

제3차 전력수급기본계획에서의 적정 양수발전기 규모 검토

박만근*, 양성배, 유현수
전력거래소 전력계획처

A Study on the Optimal Capacity of Pumped Storage Power Plant in the 3rd Basic Plan for Long-Term Electricity Supply and Demand

Park Marn Geun*, Yang Sung Bae, Ryu Heon Su
Power Planning Dept. of Korea Power Exchange

Abstract - 구조개편 이후 전력수급계획 수립여건이 한전의 독점적 계획에서 사업자 건설의향으로 전환됨에 따라 신규설비 건설계획은 수익성 위주로 전환되었다. 이에 따라 본 논문에서는 기저설비(원자력, 석탄화력) 운전효율성 향상 차원에서 건설되던 양수설비의 적정 설비규모를 계통공급신뢰도 측면, 에너지 이용 효율성 향상 측면, 전력시장에서의 경제성 측면에서 검토하여 최적전원구성(Best Fuel Mix) 유도를 위한 정책적 방향을 제시하였다.

양수발전기는 경제발전 측면에서 전체체통의 비용최소화를 위하여 기저발전기인 석탄과 원자력으로 계통부하를 공급할 수 있는 경우하시에 양수하여 비싼 발전기가 투입되는 중부하시에 발전하는 Peak Shaving(첨두부하삭감) 방식으로 운영되어 왔다. 즉, Peak Shaving에 의한 발전비용 감소분에 양수한 양수동력량에 대한 발전량의 비율에 의해 산정된 식(1)의 효율(η)을 반영한 값이 양수비용을 초과하는 범위에서 운전이 이루어져 왔다.

1. 서 론

$$\eta = \frac{e_g}{e_p} \quad (1)$$

여기서,

e_g = generation, MWh
 e_p = pumping load, MWh

구조개편 이전 양수설비의 계획수립 기준은 적정 전인 구성비 수준을 검토한 후 구성비 범위 내에서 경제성, 환경성, 정책성 등의 요소를 종합적으로 고려한 것이었으나, 구조개편 이후 경제성이 중시되고 있다. 경제성 측면에서 볼때 현 전원구성은 기저설비가 다소 부족한 실정이며, 심야전력의 과다 개발로 현재 양수는 LNG 복합이 발전한 전력으로 평평하는 시간대가 늘어나 양수의 효율을 고려시 경제성이 저하되고 있는 실정이며, 구조개편 이후 양수 설비계획은 전무한 상태이다. 하지만 장기적으로 기저부하 확충 및 계통운영특성 등을 감안할 경우 최적전원구성 차원에서 적정 규모의 산정이 필요한 상황이다.

한편, 양수발전기는 수력과 마찬가지로 뛰어난 출력변동/주파수응동 특성을 가지고 있어서 계통안정도와 신뢰도유지에 기여하는 바가 매우 크다. 따라서 단순한 경제성 측면 이외에도 양수발전소는 계통의 안정운영 측면에서의 필요시 양수 및 발전을 함으로써 계통운영에 기여하여 왔다.

이러한 상황을 고려하여 본 논문에서는 양수규모에 영향을 미치는 분석요소를 바탕으로 분석방법론 제시하고 적정 설비규모를 산정함으로써 우리나라 계통상황에 부합하는 최적전원정책 방향을 모색하였다.

[발전형식별 가동시간 및 부하증감발 시간]

구분	가동시간 (기동/계통별일)	부하증감발시간 (계통별일/전부하)	부하증감발률 (MW/분)
원자력	30 시간	27 시간	0.5
유연탄	13 시간	6 시간	3-5
중유	3 시간	1시간 10분	10-15
양수	5 분	1 분	제한없음
가스터빈	10 분	10 분	양수보다 빨리

2. 본 론

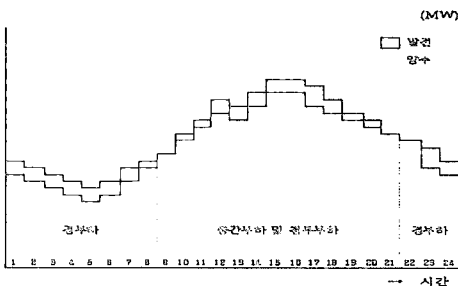
2.1 양수설비의 특징

양수발전은 심야 경우하시에 발전비용이 낮은 발전소의 발전여력을 이용하여 하부저수지의 물을 상부저수지에 양수한 후 필요시(중부하, 첨두부하 또는 타 발전기의 탈락시)에 발전함으로써 전력계통의 안정을 도모하고 전력을 경제적으로 공급하기 위한 발전방식이다.

2.2 양수설비 계획수립 경위

적정 전원구성비 수준을 검토한 후, 구성비 범위 내에서 설비계획 수립하고 기존 계획과의 연계 및 정책요소를 고려하여 최종 설비계획 수립하였으나, 구조개편 이후 신규 양수설비계획 없는 상황이다.

[일일부하 곡선상 양수 및 발전]



[과거 계획별 전원 구성비(%) 검토내용]

구분	원자력	석탄	LNG/석유	수력/기타	양수 비중	
장기전력수급계획 (한전)	2차 ('93-06)	35-40	30	20-25	10 (7)	5.1-7.2
	3차 ('95-10)	35	30	26	8-9 (6-7)	4.5-5.8
	4차 ('98-15)	33-37	26-30	26-28	8-9 (6-7)	4.6-7.1
	5차 ('99-15)	4차계획과 유사한 수준 유지				4.5-6.7
	전력수급기본계획 (거래소)	3차 ('06-20)	24-29	25-28	30-34	7 (5-6)

1. () 내는 양수설비 비중임
2. 비교란은 양수발전소 건설계획 결과임(계획기간별 최소-최대비중)

2.3 양수 규모 영향요소 분석

2.3.1 주요 영향요소

양수설비 규모에 대한 주요 영향요소는 아래와 같이 5 가지 정도로 요약된다.

구분	특성	관계
기저설비 비중	·기저설비인 원전, 석탄의 경우 기동정지 및 감발운전을 최소화하는 것이 에너지이용 최적화 측면에서 바람직 ·양수의 특성인 전환손실(약-25%)로 인해 기저설비 비중이 확대되어야 침투시간대 발전량 증대 가능	비례
기저설비의 시장가격(SMP) 결정회수	·기저설비 비중과 연계되며 시장참여자의 양수설비 투자 의사 결정에 가장 큰 영향요소	비례
운전예비력	·양수는 사고시 순시용동 특성이 매우 우수하여 주파수추종예비력으로 주로 운영 ·계통의 최대단위기 용량이 커지면 양수설비도 증가되어야함 최대단위기 : 1,000MW('06) 1,400MW('13)	비례
부하율	·부하율이 낮을 경우 심야시간 대비 피크시간의 편차가 커지므로 양수 운영시간 확대 가능 ·기저발전기 이용률 향상을 위해 보급한 심야기기영향으로 '01년 이후 포화 부하율이 상당히 증가한 상태	반비례

2.3.2 양수이용률 및 주요 영향요소 변동 추이

양수설비의 이용률은 하계(8월) 기저설비 SMP 결정회수와 매우 밀접한 관계를 가지는 것으로 분석된다.

구분	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06.10월	평균
양수 이용률	15.5%	13.8%	15.5%	11.8%	11.7%	8.6%	12.7%
기저비중(설비용량 대비)	57.5%	58.8%	56.5%	57.0%	57.3%	55.2%	57.1%
기저설비 SMP 결정회수(8월 경부하)	252회	242회	245회	221회	188회	126회	212회
운전예비력	현 계통운영기준 1,500MW						
부하율	75.5%	76.4%	77.7%	76.2%	76.2%	-	76.4%

※ 양수 이용률 산정시 수도권 양수설비인 청평양수 제외

2.3.3 분석결과 종합(향후 적정 규모 검토 방향 및 기준)

전력시장체제에서 양수설비의 적정 규모 산정을 위해서는 설비투자를 유인할 수 있는 기저설비의 시장가격(SMP) 결정 회수가 양수 이용률 향상 측면에서 직접적인 영향 요소로 평가되며, 계통운영의 공급신뢰도를 고려할 경우 향후 전력계통의 최대단위기 탈락에 따른 순시용동 측면의 주파수추종예비력과 대기예비력을 합한 운전예비력 제공 측면에서 설비규모 검토가 필요하다. 부하율의 경우 현재 '98년 이후 본격적으로 보급된 심야기보급으로 인해 이미 포화상태인 것으로 분석되므로 고려에서 제외하는 것이 타당하다.

구분	고려요소	비고
계통 공급신뢰도 측면	· 주파수 조정예비력 · 최대 단위기 탈락시 대응용량	최소규모 산정
에너지 이용 효율성 향상 측면	· 기저설비 수준 · 심야부하 대비 기저설비 공급능력 수준	적정 규모산정
시장 경제성 측면	· 심야시간대 기저발전기 SMP 결정 회수 · 양수설비 시장경쟁력 확보 수준 · 사업자 양수설비 투자 시그널 생성	선비 이용률 예측

2.4 양수설비 적정규모 분석 결과

2.4.1 계통 공급신뢰도 측면(최소규모 산정)

현행 수급계획의 설비예비율 목표는 15~17% 수준이며, 운영예비력의 경우는 8% 수준이다. 이에 따른 예비력 구성 및 기여설비는 아래와 같다.

[예비력 구성]

설비예비력(최소 15~17%)	고장, 정지 등	공급예비력(4000MW)		비고
		운영예비력(현 CBF 운영기준)	정지예비력(정지상태)	
제3차 전력수급 기본계획 기준	공급예비력	대기예비력(120분내 용동)	1,500MW	
		대기예비력(20분내 용동)	1,000MW	
	운전예비력(운전상태)	대기예비력(10분내 용동)	500MW	
		주파수조정예비력(순시용동)	1,000MW	

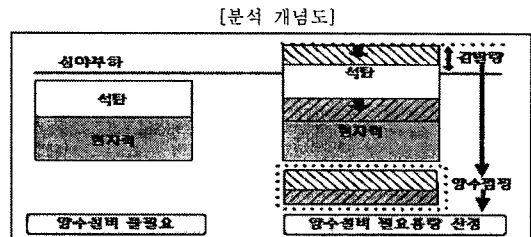
운전예비력은 양수 또는 G/T가 기여할 수 있으나, G/T만의 운전모드는 거의 없고 C/C상태로 운전되므로 운전예비력은 양수가 주로 제공한다.

이에 따라 운전예비력으로서의 양수설비의 필요용량을 산정할 경우 대기예비력 기준용량은 설비 운전대수가 가장 많은 석탄화력의 단위기 용량 변동(500~870~1000MW)을 고려하고, 주파수추종예비력은 최대단위기인 원전의 단위기 용량 변동(1000~1400MW)을 기준으로 산정할 경우 '20년 대기 및 주파수추종예비력 확보를 위해 필요한 설비규모는 2.7%(2,400MW) 수준으로 분석된다.

구분	'06년	'10년	'15년	'20년	비고
대기예비력(MW)	500	870	1,000	1,000	
주파수추종예비력(MW)	1,000	1,000	1,400	1,400	
설비용량(MW)	63,701	72,866	85,088	88,148	
필요규모(%)	2.4	2.6	2.8	2.7	2.4 2.7

2.4.2 에너지 이용 효율성 측면(적정규모 산정)

연중 부하율이 가장 낮은 최대부하 발생기간 하계(7, 8월) 경부하 시간대의 기저설비의 감발량을 양수 필요용량으로 산정하며, 경제성 확보가 가능한 평평원은 원자력, 석탄, 무연탄으로 가정하고 분석할 경우 '20년 적정규모는 5.29%(4,579MW)로 분석된다. 여기서, 부하를 변동에 따른 영향을 고려하지 않으며, 하계 계획예방정비 물량은 '05년 실적 을 기준으로 처리하였다.



구분	'06년	'10년	'15년	'20년	비고
하계 기저 감발량(MW)	7월	1,313	845	4,222	4,579
	8월	603	217	2,166	1,775
설비용량(MW)	63,701	72,866	85,088	88,148	
기저설비 비중(%)	56.8	58.9	61.5	61.0	
필요규모(%)	2.1	1.2	5.0	5.2	

2.4.3 시장 경제성 측면(설비 이용률 예측)

시장 경제성과 밀접 요소는 설비이용률이며, 이를 예측하기 위해 CBP 가격결정발전계획모형(RSC : Resource Scheduling Commitment)을 통해 3차 수급계획을 반영한 장기시장가격 예측을 수행하여 하계(8월)와 동계(12월)의 SMP에서 기저발전기 가격결정 회수예측을 통해 예상 양수 이용률 예측 하였다. 모형입력자료인 연료비는 시장적용 열량단가 자료를 적용하였으며, 입찰자료는 최근 5년 월별 계획예방 정비량의 평균을 반영하였다. 수요는 3차 수급계획 수요증가율 반영하여 확장하였다.

이에 따른 시장가격 및 양수설비 이용률 변동 추이는 '01년 이후 시장운영실적 검토 결과 심야시간대 기저설비 가격결정 회수 감소로 양수발전기 이용률이 현저하게 감소 추세를 보인다. 이는 심야시간대의 부하수준이 기저부하 발전용량보다 높은 경우가 많음을 의미하며, 양수설비는 전환효율 75% 수준의 특성을 가지므로 가격비가 낮을수록 이용률이 향상된다.

구분	'01년	'02년	'03년	'04년	'05년	'06.10
심야시간 평균 시장가격 (원/kWh)	22.4	21.3	20.0	29.0	34.3	48.3
중/최대 부하 평균 시장가격 (원/kWh)	51.7	43.4	46.7	55.8	64.4	86.3
가격비(%) (/)	43.4	49.0	42.9	52.0	53.2	56.0
기저발전기 SMP 결정회수(8월)	252	242	245	221	188	126
양수설비 이용률 (%)	15.5	13.8	15.5	11.8	11.7	8.6

한편, 과거 가격비 및 기저발전기 SMP 결정회수 추이를 통해 양수설비의 이용률을 추정할 경우 '15-'20년의 양수 설비 이용률은 '02년 수준(14-15%)으로 개선될 전망이다.

구분	'10년	'15년	'20년	비고
심야시간 평균 (원/kWh)	50.6	34.8	35.3	'20년 이용률은 '02.'03년 중간수준 추정
중/최대 부하 평균 (원/kWh)	87.2	72.3	73.3	
비율(/)	58.0	48.2	48.2	
기저발전기 SMP 결정회수(8월)	112	189	205	

3. 결 론

본문에서 제시한 방법론을 적용한 '06년 양수설비 규모는 전체설비의 6.1%(3,900/63,710MW)로 적정규모를 다소 초과하는 수준으로 이용률이 낮은 상태로 운영되고 있다.

'20년 기준 양수 적정규모는 5.2%로 분석되며, 3차 수급 계획에 따른 양수비중이 5.3%(4,700/88,148MW)로 추가건설 필요성은 없는 것으로 추정된다.

구분	'06년	'10년	'15년	'20년
운전예비력	2.4	2.6	2.8	2.7
에너지 효율	2.1	1.2	5.0	5.2
적정 규모	2.4	2.6	5.0	5.2

하지만 향후 부하성장 추이 및 계통운영 여건 변동에 따라 양수설비의 적정규모는 변동될 수 있으므로 본 연구 이후 상기의 변동사항을 반영한 추가 분석 및 연구가 필요할 것으로 판단된다.