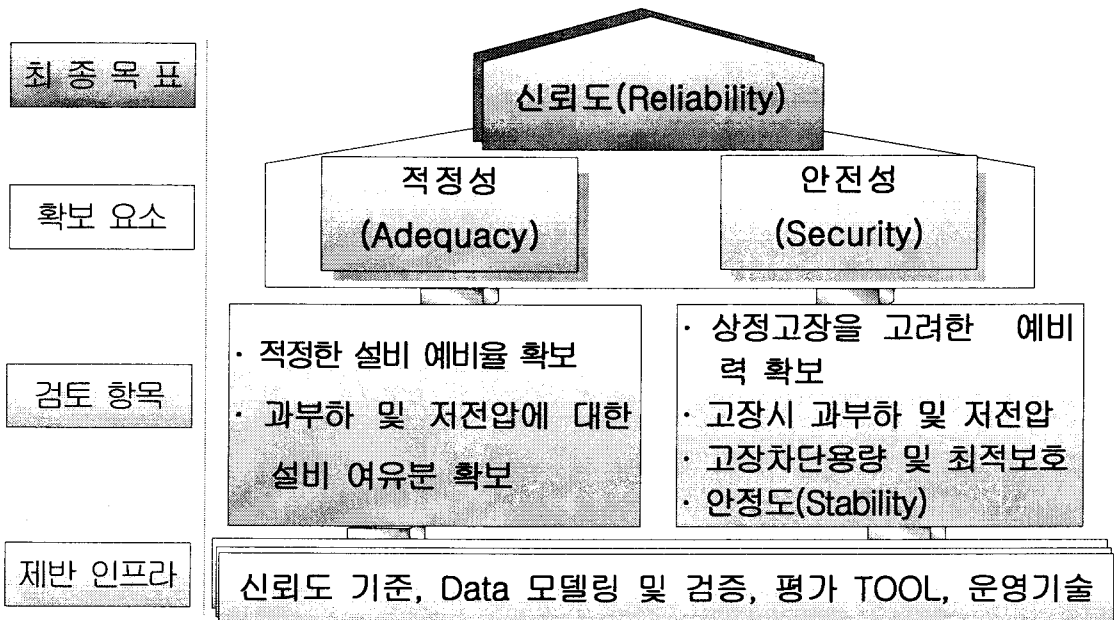
전력거래소 전력계획처
신재생에너지팀장 양민승

1. 신재생에너지 전원의 공급신뢰도 평가·분석 필요성

- 신재생에너지 전원 설비는 간헐적인 발전의 특성을 가지고 있어서 공급 신뢰도가 낮은 바, 자원별 특성을 반영한 정확한 공급능력 평가 필요
- 정확한 수급기여도 평가를 통해서 적정 예비력 확보, 전력공급의 신뢰도 제고 및 수급계획의 최적 자원배분에 기여
 - 공급신뢰도는 최대전력수요(Peak) 발생시의 순시 공급용량(피크 기여도)과 연간 공급 가능한 에너지량(연간 이용률)으로 평가 가능

2. 海外 피크容量寄與度 評價技法

가. 신뢰도(Reliability)의 정의



나. 신뢰도(Reliability) 판별 방법

○ 결정론적 방법

- 수급측 : 1기 최대 발전기 예비력 확보 등(단기수급계획에 사용)
- 계통측 : 가공선로 N-2, 지중선로 N-1(계통계획 및 운영에 사용)

○ 확률론적 방법

- 수급측 : LOLP, LOLE등(장기 수급계획에 사용)
- 계통측 : 선로별 고장실적을 바탕으로 한 상정사고 기준 확보

다. 신재생에너지 신뢰도 판별기준

- 해외에서는 용량 크레딧(Capacity Credit)으로 신뢰도 판별
- 용량 크레딧(Capacity Credit) 정의 : 전력시스템의 신뢰도를 유지하면서 기존의 비 신재생 에너지 자원을 대체할 수 있는(즉, 신규투입을 감소시킬 수 있는) 신재생에너지 자원의 실질적인 용량

라. 해외전력사 용량크레딧 산출방법¹⁾

신뢰도 판별방법	산정기법	지역/전력회사	비고
결정론	시간대별 기법	ERCOT	Peak Period (7~8월 오후 4~6시)
		PJM	Peak Period (7~8월 오후 3~7시)
		MAPP (Mid-Continent Area Power Pool)	- 월간 Peak기준 4시간 산정 - 선정된 4시간에 해당하는 매일의 풍력 발전기 출력량 정렬 후 평균
		Idaho Power	7월 오후 4~8시

1) 출처 : 분산형 전원을 고려한 중장기 전력수급계획 수립방안 연구(2005.08), 한국전기연구원

		PSE and Avista	정격용량의 20% 또는 1월 용량률의 2/3
		SPP	매달 상위 10%부하
확률론+ 결정론	순차 몬테카를로 시뮬레이션	MIN/DOC/Xcel	- LOLP가 입력값이 아닌 시뮬레이션 결과 (확률론)
		Pacificorp	- 예비력은 1기 최대 발전기로 산정 (결정론)

마. 시간대별 기법(Chronological Approach)에 의한 산출방법

- 특정 시간대 동안 총 용량 대비 평균발전용량의 비율을 계산 한 후 이를 용량 팩터(Capacity Factor)라고 정의하여 용량 크레딧을 산정함
⇒ 용량크레딧 = 설비용량(Installed Capacity) × 부하율(Load Factor)
- 시간대별 기법은 다양한 시구간에 대하여 계산할 수 있기 때문에 적절한 시구간을 설정하는 것이 매우 중요한 문제임
- 시구간 산정기법

제안자(전력사) ²⁾	주요 내용
Rui M.G. Catro and Luis A.F.M. Ferreria	<ul style="list-style-type: none"> • 상위 50%의 피크 시간대에 대한 용량 크레딧 산정 - 시간대별 기법을 포르투갈 전력시스템에 적용하여 사례연구 시행
D.Percival and J.Harper	<ul style="list-style-type: none"> • 단일연도 데이터에 기초한 신재생 발전기 용량 크레딧 예측 결과는 신뢰하기 어렵다고 보고 다년간의 다중 시뮬레이션 기법 제안
Michael Milligan and Brian Parsons	<ul style="list-style-type: none"> • 시간대별 피크수요의 30%시구간에 대한 용량 크레딧 산출제시 및 LOLP가 높은 시간대의 용량크레딧 산정방식과 비교
D.Percival and J.Harper, MAPP	<ul style="list-style-type: none"> • 투자자나 정책입안자가 이해하기 쉽고 계산이 용이한 근사적인 용량 크레딧값 산정방식 제안

2) "A comparison Between Chronical and Probablistic Methods to estimate win power capacity credit" IEEE, November 2001
"Value analysis of windenergy systems to electric utilities", Solar Energy Research Institute

마. 순차 몬테카를로 시뮬레이션 기법에 의한 산출방법³⁾

○ 기존 장기 수급계획 신뢰도 판별 방법

① 일반 발전기들은 확률론적 방법을 택함

② 신재생에너지들은 결정론적인 방식을 택함

⇒ 간헐 에너지원으로서 발전이 중지될 수 있는 여러 변수를 고려 못함
(시간대별 기법이 가지고 있는 최대 단점임)

○ 순차 몬테카를로(MCS)방식을 이용한 장기 수급계획 신뢰도 판별 방법
: 결정론적 방식과 확률론적 방식을 결합시킨 방식

⇒ LOLP가 입력값이 아닌 시뮬레이션 결과(확률론)

⇒ 예비력은 1기 최대 발전기로 산정(결정론)

"A Comparison and Case Study of Capacity Credit Algorithms for Intermittent Generators", Washington, DC, April, 1997
MAPP Procedure for the Uniform Rating of Generating Equipment, 1994

3) 출처

① 미국 DOE(Department of Energy) Energy Efficiency and Renewable Energy

② A Sequential Simulation Technique for Adequacy Evaluation of Generating Systems Including Wind Energy, IEEE, 1996

③ Reliability and Cost Evaluation of Small Isolated Power Systems Containing Photovoltaic and Wind Energy for the Degree of Doctor of Philosophy in the Department of Electrical Engineering, University of Saskatchewan by Rajesh Karki

※ MCS 계산모형

기상조건 모델링



기상조건에 따른 발전량산정



신뢰도 평가

태양광 Data(WATGEN프로그램)
 ① 지역별 복사에너지량 DB필요
 - 시간별 Clearness Index도출
 $K_t = H_t/H_0$
 (지구 대기권을 통과한 후의 복사 에너지 / 통과전 복사에너지)
 ② 시간대별 대기온도 DB입력

풍력 Data(Wseries 프로그램)
 ① 지역별 평균풍속, 풍속분산DB필요
 $Y_t = (OWt - U_t)/\sigma_t$
 : OW 관측풍속, U 평균풍속, σ 풍속 분산
 ② 위를 이용한 ARMA(4,3) 모델 구축 (시간대별 모델) 후 풍속계산



태양광 발전량 계산
 ① WATSUN-PV프로그램
 ② 지역별 복사에너지량 및 대기온도, PN접합의 I-V Curve를 통해 시간대별 발전량 계산

풍력발전량 계산

발전량	풍속
0	$0 \leq SWt \leq V_{ci}$
$(A+B*SWt+C *SWt^2)Pr$	$V_{ci} \leq SWt \leq V_r$
Pr	$V_r \leq SWt \leq V_{co}$
0	$SWt \geq V_{co}$



시간대별 부하 DB
 기존발전기 발전량DB
 (신재생 제외)

신뢰도 평가

- 발전량이 계산되어 진 후 부하모델과 연계함
- 각 부하는 시간대별 부하이며, 예비력을 계산하기 위하여 총 용량과 비교되어 짐
 - 이를 통해 매 시간대의 운영예비력이 계산되어 짐
 - 이때 풍력은 디젤 발전기처럼 부하 변동에 따른 조속기 응답을 못할 뿐 아니라 풍력 출력의 급변 때문에 수급 불균형을 초래함
- 이를 방지하기 위하여 총 수요의 40%이하로 풍력을 제한하게 함
 - 풍력발전량/디젤발전량 비율을 입력하게 되어 있음
- 따라서, 계산된 태양광 발전을 기저에 깔고, 나머지 풍력과 디젤 발전량을 풍력발전량/디젤발전량비율에 맞게 배분함

4. 피크용량기여도 산정방안

가. MCS를 적용한 산정

MCS 적용을 위한 조건

입력요소	출력요소	필요 프로그램	현행 여건
과거 장기간의 지역별, 시간대별 평균 풍속 데이터 및 분산 데이터	풍속 예측을 위한 ARMA 모델	Wseries	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 자료 보유 • DB구축 필요 • 프로그램 도입 필요
풍속 예측을 위한 ARMA모델	풍력발전량 계산을 위한 a,b,c계수 산출	SIPSREL	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 도입 필요
과거 장기간의 지역별 복사에너지량 DB	Clearness Index (지구 대기권을 통과한 후의 복사 에너지/ 통과 전 복사에너지)	Watgen	<ul style="list-style-type: none"> • 기상청 자료 보유 • DB구축 필요 • 프로그램 도입 필요
PN 태양광 발전기의 I-V특성곡선	태양광 발전량 도출	Watsun-PV	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 도입 필요
-	신뢰도 지수 산정	SIPSREL	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 도입 필요

나. MCS 적용에 대한 제약

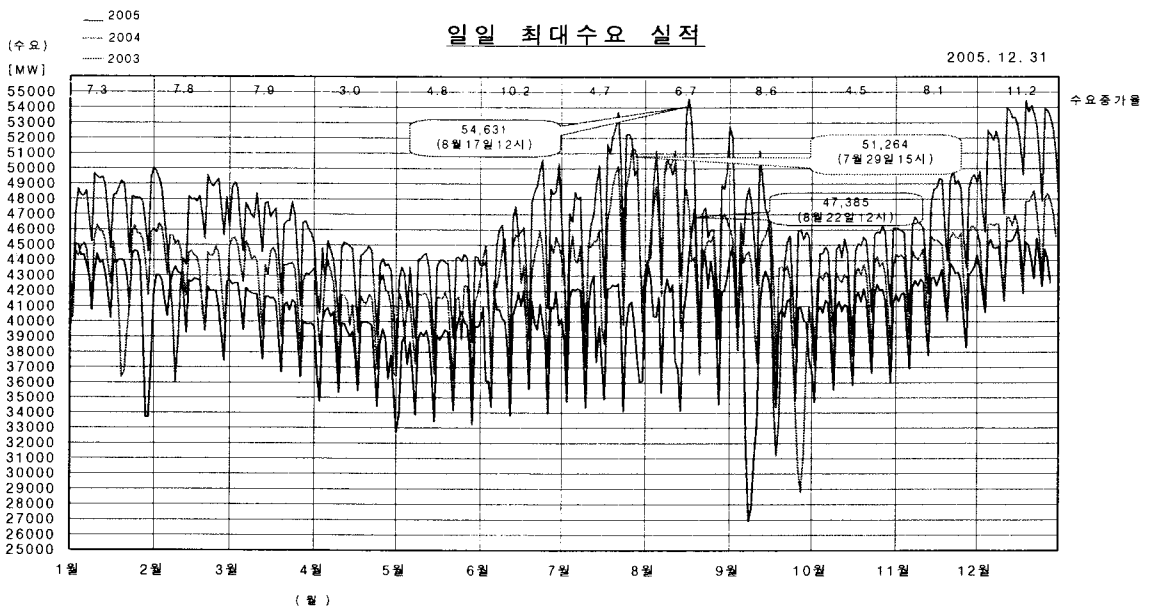
- MCS 방식을 적용하기 위해서는 입력자료의 방대한 DB 구축이 필요하고, 추가적으로 예측, 모델링 프로그램 도입이 필요함
- 신재생에너지의 전력공급용량의 작고 방대한 DB 구축을 위한 비용을 감안시, 국내 실정에서 MCS 방식을 적용하는 것은 타당성이 미흡함

나. 시간대별 기법(Chronological Approach)을 적용한 산정

- 시간대별 기법 적용을 위한 발전량 등의 자료는 전력거래소 정산시스템 및 EMS를 통해서 용이하게 취득 가능
- 상대적으로 공급기여도 산정이 용이 및 비교적 정확한 결과 도출 가능
→ 국내의 여건을 감안시 시간대별 기법의 적용이 타당함

□ 시간대별 기법 적용시 고려 사항

- 시간대별 기법은 산정 시구간 설정에 따라서 공급기여도가 다르기 때문에 적절한 시구간을 설정하는 것이 핵심적인 사항임
- 아래 최대수요 실적에서 볼 수 있듯이 우리나라는 하계에 Peak가 발생하므로, 7~8월로 시구간을 형성하는 것이 합리적임



- 7~8월을 기준으로 시구간을 형성하는 데 있어서, 해당기간의 수요 순으로 LDC커브를 산정하게 되면 수요가 높은 날짜로만 집중하게 됨
- 따라서, 일별로 LDC 커브를 산정하여 시구간을 설정하는 것이 필요함4)

4) ① Michael Milligan and Brian Parsons 제안

② D.Percival and J.Harper에 의해 미국 MAPP(Mid-Continent Area Power Pool)에서 사용되어 지고 있음

5. 전원별 피크용량기여도 실적 분석

가. 분석기준

- '03~'05년 7~8월 정산실적을 기준으로 한 발전량으로 시간별 용량팩터를 계산함
- FOR 및 MOR 실적치 반영
 - ： 발전기 준공 후에는 해당 기간의 모든 발전실적을 포함(발전력이 없을 경우도 포함)하여 용량팩터 평균을 산정함으로써 피크 기여도

나. 피크기여도 실적분석 결과

(단위 : %)

구 분		소수력	풍 력	태양광	바이오가스(LFG)
피크 기여 도	①최대부하시	65.6	0.6	42.8	47.8
	②상위 10% 부하	58.5	10.4	34.47	51.6
	③상위 30% 부하	59.1	9.6	21.02	52.3
	④상위 50% 부하	59.0	9.7	20.82	52.4
평균	$\Sigma(①\sim④)/4$	60.6	7.6	29.7	51.0
	$\Sigma(②\sim④)/3$	58.9	9.9	25.4	52.1
	$\Sigma(②\sim③)/2$	58.8	10.0	27.7	52.0

※ 최대부하시는 3개년 피크일 피크 1시간에 대한 평균임

- 소수력, 바이오가스는 시구간 밴드의 크기에 큰 영향을 받지 않고 거의 일정함(최대부하시 제외)
- 풍력은 좁은 밴드에서는 기여도가 낮으나, 일정밴드 이상에서는 큰 변동이 없으며, 태양광은 시구간 밴드가 넓을 수록 기여도가 낮아지는 특성이 있음

다. 신재생에너지 적용 시구간 적용 검토

- 최대부하 시의 기여도는 표본수가 적어 특정 설비의 운전 실적에 따라 과도하게 영향을 받을 수 있어, 대표성의 왜곡에 대한 우려가 있음
- 최대부하 50%는 범위가 커서 피크시간에 대한 기여도로서의 유효성에 무리가 있음
- 따라서 대표성 확보와 피크에 대한 실질 기여 가능성을 감안시 **10%와 30%의 평균치를** 기준으로 적용하는 것이 바람직할 것으로 평가됨

라. 신재생에너지 피크용량기여도 적용방안

(단위 : %)

구 분	소수력	풍 력	태양광	바이오(LFG)
상위부하 10%+30% 평균값	58.8	10.0	27.7	52.0
전력수급 기본계획 적용(안)	60	10	30	50

6. 전원별 연간 이용률 실적 분석

가. 분석 기준

- 2003~2005년 3개년 발전량(정산)실적을 기준으로 연간 이용률 계산

나. 실적 분석 결과

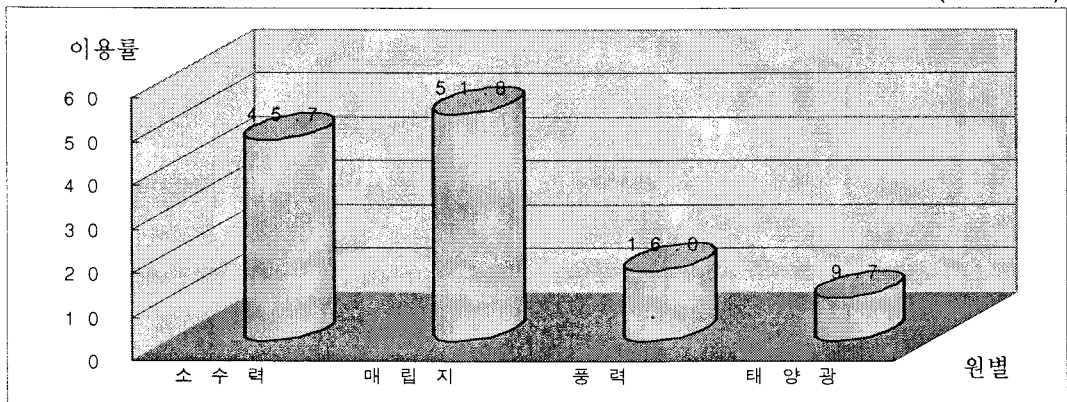
(단위 : %)

구 분	소수력	풍 력	태양광	바이오(LFG)
2003년	49.6	8.2	-	45.8
2004년	45.1	12.1	2.6	56.4
2005년	44.3	21.1	11.2	50.5
평 균	45.7	16.0	9.7	51.8

- 풍력발전은 '03년 말 대관령풍력이 최초 진입하여 2003년 이용률이 2.7%로 저조하였으나, 시간이 지나면서 '04년 16%, '05년 18%로 안정됨
 - 영덕풍력, 태백풍력은 '04년 말 신설되어 운전 초년도 6%, 5%의 저조한 이용률을 시현하였으나, '05년에는 20%, 37%로 안정됨
- 태양광발전은 신태양에너지가 2004년 9월말에 최초 진입하면서 2004년도 이용률은 2.6%로 저조했으나, 2005년에는 9%로 안정됨

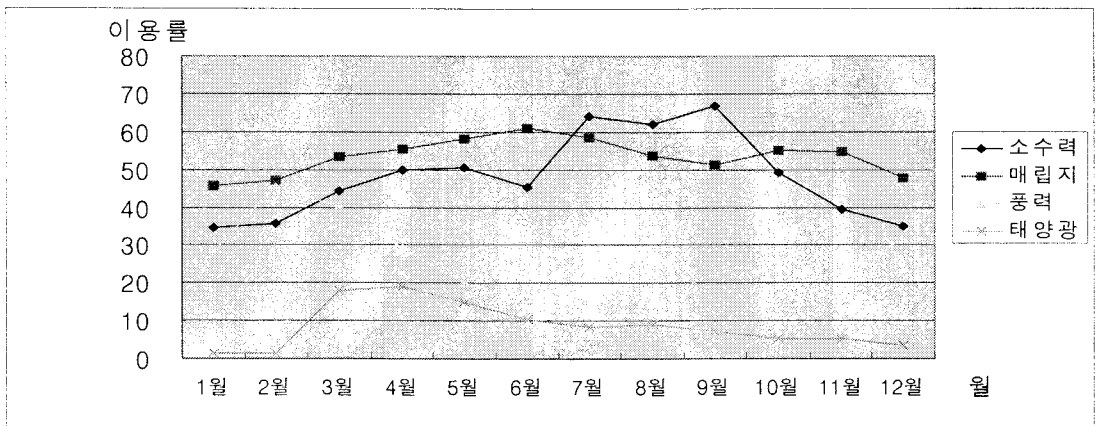
□ 전월별 3개년 누적 이용률

(단위 : %)



□ 전월별 3개년 월별 이용률

(단위 : %)



다. 신재생에너지 이용률 수급계획 적용방안

(단위 : %)

구 분	소수력	풍 력	태양광	바이오(LFG)
3개년 이용률 실적	45.7	16.0	9.7	51.8
전력수급계획 적용(안)	45	15	10	50