

## WASP 모형 기반의 신재생전원 모델링 방안 연구

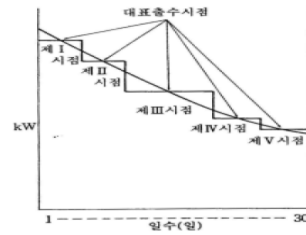
박종배\*, 박용기\*, 신종린\*, 노재형\*, 박재승\*  
건국대학교\*

### A Renewable Resource Modeling Method in WASP-IV

Jong-Bae Park\*, Yong-Gi Park\*, Joong-Rin Shin\*, Jae Hyung Roh\*, Jae-Seung Park\*  
Konkuk University\*

**Abstract** - 본 연구에서는 신재생자원인 풍력발전을 WASP 모형 내에 공급측 자원으로 반영하여 수급계획을 수행해 보았다. 기후적 요인에 대한 의존성이 매우 강한 수력발전의 경우 WASP 모형 내에서 모델링이 가능한데, 다른 신재생에너지의 경우도 수력과 유사한 형태를 가지고 있기 때문에 WASP 모형 내에서 수력발전 시스템과의 입력형태만 맞추어 주면 신재생에너지의 공급측 관점에서의 해석이 가능해진다. 이는 신재생에너지로 인한 신뢰도 영향, 즉 LOLP의 변화를 확인할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 5차 수급계획에서 예측수요에서 시간대별 신재생에너지를 차감한 수요측 관점의 신재생에너지 모델링 방법과 공급측인 수력발전으로 모델링하여 수급계획을 수행한 결과와의 LOLP 값을 비교하였다.

시 일반적으로 분기별 특성으로 나누어 입력하며, 필요에 따라서 주간별로 입력하기도 한다.



〈그림 1〉 수력발전의 가능발전력 평균지속곡선

## 1. 서 론

2010년 현재 계통 전체 발전량에서 신재생에너지가 차지하는 비율은 2% 미만으로, 신재생에너지의 불확실성 및 간헐성으로 인한 계통신뢰도에 미치는 영향이 미미한 수준이다. 따라서 지금까지의 전력수급계획에서는 단순히 수요에서 신재생에너지 발전량을 차감하는 형태의 결정론적 방법을 통해 신재생에너지를 수급계획에 반영하였다.

그러나 RPS 제도 도입으로 인해 신재생에너지의 발전량은 매년 꾸준히 증가하게 된다. 5차 전력수급기본계획에서는 2024년 신재생에너지 발전량이 54,467[GWh]로 예측하고 있으며 그 비중은 8.9%에 달할 것으로 전망하고 있다[1]. 따라서 향후 신재생에너지 발전량 증가로 인한 계통 내 신뢰도 변화를 고려한다면, 앞으로의 전력수급계획 시 신재생에너지 반영모델에 대한 다각적인 방안을 검토해야 할 시점으로 판단된다.

신재생에너지 중 수력 풍력 태양광 자원들은 계절, 날씨, 시간에 대한 의존성을 가지고 있기 때문에 유사한 특성을 가지고 있다. WASP모형에서는 수력발전에 대한 자세한 모델링이 가능하기 때문에 풍력, 태양광 자원 또한 수력발전에 대한 입력형태로 모형에 반영할 수 있다. 이러한 근거를 바탕으로 본 연구에서는 수급모형에 풍력발전을 반영하는 방법을 소개하고 5차 전력수급기본계획에서 제시한 자료를 바탕으로 WASP 모형을 통해 수급계획 시뮬레이션 결과를 비교·분석 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 수로식 수력발전에 대한 모델

WASP-IV 모형 내에서는 수력발전에 대한 모델링이 가능하고 양수발전과 수로식 발전시스템을 각각 모델링할 수 있다[2]. 다음은 수로식 발전형식에 대한 모형 내 입력사항들이다.

- 유입되는 에너지(발전에너지 : Inflow Energy[GWh])
- 최대 최소 발전 용량(Installed Capacity & Min. Generation[MW])
- 저수지의 저수용량(Storage Capacity[GWh])
- 매 기간의 에너지 이용률(Avg. Capacity[MW])
- 투자비용
- 고정 운전 유지보수비용(O&M Cost[\$/kW]-month)
- 발전소 수명

수력발전소는 자연자원을 이용하므로 연료비용이 없다고 가정하기 때문에 발전비용에 관한 입력은 존재하지 않는다.

일반적으로 자연조건에 의해서 변동이 심한 수로식(run-of-the-river) 수력의 공급능력 즉, 가능발전력을 전력시스템 계획 측면에서 장기적으로 산정하기 위해 과거 매년 매월의 가능발전력 지속곡선으로부터 평균지속곡선을 구해 다음 그림과 같이 몇 개의 대표출수(出水)시간을 추출하여 대표시킨다. WASP 모형에서는 최대 5개의 대뿔값을 입력할 수 있고 각각에 대한 확률을 부여한다. 여기서 각 대표에 대한 확률의 합은 반드시 1을 만족해야 한다. 시간에 대한 구간설정 은 수급계획

### 2.2 풍력발전기와 수로식 수력발전기

풍력발전과 수로식 수력발전시스템은 모두 계절, 날씨 등의 기후조건에 의존도를 가지게 된다. 각 시스템의 시간대별 출력패턴은 다를지라도 매년 유사한 반복패턴을 띠며 발전한다는 공통점이 있다. 따라서 풍력발전 또한 시구간별 구분이 가능하고 각 구간에서의 용량 및 발전이용률 입력이 가능하다. 수로식 발전과 풍력발전시스템의 입력사항을 다음과 같이 연결할 수 있다.

〈표 1〉 수력발전과 풍력발전의 입력자료 비교

수로식 수력발전 입력데이터	풍력발전 입력데이터
유입 에너지(기간동안)	총발전에너지(기간 동안)
최대,최소발전용량	최대, 최소발전용량(풍력설비용량)
저수지의 저수용량(기간)	풍력발전가능용량
매 기간의 에너지 이용률	매 기간의 풍력발전 이용률
투자비용	투자비용
고정 운전 유지보수 비용	고정 운전 유지보수비용
발전소 수명	발전소 수명

표에서 확인되는 바와 같이 풍력발전시스템에 대한 모델링에서 추가적인 입력이 더 이상 필요하지 않다. 따라서 풍력발전에 대한 모델링을 WASP 모형 내에서 수력발전기의 입력형태로 수행할 수 있다.

### 2.3 5차전력수급기본계획에 대한 WASP 내 풍력발전 모델링

5차 전력수급기본계획에서는 신재생에너지를 시간대별 부하에서 해당 발전원의 발전량을 차감하여 새로운 수요를 생성하고 기존화력발전과 수력발전 설비에 대한 수급계획을 수행하였다. 본 연구에서는 WASP 모형 내에 풍력발전을 수로식 수력발전자원으로 모델링하여 얻은 LOLP결과와 5차 수급기본계획에서 신재생에너지 반영모델에 대한 LOLP 값을 비교해 보았다.

#### 2.3.1 예측수요

입력으로 활용되는 예측수요의 경우 5차 전력수급기본계획에서 제시하는 기준수요를 사용하였다. 두 실행결과인 LOLP에 대한 비교를 위해서는 어느 정도 비교할 수 있을 정도의 크기를 가진 수치여야 가능하다. 따라서 수요관리를 시행하지 않고 현 상태와 같이 전력수요가 지속된다고 가정된 기준수요를 기반으로 계획년도 예측수요를 생성하였다. 수요에 대한 기본 패턴은 2008년을 바탕으로 산출하였다.

발전단을 기점(발전소 소내소비율, 송배전 손실 포함)으로 하는 5차계획의 기준수요 및 목표수요는 다음과 같이 최대부하와 발전량으로 산정된다.

〈표 2〉 5차 전력수급기본계획 연도별 최대부하 및 부하량(발전단기준)

연도	기준수요		목표수요	
	연간부하량 [GWh]	최대부하 [MW]	연간부하량 [GWh]	최대부하 [MW]
2009	429,040	66,797	429,041	66,797
2010	462,903	69,886	461,131	69,886
2011	483,126	73,053	481,101	72,620
2012	503,366	76,161	498,441	74,414
2013	525,269	79,784	513,940	76,207
2014	547,196	83,360	528,076	78,017
2015	567,266	86,754	540,853	80,009
2016	583,597	89,629	551,364	81,988
2017	600,621	92,281	562,506	83,913
2018	617,576	95,075	570,419	85,810
2019	634,312	97,405	578,554	87,607
2020	651,665	99,653	583,645	89,225
2021	666,905	101,640	588,253	90,713
2022	682,318	103,644	592,704	92,111
2023	697,517	105,614	596,969	93,598
2024	711,968	107,437	600,920	95,038

2.3.2 연도별 풍력설비계획

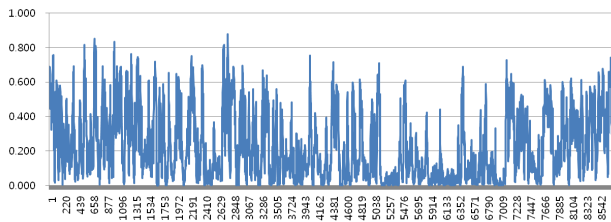
5차 전력수급기본계획에서 계획년도 기간 동안 RPS 제도를 반영한 신재생에너지의 설비계획을 수립하고 있다. 본 연구에서는 5차 계획에서 제시하는 설비용량을 12월을 기준으로 해당 연도의 설비용량을 가정하였다. 각 계획년도의 풍력발전 설비용량은 다음 표와 같다.

〈표 3〉 5차 전력수급기본계획 연도별 풍력발전 설비용량(12월 기준)

연도	설비용량 [MW]	신규풍력설비용량 [MW]	연도	설비용량 [MW]	신규풍력설비용량 [MW]
2009	346	-	2017	2690	34
2010	462	116	2018	3290	600
2011	945	484	2019	4090	800
2012	1897	952	2020	5190	1,100
2013	2254	357	2021	6290	1,100
2014	2466	212	2022	7390	1,100
2015	2561	95	2023	8270	880
2016	2656	95	2024	8974	704

2.3.3 사례연구-1 : 시간대별 부하에서의 신재생출력량 차감

신재생에너지 시간대별 부하차감법은 5차수급기본계획에서 사용된 방법으로 수요측 관점에서 결정론적으로 예측수요에서 신재생에너지를 시간대별로 차감하는 방법이다. 여기서 시간대별 신재생에너지에 대한 출력패턴은 2008년 시간대별 출력패턴을 사용하여 미래 계획년도에 적용하여 발전량을 산출하였다. 그림 2는 2008년 단위용량당 시간대별 풍력발전 출력패턴을 보여주고 있다.



〈그림 2〉 2008년 풍력발전의 단위용량 당 시간대별 출력

예측수요에서 차감된 조정된 수요는 WASP 모형에서 수요의 입력형 태인 LOADSY를 구성하였으며 기존 화력발전설비 및 수력발전 설비만으로 수급계획을 수행하였다. 여기서 설비데이터는 5차 전력수급기본계획의 발전설비 자료와 동일하게 입력하였다.

2.3.4 사례연구-2 : 풍력발전의 수로식 수력발전기로 모델링

WASP-IV 에서는 수력발전시스템의 종류를 A, B 두 가지로 구분할 수 있는데, 기존 수력발전자원의 구분을 위해 새로운 유형의 발전기를 생성한다. 따라서 모형 내에서 다음과 같이 두 가지 유형의 수력발전시스템을 형성한다.

- Type A : 기존 수로식 수력발전설비
- Type B: 수로식 수력발전설비로 모델링한 풍력발전설비

따라서 계획년도에 신규로 건설되는 수력설비와 풍력설비는 구분되어 수급계획에 반영된다.

수로식수력발전기로 모델링된 풍력발전은 기존 수력발전과 동일하게

분기별로 나뉘어 입력되며 2008년 풍력발전 이용률은 분기별로 <표 4> 과 같고 각 계획년도의 분기별 평균용량은 <표 5>와 같다.

〈표 4〉 2008년 풍력발전 분기별 이용률

1분기	2분기	3분기	4분기	합계
0.327	0.236	0.157	0.281	1

〈표 5〉 2008년 풍력발전 분기별 평균설비용량(단위 :[MW])

연도	1분기	2분기	3분기	4분기
2010	128	105	98	129
2011	134	111	103	136
2012	265	217	203	267
2013	99	82	76	100
2014	59	48	45	59
2015	26	22	20	27
2016	26	22	20	27
2017	10	8	7	10
2018	167	137	128	168
2019	222	183	170	224
2020	306	251	234	308
2021	306	251	234	308
2022	306	251	234	308
2023	245	201	187	247
2024	196	161	150	197

2.3.4 사례연구 결과 : LOLP 비교

상기 두 사례에 대한 수급계획의 결과로 다음과 같이 계획년도별 LOLP 를 산출하였다. 예측수요자료는 계획년도의 기준수요를 입력으로 취했기 때문에 도출된 LOLP 값이 대체적으로 크게 나왔다. 두 사례를 비교해보면 먼저 수로식수력발전기로 모델링한 수급계획을 시행한 사례-2 가 더 낮은 LOLP 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 신재생에너지가 공급측 설비로 반영되었기 때문에 이용률이 발전기의 공급지장비율로 반영되어 ELDC 에 영향을 주었기 때문이다.

〈표 6〉 2008년 풍력발전 분기별 평균설비용량(단위 :[MW])

연도	LOLP	연도	LOLP
2010	8.889	2010	6.610
2011	8.355	2011	4.573
2012	14.955	2012	10.641
2013	18.836	2013	14.927
2014	11.147	2014	5.783
2015	10.236	2015	4.688
2016	0.256	2016	0.202
2017	2.884	2017	0.759
2018	11.368	2018	6.619
2019	10.647	2019	6.477
2020	4.097	2020	1.168
2021	8.894	2021	4.593
2022	5.976	2022	2.223
2023	7.449	2023	2.510
2024	9.445	2024	5.068

3. 결 론

본 연구에서는 WASP-IV 모형을 이용하여 풍력발전자원을 모형내 수로식 수력발전기로 모델링하여 수급계획을 수행해보았다. 기존 수급계획에서는 시간대별 예측수요에서 신재생발전량을 차감하는 방법으로 신재생을 수급계획에 반영하였는데, 이는 아직 신재생에너지의 비율이 미미하기 때문에 계통에 미치는 영향 또한 그만큼 적었다. 그러나 RPS 제도 도입으로 인해 향후 신재생에너지가 계통에서 차지하는 비율이 커지게 되면 신재생에너지의 간헐성으로 인해 계통 신뢰도에 미치는 영향이 커지게 된다. 본 연구에서는 LOLP 의 변화만을 고려하였지만 순동예비력 등 다른 신뢰도 기준에서도 신재생에너지에 대한 분석이 필요하다. 향후 연구에서는 좀 더 다각적인 분석을 통해 신재생에너지가 신뢰도에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

[참 고 문 헌]

[1] 지식경제부, “제5차 전력수급기본계획”, 2010  
 [2] IAEA, “WASP Package User’s Manual”, 2004  
 [3] 박영식, 안병진, 정래혁, 류성호, 김홍희, “WASP 모형을 활용한 LOLP 민감도 분석”, 대한전기학회, 전력기술부분, 추계학술대회, 2009  
 [4] 김수덕, 김영산 등 “신재생 전원설비의 전력수급계획 적용방안”, 산업자원부, 2005. 08