

## 석탄화력 비용평가 성능시험의 정성적 평가 분석

김태형\*, 박병철\*, 함영준\*  
\*한국남동발전 인재기술개발원  
e-mail:hyung122@koenergy.kr

### Qualitative analysis on the cost evaluation performance test of Coal Fired Power Plants

Taehyung, Kim\*, Byungcheol Park\*, Youngjun Ham\*  
\*Human Resource T/D Institute, Korea South-East Power Co.

#### 요 약

우리나라의 전력거래는 발전사업자가 보유한 발전기의 효율계수와 연료비 인자를 고려한 비용을 평가하여 입찰·정산을 통해 전력거래가 이루어진다. 이러한 전력거래를 위해 가장 필요한 것이 발전기별 효율계수를 산출하기 위한 시험이다. 이를 발전비용평가 성능시험이라 하며, 한전 전력연구원이 담당해 오고 있다. 그러나, 이 시험에 의한 효율계수 값에 의한 지표가 실제 운전되는 효율과 편차가 발생한다는 내용에 대해서는 이미 일반화된 사실이다.

국내 석탄화력 기준 석탄화력 발전기의 성능시험 효율과 실제 운전효율에 대한 편차가 통상 1 ~ 2%p 정도 차이가 나고 심지어 2%p 이상 차이가 나는 경우가 발생한다. 만약 2%p 정도의 효율차이가 발생하면 전기출력 및 연료의 열량에 따라 다르긴 하지만 대략 시간당 10t/h 정도의 편차가 발생할 것이며 연간으로 환산하면 8만 7천톤 정도의 연료에 대해 정산을 받지 못하는 것이다. 석탄 톤당 구입비용이 5만원라고 가정하면 연간 약 43억 정도의 손실이 발생한다.

이는 평가방법에 대한 차이에서 비롯된다. 이를 개선하기 위해 비용평가 성능시험의 효율산정 방식 대비 실제 운전 효율을 보다 정확하게 평가하기 위해 에너지정산법을 준용하여 비용평가 성능시험을 개선할 수 있다. ASME PTC 4(미국기계학회 Steam Generator 성능시험 표준)코드를 활용한 에너지 정산법에서는 여러 가지 손실과 부가입열을 고려하여 효율을 계산하도록 되어 있다. 때문에 효율산정 시 단위 질량당으로 계산되는 손실과 부가입열로 인해 측정 불확도가 큰 연료의 사용량을 고려하지 않아도 되며, 비용평가 성능시험의 평가방법인 입출력법의 효율보다 더 정확하게 계산할 수 있다.

본 연구에서는 위와 같이 어떠한 요인이 성능시험을 통해 산정된 효율과 실제 운영효율과의 차이를 발생시키는, 고체연료에 대한 비용평가 성능시험 규격이 어떠한 방향으로 개발되어야 하는지 그리고 이 규격과 기존에 적용된 비용평가 성능시험 규격과의 차이점 및 실제 운전 효율을 얼마나 반영하는지에 대해 정성적으로 나타내고자 하였다.

#### 1. 서론

우리나라의 전력거래는 발전사업자가 보유한 발전기의 효율계수와 연료비 인자를 고려한 비용을 평가하여 입찰, 정산을 통해 전력거래가 이루어진다.

이러한 전력거래는 도입되기 전 이 제도의 도입 운영을 하고 있는 다른 나라의 사례에 대한 검토가 이루어졌으며, 전력산업구조개편특별법에 의해 2001년 발전부터 판매까지 수직적으로 통합되어 있던 한국전력에서 발전 6개사가 분사되면서 독립된 생산회사들과 구매회사간의 전력거래 필요성에 의해 비용평가성능시험 지침이 제정되었으며, 지금까지 운영되어오고 있는 실정이다.

이 당시 전력거래에서 비용평가제도(Cost Based Pool)에 대해서는 1, 2년 정도의 단기간에만 시장에 도입되고 양방향 입찰제도(TWBP : Two Way Bidding Pool)가 실현되면 수 년 안에 끝날 것으로 예상되었던 임시제도였지만 기대와는 달리 현재까지도 굳건히 이어져 오고 있다.

향후 2050년까지에 있어서도 지속 가능한 에너지의 안정적인 공급을 위해서는 경제적인 면과 환경적인 면을 고려되어 신재생발전, 수소발전, 탄소포획저장(CCUS : Carbon Capture Using and Storage)이 갖춰진 LNG복합발전 등 다양한 발전사업자와의 비용평가를 급전체계는 뚜렷한 대안이 없다면 계속 이어질 것으로 전망된다.

이러한 전력거래를 위해 가장 필요한 것이 발전기별 효율 계수를 산출하기 위한 시험이 필요한데, 이를 발전비용평가 성능시험이라 하며, 2001년 한국전력 분사이후 지금까지 이 시험은 공익성측면에서 전력 구매자로서 이해당사자이긴 하지만 한전 전력연구원이 담당해 오고 있는 실정이다.

그러나, 이 시험에 의한 효율계수 값에 의한 지표가 실제 운전되는 효율과 편차가 발생한다는 내용에 대해서는 이미 일반화된 사실이며, 이에 대해 끊임없이 정상화에 대한 요구 사항이 많았으나, 연결재무제표로 이루어진 발전회사와 한국 전력간의 이익의 균등한 분배를 위해 이에 대한 목소리가 축소되었다.

참고로 얼마나 차이가 나는지에 대해 남동발전에서 운영하고 있는 석탄발전기의 성능시험 효율과 실제 운전 효율에 대한 편차를 표로 나타내었다.

[표 1] 남동발전 성능시험 효율과 실제 운전 효율 비교

		성능시험 효율	실제 운전 효율	효율 편차
삼천포	#3	36.38	35.40	0.98
	#4	36.30	35.36	0.94
	#5	37.60	35.37	2.23
	#6	37.71	35.89	1.82
영흥	#1	38.44	36.31	2.13
	#2	38.23	36.83	1.40
	#3	38.53	37.94	0.59
	#4	38.59	36.87	1.72
	#5	38.65	37.05	1.60
	#6	39.06	37.23	1.83

통상 1 ~ 2 %p 정도 차이가 나고 심지어 2 %p 이상 차이가 나는 경우가 발생하는데, 만약 2 %p 정도의 효율차이가 발생하면 전기출력 및 연료의 열량에 따라 다르긴 하지만 대략 시간당 10t/h 정도의 편차가 발생할 것이며 연간으로 환산하면 8만 7천톤 정도의 연료에 대해 정산을 받지 못하는 것이며, 석탄 톤당 5만원의 구입비용을 고려한다면 43억정도의 손실이 발생한다.

이런 정산에서 누락된 금액은 1개 발전기에 대한 내용으로 만약 다수의 발전기를 보유한다면 또한 용량이 크고 단가가 높은 석탄을 구매하는 발전회사 측면에서는 상당한 이익의 침해를 받게 될 수 있다.

이러한 상황에 대한 논란이 끊이지 많았지만, 연결재무제표로 이어진 발전공기업과 한국전력 사이에서는 일정부분 수익을 보장하는 ‘정산조정계수’ 로 인해 더이상의 논란이 사라지게 되었다.

그러나, 민간에서 운영하고 있는 발전설비의 경우는 상황이 완전히 다르다. IMF이후 한국전력으로부터 분사된 GS와 워로부터 포스코파워, 최근 상업운전에 들어간 동해북평화력 등 수많은 민간사업자들이 정부의 장려책에 의해 공기업의 비효율적인 운영을 방지를 목적으로 발전부문에 진출 해 있으며 그 발전부문에 대한 설비용량 비율이 점점 확대되는 추세이다.

발전공기업에 적용되는 정산조정계수에서 자유로운 민간 발전에서는 이러한 운영 효율차이 대한 목소리를 끊임없이 내어왔고, 최근 SMP가격 하락에 따른 수익악화로 인해 경영난을 겪게 되면서 실제 운영효율에 따른 정상적인 비용을 정산을 받기 위해 노력을 하고 있다.

[표 2] 국내 민자발전 현황

회사명	발전소명	설비용량 (kW) ( )는 건설중 또는 건설 예정	사용연료	위치
포스코에너지	복합3-9호기	330,8만	LNG	인천 서구
	광양부생복합1-2호기	26,2만	부생가스	전남 광양-
	포항부생복합1-2호기	26,2만	부생가스	경북 포항-
	합계	383,2만		
GS EPS	당진복합1-3호기	144만	LNG	충남 당진
	당진복합4호기	95만	LNG	-
	GS당진 바이오메스	10만	바이오메스	-
	합계	154만(249만)		
SK E&S	광양복합	107,4만	LNG	전남 광양
	여주천연가스발전소	100만	LNG	경기 여주
	합계	107.4만(207.4만)		
평택ES	오성복합	83,3만	LNG	경기 평택
MPC울촌	울촌1,2복합	138,9만	LNG	전남 여수
동두천드림파워	동두천복합 1,2호기	171,6만	LNG	경기 동두천
포천파워	포천복합	145만	LNG	경기 포천
에스파워	안산복합화력발전소	83,4만	LNG	경기 안산
GS파워	안양복합	50만	LNG	경기 안양
	부천복합	50만	LNG	경기 부천
	합계	100만		
당진에코파워	당진에코 1,2호기	(116만)	유연탄	충남 당진
GS동해전력	북평회력 1,2호기	(119만)	유연탄	강원 동해
PMP	장유천연가스발전소	(180만)	LNG	경기 파주
통영에코파워	통영복합 1호기	(92만)	LNG	경남 통영
포천민자발전	대우포천복합 1호기	(96만)	LNG	경기 포천
신평택발전	신평택복합 1호기	(95,1만)	LNG	경기 평택
포스파워	포스파워 1,2호기	(210만)	유연탄	강원 삼척
강릉에코파워	강릉안인화력 1,2호기	(208만)	유연탄	강원 강릉
고성그린파워	고성하이화력 1,2호기	(208만)	유연탄	경남 고성
설비용량 합계		1366.8만(2885.9만)		

이 보고서에서는 비용평가 성능시험의 탄생배경과 효율계수 산정방법에 대해 살펴보고, 어떠한 요인이 시험결과 효율과 실제 운영효율하고 차이를 발생하는지와 현재 전력산업기술기준(KEPIC)에서 수행하고 있는 고체연료에 대한 비용평가 성능시험 규격(MPT46-CET) 개발내용을 소개하고 기존에 적용한 규격과의 차이점 및 실제 운전 효율을 반영여부에 대해 정성적으로 나타내고자 한다.

## 2. 비용평가 성능시험 탄생배경

2.1 앞서 기술되어 있듯이 2001년 분사 이후 선진국의 전력거래 사례를 접목하여 전력거래를 위해 발전기별 효율 특성을 산출할 필요성 때문에 여러 전문가 들이 모여 발전기 부하별 효율을 산출할 수 있는 시험 규격을 만들게 된다.

4.2.4 Plant 송전단 열소비율(열효율)의 산정은 다음 식에 의한다. 즉,

$$HR = \frac{Wf \times Hf}{Pnet \times f} \quad (\text{kcal/kWh})$$

$$\eta_p = \frac{860}{HR} \times 100 = \frac{Pnet \times 860}{Wf \times Hf} \times f \times 100 \quad (\%)$$

여기서, HR : Plant 송전단 열소비율 (kcal/kWh)

$\eta_p$  : Plant 송전단 열효율 (%)

Pnet : 송전단 전기출력 (kW)

Wf : 연료 사용량 (kg/h)

Hf : 연료의 고위발열량 (kcal/kg)

f : 보정계수 (무차원, 발전원별 고려 적용)

$$f = f_{ap} \times f_{at} \times f_{fw} \times f_{fm} \times f_{ft} \times f_{sp} \times f_{st} \times f_{fp}$$

( $f_{ap}$  : 대기압력 보정계수,  $f_{at}$  : 대기온도 보정계수,

$f_{fw}$  : 연료의 총수분 보정계수,  $f_{fm}$  : 연료의 수소성분 보정계수,

$f_{ft}$  : 발전기 역률 보정계수,  $f_{sp}$  : 주증기압력 보정계수,

$f_{st}$  : 주증기온도 보정계수,  $f_{fp}$  : 터빈 배기압력 보정계수)

[그림 1] 송전단 열효율 산정기준(시장운영규칙 발체)

그림 1에서 보듯이 비용평가 시험에 활용되는 효율을 산정하는 기준이 전기출력과 연료량의 함수인 입력 값과 출력 값의 관계임을 명확히 알 수 있다. 이러한 비용평가 성능시험 기준은 2018년 12월 27일 개정된 내용에서도 전력산업기술기준에서 관련한 성능시험 규격기준인 MPT 46 발전플랜트 성능시험을 기본으로 하고 있다고 명확히 밝히고 있다.

이 산정 기준을 자세히 살펴볼 필요가 있다.

2.1.1 대기압력

2.1.2 대기온도

2.1.3 연료의 총 수분

2.1.4 연료의 수소 성분

2.1.5 발전기 역률

2.1.6 주증기 압력

2.1.7 주증기 온도

2.1.8 터빈 배기압력

## 3. 기존 비용평가 성능시험 절차에 대한 고찰

3.1 2001년에 제정되어 현재까지 사용되어 오고 있는 발전 비용평가 성능시험 기준에서 실제 효율과의 편차를 설명하기 위한 항목들에 대해 기술하고자 한다.

- 3.1.1 연료 투입량 계량 문제
- 3.1.2 경계조건 내의 보정항목 적용문제
- 3.1.3 불분명 유량손실에 대한 반영문제
- 4. 실제 운전효율 반영을 위한 추가 고려사항
- 4.1 이상적인 효율로 운영이 불가능한 설비상태 반영
- 4.2 설비의 Ageing 적용

- 시험”
- [5] KEPIC MPT 4, 전력산업기술기준, 2017, “화력보일러 성능시험”
- [6] ASME PTC 46, 미국기계학회, 1996, “발전플랜트 성능시험”
- [7] KEPIC MPT 46, 전력산업기술기준, 2018, “발전플랜트 성능시험”
- [8] BP Energy Outlook 2020, British Petroleum, 2020.09
- [9] 성능일반, 한전KPS, 2008

## 5. 결론

5.1 현재 준용되고 있는 비용평가 성능시험 절차는 실제 운전 효율과 차이가 발생하게 되는 것이 당연해 보인다. 앞서 언급한 시험 경계 내에 존재하는 보정항목인 주 증기 온도, 압력, 터빈 배기 압력의 보정, 그리고 보조증기의 사용량에 대한 고려, 불분명한 유량 손실에 대한 고려, 석탄사용량에 대한 계측기의 불확실성과 보일러 출력에 있어서 주 증기 유량 산출의 기존 현장 유량계의 불확실성 문제로 인한 것으로 정리가 가능하다.

이러한 비용평가 성능시험 규격은 KEPIC을 통해 실제 운전 효율이 반영될 수 있도록 추진 중에 있으므로 2021년 새로운 규격 적용이 된다면 이해당사자간 이견 사항이 상당히 줄어들 것으로 보인다.

### 후기

산업통상자원부 시장운영과 및 한국전력거래소 시장운영팀 요청 『시장운영팀-40020001-12418(2020.09.28.)』에 의해 수행함

### 참고문헌

- [1] 비용평가 세부운영 규정, 전력거래소, 2020.07 “발전 비용평가 성능시험 기준”
- [2] 한국전력 통계, 한국전력, 2020.05, “민자발전 현황”
- [3] 석탄화력 운영정보(Geni), 남동발전, 2020.09, “운영 효율정보”
- [4] ASME PTC 4, 미국기계학회, 2013, “화력보일러 성능