



# 1,000 MW급 석탄화력 발전플랜트용 보일러 선정 및 계약에 관한 연구



윤기봉 / 플랜트학회 이사  
yoonkeeb@ewp.co.kr

승실대학교 기계공학과 학사  
한양대학교 플랜트엔지니어링 석사  
(현) 동서발전 사업처 중소기업지원팀 팀장

## 1. 서 론

한국전력공사는 2001년 4월 1일부로 발전부문을 분리하여 한국수력원자력을 포함한 화력발전 5개회사 즉 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전, 그리고 동서발전으로 분리한 후 전력생산부문에 대한 경쟁체제를 도입하였다. 이에 따라 분리된 각 발전회사는 전력시장에서 요구되는 발전 원가 낮추기 경쟁에 돌입하게 되었고, 우선적으로 비용을 줄일 수 있는 부문과 효율을 높일 수 있는 부문에 치중하다가 한계에 다다르게 되었고, 최근에는 근본적인 방법인 증기온도와 압력을 증가시켜 효율이 높은 발전설비를 건설 및 운영하는 추세로 나아가고 있다. 화력발전에서 효율이 높은 발전소를 건설하기 위해서는 랭킨사이클에서 보듯이 운전압력과 온도를 올리면 된다. 그러나 현실적으로는 고온 고압에 견디기 위해서는 소요되는 재질개발이 이루어져야 하나 구매비용이 고가이므로 경제성을 고려하지 않으면 소용이 없게 된다.

1,000 MW급 석탄화력 발전 플랜트는 아직 국내에 설치된 모델은 아니다. 산업자원부에서 2006년 9월 수립한 제3차 전력수급계획에 한국동서발전(주)에서 신청하여 수용된 당진화력 9,

10호기가 1,000 MW급으로는 최초로 설치되는 것으로 반영되어 있다. 최초로 설치되는 초초임계압 발전소 1,000 MW급 석탄화력 플랜트는 추후, 다른 발전회사에서도 추진하는 모델로서 표준화되는 아주 중요한 의미가 있다. 하지만 상기 석탄화력 플랜트를 추진하고 있는 동서발전(주)에서도 아직 확실한 기준을 갖고 있지 않아, 차후 주기기 선정 시 입찰 요건과 함께 효율 및 경제성에 대한 많은 의견이 있을 것으로 예상된다.

석탄화력 플랜트에서의 주기기라 함은 증기를 발생시키기 위한 보일러 및 발생된 증기를 가지고 터빈을 돌려 전기를 생산하는 터빈/발전기를 말한다. 나머지 보조기기들은 BOP(Balanced Of Package)품목이라 하여 별도로 구매하게 된다. 초초임계압 발전소를 설계함에 있어 주증기 조건을 올리는 일은 주기기 설계가능여부와 경제성이 관건이다.

발전소를 설계하는 일은 주기기인 보일러 및 터빈/발전기를 선정하는 일부터 시작된다. 주기기가 선정되고 나면 주기기 성능을 보장하기 위해 BOP품목의 설계기준이 되며 이러한 설계기준이 보조기기를 발주 구매할 기술규격서가 된다.

본 연구에서는 이러한 보일러를 선정함에 있어 최고의 효율과 설비신뢰성을 확보하고 경제성을



확보하기 위하여 국내에서 운영되고 있는 영흥화력 1, 2호기(800 MW) 및 당진 5, 6호기에서 발생된 문제점을 조사하고, 세계적으로 운영되거나 제시되고 있는 모델 설비들을 연구 검토하여 신규로 선정하고자 하는 초초임계압 발전소 1,000 MW급의 보일러 형식에 대한 최적의 표준모델을 제시하고, 국내업체와 계약 시 WTO 체제하에서 제기될 수 있는 국제분쟁을 피하고, 국내 발전플랜트 산업 육성을 위한 공동연구 개발 및 수의계약 모델을 제시하고자 한다.

## 2. 보일러 설계관련 일반사항

### 2.1 설계탄 및 범위탄

석탄 규격을 표 1에 나타내었다. 표 1에서 보는 바와 같이 5개 발전회사가 제공한 2004년도 입하탄 128개 탄종 중 장기계약탄, 주력탄, 대량입하탄을 중심으로 선정한 64개 탄종의 분석표를 기준으로 석탄의 성상이 보일러 및 부대설비 설계와 운전애 미치는 영향을 검토하였다.

도입되는 탄종 중 일부탄은 소량이고 특별한 값을 지니고 있어 전체적인 대표성을 갖추기 어렵고, 모든 탄을 대상으로 할 경우 설비가 비싸지게 되므로 제외되었다. 그러나 석탄 수급 상 규격외 탄이 입고될 경우가 있으므로 그럴 경우는 발전회사 자체적으로 발전기 출력을 낮추어 운전하거나 혼탄을 하여 극복해 나가는 방법을 대응책을 만들어 운영할 수 있다.

### 2.2 보일러 열부하

보일러 설계를 위한 연료입열 및 순수입열에 대한 산식은 아래와 같다. 연소된 연료에 의해서 발생하는 열량을 연료 입열(Fuel Heat Input : FHI)이라 하며 산식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{입열 (Fuel Heat Input : FHI)} \\ = \text{연료소비량} \times \text{연료발열량} \end{aligned}$$

연료입열에서 손실을 제외한 열량을 순수 입열(Net Heat Input : NHI)이라고 하며 산식은 아래와 같다.

$$\text{순수입열 NHI} = (H_f + H_a) - (L_r + L_u + L_w)$$

$H_f$  : 연소된 연료에 의해 발생한 열량

$H_a$  : 20°C 이상 예열된 연소공기에 의한 열량

$L_r$  : 방열손실

$L_u$  : 미연탄소분에 의한 열량 손실

$L_w$  : 수분의 증발잠열에 의한 손실

(1) 노 단면적 열부하율[NHI/PA 또는 FHI/PA, kcal/(m<sup>2</sup> · h)]

연료입열(또는 순수입열)을 노 평면으로 나눈 값으로 세계 각 발전소의 노 단면적 열부하율 경험치와 두산을 비롯한 각 제작사의 경험, 발전소에 사용되는 연료의 다양성을 고려했을 때 노 단면적 열부하율은 4.30 × 10<sup>6</sup> kcal/(m<sup>2</sup> · h) 이하의 설계가 적합한 것으로 평가된다.

(2) 노 체적 열부하율[FHI/VOLUME, kcal/(m<sup>3</sup> · h)]

연료입열을 노 체적으로 나눈 값으로 국내 수입탄과 유사한 산지의 석탄을 연소하는 세계 각 발전소의 요구치와 제작사의 경험으로 볼 때, 현재 기준인 84,000 kcal/(m<sup>3</sup> · h)는 다소 여유(약 15% 정도)가 있으나 미연탄소분 및 질소산화물 저감을 위한 보다 여유 있는 공간 확보를 고려할 때 현재기준이 적합할 것으로 평가된다.

(3) 투영면적 열부하율[NHI/EPRS, kcal/(m<sup>2</sup> · h)]

순수입열을 유효투영 복사면으로 나눈 값으로, 투영면적 열부하율은 현재 기준 200,000 kcal/(m<sup>2</sup> · h)이 적절하며 최초 대류열 전열면적 입구에서 연소가스 온도는 회 초기 용융온도(IDT)이하가 되어야 한다.

(4) 버너 주위면적 열부하율[FHI/버너지역 면적, kcal/(m<sup>2</sup> · h)]



〈표 1〉 발전회사에 입고되는 탄의 성상범위

탄의 성상	단위	설계탄	범위탄
총수분(연소기준)	% WT	11	Max. 18
공업분석(기건기준)			
수분	% WT	5	Max. 11
휘발분	% WT	23	Min. 22
고정탄소	% WT	57	Max. 60
회분	% WT	15	Max. 18
황(기건기준)	%	0.7	Max. 1.0
연료비(기건기준)	FC/VM	-	-
분쇄도	HGI	45	Min. 40
원소분석 (무수기준)			
탄소	% WT	70	-
수소	% WT	4	Min. 3.6
질소	% WT	1.7	Max. 1.9
산소	% WT	7.9	-
황	% WT	0.6	0.4 - 0.8
회	% WT	15.8	-
고위발열량			
인수식	kcal/kg	5,970	Min. 5,450
기건식	kcal/kg	6,370	Min. 5,700
무수식	kcal/kg	-	-
회분석			
SiO <sub>2</sub>	% WT	57.4	32 - 82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% WT	29.2	12 - 41
TiO <sub>2</sub>	% WT	1.3	0.1 - 3.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% WT	4.4	0.4 - 16
CaO	% WT	2.7	0.1 - 18
MgO	% WT	0.9	0.1 - 4.1
Na <sub>2</sub> O	% WT	0.3	0.02 - 2.0
K <sub>2</sub> O	% WT	0.7	0.1 - 3.2
기타	% WT	3.1	-
회용점 온도	℃	1,250	Min. 1,150
크기(직경)	mm	40	-

연료입열을 버너지역면적으로 나눈 값으로, 노내 슬래그 발생 및 질소산화물(NOX) 발생에 대한 평가기준으로 사용되며 최근 시운전 결과에 의하면 clinker생성의 원인으로 의심되므로 여유 있는 설계를 요구할 필요가 있다.

### 2.3 석탄발전소 국내 운영현황

국내 증기조건을 개선하여 운영 중인 발전소를 방문하여 설비 문제점 현황을 조사한 결과, 보일러 일부 용접부에서 용접결함에 의한 누설로 운전 정지된 사항과 일부 구역에서 열응력에 의한



손상사고가 있었으나 국부적인 설계변경을 수행하여 개선을 완료하여 정상 운전 중에 있었으며 치명적인 설계결함은 발견되지 않았다.

국내에서 운영 또는 건설 중인 발전소의 증기조건을 표 2에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 drum type에서는 주증기 압력이 169 kgf/cm<sup>2</sup> 로 설정되나 초임계압 보일러에서는 246 kgf/cm<sup>2</sup> 로 높아졌고, 증기조건은 주증기 온도가 538℃에서 566℃로, 재열증기 온도는 538℃에서 593℃로 상승되었음을 알 수 있다. 상기 내용은 500 MW급 이상만 나열한 것이며, 한국형 표준 석탄화력은 500 MW급 246 kgf/cm<sup>2</sup>, 538/538℃ 로 총 22기가 운전되고 있다.

### 3. 최근 보일러 설계제작 기술수준

#### 3.1 증기온도 고온화 설계관련 외국 동향

Advanced supercritical 혹은 Ultra Super Critical(USC) 발전소는 효율향상과 이에 따른 연료절감, CO<sub>2</sub>배출량 감소, ash 감소, 온배수 배출

량 감소 등의 효과가 있다. 이에 따라 각국에서는 증기온도의 고온화 추진경쟁이 이루어지고 있으며 주로 미국, 유럽 그리고 일본이 주도하고 있다.

#### (1) 미국의 기술 동향

미국에서는 초초임계압 발전소에 대한 관심이 그렇게 높지 않았으나 일본과 유럽의 연구개발에 자극받아 전력연구소(EPRI)를 중심으로 하여, 1985년에 대규모 프로젝트를 발주하였으며 이결과 1993년에 316 kgf/cm<sup>2</sup>, 593/593℃가 건설된 바 있다. 이후 발전소 효율향상에 관심이 고조됨에 따라 최근 EPRI를 중심으로 다시 증기조건 개선 연구를 진행하고 있으며, 미국 에너지성은 21세기를 발전설비 효율극대화의 시대로 보고 기존 기술 및 신기술의 항목별 목표 효율치를 설정한 “The Department Energy’s Clean Coal Power Program”을 운영하고 있다. 2007년 현재 미국에서 수행중인 중앙집중식발전기술에 대한 연구 중인 “Vision 21” 프로그램은 미국 에너지부에서 추진 중인 종합적인 에너지 장기 프로그램으로서

<표 2> 국내에서 운영 또는 건설 중인 발전소의 증기조건

플랜트 명	용량 [MW]	준공년도	주증기압력 [kgf/cm <sup>2</sup> ]	증기조건(℃)	
				주증기	재열증기
삼천포#1, 2	560	1983, 84	169	538	538
보령 #1, 2	500	1983, 84	169	538	538
보령 #3~6	500	1993~94	246	538	538
삼천포 #3, 4	560	1993, 94	169	538	538
삼천포 #5, 6	500	1997, 98	246	538	538
태안 #1~6	500	1995~02	246	538	538
당진 #1~4	500	1999~01	246	538	538
하동 #1~6	500	1997~01	246	538	538
영흥 #1, 2	800	2004	246	566	566
당진 #5~8	518	2005~7	246	566	593
태안 #7, 8	550	2007~8	246	566	593
보령 #7, 8	550	2007~8	246	566	593
하동 #7, 8	518	2007~8	246	566	593
영흥 #3, 4	870	건설중	246	566	593



현재 기술로서는 도달하기 힘든 목표를 설정하고 연구를 진행 중에 있으며, 2001년부터 연구구가 시작된 “power plant improvement initiative” 등이 있으며 구체적인 내용은 표 3과 같다.

**(2) 유럽의 기술 동향**

유럽에서는 1983~1997년 기간에 “COST (European Co-Operation in Scientific & Technical Research) 501” 연구 프로그램으로 화력발전소의 효율향상에 대한 연구가 도달목표 300 kgf/cm<sup>2</sup>, 600/600℃ 로 진행되었으며, 연구 결과를 바탕으로 일본의 신재료 기술을 적용하여 Esbjerg #3(245 kgf/cm<sup>2</sup>, 560/560℃)의 상업운전을 1992년 개시하였으며, 특히 덴마크에서는 219 kgf/cm<sup>2</sup>, 580/580℃의 증기조건으로 400 MW급 Nordjylland 와 Skaerbaek발전소를 1997년도에 준공하여 상업운전 중에 있다.

COST 501 프로그램 완료후 300 kgf/cm<sup>2</sup>, 620/650℃를 최종 도달 목표로 하여 “COST 522” 연구 프로그램이 진행 중에 있고, 영국과 독일의 Siemens에서는 300 kgf/cm<sup>2</sup>, 700/720℃에 도달하는 것을 목표로 Thermie 프로젝트가 진행 중이며 주요 내용은 다음과 같다.

1) Thermie 프로젝트 시작 배경

“COST 501 프로그램” 개발 이후, European

Commission(이하 EC) 및 발전설비 업체의 주요 제작자 그룹과 유럽의 선도적인 전력회사들이 모여, EC에서 700℃ 증기온도의 미분탄 PF (Pulverised Fuel) 발전소에 대한 기획탐색 연구에 대한 자금지원을 결정하였고, 이 기획탐색연구를 통해 기술, 상용화, 경제성에 대한 긍정적인 결과를 발견하였다. 즉 효율증가에 의해 약 15%까지의 배출가스 감소가 가능한 것으로 결론이 났다.

1996년 가을에 EC는 700℃ 급 1,000 MW급 USC 석탄발전소 실증을 위한 과제 제안을 요청하였고, 최종 40개의 유럽회사들이 참여하였고, 연구는 1998년에 시작되었으며, EC와의 계약은 1998~2003년 말까지의 1차 2Phases까지를 담당하며, 총 연구비는 약 21백만 EURO(£) 이다.

2) 연구 목표

증기조건은 주증기 압력 382 kgf/cm<sup>2</sup>, 주증기 및 재열증기온도를 각각 700℃ 및 720℃로 상승시키고 발전소 효율을 55%까지 올리는 것으로 되어 있고, 발전소 용량은 400~1,000 MW 급으로 추진하고 있으며, 1단계 핵심기술개발 내용은 아래와 같다.

- ① 증기조건에 필요한 합금 및 제조기술의 개발
- ② 제조설비 능력 실증, 재료특성 적합성
- ③ Ni기 초 내열합금으로 제작되는 설비의 소형화 설계

**<표 3> 미국의 발전 및 에너지 관련 중요연구과제 현황**

과제명	연구목표	완료년도
“vision 21” energy plant of the future	효율 - 석탄 : 60% 고위발열량 - 가스 : 75% 저위발열량 - 열병합 : 85~90% Thermal 공해배출 - 대기/수질오염 : zero - CO <sub>2</sub> : 포집기술 이용 시 zero	2015년
power plant improvement initiative	큰 폭의 효율향상 - 발전효율/공해배출 감소 가격경쟁력 확보 신뢰성 평가는 개도국에서 진행	2007년



- ④ 신기술에 대한 경제성, 상업성, 환경 및 규제에 대한 실증
- ⑤ 보일러 및 터빈용 신재료의 장시간 특성 실증

**(3) 일본의 기술 동향**

일본은 USC발전소 기술단계를 Phase I, Phase II 단계로 나누어 추진하였다. 1983~1994년까지 추진된 Phase I, step 1에서의 목표 열효율은 당시 일본 표준 화력발전소 base인 246 kgf/cm<sup>2</sup>, 538/566℃보다 증기조건을 320 kgf/cm<sup>2</sup>, 593/593/593℃으로 높이고 2단 재열기를 채택하여 효율은 base보다 5.0% 더 높은 44.2%이며 step 2에서는 step 1보다 더 높은 44.9%의 열효율을 목표로 하였다.

일본의 USC 발전소 연구 step 및 개발목표를 표 4에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 1994년부터 추진된 Phase II 단계에서는 상용화와 경제성을 고려하여 Phase I step 2 보다 증기조건이 낮아지고 1단 재열기를 도입하였다. 보일러 부품 최종 과열기/재열기의 전열관을 제외하고는 터빈과 보일러에 경제성과 발전소 운전효율을 동시에 높일 수 있는 페라이트계 재료를 적용할 수 있도록 306 kgf/cm<sup>2</sup>, 630/630℃를 목표로 하였다. 효율 및 석탄 절감량 항목은 기존 발전소 기준으로 한 값이다.

Phase II의 열효율은 Phase I step 2 보다 낮은 44.16%를 목표로 하였다. 최근까지 1단 재열

방식을 위주로 재열증기 온도만을 566 로 높여 적용하였으며, 1989년 316 kgf/cm<sup>2</sup>, 566/566/566℃ 조건의 Kawagoe #1 700 MW 발전소를 준공하였다. 1993년에는 그간의 재열증기 온도 개선 경험을 바탕으로 246 kgf/cm<sup>2</sup>, 538/593℃ 조건의 Hekinan #3 700 MW 발전소 및 246 kgf/cm<sup>2</sup>, 593/593℃ 조건의 Mstsuur #2 1,000 MW급 발전소를 준공한 후, 현재 일본에는 20여기의 USC 발전소가 가동 혹은 건설 중에 있으며, Tachbanawan 2호기는 2002년 현재 세계 최고의 증기온도 255 kgf/cm<sup>2</sup>, 600/610℃를 보이고 있다.

일본은 593℃ 보일러가 현재 실용화되어 있으며, 각 민간발전소 및 J-Power가 발전설비 제작사 등과 연합하여 1994~2000년 연구기간 중 도달목표를 300 kgf/cm<sup>2</sup>, 630/630℃로 설정하였지만 2000년까지 보일러와 터빈재료의 실증문제로 630℃에 도달하지는 못하였고, 재료문제 해결을 위해 1997년 NRIM(National Research Institute for Material)내에서 350 kgf/cm<sup>2</sup>, 650℃급 페라이트계 내열강 개발/실용화를 목표로 “STX-21” 프로젝트를 수행하고 있다.

**3.2 국내 제작사 설계기술 현황**

두산중공업은 한국중공업 시절부터 한국전력공사의 발전설비를 거의 독점적으로 수주 및 반복적으로 제작 공급하여 500 MW급 표준화력 발전

〈표 4〉 일본의 USC 발전소 연구 단계 및 개발목표

항 목	기존발전소	Phase I (1983~1994)		Phase II (1994~2000)
		step 1	step 2	
주 사용재료	페라이트 계	페라이트 계	오스테나이트 계	페라이트 계
증기압력 (bar)	241	314	343	300
증기온도 (℃)	538/536	593/593/593	649/593/593	630/630
설계발전단 효율(%)	42.1	44.2	44.9	44.16
효율향상, %	Base	5.0	6.5	4.8
연간 석탄절감량 (ton)	Base	96,000	175,000	95,000



시장에서는 독보적인 존재이지만, 국내발전시장에만 치중하여 새로운 USC 보일러를 개발하는데 다소 어려움을 겪고 있으나, 최근 보일러 기술 원청업체인 Babcock을 인수하여 설계 및 엔지니어링 능력 향상 및 전문 연구조직을 가동시키는 등 많은 발전을 하고 있다.

두산중공업은 선진국과의 경쟁력을 확보하고 세계 발전시장 개척을 위해 산자부와 협력하여 1,000 MW급 차세대 화력발전기술(265 kgf/cm<sup>2</sup>, 610/621℃) 개발을 추진하고 있다. 다른 나라에서 일부 상용화된 250 kgf/cm<sup>2</sup>, 600/600℃ 증기조건은 발주자가 채택하기에는 부담이 적을 수 있으나, 약 5%의 추가 비용을 증가시키면 265 kgf/cm<sup>2</sup>, 610/621℃의 증기조건이 가능하고 세계 시장에서 유리한 위치를 선점할 수 있다고 보고 있다.

증기조건을 265 kgf/cm<sup>2</sup>, 610/621℃으로 격상하기 위해서는 증기조건에 견딜 수 있는 재질을 적용해야 하나, 두산중공업에서는 경제성을 확보하기 위해서 개별 버너 공기량 조절형 대향연소 보일러를 채택하고, 최고메탈온도 저감을 위한 깊이 방향 오리피스 설계 등 metal 온도 최적화 설계기법으로 superalloy 적용 없이 경제적이고 안전한 설계가 가능하다고 주장하고 있으며, 향후 기후변화 협약에 대비 효율이 높은 발전소를 건설하여야 석탄 소모량이 적어지고 그에 따른 이산화탄소 배출량도 적어진다.

당진 5, 6호기 및 차세대 USC 보일러를 비교하여 표 5에 나타내었다. 표에서 보듯이 연료를 같은 조건으로 사용할 경우 기존 당진 5, 6호기와 비교하여 1,000 MW급 차세대 화력발전기술은 약 7.25%의 탄소저감량을 달성할 수 있다고 한다. 이는 차세대 화력발전기술이 세계발전시장에서 주력발전시스템으로 부상할 수 있을 것으로 예상된다.

#### 4. 1,000 MW급 보일러 선정 및 계약방안

세계적으로 1,000 MW급 발전소 운영현황은 일본 제조업체들이 가장 앞서고 있다. 현재 상업운전 중인 발전소와 건설 중인 발전소도 일본이 압도적으로 많다. 이러한 세계시장에서 통용되고 있는 현재의 기술과 기후변화 협약에 따른 앞으로의 차세대 발전기술에 대해 적용여부를 검토하고, WTO 체제하에서 제기될 수 있는 국제분쟁을 회피하면서 국내업체가 참여할 수 계약방안을 제시함으로써, 국내 발전플랜트 산업을 육성하고 세계시장으로 진출할 수 있는 방안에 대해 검토하였다.

##### 4.1 보일러 증기조건 및 형식선정

###### (1) 온도 및 압력조건

한국전력기술(주)에 용역을 발주하여 검토한 결과, 당진화력 9, 10호기의 증기조건을 250 kgf/

〈표 5〉 당진 5, 6호기 및 차세대 USC 보일러 비교

항 목	당진5,6호기	차세대 USC(개발중)
정격출력[MW]	500	1000
설계연료	호주산 유연탄	호주산 유연탄
주증기압[kgf/cm <sup>2</sup> ]	246	265
증기온도[℃]	566/593	610/621
연료소모량[ton/h]	169.5	314.4
발전열효율[%HHV]	41.41	45
CO <sub>2</sub> 방출량 ton/MW-yr]	4,735	4,391



cm<sup>2</sup>, 600/600℃로 할 경우 현재 상업운전중인 1,000 MW급 화력발전소를 기준으로 3개사 이상의 운영실적을 확보하고 있어 안정성과 고효율을 동시에 만족할 수 있는 최대 증기조건인 것으로 검토되었다.

그러나 국내 제작사인 두산중공업에서는 기후변화에 따른 지구온난화 방지를 위한 국제협약에 따라 이산화탄소 발생저감을 위해 점차 고효율화 발전소로 이행하게 될 것이고, 위험(risk)을 줄이기 위해 상용화된 보일러 재질을 활용함으로써 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 범위의 증기조건인 265 kgf/cm<sup>2</sup>, 610/621℃ 하여야 현재상태에서 효율을 극대화할 수 있고, 세계시장에서 가장 경제적인 표준모델로 기술 자립할 수 있게 된다.

이렇게 될 경우 우리나라의 각 발전회사는 가장 경제적인 발전소를 공급받을 수 있고, 발전회사간 기술교류를 통한 운전 및 정비능력 향상으로 가장 효율적인 발전소를 운영할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 산자부 및 두산중공업이 추진하고 있는 차세대 화력발전모델의 증기조건인 265 kgf/cm<sup>2</sup>, 610/621℃로 선정할 것을 추천한다.

### (2) 보일러 형식별 특성 검토

보일러 형식은 드럼형 보일러와 관류형 보일러로 대별된다. 드럼형 type의 보일러는 운전압력이 아임계압인 약 200 kgf/cm<sup>2</sup> 이하에서 사용되며 초임계압이 되면 물과 증기의 비중이 거의 차이가 나지 않아 기수분리가 이루어지지 않으므로 사용할 수 없게 된다.

따라서 초임계압 보일러에서는 관류형 보일러를 사용하게 되며 사용연료, 열팽창, 전열면 배수, 공사비 등을 고려하게 연소로를 결정하게 되는데 연소실의 형태에 따라 1 Pass Type 또는 2 Pass Type으로 분류한다.

1 Pass Type이 운전이 용이하고 사용연료 범위가 넓어 대응력이 뛰어난 장점은 있지만, 대용량

으로 갈수록 2 Pass Type이 보일러 높이가 낮아지고 경제적이며, 기저부하를 담당하게 되므로 급격한 운전변화가 거의 없으므로 1 Pass Type의 장점을 거의 상쇄할 수 있게 된다. 따라서 1,000MW급 보일러에서는 2 Pass Type의 보일러를 선정하게 된다.

### (3) 연소방식 비교 검토

연소방식은 보일러에 설치된 버너의 위치와 연료 분사 방향에 따라 수평, 수직 및 코너 연소방식으로 구분되며, 이는 연료의 종류와 연소특성이 다르기 때문에 각기 다른 연소방식을 채용하고 있다.

## 4.2 국내 산업 육성을 위한 계약모델

동서발전(주)에서 발주할 예정인 1,000 MW급 화력발전플랜트의 증기조건은 아직 확정된 바는 없다. 그러나 가야할 길은 2가지로 압축되어 보인다. 첫 번째는 세계적으로 안전하게 운영되고 있는 동일 용량의 발전플랜트를 모델로 하여 플랜트 제작 가능한 3개 이상의 업체를 참여시켜 경쟁을 통한 가격하락을 유도하여 신뢰성과 경제적인 발전소 건설을 수행하는 방법이다. 두 번째 방법은 미래의 기술을 선점하기 위해서 국내 발전플랜트 제작업체가 개발 가능한 범위를 정하고 관련업체와의 수의계약을 시행하여 공동 연구 개발하는 형태로 하는 방법이다.

첫 번째 방안은 발주자 측면에서 보면 가장 안전성이 있고 보수적인 방법으로 생각되지만, 국내 발전플랜트 산업이 육성될 여지는 거의 없다. 더 나아가 발전플랜트의 설계 및 운영기술이 종속되어 국가 경쟁력을 키우기에는 역부족이므로, 두 번째 방법인 국내 발전플랜트 제작업체와의 수의계약을 하되, 제1안에서 결정될 수 있는 예상금액으로 결정하여 발주자도 손해 보지 않으면서 국내제작사는 최고 수준의 발전소 설계 제작능력을 보유하게 됨으로서, 향후 국내에서 건설되는 발전



소의 표준 모델화함으로써 경쟁력을 확보하고 더 나아가 수출 모델로 발전시켜 나감으로서 발주자 및 국내 제작사가 모두 Win-Win하는 계약 모델로 국제 경쟁력을 얻는 분야에 대해 기술하고자 한다.

### (1) 국내 제작사와의 수의계약 방안

현재는 OECD 가입국으로 원칙적으로 수의계약 요건이 되지 않는다. 현행 규정으로 하면 두산중공업은 1,000 MW급 발전소 설계 제작 및 운영경험이 없어 입찰 참가 자격이 되지 못한다. 이러한 상황을 방지하면 거대한 자금이 소요되는 향후 발전플랜트 시장은 일본 제작업체가 독주할 가능성이 아주 많다. 일본은 발전회사와 제작업체가 공동 투자 및 협력하여 동급 용량의 발전플랜트를 건설 운영한 경험이 있고 유럽에 비해 지리적으로 유리하여 가격 경쟁력이 있기 때문이다.

이러한 상황에서 수의계약으로 추진하기 위해서는 동서발전(주)가 국내 발전플랜트 제작사인 두산중공업과 리스크(Risk)에 따른 적정한 비율과, 두산중공업은 설계 제작 분야를 담당하고, 발전회사는 시운전 및 운영분야에서 수행할 역무로 구분하고, 공동 투자하여 회사를 설립하거나 건설계약 약정을 맺는 방법이다.

### (2) 계약조건 미달성에 대한 조치

국내제작사와 발전회사간 상호 Win-Win 하기 위해 출발하였다고 하나, 계약조건을 충족하지 못했을 경우에 대비 처리기준을 상호 합의하여 계약조건에 반영하여야 한다. 국내 제작사 입장에서 보면 자체적인 시험용 플랜트를 만들지 않고 최고 수준의 운전원을 동원하여 자체 설계 제작한 발전플랜트를 시운전을 수행할 수 있는 좋은 기회가 된다. 따라서 계약조건을 충족하지 못하는 경우에도 동급 수준의 발전소 대비 더 경제적인 가격으로 공급되어 발전사에 이익이 될 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 예를 들면 계약된 온도

및 압력조건보다 낮게 운전하게 될 경우라도 최고 수준의 효율을 유지할 수 있도록 지속적인 설비보강을 지원하여야 한다.

### (3) 발전회사의 효율적 인력 운용의 극대화

동서발전(주)는 최근 당진화력 5~8호기 건설 및 시운전을 거치면서 발전플랜트에 대한 우수한 인적 자원을 가지고 있다. 특히, 제어설비 운용 능력은 제작사가 보유하기 어려울 뿐 아니라 발전플랜트를 운용해 보지 않고서는 습득하기 어려운 분야다. 외국 제작사는 유사한 발전 플랜트를 건설하고 시운전하면서 얻은 지식을 후속 호기 프로젝트에도 시운전 감리자를 파견하고 여기에서 얻은 지식을 데이터베이스화함으로써 설계능력과 운용능력을 함께 보유하는 경우가 많다. 발전회사의 운용능력인 연소장치의 현장 tuning분야, 플랜트 자동제어의 fine tuning 등과 제작사 설계능력을 합쳐 아역청탄 최적혼소 기술, 최적 연소 기술등을 확립할 수 있다.

### (4) 건설기술 해외동반 진출 활성화 방안

제작사에서는 Huge Block 제작/운반/인양/시공 등 획기적인 공기단축 기술을 개발할 필요가 있으며, 사업관리 능력을 고도화, 첨단 과학화를 추진하여 선진국 수준으로 Upgrade할 필요가 있다. 발전회사는 국내 제작사와 동반자로 사업 수행을 하게 되기 때문에 건설 분야 종사자들이 지속적으로 프로젝트를 수행할 여건이 되기 때문에 기술이 사장될 우려가 없다. 발전회사 입장에서는 국내 발전소 운영기술을 한 단계 뛰어넘어 국제적 경영기법을 배우고 직원들의 수준을 한 단계 끌어올리게 되면 노사문제에 도움이 될 수 있으며 창의적인 생각을 가진 직원들이 늘어나면 회사발전은 자동적으로 이루어 질 수 있다.

### (5) 자긍심 및 신속한 A/S

아울러 국내 제작사가 아닌 해외 제작사가 수행



할 경우 대비, 국부유출을 막게 될 뿐 아니라 증기 조건이  $265 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $610/621^\circ\text{C}$ 로 격상되었으므로 효율이 대폭 증가하여 향후 한층 강화될 이산화탄소 발생 저감을 위해 주목받는 발전플랜트로 자리매김함으로써 해외 플랜트 수출기회를 크게 확대할 수 있을 것으로 판단된다.

발전사는 국내 원청기술을 가진 제작사를 보유하게 됨으로 신속한 A/S(고급 서비스)를 받게 되며 이 프로젝트를 바탕으로 해외 진출에 진출할 야심이 큰 두산중공업은 당진프로젝트에 전심전력을 기울이게 되고, 문제점 조치나 후속기에 철저한 feedback을 통하여 점차 완벽한 프로젝트로 발전시켜 갈 수 있을 것이다.

## 5. 결 론

우리나라에서는 제작사인 두산중공업은 아직 1,000 MW급 석탄화력 보일러를 설계 및 시공한 적이 없고 발전회사도 운영을 해 본 적이 없다. 표준석탄화력인 500 MW급 발전소 및 800 MW급 영흥화력발전소에서 겪었던 문제점들이 많이 있었고, 시행착오를 겪었지만 개선방안을 만들고 후속조치를 수행함에 따라 잘 운영되고 있다.

따라서 향후 건설되는 석탄화력 보일러의 증기 조건은 3개 업체 이상의 운전 실적이 있는  $250 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $600/600^\circ\text{C}$  모델설비를 경쟁 입찰로 수행하여 가격 경쟁력을 확보하는 것도 중요하지만, 다소 도전적으로 차세대 주력모델이 될 수 있는  $265 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $610/621^\circ\text{C}$ 로 선정하여 공동 수

행방안을 만들고 국내 제작사와 건설계약을 체결하여 국내 제작사와 운영능력을 가진 발전사가 협조하여 노력함으로써 설비 신뢰성 및 플랜트 종합효율을 45% 수준까지 확보할 수 있다고 판단된다.

1,000 MW급 USC 보일러 발전설비에 대한 기본적인 조건은  $265 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $610/621^\circ\text{C}$ 로 하고 고효율의 경우 발전 우선순위에 따른 기저부하로 운전이 예상되므로, 제어계통이 다소 복잡해지더라도 문제가 없으며 보일러의 형식은 건설의 용이성 및 경제성을 확보하기 위해 1 Pass type보다는 2 Pass type의 보일러로, 연소방식은 tangential firing 방식이 다소 유리할 것으로 보이나, 가격이 비싸지게 되므로 경제적으로 유리한 horizontal firing 방식을 채택하여 문제점을 보완하는 것이 경제적으로 유리할 것으로 판단된다.

국내 제작사인 두산중공업에서는 USC 발전소 기술개발을 위해 연구노력하고 있고 이번 당진 9, 10호기에서 참여하지 못한다면 공급 실적을 갖기 어려워지게 되고, 향후 해외에서 발주되는 막대한 물량에서 입찰자격 등 경쟁력을 갖추는데 상당한 어려움을 겪게 될 것이다. 따라서 다소 어렵더라도 공동개발 및 건설 등 계약조건을 만들어 국내 제작사를 참여시켜 공동으로 건설하게 된다면 발전플랜트 수출이 대폭적으로 늘어나게 되는 등, 국내 발전플랜트 산업을 크게 육성하는 결과를 가져오게 되며 국내 기업의 경쟁력 향상으로 국가적으로도 크게 도움이 되는 일이 될 것이다. (KIPEC)