

## 관수온도 상승률 증가에 의한 발전용 보일러의 온간기동시간 단축에 관한 연구

강희성, 문승재\*<sup>†</sup>

한국중부발전, \*한양대학교 기계공학부

### Warm Start Up Time Reduction Through the Increase of Boiler Water Circulating Pump Inlet Water Temperature Rate of the Thermal Power Plant

Hee-Seong Kang, Seung-Jae Moon\*<sup>†</sup>

Korea Midland Power Co. Ltd., Seoul 135-280, Korea

\*School of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received February 18 2014; revision received February 24, 2014)

**초 록** : 1887년 경복궁 건천궁에서 최초로 전기점등 행사를 시행한 이후 2012년 11월 기준의 대한민국 발전설비 용량은 81,737 MW, 그리고 2012년도 최대전력 수요는 71,230 MW로 이전기록을 경신한 바 있다<sup>1)</sup>. 이렇게 급속하게 증가하는 전력수요를 충족하기 위하여 정부에서는 대용량 유연탄 화력과 원자력발전소를 건설하여 운영 중에 있으나 전력수요는 주중에 집중되고 주말에는 급감하여 주말의 예비률이 40% 이상을 상회하고 있어 양수발전기를 이용하여 주말수요를 창출하는 한편 감소된 주말의 전력수요에 맞추어 서울화력발전소를 포함한 고원가 발전소에 대한 주말정지를 시행하고 있다. 서울화력발전소는 전력수요지의 중심지인 수도 서울에 위치하였음에도 발전원가가 높아 2008년도 이후 매년 30회 이상의 주말정지를 시행함으로 기동정지 과정에서 많은 비용을 지출하고 있어 본 연구에서는 1969년 준공하여 열병합설비로 개조한 서울화력발전소 제5호기를 대상으로 온간기동 과정에서 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률을 증가시켜 온도상승 공정에 소요되는 시간을 약 35% 단축하고 기동시간 종합관리 프로그램을 구성하여 운영함으로써 전체적으로 온간기동 시간을 23% 단축할 수 있음을 확인하였다.

**ABSTRACT** : The national capacity of electricity of Korea was 81,737 MW and the peak demand was renewed by the record of 71,230 MW in 2012 which has been increasing since the first lighting ceremony had taken place in the Royal Palace(Kyung-Bok Goong) in 1887. As the counteract on the rapid increasing of the demand, Korean government is constructing and operating the high capacity nuclear and thermal power plants, however, the operating reserve on weekdays is small while those of weekends are more than 40% of capacity, so they are providing the pumped-storage power plants with the surplus electricity during weekends and operating the power plants which cost higher production price and located in the capital area with WSS (Weekly Start and Stop) mode including the Seoul Thermal Power Plant. Since the Seoul Thermal Power Plant is spending huge amount of expenses for more than 30 times of the WSS annually due to the high production cost even though it is in Seoul, the core of the demand, I chose the power plant unit #5 which was on the grid in 1969 for the case to confirm reducing 23% of the warm start-up time by applying

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel. +82-2-2220-0450; Fax +82-2-2220-2299

E-mail address: smoon@hanyang.ac.kr

the "Start-up time management program", and that reducing 35% of the water temperature increasing time by accelerate the increasing rate of the inlet temperature of the water circulating pump.

**Key words** : maximum electric power(최대전력), electric power demand(전력수요), weekend shut down(주말정지), warm start up(온간기동), tube inside water temperature(관수온도)

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경 및 목적

대용량 전력 수요지에 위치한 서울화력발전소 제5호기는 전력예비율 조절을 위하여 매년 평균 40회의 주말기동정지를 시행하고 있는데 기동정지의 반복에 따라 많은 양의 에너지가 소비된다. 따라서 본 연구에서는 서울화력발전소 제5호기 온간기동 프로세스의 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률에 대한 분석을 통하여 이를 개선함으로써 기동시간을 단축하고 안정적 전력수급에 대한 융통성을 증대하고자 한다.

### 1.2 연구 내용

전력산업구조개편에 따라 2001년 4월에 한국중부발전(주), 한국동서발전(주), 한국서부발전(주), 한국남부발전(주), 한국남동발전(주) 등 5개의 화력발전회사가 한국전력으로부터 분사를 하였다. 분사 당시에는 발전회사 최고의 경영목표가 발전설비의 안정적 운영이었으나 2010년도에 시장형 공기업으로 지정되어 경영실적 평가기관이 한전에서 기획재정부로 변경된 이후 발전설비 운영비용 절감 또한 중요한 목표로 자리매김을 하였다. 따라서 본 연구에서는 서울화력발전소 제5호기의 온간기동 프로세스의 보일러 관수온도 상승률을 증가시켜 온간기동 프로세스의 기동시간을 단축한 것으로 총 5개의 장으로 구성되어 있으며 각 장의 연구내용은 다음과 같다. 1장은 서론으로서 연구 배경 및 목적을 기술하였다. 2장은 온간기동 프로세스 공정소개와 시험대상 서울화력발전소 제5호기의 설비특성과 온간기동 프로세스에 대한 보일러 관수온도 상승률을 분석하였다. 3장은 분석결과를 바탕으로 관수온도 상승률 증가를 제안하였고 그리고 4장에서는 개선안을 시행하여 온간기동 프로세스의 기동시간 단축 효과를 확인하였으며

마지막으로 제5장에서는 결론을 도출하였다.

## 2. 온간기동 프로세스의 분석

### 2.1 연구대상 서울화력발전소 제5호기의 설비특성

제5호기는 국내무연탄을 주연료로 하는 드립형 강제순환 보일러 화력발전소로 준공되어 1980년에 저유황유로 연료 전환공사를 시행하였으며<sup>[2]</sup> 1986년에는 에너지이용합리화법에 따라 여의도, 반포, 용산의 아파트단지 지역난방을 위하여 국내 최초로 전기와 열을 동시에 공급할 수 있는 열병합설비로 개조하였으며, 주요 규격으로는 보일러 최대 연속 증발량은 860 t/h이며 과열기 출구에서의 증기조건은 175.8 kgf/cm<sup>2</sup>, 571℃이며 재열기 출구에서의 증기조건은 38.4 kgf/cm<sup>2</sup>, 543℃이며 절탄기로 공급되는 급수 유량은 860 t/h, 277℃로 설계되었다<sup>[3]</sup>.

### 2.2 서울화력발전소 제5호기 온간기동 프로세스

전력수요에 따른 전력수급의 안정을 위하여 발전소의 정지와 기동에 관련된 제반사항을 전력시장 운영규칙에 따라 전력거래소에서 급전지시로 하고 있는데 발전소를 기동하는 과정에서 운전원의 조작 및 감시가 필요한 중요한

Table 1 Classification of start up process type

Category Process	Unit shut down hour [h]	High pr turbine inner metal temp [°C]	Standard start up time [minute]
Hot start up	Less than 16	Greater than 300°C	200
Warm start up	16~80	255~300°C	275
Cold start up	Greater than 80	Less than 255°C	420

## 관수온도 상승률 증가에 의한 발전용 보일러의 온간기동시간 단축에 관한 연구

공정과 감시기준을 단계별로 정한 절차를 기동 프로세스라 말한다. 기동 프로세스에는 발전정지 시간을 기준으로 분류하는 방법과 고압 터빈1단 내부금속 온도를 기준으로 분류하는 방법의 2가지가 있다. 기동 프로세스에 대한 상세한 설명을 위하여 서울화력발전소 제5호기 기동 프로세스의 분류표를 Table 1에 표기하였다. Table 1에서 보는 바와 같이 기동 프로세스는 크게 열간기동 프로세스와 온간기동 프로세스 그리고 냉간기동 프로세스의 3가지로 분류하고 있는데 열간기동 프로세스는 발전정지 시간을 기준으로 16시간 미만이거나 고압 터빈1단 내부금속온도가 300℃ 이상의 경우를 말하며 온간기동 프로세스는 발전정지 시간을 기준으로 16~80시간 사이이거나 고압 터빈1단 내부금속온도가 255~300℃ 사이의 경우를 말한다<sup>4)</sup>. 그리고 냉간기동 프로세스는 발전정지 시간을 기준으로 80시간 이상이거나 고압 터빈1단 내부금속온도가 255℃ 미만의 경우를 말한다.

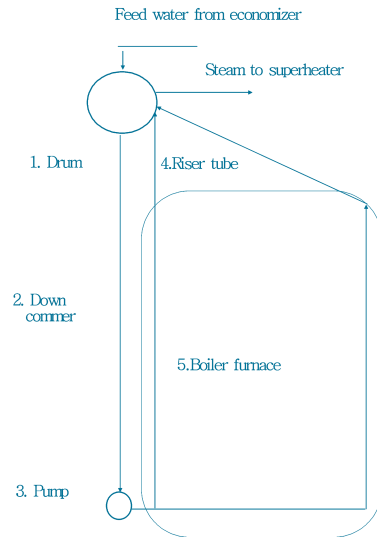


Fig. 1 Water and steam flow diagram in a boiler of the seoul #5

### 2.3 강제순환펌프 입구관수온도 상승률

보일러 튜브의 손상을 방지하기 위하여 보일러 관수온도 및 증기온도 상승률을 제한하고 있는데 서울화력발전소 제5호기 보일러 수냉벽 튜브는 탄소강 계열의 STB35를 사용하며 10만 시간 수명을 기준으로 설계되어<sup>5)</sup> 있으며 하부드럼 입구에 2,040 m<sup>3</sup>/h 용량의 강제순환 펌프 3대를 설치하여 보일러 관수 순환력을 높여줌으로써 보일러 튜브의 과열을 방지하고 있다. 서울화력발전소 제5호기 보일러 관수 및 증기의 흐름도를 Fig. 1에 도시하였다. 복수기에서 공급되어 보일러 급수펌프와 절탄기로부터 드럼에 유입된 보일러 급수는 강수관을 통하여 급수의 비중차에 의하여 보일러 노내로 유입되는데 노내에서 연소열을 흡수하면 비중이 감소하면서 순환력이 적어지므로 순환력을 높여주기 위하여 노 입구에 보일러 강제순환펌프가 설치되었으며 이때 강제순환펌프 입구온도가 관수온도의 기준이 되기도 한다. 서울화력발전소 제5호기의 관수온도 상승률은 70℃/h로 규정하고 있는데 이는 강제순환펌프가 설치된 발전회사의 보일러와 관류보일러의 관수온도 상승률 분석 결과 낮게 규정되어 필요 이상의 기동비용이 지출되고 있으며 또한 운영효율저하의 원인이 되고 있음을 확인하였다. 또한 과거 20년간 서울화력발전소 제5호기의 튜브 및 드럼의 손상사례 분석결과 튜브과열에 의한 손상은

1건으로 거의 발생되지 않았으므로 온도상승률의 개선으로 기동시간의 단축과 운영비용 절감이 필요하다.

## 3. 관수온도 상승률의 증가 제한

### 3.1 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률의 증가

보일러 관수온도 상승률을 상향조정하기 위해서는 현재 사용하고 있는 탄소강 계열인 STB35보다 고온에서 사용이 가능한 고가의 합금강 튜브로 교체하는 방법이 있으나 튜브의 교체를 위해서는 재료구입비 등 경제적 비용과 교체에 따른 발전정지로 기회비용이 크게 발생된다. 따라서 서울화력발전소 제5호기는 설비노후화가 심하여 전력수급 계획에 의거 2016년도에 폐지 예정임을 감안하여 보일러 튜브의 교체보다는 현재 사용하고 있는 튜브의 온도상승률을 상향조정할 경우 기동시간의 단축과 전력거래의 유통성 확대 그리고 기동비용의 절감이 크게 기대될 것으로 판단하였다. 그 근거로 첫째는 서울화력발전소 제5호기는 강제순환 보일러이므로 보일러 순환력에 여유가 있어 과열의 우려가 적다. 자연순환 보일러와 강제순환 보일러를 비교하면 강제순환 보일러는 보일러 관수의 순환력에 여유가 있으므로 하부 드럼 출구 측과 보일러 튜브의 연결부

위에 보일러 관수 유량을 균등하게 해주는 오리피스를 취부하여 보일러 관수를 균일하게 분배하므로 보일러 튜브의 과열을 방지할 수 있다. 둘째는 보일러 튜브 내에 불순물이 적어 불순물에 의한 과열의 우려가 거의 없다. 즉 매주 주말정지를 시행하여 복수기 내부를 주기적으로 청소함으로써 복수기를 포함한 복수 및 급수 그리고 증기사이클 내부가 청결하고 불순물이 없으므로 튜브의 국부과열을 예방한다. 셋째는 과거 20년 동안의 튜브 손상사례가 거의 발견되지 않았음을 확인하였다. 20년 동안 튜브 손상 사례 분석결과 총 11건의 손상사례가 있었는데 부식손상 5건, 침식손상 2건, 용접불량이 3건 및 단시간 과열에 의한 손상은 1건 밖에 발생하지 않았다. 따라서 관수온도 상승률의 개선은 추가비용 없이 기동시간 단축에 크게 기여할 것으로 판단되며 기존 운전조작설명서에 명시된 관수 및 증기온도 상승률 70℃/h를 상향조정하고자 전력기술 전문가인 두산중공업, 전력연구원, 제너럴일렉트릭에서 상승률에 대한 설계기준 자료를 확인할 수 없어 전력그룹사 산하의 발전기 온도상승률 조사결과 드럼형식이면서 강제순환 보일러가 있는 삼천포 1~4호기, 서천 1, 2호기, 보령 1, 2호기의 수냉벽 튜브재질은 탄소강계열인 SA210(STB)을 사용하고 관수온도 온도상승률은 110℃/h로 규정하고 있으며, 관류형 보일러인 보령 3~8호기, 삼천포 5~8호기, 영흥 1~4호기, 당진 1~6호기, 태안 1~6호기, 하동 1~8호기의 수냉벽 튜브재질은 합금강 계열인 15MO313CRM을 사용하고 관수온도 상승률은 220℃/h로 규정하고 있고, 드럼형식이면서 강제순환펌프가 없는 서울화력발전소 제4호기의 경우 52℃/h로 규정하고 있음을 확인하였다. 따라서 발전회사에 설치된 다양한 형식의 보일러와 수냉벽 튜브재질 온도상승률 규정을 분석한 결과를 바탕으로 드럼형식이면서 탄소강계열의 수냉벽 튜브를 사용한 강제순환 보일러인 서울화력발전소 제5호기의 온도상승률을 110℃/h로 변경하기로 결정하였다. 하지만 서울화력발전소 제5호기는 1969년 준공 이후 40년간 장기간 운영된 발전소로 계획예방정비공사 기간 중 보일러 튜브의 부분적인 교체공사와 1993년 주연료를 저유황유에서 천연가스로 연료전환공사를 시행하면서 수냉벽 튜브의 점검결과 양호한 것으로 판단되어 연소특성을 고려한 과열기와 재열기 튜브만을 교체하였으므로 40년인 보일러 튜브설계수명이 거의

소진되었기에 보일러 설계의 경우 일반적으로 적용되는 여유 13.6%를 고려하여 110℃/h의 13.6%인 15℃/h를 낮추어 95℃/h의 상승률로 개선할 것을 제안하고자 한다.

### 3.2 기동시간 종합관리 프로그램 구성운영

서울화력발전소 제5호기는 매년 빈번한 주말정지를 시행하며 온간기동을 시행함에도 온간기동 프로세스에 대한 전체적인 시간과 연료비, 수전전력비 등 실적관리와 실적에 대한 분석이 미흡함을 확인하였으며 이를 종합적으로 관리할 수 있도록 프로그램을 구성하여 운영하였다. 프로그램의 주요 구성내역은 온간기동 프로세스에 있어 보일러 점화에서 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도 350℃, 복수기 진공도 650 mmHg, 터빈구동에서 병입까지 3개의 구간으로 나누어 기준시간을 설정하여 표준으로 운영하였다.

$$H(\text{min}) = \frac{(350 - X)}{95} \times 60 + C + Z \quad (1)$$

$$H(\text{min}) = \frac{(350 - X)}{70} \times 60 + C + Z \quad (2)$$

개선 후 보일러 점화 전 기동조건에 따른 온간기동 시간의 예측은 식(1)에 의거 관수온도 상승시간을 계산하고 여기에 진공도 상승시간 C(40분)와 터빈구동시간 Z(60분)를 가산하면 총기동시간이 산출되는데 산출된 기동시간을 계통병입 예정시간에서 역산으로 감하면 점화예정 시간을 알 수 있다. 식(1)은 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도를 기준으로 기동시간을 예측하는데 적용하는 계산식으로 (350-X)는 점화전 관수온도 X를 350℃ 까지 95℃/h의 상승률로 규정하였으므로 95로 나누고 60은 1시간을 60분으로 환산하는 계수이다. 이때 (350-X)는 터빈 구동용 증기의 조건인데 이때까지 특별히 보호가 필요한 구간으로 증기온도 상승률을 관리하기 때문이다. 식(2)는 개선 전 식으로 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률이 70℃/h의 경우에 적용하였다. 이렇게 기동에 소요되는 시간을 공정별로 가산하여 총기동시간이 계산되는데 기동전 설비의 상태에 따라 기동시간을 예측하고 기동실적을 체계적으로 관리하고 주기적으로 분석함으로써 운영비용의 절감이 예상된다.

## 관수온도 상승률 증가에 의한 발전용 보일러의 온간기동시간 단축에 관한 연구

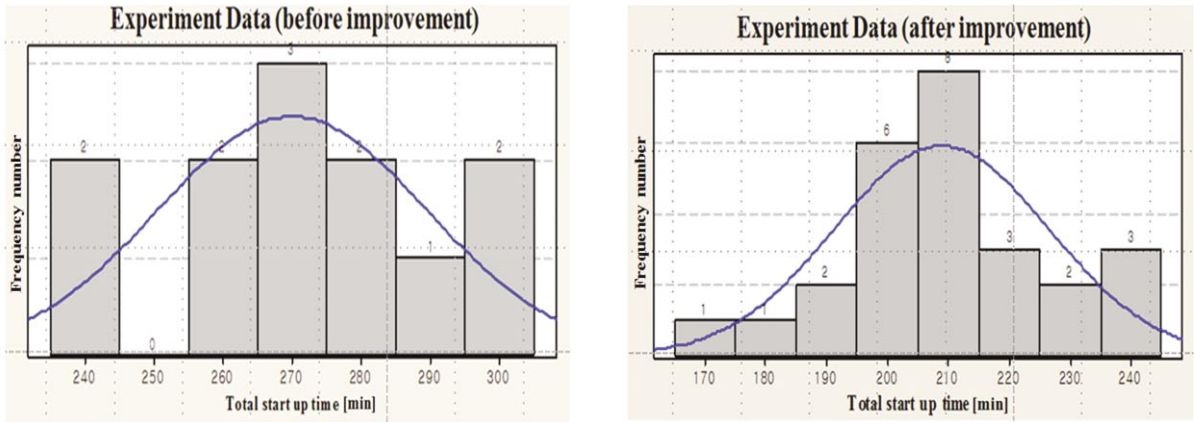


Fig. 2 Block diagram of warm start up process time between before and after improvement

### 4. 온간기동 프로세스 기동시간 단축

보일러 튜브손상에 의한 불시정지와 같은 사고를 예방하기 위하여 기동 중에 관수 및 증기온도 상승률을 제한하고 있는데 서울화력발전소 제5호기의 경우 1969년 준공 이후 40여 년간을 제작사인 미쓰비시 중공업의 운전조작설명서에 따라 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률을 70℃/h로 운영해 왔다. 이러한 기준은 1969년 준공당시에서 1990년대 초까지만 해도 우리나라는 경제개발 5개년계획 등에 힘입어 급속도로 경제가 발전하면서 경제성장률과 밀접한 관계가 있는 전기의 수요가 연 10%이상 폭발적으로 증가하면서 주말정지와 주초기동을 시행하지 않아 기동과정의 기동시간과 운영비용에 대한 검토의 필요성이 없어 문제가 되지 않았다. 하지만 주5일제 근무 등으로 생활방식이 변화하면서 주중의 전력수요는 급증하고 주말에는 급감하면서 매주 기동정지를 반복하므로 기동시간과 운영비용에 대한 검토를 시행하여 2009년에 보일러 강제순환펌프 입구의 관수온도 및 증기온도 상승률을 70℃/h에서 95℃/h로 변경하게 되었다. 또한 매주 기동과 정지를 함으로써 설비상태에 따른 기동시간을 예측하고 실적관리를 위하여 기동시간 종합관리 프로그램을 운영하여 기동 관리에 적용하였다. 보일러 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률 개선 및 기동실적 관리프로그램의 적용 이후 효과 분석표를 Fig. 2에 표시하였다. 개선 전 그림은 2009년도 12회의 온간기동 실적을, 개선 후 그림은 2010년도 26회

의 온간기동 실적을 분석하였다. 도표의 X축은 기동에 소요되는 시간을 분단위로 표시하고, Y축은 기동횟수를 표시하고 있다. 개선 전과 개선 후의 기동 평균 시간은 각각 270분, 208.85분이다. 이는 관수온도 상승률을 상향조정 함으로써 개선 후의 기동 평균시간이 22.59%, 약 1시간 정도 단축되었음을 알 수 있다. Table 2는 개선 전과 개선 후의 값을 통계적으로 분석한 것이다. 좌측은 비교변수를 우측은 개선 전후 변수의 효과를 나타내고 있는데 평균 기동

Table 2 Statistical analysis result of between before and after improvement

Category \ Process	Before improvement	After improvement
Mean of start up time	270.00	206.65
Standard deviation	19.52	17.66
Dispersion	380.91	308.68
Skewness	-0.178587	0.067380
Kurtosis	-0.723921	-0.354905
Maximum of start up time	300	240.00
Minimum of start up time	238	173.00

시간, 표준편차, 분산, 왜도, 첨도 등 모든 변수가 개선되었음을 나타내고 있다. 이 표에서 최댓값과 최솟값이 평균에서 비교적 많이 떨어져 있으므로 Grubbs Test로 신뢰할 수 있는 값인지 확인하였다. 아래 식(3)은 Grubbs Test 식을 나타내고 있다<sup>6)</sup>.

$$T_{\max} = \frac{X_n - X_{\text{mean}}}{s} \quad T_{\min} = \frac{X_{\text{mean}} - X_1}{s} \quad (3)$$

여기에서  $X_n$ 은 의심스러운 최댓값이고  $X_1$ 은 의심스러운 최솟값,  $s$ 는 표준편차,  $X_{\text{mean}}$ 은  $X$ 의 평균값이다.

Grubbs Test를 적용하여 계산해보면, 개선 전 표본수 12의 임계값은 2.29(신뢰도 95%)이며  $T_{\max}$  값은 1.5371,  $T_{\min}$  값은 1.6396으로써 Grubbs Test Table 신뢰도 95%의 범위에 속하는 값이다. 이것의 의미는 통계학적 수치를 계산할 때에 최댓값과 최솟값을 포함시켜도 된다는 것이다. 마찬가지로 개선 후의 최댓값과 최솟값을 Grubbs Test에 적용하면, 개선 후 표본수 26의 임계값은 2.68(신뢰도 95%)이며  $T_{\max}$  값은 1.774072이고  $T_{\min}$  값은 2.041283으로 신뢰도 95%의 범위에 속하는 값이다. 표준편차 값은 평균값에서 떨어진 거리를 계산함으로써 데이터의 정확한 분포를 알려준다. 표준편차 값은 분산에서 제곱근으로 구할 수 있으며 식(4)와 같이 표현된다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (4)$$

여기에서  $\mu$ 는 모집단의 평균,  $n$ 는 개체수,  $x_i$ 는 표본 집단의 자료를 나타낸다. 이 값이 개선 전 19.52에서 개선 후 17.56으로 감소하였다. 이는 기동시간 종합관리 프로그램을 적용하여 점화시간, 관수온도 상승률, 진공도 상승시간 등의 공정을 엄격히 시행함으로써 매 기동시간이 평균값에서 벗어나는 정도가 줄었음을 알 수 있다. 분산은 개선 전 380.91이고 개선 후 308.68로써 표준편차와 마찬가지로 개선 후 값이 줄어들었다. 왜도란 표준정규분포의 중앙값을 기준으로 왼쪽이나 오른쪽 어느 한 쪽으로 치우친 정도(비대칭도)를 나타내며, 그 식은 다음 식(5)와 같이 표현된다<sup>7)</sup>.

$$(5)$$

$$s_k = \sum_{i=1}^n \frac{[(x_i - \bar{x})/s]^3}{n-1}$$

여기에서  $x_i$ 는 표본 집단의 자료,  $\bar{x}$ 는 표본 평균,  $n$ 은 개체수,  $s$ 는 표본 표준편차를 나타낸다. 이 값이  $s_k = 0$ 인 경우는 좌우 대칭으로 표준 정규분포이고,  $s_k > 0$ 은 정적 비대칭으로 중심축이 왼쪽으로 치우치고 우측으로 긴 꼬리를 가진 분포이다. 또,  $s_k < 0$ 인 분포는 부정 비대칭인 경우이다. 개선 전 왜도의 값은 -0.178557, 개선 후 왜도의 값은 0.067380이다. 표준정규분포의 왜도의 값 0을 기준으로 개선 후가 개선 전에 비해 0에 더 가까운 값이다. 이것은 개선 후 매 기동시간이 정규분포에 더 일치됨을 나타내고 있다. 얼마나 더 뽀족한 정도를 나타내는 척도가 첨도이다. 첨도는 아래 식(6)으로 계산된다.

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{[(x_i - \bar{x})/s]^4}{n-1} - 3 \quad (6)$$

여기에서  $x_i$ 는 표본집단의 자료,  $\bar{x}$ 는 표본평균,  $n$ 은 개체수,  $s$ 는 표본표준편차를 나타낸다. 표준정규분포에서 첨도의 값이 3이기 때문에 식에서 3만큼 빼주었다. 경우에 따라서는 첨도의 계산식에서 3을 빼지 않고 정의하기도 한다. 첨도의 계산값이 클수록 데이터 분포 정도가 더 뽀족하다. 표준정규분포의 첨도 값이 3이므로  $k = 0$ 인 경우는 정상분포로써 표준정규분포를 따른다.  $k > 0$ 일 때에는 표준정규분포보다 더 뽀족하며 이때를 첨용이라고 한다. 또,  $k < 0$ 인 경우는 표준정규분포보다 완만한 모양을 나타내며 평용이라고 한다. 개선 전 첨도는 -0.723921로 평용이며, 개선 후 첨도는 -0.354905로 또한 평용이다. 개선 전후 첨도를 비교해 보면 이것은 개선 후가 개선 전에 비해 표준정규분포와 더 비슷해졌음을 알 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 발전소 기동시간을 단축하기 위하여 기동시간과 밀접한 관련이 있는 강제순환펌프 입구 관수온도 상승률을 개선하기 위하여 연구대상 발전설비인 서울화력 발전소 제5호기의 관수온도 상승률을 분석하여 개선하고 기동시간예측과 실적관리를 위하여 기동시간 종합관리 프

## 관수온도 상승률 증가에 의한 발전용 보일러의 온간기동시간 단축에 관한 연구

로그래를 적용하였으며 그 결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

발전소 기동에 있어 관수 및 증기온도 상승률은 보일러 형식에 따라 다르지만 드럼타입의 강제순환 보일러인 서울화력발전소 제5호기의 관수 및 증기온도 상승률을 시간당 70℃에서 95℃로 25℃ 상향조정 후 2010년부터 3년간 과열에 의한 보일러 튜브손상 없이 운영을 하였다, 따라서 상향 조정된 관수 및 증기온도는 보일러 튜브의 손상에 영향이 없음을 확인할 수 있었다.

또한 통계적 분석을 위하여 Grubbs Test를 적용하여 의심스러운 값의 신뢰도 확인 후 개선 전과 개선 후의 표준편차, 왜도, 첨도를 비교하였으며 개선 전후 표준편차가 19.72에서 17.56으로 감소된 것으로 보아 개선 후 매 기동시간이 평균시간인 206.65분에 가까워졌음을 확인할 수 있었다. 왜도의 경우에도 개선 전보다 개선 후의 값이 0에 가까워 데이터 분포의 치우침이 덜하면서 매 기동시간이 평균에 근접하였고, 첨도 또한 개선 후 0에 가까운 값을 가지면서 표준정규분포와 비슷한 분포를 나타내었다. 결과

적으로 관수 및 증기온도 상승률 개선에 따라 평균 기동시간이 개선 전 270분에서 개선 후 206.65분으로 23% 단축되었음을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

1. KPX, 2012.11.30, Daily report.
2. Seoul thermal power plant, History of Eighty Year, p. 78.
3. Seoul thermal power plant, Operation & Inspection manual of No Five unit, pp. 45-46.
4. Seoul thermal power plant, Operation & Inspection manual of No Five unit, pp. 28-31.
5. KEPCO CO. Ltd., 1999, Power Plant Life Management Standard & Procedure I, p. 19.
6. Yong Cheol Kang, 2012, Chemistry of Analysis, Academy Freedom, Vol 8, p. 95.
7. Yoon Jong Lee, 1993, Statistics, Daekwang Cultural Co. Ltd., pp. 55-57.