

**심야전력의 효율적 운영을 위한 공급시간 자동제어시스템의 개선**

문 식, 최 길  
한국전기연구원

**Improvement of Automatic control system for midnight power to operate effectively**

S. Moon, K. Choi.

Korea Electrotechnology Research Institute

**Abstract** - Midnight electrical power appliance has come into a wide use due to the midnight power rate system introduced for effective power operation and an improved load factor. However, the sharply increased number of the appliance has brought about a serious problem in midnight power supply for the past few years. Moreover, the automatic control device, developed to address the problem, has not properly functioned because of the misuse and illegal conversion of the device. This paper will suggest solutions to the problem by improving the automatic control system for supply time (ACST) and demonstrate its effectiveness through tests.

가동됨에 따라 23:00경에 심야전력 부하가 최대에 이르러 전력피크가 발생하여 한전의 수요관리에 큰 어려움을 주고 있다. 따라서 피크 부하를 심야전력 공급시간대의 거부하시간대로 분산시킬 수 있는 심야전력기기 공급시간자동제어장치가 보급되어 심야기기부하의 관리정책에 효과적으로 활용되어왔다.

하지만, 부착된 자동제어장치가 사용자의 불편과 여러가지의 문제점으로 인하여 자동제어장치의 기능을 제거하여 불법적으로 사용된 경우가 많이 발생하였다. 이로 인해 심야전력량의 예측에 많은 어려움을 겪고 있다. 본 논문에서는 공급시간자동제어장치가 설치시 및 사용시에 불법적으로 사용되는 것을 방지하기 위하여 문제점들을 개선하였으며, 실증실험을 통하여 이를 검증하였다

**1. 서 론**

기저부하조성 및 부하율 향상을 위한 심야전력요금제도는 특정시간대에 집중되는 전력수요를 분산시키고 전기사용이 비교적 적은 심야의 전력 수요를 증대시켜 전력 소비를 효율적으로 운용하기 위한 제도이다. 1985년부터 심야요금제도를 시행하였으며, 홍보 및 의식수준의 향상으로 심야기기의 보급이 1997년부터 급격히 증가하여 그림 1에서 보는 것과 같이 주택용 심야전력소비는 계속 증가추세에 있다.

표 1 심야기기 년도별 판매추이 및 전력량

년도(년)	1997	1998	1999	2000	2001
대수(대)	57,887	97,467	146,162	336,211	248,914
전력량(kW)	416,818	1,018,663	2,139,508	5,315,624	3,331,000

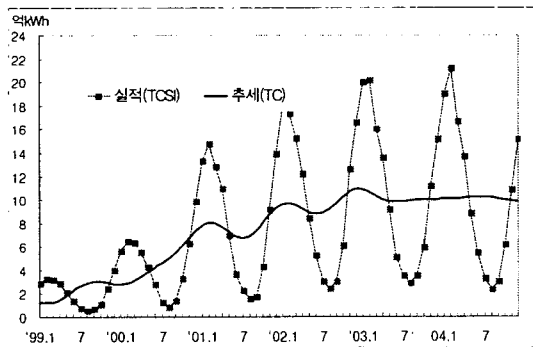


그림 1 2004년 심야전력 판매추이 (주택용 심야기준)

심야기기는 심야요금개시시간대인 22:00경에 동시에

**2. 공급시간 자동제어장치의 동작원리 및 알고리즘**

**2.1 동작원리**

공급시간 자동제어장치는 한전의 심야전력 공급 시간에 맞추어 1모드방식과 3모드방식으로 동작된다.

표 2 심야전력 공급시간 Mode 종류

Mode	동작시간	비 고
1모드	22:00 ~ 08:00 (10시간)	
3모드	20:00 ~ 22:00 (2시간 ON)	예시
	22:00 ~ 00:00 (2시간 OFF)	
	00:00 ~ 08:00 (8시간 ON)	

기존의 공급시간 자동제어장치는 온도센서에 대해 단선 또는 단락인 경우이거나,  $T_1$  이  $T_{ave}$  가 5 $^{\circ}$ C이하일 경우 동작이 중지되고, 비정상상태(ERR : Error)를 표시해주는 기능밖에 없었다. 이는 임의로 심야공급시간조작, 히터(Heater)조작, 운전모드(Dip switch) 등의 조작이 쉽게 가능하였다. 이러한 문제점들에 아래와 같은 사항들을 추가적으로 개선하였다.

- Dip switch 운전모드 이외의 다른 설정을 할때
- 온도센서( $S_1$ - $S_1$ )의 단선 또는 단락시
- Heater 입·출력 검출이 일치 되지 않을 경우
- 자동온도조절기 센서 단선 또는 단락시
- 과열 방지기 센서 동작시

개선된 공급시간 자동제어장치의 제어방식을 보면 그림 3과 같다.

이후 시간제어 누적이 된다.

## 2.2 공급시간 자동제어장치 알고리즘 동작 알고리즘

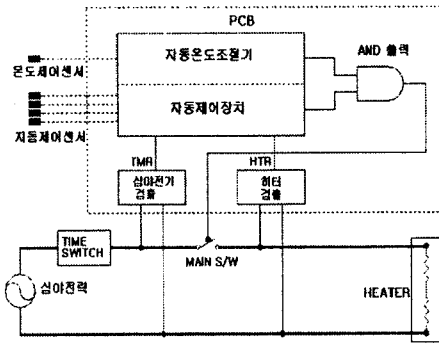


그림 2 공급시간 자동제어장치 구성도

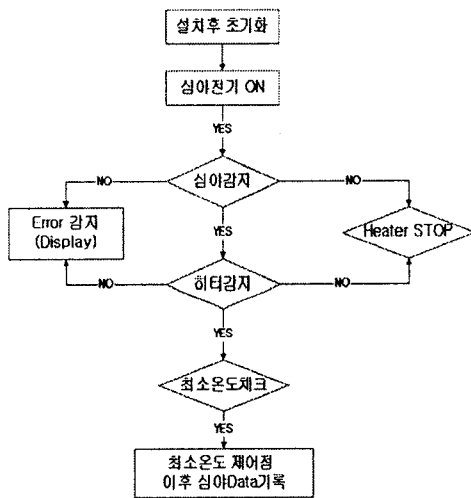


그림 3 공급시간 자동제어장치의 제어방식

### ① 설치후 초기화

설치후 심야전기 인가 전 까지 시간을 00:00로 만들어 초기화 시키는 역할 (이후 심야 시간대가 되어 심야전기가 인가될 경우 10:00로 인식하여 시간 누적하게 된다.)

### ② 심야감지

한전에서 심야전기가 인가되면 공급시간 자동제어장치에서 심야 전기를 감지한다. 심야 전기가 콘트롤에 들어오게 되면 초기화 했던 시간이 10:00가 되어 제어 시간을 계산/준비하게 된다.

- 심야 전기가 들어오던 도중 갑자기 나가게 되면 ERR(Error)출력

- 심야전기가 들어오고 있으나 공급시간 자동제어장치에서 감지를 못했을 경우 히터 동작 안함

### ③ 히터감지

심야전기 인가 후 심야전기가 감지된이후 공급시간 자동제어장치에서는 히터에 통전을 하게 되며 통전 이후 히터 가동 여부를 감지 하게 된다.

- 심야 전기가 인가되지 않았을 경우 사용자가 임의로 히터에 통전하였을 경우 ERR출력

- 심야전기가 인가되었는데 히터에 통전되지 않았을 경우 ERR출력

### ④ 최소온도 체크/비교

보일러 내부의 최소 온도점을 인식하여 보일러내부가 최소온도 이상에서 동작할 수 있도록 해준다.

- 최소온도 이하일 경우 최소온도가 될 때까지 시간누적에 상관없이 히터가 가동된 후 최소온도 이상이 되면

보일러를 가동한 첫 날 또는 초기화 버튼을 조작한 날에는 제어장치가 초기모드로 동작하도록 한다. 초기모드에서는 자동온도조절장치에 의하여 보일러를 동작시키면서 자동제어를 위하여 축열조 평균온도[Tave]를 측정하고, 축열 시간중의 온도 상승률 K를 구한다. 초기모드에서 운전한 다음날부터는 자동제어장치에 의하여 운전하며, 계약사용시간의 시작점부터 매 1분 간격으로 산출한 예측지연시간이 "0"이하가 되는 시점에서 축열을 시작한다. 이때 예측지연시간은 식(1)에 의하여 산출한다.

$$t_d(t) = 510\text{분} - t_{\Delta t} - \frac{T_{\max} - T_{cur}}{K_p} \quad (1)$$

단,  $T_{\max}$ 가 61℃ 이상인 경우로서 축열조 최상부에 설치한 온도센서(S1)의 온도 값 (T1)이 보일러 45℃, 온수기 30℃이하일 경우에는 식(1)에 의하여 산출된  $t_d(t)$ 에 관계없이 축열을 시작한다.

$t_d(t)$  : 예측지연시간 (임의의 시점에서 같은 시점의 평균 온도를 기준으로 예측한 지연시간)

$t_{\Delta t}$  : 계약사용시간 개시 후 측정시점까지의 경과시간  
510분 : 계약사용시간 개시시점으로부터 축열종료 시점까지의 시간

$T_{\max}$  : 직전일의 축열종료 시점에서의 축열조 평균온도

$T_{cur}$  : 측정시점에서의 축열조 평균온도

$K_p$  : 전일 축열시간 동안의 평균 온도상승률

전일 축열시간 동안의 평균온도상승률은 식 (2)와 같이 구한다.

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

$T_{int}$  : 발열체에 전력이 투입된 시점에서의 축열조 평균온도

$t_{on}$ ,  $t_{off}$  : 발열체에 전원이 투입 또는 차단된 시점의 시각  
축열조 평균온도는 축열조 상부로부터 하부까지 설치된 온도센서를 S1, S2, S3, S4라고 하고, 각각의 온도센서가 측정한 온도를 T1, T2, T3, T4라고 할 때 식(3)과 같이 정의한다.

$$T_{ave} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + 2T_4}{5} \quad (3)$$

## 3. 개선된 공급시간 자동제어 장치의 실증 실험

실증실험은 두 가지로 나누어 검증하였다. 첫 번째는 표준제어시험장치에 공급시간 자동제어장치를 설치하여 실험하였고, 두 번째는 실제 사용자가 사용하는 환경과 유사하게 현장에 직접 시공한 상태에서 공급시간 자동제어장치를 설치하여 실험을 진행하였다.

### 3.1 표준제어장치와 공급시간 자동제어장치의 비교 실증 실험

표준제어장치에 의한 실험회로구성은 그림 4와 같이 표준제어장치는 표준제어장치(Control program PC)에서 설정된 프로그램에 의해 심야전력 공급시간모드(1모드 또는 3모드)에 맞게 동작하게 되며, 자동제어장치(Data input PC)는 공급시간 자동제어장치에서 받은 데이터를 통신port를 통해 받게 된다.

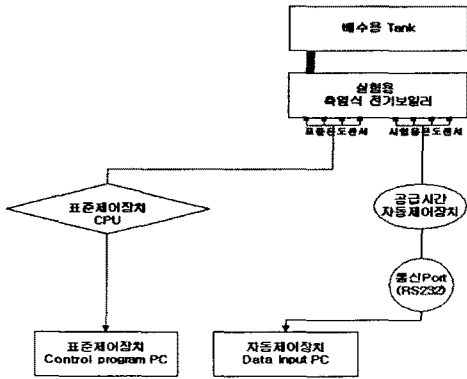


그림 4 표준제어장치에 의한 실험회로구성도

실험은 각각 2주 동안 5개의 공급시간 자동제어장치에 대해 10주 동안 실험하였으며, 비교 실험에서는 개선된 공급시간 자동제어장치의 알고리즘에 의한 지연시간과 심야전력 공급시간에 따른 공급시간 자동제어장치의 동작성능 및 정전복구후 정상적인 동작을 검증하기 위한 실험이다.

### 3.2 공급시간 자동제어장치의 부차 성능시험

부차 성능시험에서는 온도센서의 단선, dip switch 조작, 개폐기조작에 의한 히터의 연속투입 및 공급시간 자동제어장치를 불법 조작시 ERR 표시가 됨과 동시에 심야전력 공급이 자동적으로 차단되는지를 검증하기 위한 실험이며, 그림 5 에서와 같이 공급시간 자동제어장치를 실제 설치 조건과 동일하게 부차하여 1모드와 3모드를 동시에 진행하였다.

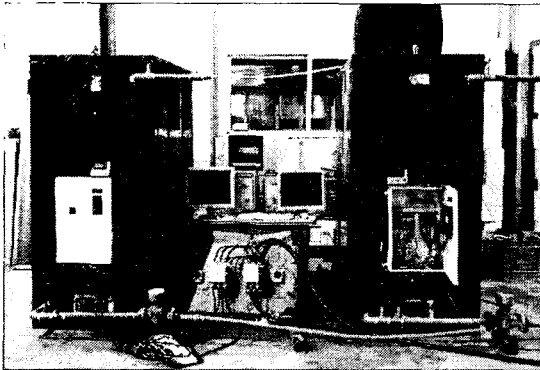


그림 5 공급시간 자동제어장치를 부차한 현장실험 장면

현장 부차 실험은 축열식 전기보일러(2700l)을 대상으로 공급시간 자동제어장치를 부차하여 1대는(그림 5에서 왼쪽) 1모드로 운영, 다른 1대는 (그림 5에서 오른쪽) 3모드로 실험하였다. 최초 초기화후 예비 가열된 온도(55℃)부터 가열을 시작하였으며, 가열 후 약 2시간 후 심야전력 공급시간 이라도 설정온도가 되어 심야전력은 투입되지 않고 있다. 익일 배수를 시작하여  $T_2(S_2)$ 의 온도가 약 45℃까지 배수를 하였다. 심야전력이 공급되기전 강제 공급시간 자동제어장치를 조작하여 2일째와 4일째에 Heater를 강제투입 하였으며, 이때 공급시간 자동제어장치에 ERR 가 표시되는 것을 확인하였다.(그림 6)

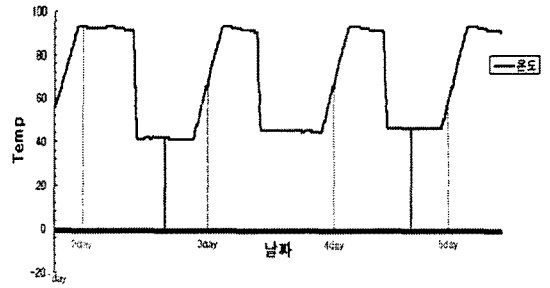


그림 6 현장 부차시험 1모드 결과

1모드 부차실험 후 축열식 전기보일러에 부차된 각각의 온도센서( $S_1$ ~ $S_2$ )를 단선, dip switch 변환등 표 3의 실험항목들을 실험한 결과 개선된 공급시간 자동제어장치의 알고리즘에 따라 ERR 가 표시되는 것을 확인 할 수 있었다.

표 3 공급시간 자동제어장치 실험항목

실험항목	표시치	실험항목	
		이상 상태(FL)	표시치
비정상 상태(Er)		이상 상태(FL)	
DIP Switch 운전모드 이외의 다른모드로 설정할 경우	Er 09	저수위 동작시	Er 07
과열방지기 센서 동작시	Er 06	S <sub>1</sub> 이 단선 또는 단락	Er 01
T <sub>1</sub> 이 평균온도 보다 5℃ 이하일 경우	Er 05	S <sub>2</sub> 가 단선 또는 단락	FL 02
히터의 입·출력 검출이 일치 되지 않을 때	Er 00	S <sub>1</sub> 가 단선 또는 단락	FL 03
자동온도조절기 센서 단선 및 단락시	Er 08	S <sub>2</sub> 가 단선 또는 단락	FL 04

## 4. 결 론

본 논문에서는 실증실험을 통하여 개선된 공급시간 자동제어장치의 성능을 검증하였다. 특히 심야전력공급시간외 사용시 ERR출력과 Heater의 입·출력이 일치하지 않을 경우에 대해서도 모두 만족하는 결과를 얻었다. 공급시간 자동제어장치에 의한 제어가 필수적이며, 심야전력 부하제어에 크게 기여될 것으로 기대된다.

또한, 심야전력 공급시간 Mode를 다양화하여 지역별, 사용형태에 맞게 심야전력 공급시간을 분산시키고, 심야전력요금 체계변화도 고려되어야 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, "축열식 전기보일러 및 온수기의 심야기인정 및 사후관리 기준", 2004
- [2] 한국전력공사, "전력통계월보 및 한국전력통계", 각년도
- [3] 한국전력거래소, "가전기기 보급률 및 가정용전력 소비행태 조사", 2003, 2004년
- [4] 김창수 외2, "심야전력 보급증가와 부하패턴 및 발전비용 영향", 대한전기학회 하계학술대회, P547, 2001
- [5] 정봉만 외4, "심야전력 부하평준화를 위한 심야전기보일러 통전제어시스템 개발", 전력전자학술대회, P128, 2001
- [6] 한국전기연구원, "심야 축열식 전기보일러/온수기 시험장비 매뉴얼", 2001