

보일러 본체 지지장치 하중교정 시스템 설계

° 박 종범*, 배 병홍*, 이 상국*, 최 종기**, 백 수곤***
 *한국전력공사 전력연구원 ** (주)빌테크놀러지 *** (주)한국발전기계

Design of the Boiler Load Distribution System

° Jong Beom Park*, Byung Hong Bae*, Sang Guk Lee*, Jong Ki Choi**, Soo Gon Baek***
 *Korea Electric Power Research Institute **Billtechnology INC.Co.,Ltd ***Korea Power IND.Co.,Ltd

Abstract - Due to the long time operation of the thermal power plant boiler, the load redistribution of the sling rods is occurred. To enlarge the sincerity of the boiler, measuring and adjusting the actual load of the sling rods is required. The original targets were reached from the 1-year-study. Survey related to the load distribution system for the boiler, systematic design of the hydraulic unit and hydro cylinder, detailed design of the hydraulic unit and hydro cylinder.

1. 서 론

한전에서는 운전기간 15년이 넘는 노후 발전소를 대상으로 보일러 본체 지지장치 하중 교정을 수행기로 결정하고, 관련 비용 절감을 통한 경영개선을 위하여 화력 발전용 보일러 본체 지지장치 교정기술개발을 목표로 보일러 최상부인 Pent House내 지지장치의 하중을 측정하는 유압 및 디지털 자동 측정 시스템과 측정된 하중을 분석하여 필요한 교정작업을 수행하는데 필요한 설비로서 아직 국산화되지 못한 자동 하중교정 장치를 개발하려고 하고 있으며, 그 일환으로 지지장치 하나에 20~100톤이 넘는 하중이 작용하는 대용량 볼트가 보일러 상부 seal plate와 S/H, R/H, Water Wall Tube 등의 튜브 Bank에 상호 연결되어 있어서 이들의 역학적 상관관계를 구명한 후 단일 볼트에 작용하는 하중을 변화시켰을 때 연결되어 있는 타 볼트의 하중 전이량이 얼마나 되는지를 평가하여 최종 소요량의 하중값을 얻을 수 있도록 하중 평가작업을 수행하였다. 이러한 교정기술은 이미 영국 및 프랑스 등에서 발전설비의 응력해석 및 수명평가 업무를 수행하는 업체에서 사업화에 성공하여 세계시장에 공급하고 있다.

우선 개발될 장비의 현장 사용 시에는 개발한 프로그램과 외국에서 수입된 유압 측정 및 교정 장비를 이용하여 수행할 것이며, 이를 근거로 보일러 본체 지지장치를 개발할 것이다. 보통 교정 작업들은 지상 80m 이상인 보일러 최상부에는 강한 비바람이 몰아치고 있고, 임시 작업용 발판을 타고 다니며 중량물을 사용해야 하므로 작업의 안전성이 절대적으로 요구된다. 아직까지 너트를 자동 회전시키는 방법이 개발되지 않아 외국인들이 시행한 울산화력 발전소에서도 수동으로 고하중의 너트 stick상태를 이완시켰다. 이러한 문제점들 때문에 고하중 너트들을 자동으로 회전시켜줄 수 있는 장치를 개발하여 작업의 안전성을 도모하고자 하며, 고하중을 들이 올려 하중량을 측정할 수 있는 고압 유압장치 및 나타나는 하중값을 실시간으로 계산, 지시할 수 있는 디지털 지지장치, 볼트와 유압장치를 상호 연결하여 주는 adaptor와 현 측정 장비로서는 하중측정이 곤란한 곳에서도 측정이 가능토록 보조장치도 개발하여야 할 것이다. 유압장치는 150톤 정도의 하중을 감당할 수 있는 기압장치, 압력 조절기, 압력 dump장치 등에 대한 고

압 설계기술과 운할 제어기술이 필요하다. adaptor가공은 정해진 볼트의 나사산에, 맞는 고하중 기계가공 기술이 필요하며 보조장치는 볼트의 끝이 너트 밖으로 지름의 1배 이하로 나 있어 하중 측정이 곤란한 부분에도 하중을 측정할 수 있도록 하기 위하여 특수 장치에 대한 고안과 가공기술이 필요하다.

선진국에서는 이미 보일러 및 터빈 등의 장수명화를 도모하고자 사고후 정비기술보다는 사전 예방적 차원에서 설비의 건전성을 회복하는 기술인 본 분야에 대한 연구개발이 완료되어 영국, 프랑스, 미국 등에서 활발하게 보일러의 하중조정을 수행하고 있으며, 보일러 자체의 하중조정에 끝나지 않고 배관의 안전성 확보를 위한 응력해석 및 Hanger/Support등의 안전성 해석을 병행하여 배관 및 대형 기계설비의 변형을 사전에 방지하여 산업재해를 예방하고 있을 뿐만 아니라 산업설비의 수명연장에 기여하고 있다. 본 논문에서는 고유용 유압설비, 유압 작동유, 유압호스 등의 설계기준과 그 설계기준으로 제작한 시작품에 대하여 논의하려고 한다.

2. 보일러 본체 지지장치 설계기준

2.1 고압용 유압설비

가. 실린더와 피스톤의 재질

내구성과 고압력 및 부하시 충분한 견딜수 있는 강도의 재질이어야하며 특히 재질 선택시 설계치는 허용응력의 4-5배의 안전율을 고려하여하고 피스톤은 그 미끄럼 부 및 튜브 내면에 미끄럼 홈을 주지 않는 구조 및 재료로 한다. 실린더 살 두께는 다음 식에 의하여 산출한 값 이상으로 하고 충분한 강도를 갖는 것이어야 한다.

$$t = \frac{PD}{2S} = \frac{PD}{200s}$$

여기서 t : 살 두께

P : 호칭 압력(Mpa) {kgf/cm²}

D : 튜브 안지름 (mm)

s : $\sigma/5$ (N/mm²) {kgf/cm²}

σ : 인장 강도의 최저값 (N/mm²) {kgf/cm²}

표 1. 실린더에 사용되는 튜브 및 피스톤 재질

부품명칭	재 료 규 격
튜브	실린더 튜브용 탄소강관(KS D 3618)
	기계 구조용 탄소강관(KS D 3517)
피스톤	회 주철품(KS D 4301)
	일반 구조용 압연강재(KS D 3503)
	기계 구조용 탄소강관(KS D 3517)
	탄소강 단강품(KS D 3710)

튜브와 로드 커버, 헤드커버 또는 플랜지를 용접하는 경우에는 용접에 의한 영향을 고려하여 살 두께를 두껍게 하고 내압 부분의 튜브 내외에 기계 가공 또는 나사를 내는 경우의 최소 살 두께는 위의 t값 이상이어야 한다. 이와 같은 것들을 고려하여 선택한 재질들은 표1

과 같다.

나. 실린더와 피스톤의 간극

튜브와 피스톤의 틈새는 압력에 비례하고 표2는 이를 나타내고 있다. 그리고 튜브와 피스톤의 미끄럼면의 끼워맞춤은 튜브를 선삭 또는 호닝을 가공할 경우를 고려하여야 한다.

- 피스톤링을 사용할 경우 : 튜브와 피스톤의 치수 공차 및 끼워맞춤 공차는 H7/g7(KS D 0401)
- 패킹을 사용할 경우 : 튜브와 피스톤의 치수 공차 및 끼워맞춤 공차는 H9/f8(KS D 0401)

표 2. 실린더와 피스톤의 간극

압력(kgf/cm ²)	간극(mm)	압력(kgf/cm ²)	간극(mm)
50	0.90	180	0.38
70	0.65	210	0.35
100	0.60	250	0.28
140	0.45	300	0.18
160	0.40	350	0.16

다. 실린더와 피스톤의 가공 허용 오차

실린더 및 튜브의 친원도는 튜브의 입의 위치 단면에서의 최대 지름과 최소 지름의 차이를 나타내고 튜브 온 길이에 걸쳐 친원도의 최대값이 표3의 값을 넘어서는 안된다. 여기서 원통도는 튜브 온 길이에 걸쳐서의 최대 지름과 최소 지름과의 차로 나타낸다. 튜브의 휨은 1000mm에 대하여 1mm 이하 이어야하며 이런 기준으로 표3을 설계기준으로 삼았다.

표 3. 실린더와 피스톤의 가공 허용 공차

튜브안지름	피스톤 링을 사용하는 경우		
	나입부 치수 허용차	친 원 도	원 통 도
32 40 50	+0.025	0.019	0.025
63 80	+0.030	0.019	0.030
100 125	+0.035	0.022	0.035
140 160	+0.040	0.025	0.040
200 220 250	+0.046	0.029	0.046

2.2 유압작동유

작동유의 선택과 사용에 있어서 그 성상을 파악하는 것은 중요한 일이며 오일의 열화 및 장치의 사용 조건에 대한 적부(適否) 등은 성상을 통해 판단할 수가 있다. 작동유의 성상은 물리적 성질과 화학적 성질로 분류되며, 물리적 성질은 장치의 정상적인 작동에 필요한 것으로서 비중, 비열, 인화점, 점도특성, 압축성, 기포성, 증기압 등이며, 화학적 성질은 장기간의 운전상 필요한 특성으로서 열안정성, 산화방지성, 방청성, 내마모성, 패킹자료 및 도료에 대한 영향성 등이다. 이들 성질 중에는 거의 공통적인 것도 있지만 대부분은 작동유의 종류에 따라 다른점도 있으므로 실용상 검토시에는 어느 성상을 조사해야 하는가를 먼저 결정해야 하며, 각 성질마다 측정방법이나 표시방법이 매우 많아서 이들의 성질에 대한 표시방법과 실용상의 의의에 대해서 충분히 이해하고 설계에 반영하여야 한다. 작동유의 평가와 선택의 기준으로서 필요한 최소한의 성질은 반응, 비중(또는 밀도), 인화성, 저온유동성, 점도, 점도온도특성, 산가 등이며 JIC(Joint Industrial Conference)에서는 작동유의 선택기준항목으로서 비중, 점도, 인화점, 연소점, 산가, 잔류탄소, 색상, 유동점 등을 들고 있다. 이들을 일반성상이라 한다. 일반성상은 작동유 선택상 기준이 될뿐만 아니라 열화정도의 판정 및 특수한 사용조건에 대한 적부의 판단 등도 가능하다. 그리고 더욱 자세하게 검토하기 위해서는 각 종류의 안정성, 기포성, 윤활성 등의 평가가 필요하다.

2.3 유압작동유

유압호스의 재질과 제작방법, 품질기준 등에 대하여 조사하고, 이를 근거로 시작품설계에 반영하였다. 다음 내용은 시작품설계에 반영하기 위해서 조사한 내용이다.

가. 주재질

외면고무는 부식, 일광, 날씨 등에 잘 견디는 Poly-chloroprene(CR)이 주로 사용되며 보강층은 고장력 스틸 와이어가 사용되고 내면 고무는 사용목적에 따라 여러 가지가 존재한다.

나. 적용재료

1) Nitrile Butadiene Rubber(NBR)

Nitrile은 오일에 기초한 Petroleum에 우수한 저항을 가지고 있으며 호스에 사용되는 가장 일반적인 물질이다. 일반적으로 좋은 기계적 성질을 가지고 있으나 오존의 침입을 받을 우려가 있다.

2) Ethylene Propylene(EP)

Petroleum 원료에 바탕을 두며 그래서 액체상태의 Petroleum에 사용이 불가능하다. 날씨와 오존에 강하며 자동차 브레이크용 액체인 인산염 에스테르에 사용이 가능하다.

3) Fluorocarbon Rubber(FKM&FPM)

Fluorocarbons는 미네랄 오일, 오일, 물에 강하며 급변하는 날씨변화에서도 최고의 상태를 유지한다.

4) Polyurethane(AU&PU)

복합물에 근거한 에스테르는 강도와 부식에 대한 저항을 갖으며 심한 자동 환경에 적합하다. 미네랄 오일에 사용이 가능하지만, 뜨거운 물에는 침식을 받는다.

5) Polyester Elastomers(YPBO)

미네랄 오일을 포함하고 있는 대부분의 화합물질에 고부식 저항성을 가지고 있다. Polyester Fibre 보강물과 Polyurethane nylon 혹은 PVC외부 커버 중에 하나를 사용하는 모 thermoplastic hose 상에 내부튜브로 사용된다.

6) Silicone (MQ)

Silicone Rubber는 특히 압력상태에서 많은 fluids에 저 저항성을 가진다. Hose 성분으로 적합하지 않으나 양호한 온도 유연성과 -70에서 +240도에 이르는 고온성을 가진다.

7) Polytrafluorethylene(PTFE)

유체 흐름에 초소저항을 주고 대부분의 유체에 사용될 수 있다. -54~204도를 초과한 높은 작동온도를 가지고 있으며 seals에 널리 이용된다. 가치가 존재한다.

다. 호스 제조방법

압출한 내면 고무층에 내압을 가한 후 그것을 편조기를 이용해 시릴와이어 보강층을 소정의 층수로 편상을 하고, 압출기에서 외면 고무층을 씌우고 호스의 외층은 피인기를 사용해서 연관으로 하고, Drum에 감아 내압을 건 상태로 가류 가마에 넣고 가류 제조한다.

라. fitting와 quick coupler의 재질 및 품질 기준

fitting 및 coupler의 재질은 전세계적으로 탄소강을 주로 사용한다. 국내의 업계에서는 주로 S20C와 그와 유사한 기계적 성질을 가지고 있는 Bi패삭강 Pb패삭강을 주로 사용한다.

이와 같은 설계 기준들로 설계되었으며, 표4는 최고 사용 압력에 따라 10종으로 구분되어진 유압호스의 종류를 나타내고 있다. 또한, 표5는 호스의 치수를 나타내고 치수는 표에 나타난 것과 같이 호칭으로 표시된다. 호스의 안지름 및 바깥지름은 표5의 규정에 맞아야 한다.

3. 시작품 설계

앞장에서 시굴한 내용을 가지고 4가지 시작품을 설계하였다. 설계한 시작품 내용은 아래와 같다.

3.1 Hydro Unit

Hydro Unit는 보일러 Sling Rod에 가하여 지고 있

표4. 유압호스의 종류

종 류	최고 사용압력(MPa(kgf/cm ²))
70	7.0(71)
105	1.05(107)
140	14.0(143)
175	17.0(173)
210	20.5(209)
245	24.0(245)
280	27.5(280)
315	31.0(316)
350	34.5(352)
420	41.4(422)

표 5. 치 수

호칭 지름	인치 지름	인치 용차	종류에 대한 최대 바깥 지름										두께 편차
			70	105	140	175	210	245	280	315	350	420	
6	6.3	+0.6	19					22					0.8
9	9.5	-0.2	23	25				28				1.0	
12	12.7	+0.8	26	29				32					
15	15.9	-0.4	29	32			35						
19	19.0		33	38			41						
25	25.4	+1.0	41	46			50				1.3		
32	31.8	-0.4	53	57	60								
38	38.1	+1.2	59		63		66						
50	50.8	-0.4	73		77								

수직하중에 대항하는 힘을 유압을 이용하여 상부로 밀어 올림으로서 하중을 측정하게 된다. 설계한 Hydro Unit의 규격은 다음과 같다.

- 사용압력 : 300kg/cm²
- 공기압 : 4-10 kg/cm²
- 압력조절 : 공기압 조절
- 압력 조절 방법 : 공기 구동 펌프
- 사용유체 : 유압 작동유

Hydro Unit는 Sling Rod 하중조정 시스템에 소요되는 압력을 공급하는 장치로서 Air Filter, Air Pressure Regulator, 공기 압력계를 거쳐 공기구동 유압펌프의 피스톤을 누르게 된다. 공기압은 피스톤의 크기에 따라 높은 유압을 형성시켜주며 여기서 발생한 유압이 슬링로드 하중 조절을 위한 유압 실린더로 들어가게 된다. 공기압을 조절하여 최고 유압을 제어하게 되는데 공기압은 Air Pressure Regulator의 핸들을 돌려 제어한다. 유압펌프를 지난 작동유체는 펌프 입·출구에 있는 체크밸브의 동작에 의하여 높은 압력이 있는 실린더로 추가적인 압력을 형성하여 준다. 작동 압력을 측정하기 위하여 압력계가 설치되어 있으며, 가압된 상태에서 압력을 감소시키기 위해서는 회수밸브를 사용하도록 설계하였다.

3.2 Digital Load Measuring System

기존의 하중 측정 방식은 수동으로 압력을 측정하여 이를 도표로서 작성 작용 하중을 측정하였다. 디지털 측정 방식은 다음 프로그램과 같이 보일러 상부에 걸려있는 하중을 직접 측정하여 그래프화 함으로서 측정하는 현장에서 작용하중을 평가할 수 있다. 측정방식은 유압라인에 설치된 Pressure Transducer에서 하중을 측정하여 A/D Converter로 보낸다. 이로부터 입력을 받은 컴퓨터에서는 미세 길이변화와 하중의 관계를 그래프화 함으로서 작용하중을 평가하게 한다. 종래의 하중 측정 방법은 다이얼 게이지와 압력 게이지를 읽어 하중을 평가하였으나 본 디지털 하중측정 시스템은 실린더로 공급되는 하중을 자동으로 읽어 그때의 실린더 피스톤의 높이 변화와의 상호관계를 그래프로 실시간 지시함으로서 곧바로 현장에서 하중을 알 수 있도록 설계하였다.

3.3 Special Clamp

Special Clamp은 보일러 최상부의 Sling Rod에 설치된 Nut의 밖으로 볼트가 조금밖에 나와있지 않아 하중 측정이 불가능할 경우에 대비하여 제작된 설비로서 하부에 있는 나사부분에 간편하게 체결할 수 있는 구조로 설계하였으며, Rod에 있는 나사부분에 대응 나사를 반으로 조겐 상태로 조립하고 동시에 반으로 분리된 Extension Arm을 조립하여 상부 H-Beam으로 양단에서 보조 Rod를 연결하여 Hydro Cylinder의 상부로 올림으로서 하중 측정이 가능해진다

3.4 Nut Rotating System

그 동안 수작업에 의존하여 Sling Rod의 Nut를 회전 시킴으로서 정량적인 평가 작업에 오차를 유발시켰으나, 하중 조정시 Nut의 토크를 일정하게 유지하기 위하여 유압 실린더가 너트 회전 Actuator를 돌림으로서 일정량의 토크값을 보장하게 되었다. 보일러 Sling Rod의 너트를 축으로 하여 원주에 라쳇으로 구성된 회전원판에 유압 실린더의 고하중으로 점선방향 토크를 강하게 전달함으로서 소요의 회전을 얻을 수 있다. 유압을 제어함으로써 Sling Rod에 가하고자 하는 일정 토크를 줌으로서 이제까지 손으로 작업함으로 인하여 발생하던 하중 고정 오차를 현격히 감소시킬 수 있도록 설계하였다. 그림1은 설계 제작한 시작품의 현장 시험을 위한 현장설치 장면을 나타내고 있다.



그림 1. 현장 시험을 위한 시작품 설치 사진

5. 결 론

장기 사용된 보일러는 사용중 열응력 및 부식, 회전의 퇴적 등의 운전에 따르는 하중상태의 변화와 효율제고 및 신기술에 따르는 보수 보강공사 등의 영향으로 보일러 전체 구조물의 하중분포가 건설당시의 초기조건과 다르게 된다. 보일러 지지장치 하중 불균일이 지나치게 되면 보일러의 과도한 변형 또는 철골지지 구조물에 변형을 유발, 보일러 구조물의 불안정 현상에 이르게 되어 예상치 못하는 사고에 이르게 된다. 이에 보일러 본체 지지장치가 설계되면 이러한 불균일하게 작용하는 하중을 해석하여 최적 안정상태로 교정할 수 있으며 이뿐만 아니라 행거/Support 건전성 평가 기반 구축, 대용량 철골 구조물 건전성 평가 및 회복 기술에도 응용할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- (1) 현충섭 외, "화력발전소 보일러 본체 지지장치 하중측정 및 교정기술에 관한연구", pp856-861, '98대한기계학회 춘계학술대회 논문집, 1998.
- (2) 백수권 외, "화력발전소 보일러 본체 지지장치 하중측정 및 교정기술 개발", 최종보고서, 한전 전력연구원, 1998.
- (3) 배병홍 외, "보일러 본체 지지장치 하중교정 시스템 개발", 최종보고서, 한전전력연구원, 1999.11.