

# 심야전력 부하평준화를 위한 심야전기보일러 통전제어시스템 개발

정봉만, 박석인, 유승원, 한승호\*, 최병윤\*  
한국에너지기술연구원, 한전 전력연구원\*

## Development of Electric Boiler Automatic Control System for Midnight Load Levelling

B.Jung, S.Park, S.Yu, S.Han\*, B.Choi\*  
KIER, KEPRI\*

### ABSTRACT

심야전력요금제도의 정착으로 최근 심야전력축열 기기의 보급이 활성화되고 있다. 그러나 모든 심야 전력축열기들이 심야요금개시시간대인 22:00경에 동시에 가동됨에 따라 23:00에 심야전력 부하가 최대에 이르러 전력피크가 발생하여 한전의 수요관리에 큰 어려움을 주고 있다. 따라서 이 피크 부하를 심야전력 공급시간대의 저부하시간대로 분산시킬 수 있는 심야전력축열기 통전시간제어가 필요하게 되었다.

### 1. 서 론

전력부문에서의 부하관리의 궁극적 목표는 최대 부하의 효과적인 억제와 부하곡선의 평준화에 의한 전력계통 운영의 효율화를 기하는 것이다. 즉, 연간 최대부하를 낮춤으로써 신규발전설비의 건설을 억제하고 일간 부하평준화를 이룸으로써 침두 또는 중간부하대 발전소의 운전을 가능한 줄이며 저렴한 가격의 발전연료를 사용하는 발전설비의 가동률을 상승시키는 것과 함께 필요한 전력수요의 가능한 많은 부분을 기저부하용 발전설비로 공급하도록 함으로써 발전효율이 높고 투자규모가 큰 기저부하용 발전설비의 이용률을 높이는 것이다.

최근 전력부하 평준화를 통한 경영효율 증진을 위하여 난방 및 급탕에 사용되는 심야전력기기(보일러, 온수기, 온풍기, 온돌) 보급을 정책적으로 적극 추진하고 있다. 현재 한전에서는 심야전력공급 개시시간인 22:00부터 익일 08:00까지 심야전력을 공급하고 있으나 전국의 모든 심야전력기기가 22:00에 동시에 가동됨에 따라 한시간이 경과한 23:00에 심야전력 부하가 최대에 이르고 있으며, 이에 따라 심야전력기기에 의한 전력피크 발생 우려가 현실로 나타나고 있다.

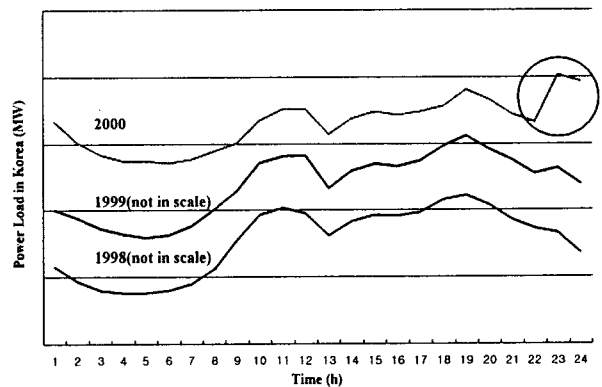


그림 1 겨울철 일부하곡선의 변화

그림 1은 겨울철 일부하곡선의 연간 변화를 보여 주고 있다. 겨울철 일부하피크는 예전에는 19:00부근에서 최대였으나, 심야전력기기가 급격히 보급되어 2000년도에는 심야전력공급시간인 23:00에 일부하 최대피크가 발생하고 여름철 일부하피크량에 육박하여 한전의 수요관리에 큰 어려움을 주고 있다. 따라서 심야시간 피크발생을 억제하고 효과적인 심야수요개발을 위하여 22:00에 동시에 투입되는 심야전력기기 부하를 심야전력 공급시간대의 저부하시간대(01:00~06:00)로 분산시킬 수 있는 심야전력기기 통전제어장치 개발이 필요하다.

### 2. 심야전기보일러 통전제어장치의 구성

제어기의 구조는 입력으로는 보일러의 평균 온도를 산출하기 위한 온도센서의 입력단과 히터의 on/off유무와 심야전력 timer 입력이 필요하고, 출력으로는 히터의 제어를 위한 1ch relay output이 필요하다. 공급시간자동제어기와 기존 제어기는 직렬로 연결되며, 히터양단의 전압으로 구동되는 히터 On/Off 여부를 알려주는 Relay와 심야전력 Timer에 연결되어 심야전력 시간 여부를 알려주는

Relay가 붙으며, 공급시간자동제어기에 붙어있는 히터제어 Relay는 Normal Close상태여야 공급시간 자동제어기의 전원이 나가도 기존제어기에 의해서 보일러가 동작하게 된다.

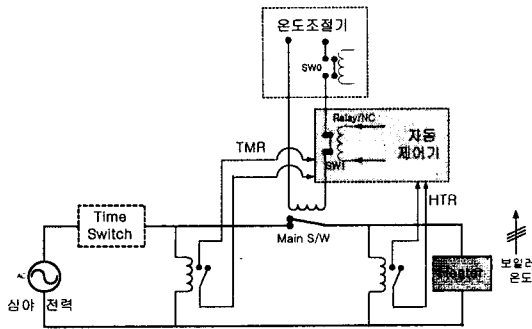


그림 2 공급시간자동제어장치의 개념도

보일러의 축열량을 알아보기 위한 평균온도를 계산하기 위해서는 그림 3과 같이 보일러의 상판 중앙부로부터 균등 5분할하여 4개 지점의 수온을 Thermistor를 사용하여 측정한다.

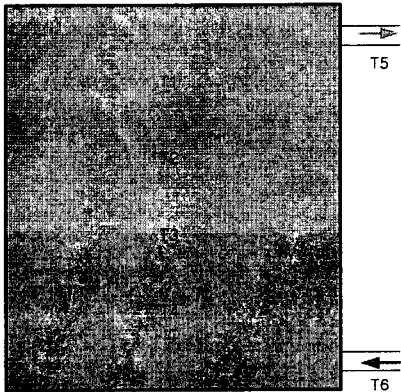


그림 3 보일러의 온도 측정부위

센서는 보일러내부에 삽입봉을 넣어 측정한 평균값과 보일러 외벽에 센서를 부착하여 측정한 평균값이 그림 4에서와 같이 일정한 오프셋만 가지므로, 비용과 A/S가 어려운 삽입형 대신 벽면 부착형 센서를 쓰도록 한다.

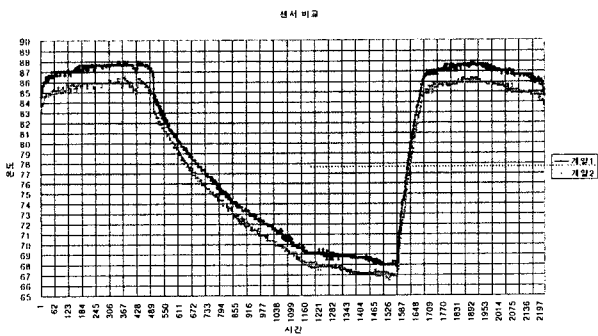


그림 4 삽입형 센서와 벽면부착형 센서와 평균온도비교

### 3. 제어알고리즘

#### 3.1 제어방식

제어방식은 이전의 보일러 운전 조건 및 운전 상태를 분석하여 축열 시간을 예측, 제어하는 Adaptive Feed Forward 제어방식을 사용한다. 간단히 설명하면 하루 전 보일러의 평균온도 실제 상승률과 부하율을 측정하여 보일러의 무부하 상승률을 계산하여 현재상태의 부하율을 측정하여 보일러의 실제 상승률을 계산하는 방식이다.

축열예측 시간은 다음과 같은 기본식에서 구할 수 있다.

$$\text{축열예측시간}(H) = k_1 \times \frac{T_{tgt} - T_{avg}}{T_x}$$

$$= \frac{\text{목표 평균온도}(C) - \text{축열조 평균온도}(C)}{\text{축열시 1시간당 평균온도 상승율}(C/H)} \quad (1)$$

- 축열조 평균온도 :  
 $T_{avg} = (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5) / 5$  (그림 3 참조)
- 목표 최고 평균온도( $T_{tgt}$ ) :  
 지금까지 축열조의 최고 평균온도
- 실질온도 상승율 ( $T_x$ ) :  
 Heater 가동시 1시간당 실질적 평균 상승온도
- 무부하 온도상승율 ( $T_y$ ) :  
 무부하 Heater 가동시 1시간당 평균 상승온도
- 부하에 의한 온도하강율 ( $T_z$ ) :  
 Heater 차단직후 또는 투입직전 1시간당 평균 상승온도
- $T_x = T_y + T_z$ ,  $k_1$  : 예비율

축열조 평균온도를 구하는 이유는 보일러의 축열량 및 현재 부하량 그리고 자연 발열량 등 모든 조건들이 평균온도에 다 들어가 있기 때문이다. 그리고 평균 온도를 구할 때 보일러가 성층화 될 때 최악의 상황일 때 T4의 면적이 전체의 2/5가 되므로 T4를 두 번 고려해 주었다.

#### 3.2 제어알고리즘

심야축열기 공급시간제어에서 중요한 것은 축열조의 축열량을 측정하는 것이다. 그러나 보일러마다 유량과 심야전력 전원의 차이로 인해서 정확히 축열량을 측정하기 어렵고 또한 여러 가지 센서들이 필요하여 원가 상승 요인이 된다. 따라서 축열량을 대표하며, 여러 가지 변수들인 부하 사용량, 외부 온도차에 의한 자연 열 손실 등을 모두 고려할 수 있는 보일러 내부의 온도를 측정하여 평균온도를 구한다. 이 평균온도의 상승률과 하강률을 측정하면 보일러의 축열량의 변화를 알 수 있다.

제어 알고리즘은 평균온도가 축열량을 대표한다고 가정하고 현재의 온도에서 목표치 온도까지 평균온도의 상승률을 예측하여 목표치 온도 도달시간을 예측하여 심야 전력시간대인 06:30분에 목표치 온도에 도달하도록 보일러의 히터의 동작을 제어하는 알고리즘이다.

예측시간을 알기 위해서는 먼저 전날에 실제 평균온도 상승률과 히터가 off되고 최고온도에서 부하사용량에 따라 온도하강률을 1시간 측정하여 부하사용을 하지 않을 때, 즉 무부하시 평균온도 상승률을 계산한다. 그리고 20:00시부터 그 날의 부하사용에 의해서 떨어지는 온도하강률을 측정하면서 그 전날 무부하시 평균온도 상승률에서 온도하강률을 빼서 그 날의 평균온도상승률을 계산한다. 계산된 평균온도상승률과 현재의 평균온도, 목표 평균온도에서 위의 축열 예측시간 계산식에서 축열시간을 예측하여 축열이 06시 30분에 끝나도록 히터에 제어 신호를 준다.

#### 4. 실험 및 결과

한전전력연구원에 심야전기 보일러 실험장치를 구성하였다. 부하로는 팬코일 유닛을 썼으며 PC를 사용하여 전체 보일러를 제어하였다. 온도센서는 보일러 측면에 4개의 벽면센서와 삽입형 센서를 사용하여 보일러 내부 온도를 측정하였고, 히터의 동작제어를 위한 Relay만 제어해주고, 그 외의 것은 기존의 보일러 제어기에서 담당하였다.

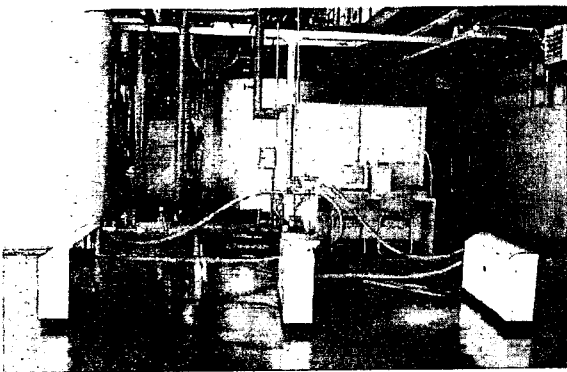


그림 5 실험장치 구성

실험 조건은 무부하실험과 팬코일 유닛의 부하량에 대한 실험, 온도제어기의 온도 변화에 따른 실험 등 모든 조건의 실험으로 극한 환경에서도 사용자가 보일러를 쓰는데 불편이 없도록 여러 가지 데이터를 확보했다.

그림 6의 실험과형은 온도센서를 벽면에 5개 붙이고, 새벽 3시를 중심으로 보일러의 축열이 되도록 제안된 알고리즘 사용하여 실험한 결과이다. 실험 결과 3시를 중심으로 히터의 동작이 되어 알고리즘이 잘 동작됨을 알 수 있다.

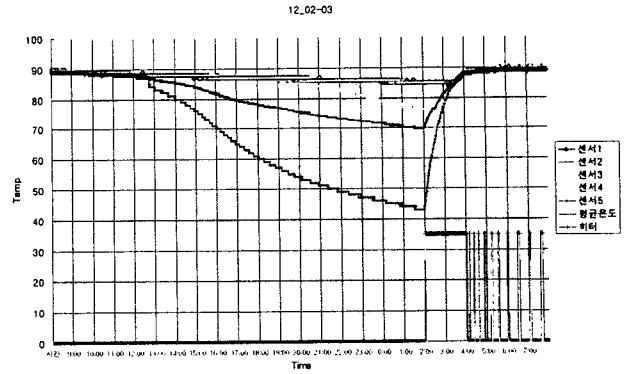


그림 6 실험과형(03:00를 중심으로 통전제어)

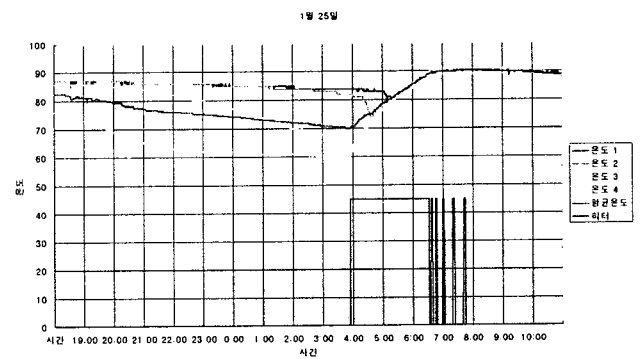


그림 7 실험과형(06:30에 끝나는 통전제어)

그림 7의 실험과형은 온도센서를 벽면에 4개 붙이고, 새벽 6시 30분에 보일러의 축열이 끝나도록 제안된 알고리즘 사용하여 실험 한 결과이다. 실험 결과 6시 30분 근처에서 첫 번째 히터의 off가 나타나 알고리즘이 잘 동작함을 알 수 있다. 현재까지는 이러한 조건으로 계속 여러 가지 상황을 만들어 가며 실험 중이며 계속 된 실험으로 알고리즘상의 변수인 예비율, 하강율 비율 등의 값을 인공지능적으로 수정되어지도록 하고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김준호 "심야전력을 이용하는 축열식 난방시스템의 보급현황과 전망", 수요관리 기술 워크샵, 1999
- [2] 김정수, "한전의 축열식 냉방설비 보급지원제도", 수요관리 기술 워크샵, 1999
- [3] 김문덕, "전력 수요관리 정책", 제8회 에너지절약기술 워크샵 논문집, 1993.
- [4] 한국전력공사, "장기 전력수급 계획", 1993
- [5] 고 요 "온실가스 저감을 위한 전기에너지 절약기술", 일우당
- [6] 정봉만 외, "전력부하관리시스템 개발 및 응용기술" 최종보고서 KIER-966404/1, 과학기술처, 1996.
- [7] 정봉만 외, "심야전력을 이용한 에너지저장 및 부하율 향상기술" 에너지기술연구소, 과학기술처, 1999.