

심야전기보일러의 통전제어시스템 개발

박석인, 정봉만, 유승원, 한승호*, 최병윤*
한국에너지기술연구원, 한국전력공사 전력연구원*

Development of Automatic Control System for Midnight Electric Boiler

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

Abstract - 기저부하조성 및 부하을 향상을 위한 심야 전력요금제도의 정착으로 최근 심야전력축열기기의 보급이 활성화되고 있다. 그러나 모든 심야전력축열기기가 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 심야전력기기 통전시간제어가 필요하게 되었으며, 이에 개발된 알고리즘을 실증시험을 통하여 검증하게 되었다.

생하고 여름철 일부하피크량에 육박하여 한전의 수요관리에 큰 어려움을 주고 있다. 따라서 심야시간 피크발생을 억제하고 효과적인 심야수요개발을 위하여 22:00에 동시에 투입되는 심야전력기기 부하를 심야전력 공급시간대의 저부하 시간대(01:00~06:00)로 분산시킬 수 있는 심야전력기기 통전제어장치 개발이 필요하다.

1. 서 론

전력부문에서의 부하관리의 궁극적 목표는 최대부하의 효과적인 억제와 부하곡선의 평준화에 의한 전력계통 운영의 효율화를 기하는 것이다. 즉, 연간 최대부하를 낮춤으로써 신규발전설비의 건설을 억제하고 일간 부하평준화를 이룸으로써 첩두 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.

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. 공급시간 자동제어기와 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 공급시간자동제어기의 전원이 나가도 기존제어기에 의해서 보일러가 동작하게 된다.

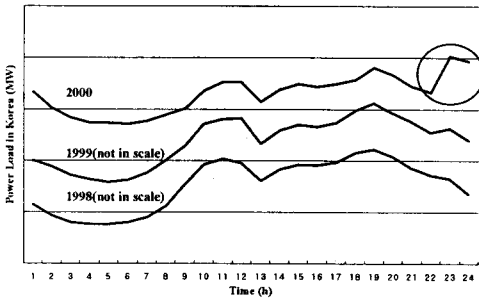


그림 1 겨울철 일부하곡선의 변화

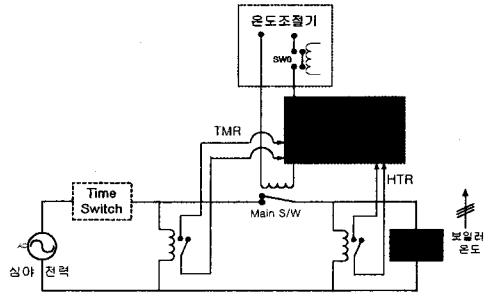


그림 2 통전제어장치의 개념도

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

그림 1은 겨울철 일부하곡선의 연간 변화를 보여주고 있다. 겨울철 일부하피크는 예전에는 19:00부근에서 최대였으나, 심야전력기기가 급격히 보급되어 2000년도에는 심야전력공급시간인 23:00에 일부하 최대피크가 발

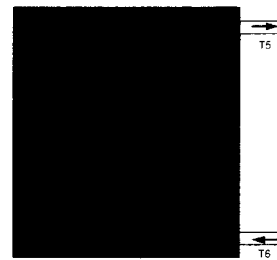


그림 3 보일러의 온도 측정부위

보일러의 축열량을 알아보기 위한 평균온도를 계산하

기 위해서는 그림 3과 같이 보일러의 상판 중앙부로부터 균등 5분할하여 4개 지점의 수온을 Thermistor를 사용하여 측정한다

$$\text{평균온도}(T_{avg}) = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \times 2}{5} \quad (1)$$

측열조 평균온도를 구하는 이유는 보일러의 측열량 및 현재 부하량 그리고 자연 발열량 등 모든 조건들이 평균 온도에 다 들어가 있기 때문이다. 그리고 평균 온도는 보일러가 성층화 되면서 최악의 상황일 때 T4의 면적이 전체의 2/5가 되므로 T4를 두 번 고려해 주었다.

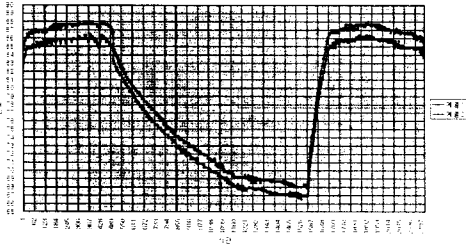


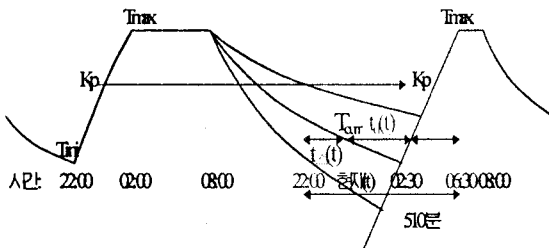
그림 4 삽입형 센서와 벽면부착형 센서와 평균온도비교

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

3. 통전제어알고리즘

통전제어는 기존의 22:00에 심야전력이 공급되면 동시에 가동되었던 심야전력측열기에 통전제어장치를 부착하여 심야전력으로 히터를 가동시키는 전에 남아있는 측열량을 측정하여 히터의 첫 번째 off 시간이 06:30이 되도록 히터의 통전시간을 이동시키는 것을 주 목적으로 한다.

제어방식은 이전의 보일러 운전 조건 및 운전 상태를 분석하여 측열 시간을 예측, 제어하는 Adaptive Feed Forward 제어방식을 사용한다. 간단히 설명하면 하루 전 보일러의 평균온도 실제 상승률을 측정하여 다음날 보일러의 평균온도 예상 상승률로 생각하면 목표 온도(Tmax)가 정해져 있으므로 매분마다 현재의 평균온도만 측정하면 언제 보일러의 히터를 가동시켜야 할 지 알 수 있다.



$$t(t) = 510\text{분} - t_1(t) - (T_{max} - T_{curr}) / K_p$$

그림 5 통전제어알고리즘 개념도

3.1 통전제어알고리즘

통전제어알고리즘의 순서는 다음과 같다.

1. 첫날은 평균 온도 상승률을 측정하기 위해서 통전제어 스위치 S를 폐로(ON)하여 기존제어기로부터 동작하도

록 한다.

2. 제어장치의 전원이 공급된 순간부터 매 1분 간격으로 데이터 읽어 들인다.(입력 데이터: 시간, 온도, 심야전력 타임스위치 ON/OFF, 히터 ON/OFF)
3. 온도는 4개 이상을 기준으로 하여 측열조 내부의 평균온도로 사용한다.(그림 3, 식 (1) 참조)
4. 심야전력이 공급되어 심야전력 타임스위치 ON 되는 순간, 통전제어장치의 내부 타이머를 0으로 세팅한다.
5. 전일 측열시간동안 평균온도상승율을 다음과 같이 구한다.

$$K_p = \frac{T_{max} - T_{ini}}{t_{off} - t_{on}} \quad (2)$$

6. 전일의 Kp 값을 기억, 익일의 평균온도 상승기울기로 사용한다.
7. 08:00에 심야전력이 중단되어 타임스위치가 OFF되면 동시에 통전제어스위치 S를 개로(OFF)한다.
8. 익일 심야전력 투입으로 타임스위치가 ON 되는 순간, 제어장치의 내부타이머를 0으로 재조정하며 통전제어스위치 S를 ON 시킨다.
9. 매분마다 현재의 평균온도를 측정하여 히터의 가동시간이 얼마나 남았는지 계산한다.

$$t_d(t) = 510\text{분} - t(\Delta t) - \frac{(T_{max} - T_{curr})}{K_p} \quad (3)$$

510분은 22:00를 기준으로 06:30을 분으로 계산하였을 때이다. 따라서, 목표온도(Tmax)와 현재온도(Tcurr) 그리고, 평균온도 상승률(Kp)과 현재 시간을 알고 있으므로 식(3)에서 히터가동까지 남아있는 시간(td)을 알 수 있다.

10. td(>0)이 되는 순간 히터를 가동시켜주면 된다.

4. 실험 및 결과

4.1 통전제어알고리즘 실험

한전전력연구원의 심야전기 보일러 통전제어 실험장치를 구성하였다. 부하로는 팬코일 유니트를 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.

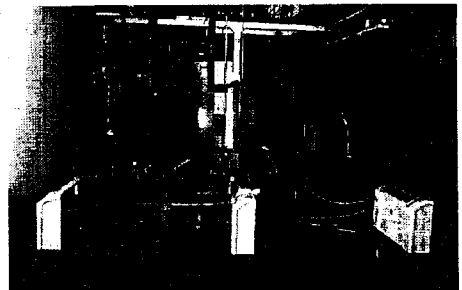


그림 6 실험장치 구성

실험 중 한전전력연구원의 실험장소가 실내가 아닌 관 계로 자연 온도 하강율이 많아졌고, 주위의 온도가 너무 극심한 차이를 보이고 너무 낮아 부하로 사용될 팬코일 유니트의 사용을 줄이고 여러 가지 조건에서 실험을 하였다.

실험 조건은 무부하실험과 팬코일 유니트의 부하량에 대한 실험, 온도제어기의 온도 변화에 따른 실험 등 모든 조건의 실험으로 극한 환경에서도 사용자가 보일러를

쓰는데 불편이 없도록 여러 가지 데이터를 확보했다.

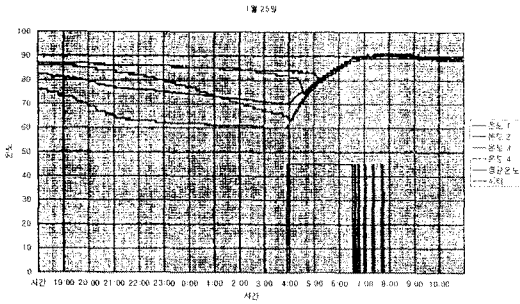


그림 7 실험파형

그림 7의 실험 결과에서와 같이 6시 30분 근처에서 첫 번째 히터의 off가 나타나 알고리즘이 잘 동작함을 알 수 있다.

4.2 통전제어실증 실험

한전전력연구원에서의 기초실험으로 통전제어알고리즘의 성능은 입증되어 현장실증실험을 하기 위해서 심야전기보일러 통전제어장치시작품을 그림 7에서와 같이 제작하였다.

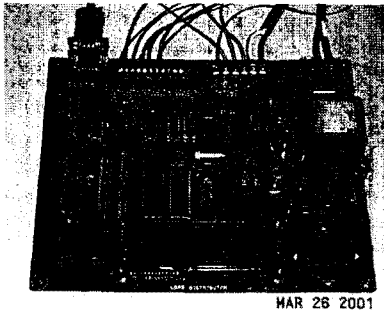


그림 8 통전제어장치 시작품

통전제어장치시작품은 온도센서입력 6개와 심야전력 타임스위치입력, 히터의 on/off 유무 입력 그리고, 히터 통전출력 relay장치와 실증시험을 위한 RS232통신포트와 간단한 display장치를 가지고 있다.

현장 실증시험은 대전의 2층 양옥 가정집을 대상으로 실제 가정에서 여러 부하들의 변화에 어느 정도 이 알고리즘이 정확히 예측하여 실제 소비자들이 사용하는데 불편이 없는지 알아보았다.

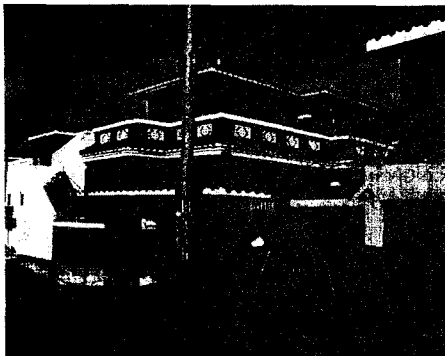


그림 9 실증실험 현장

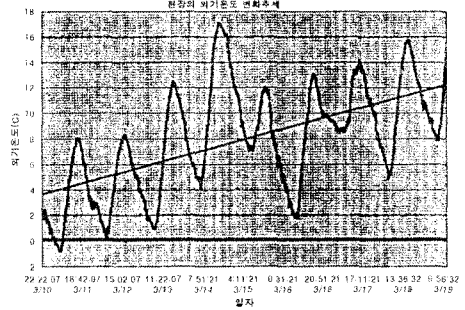


그림 10 실증실험 기간 중의 외부 기온변화

현장의 실험조건은 30kW 30평형 심야전기보일러로 1층과 2층 모두 난방하고 있었으며, 그림 9에서와 같이 실증실험기간중에 외부온도변화가 심하여 평균온도상승률도 매일 매일 달라져서 알고리즘 실증실험의 좋은 조건이 되었다.

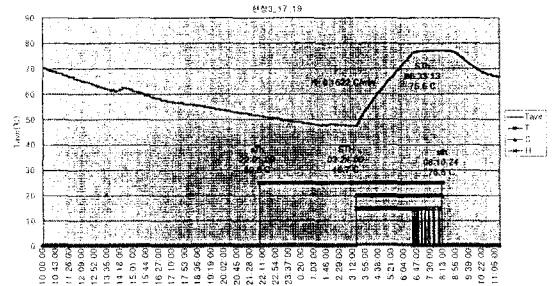


그림 11 실증실험 결과

그림 11은 현장실증실험의 하루치 데이터를 보여주고 있다. 심야전력공급시간은 22:01~08:10이었으며, 첫 번째 히터의 on 시간은 03:24이고, 첫 번째 히터의 off 시간은 06:33으로 통전제어알고리즘이 제대로 잘 동작함을 알 수 있다.

이상으로 외부의 급격한 온도변화나 소비자의 난방패턴과 같은 모든 조건들이 평균온도에 모두 포함된다 가정으로 시작한 통전제어알고리즘이 실제현장에서도 유효함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 앞으로 심야전기 온수기, 온돌, 온풍기와 같은 심야전력출력기기의 통전제어장치의 개발에도 좋은 초석이 될 것이다.

[참 고 문 헌]

- (1) 김준호 "심야전력을 이용하는 축열식 난방시스템의 보급 현황과 전망", 수요관리 기술 워크샵, 1999
- (2) 김정수, "한전의 축열식 냉방설비 보급지원제도", 수요관리 기술 워크샵, 1999
- (3) 김문덕, "전력 수요관리 정책", 제8회 에너지절약기술워크샵 논문집, 1993.
- (4) 한국전력공사, "장기 전력수급 계획", 1993
- (5) 고 요, "온실가스 저감을 위한 전기에너지 절약기술", 일우당
- (6) 성봉만 외, "전력부하관리시스템 개발 및 응용기술" 최종 보고서 KIER-966404/1, 과학기술처, 1996.
- (7) 정봉만 외, "심야전력을 이용한 에너지저장 및 부하를 향상기술" 에너지기술연구소, 과학기술처, 1999.