

축열식 전기온돌 공급시간자동제어시스템

박석인, 정봉만, 유승원  
한국에너지기술연구원

Development of Automatic Control System for Midnight Electric Ondol

S. Park, B. Jung, S. Yu  
KIER

**Abstract** - 기저부하조성 및 부하율 향상을 위한 심야 전력요금제도의 정착으로 최근 심야전력축열기기의 보급이 활성화되고 있다. 그러나 모든 심야전력축열기들이 심야요금개시시간대인 22:00경에 동시에 가동됨에 따라 23:00경에 심야전력 부하가 최대에 이르러 전력피크가 발생하여 한전의 수요관리에 큰 어려움을 주고 있다. 따라서 이 피크 부하를 심야전력 공급시간대의 저부하시간대로 분산시킬 수 있는 심야전력기기 공급시간제어장치가 필요하게 되었으며, 이미 축열식전기보일러와 축열식 전기온수기에는 개발 보급되고 있는 실정이다. 이 논문에서는 다른 심야전력축열기기와는 달리 자연방열의 바닥축열난방방식인 축열식전기온돌의 공급시간자동제어장치 알고리즘을 실증실험을 통해서 검증하였다.

1. 서 론

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

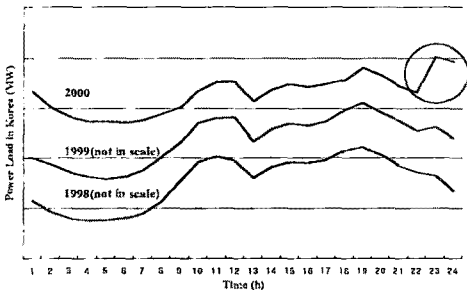


그림 1 겨울철 일부하곡선의 변화

최근 전력부하 평준화를 통한 경영효율 증진을 위하여 난방 및 급탕에 사용되는 심야전력기기(보일러, 온수기, 온풍기, 온풍) 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 이르고 있으며, 이에 따라 심야전력기기에 의한 전력피크 발생 우려가 현실로 나타나고 있다.

그림 1은 겨울철 일부하곡선의 년간 변화를 보여주고 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 저부하 시간대(01:00~06:00)로 분산시킬 수 있는 심야전력기기 공급시간자동제어장치 개발이 필요하다.

2. 축열식전기온돌 기초실험데이터

축열식전기온돌은 심야전력을 이용하여 바닥면의 축열층에 열을 저장하였다가 자연 방열하여 난방에 사용하는 바닥축열 전기난방방식을 사용한다. 다른 심야전력축열기기와는 달리 축열층이 공장에서 만들어지지않고 현장에서 직접 시공되어지므로, 이러한 축열식전기온돌은 사용재료, 시공방법에 따라 축열층의 온도 조건에 달라지고, 시공장소마다 다른 조건이 형성된다. 그러나 일반적인 축열층 온도 변화경향은 비슷할 것으로 생각된다. 실제 난방부하에 사용되는 축열식전기온돌의 온도 변화를 측정하고 분석하여 제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

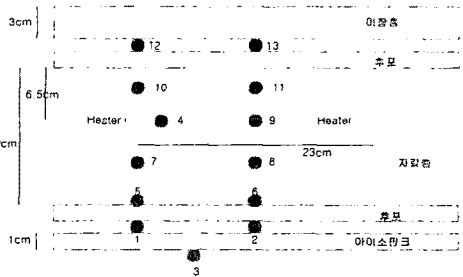


그림 2 축열식 전기온돌 센서 구성도

기초적인 축열식전기온돌의 온도변화 데이터를 구하기 위해서 대전의 실증실험을 위한 2층집 안방에 시공되어진 축열식전기온돌에 온도센서를 사용하여 약 2주일간의 데이터를 측정하였다. 그림 2는 축열층 온도센서들의 위치를 표시하였다.

그림에서와 같이 시공업체의 시공방식에 의해 히터의 위치가 정중앙에 위치하진 않았다. 온도센서는 히터의 상하와 히터와 히터사이의 공간에 설치하였으며, 써머커플 K타입을 사용하였다. 또한 방안의 온도를 측정하기 위해서 방바닥과 천장사이에 써미스터 3개를 사용하였다.

그림 3에서 알 수 있듯이 심야전력 공급 개시시간인

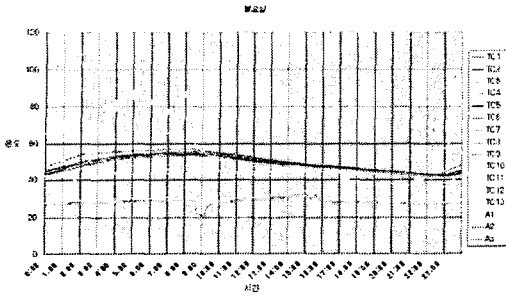


그림 3 축열층 기초실험데이터

저녁 10시부터 축열식전기온도에 축열되기 시작하면서 축열층의 온도가 올라가 온도조절기의 설정온도에 다다르면 히터의 off/on이 심야전력 공급 종료시간인 오전 8시까지 이루어진다. 그림 3에서 히터에 가장 가까운 T4와 T7 센서는 히터의 on/off에 온도변화가 심하게 나타나 가장 쉽게 히터의 on/off 시기를 알 수 있다. 또한 다른 센서들은 서서히 축열되어 첫 번째 히터 off가 발생하여도 연속적으로 축열층의 온도가 기울기는 줄어들지만 계속 상승함을 볼 수 있다. 이것은 축열량의 증가를 뜻하는 것만 아니라, 히터 근처의 열량이 방바닥표면으로 이동하여 발생한 결과이다. 실내 온도센서인 A1, A2, A3는 거의 비슷한 온도를 나타내며 24시간 약 26°C 정도로 일정한 값을 나타내었다. 그러나 아침 9시부터 11시 사이에는 방문을 열어놓아서 방안공기를 한번 정도 환기시켜서 온도가 약간 아래로 떨어졌다.

### 3. 공급시간자동제어알고리즘

심야축열기기 공급시간자동제어에서 중요한 것은 축열량을 측정하는 것이다. 축열식전기온도는 앞에서 설명했던 것처럼 시공이 다른 축열기기와는 달리 현장에서 이루어지므로 온도센서의 위치가 매번 달라질 수 밖에 없고, 여러 가지 조건들이 온도센서만으로는 공급시간을 자동제어해줄 수는 없다. 따라서 방열된 축열량을 대표해 줄 수 있는 축열시간을 이용해 공급시간자동제어알고리즘을 개발하였다.

#### 3.1 축열개시시각의 결정

제어 알고리즘은 먼저 전기보일러와 같이 최소온도(사용자의 불편을 야기하지 않기 위해서 최소 축열량 이상을 유지되도록 이 온도 이하에서는 무조건 제어스위치를 가동하여 히터에 심야전력을 공급하는 설정온도)를 정의해줄 수 없으므로 특정시간까지 축열이 끝나는 알고리즘은 적용할 수 없다. 따라서 심야전력계약시간의 중간을 기준으로 양쪽으로 축열이 이루어지도록 하는 알고리즘이 필요하다. 즉 22시에서 08시까지 10시간 심야전력계약을 한 곳에서는 심야시간의 중간인 03시를 기준으로 이 시점이 축열시간의 중간이 되도록 하는 것이다. 이 알고리즘의 장점은 어떤 경우라도 03시 이전에 축열이 시작되므로, 앞에서 설명한 것처럼 시공상에 잘못으로 축열층이 적정상태에 미치지 못한 경우에도 어느정도는 사용자의 불편을 감소시킬 수 있다.

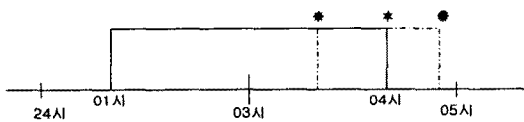


그림 4 기본 제어 알고리즘(축열시간기준)

지연시간은 직전일의 축열시간을 가지고 계산한다. 즉 예를 들어, 전날의 축열시간이 4시간이었다면, 다음날 축열시간 또한 4시간이라고 가정하고 03시를 기준으로 했을 때 축열을 01시에 시작하는 것이다.

그림 4는 기본 제어 알고리즘을 표시하였다. 전날 축열시간이 4시간이었다면 그림에서와 같이 01시에 축열이 시작될 것이다. 오늘이 전날과 방열조건 즉, 전날과 모든 조건이 동일하다면 ①에서 축열이 끝날 것이다. 그러나 만약 오늘이 전날이 비해서 날씨가 따뜻하였다면 방열량이 적어 축열은 ②에서처럼 ①보다는 빨리 끝날 것이고, 반대로 추워서 방열량이 많았다면 ③에서처럼 늦어질 것이다. 그러나 08시 심야전력공급이 끝날 때에는 모든 경우 다 만충전 상태로 끝나므로 다음날 사용에는 지장이 없다.

$$t_d(t) = 0.5 \times \text{계약시간}(10\text{시간}) - 0.5 \times T_p - t_\Delta(t) \quad (1)$$

$t_d(t)$  : 예측지연시간  
(임의의 시점에서 예측한 지연시간)  
 $t_\Delta(t)$  : 계약사용시간 개시 후 측정시점까지의 경과시간  
 $T_p$  : 직전일 축열시간

전날의 축열시간이 길어졌을 경우, 날씨가 갑자기 추워질 경우에는 08시에 만충전이 끝나지 않을 수도 있다. 이런 경우를 대비하여 그림 5에서처럼 03시를 기준으로 하는 알고리즘을 심야전력공급계약시간의 40% 지점인 02시를 기준으로 직전일의 축열시간의 40%를 02시 앞에서 축열하고 60%는 뒤에서 축열하는 알고리즘으로 개선하게 되었다.

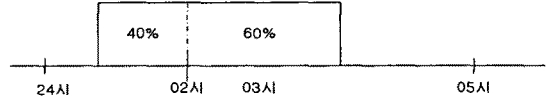


그림 5 개선된 제어 알고리즘(축열시간기준)

$$t_d(t) = 0.4 \times \text{계약시간}(10\text{시간}) - 0.4 \times T_p - t_\Delta(t) \quad (2)$$

개선된 알고리즘 역시 오늘의 날씨 변화 즉, 축열량 변화에 따라 축열이 끝나는 시점은 그림 4에서와 같이 변화하게 되어 08시까지지는 만충전이 되도록 한다.

#### 3.2 공급시간자동제어알고리즘

축열시간으로만 공급시간을 제어하는 알고리즘은 전날에 비해 갑자기 날씨가 추워지거나 더워져서 축열량의 변화가 심할 경우에 능동적으로 대처할 수가 없다. 전기보일러의 경우는 그런 변화들이 평균온도에 나타나 그 온도를 기준으로 축열시간을 능동적으로 변화시킬 수 있다. 따라서 축열시간으로만 제어하는 알고리즘에 다음과 같이 축열개시시각을 축열량 변화에 따라 능동적으로 변화시키는 알고리즘을 더하였다.

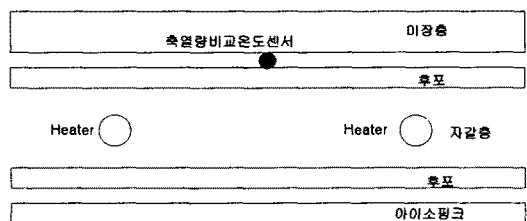


그림 6 축열량비교온도센서의 위치

전일과 현재의 축열량의 변화량은 그림 6에서와 같이 온도센서를 미상층과 후포 사이에 삽입하여 전날 축열개시시각의 온도와 현재의 온도의 비율 통해서 알아낸다.

$$\text{축열량비율} = \frac{T_{old} - T_{cur}}{T_{old}} \quad (3)$$

식 (2)에 식 (3)을 이용해서 축열량 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 새로운 지연시간계산식을 만들 수 있다.

$$t_d(t) = 0.4 \times \text{계약시간}(10\text{시간}) - 0.4 \times T_p - K_p \frac{T_{old} - T_{cur}}{T_{old}} - t_d(t) \quad (4)$$

Kp : 축열량변화에 의한 지연시간변화값도

그림 7은 식 (4)에 의해서 축열량의 변화에 따른 축열개시시각의 변화를 나타내고 있다.

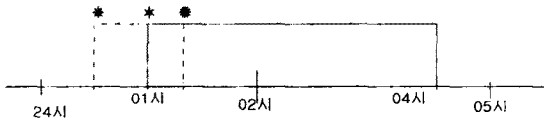


그림 7 심야온돌 공급시간 자동제어 알고리즘

#### 4. 공급시간자동제어장치 및 실험결과

심야전력 공급시간 자동제어장치는 심야전력용 타임스위치와 축열식 전기온돌의 온도조절기와 직렬로 연결되어 심야전력의 공급시간을 제한한다. 제어장치는 타이머와 온돌 Heater의 접점신호, 축열량 비교센서의 값과 전날의 축열시간을 입력으로 하여 주 스위치의 개폐를 제어하여 심야전력 공급시간을 조절한다.

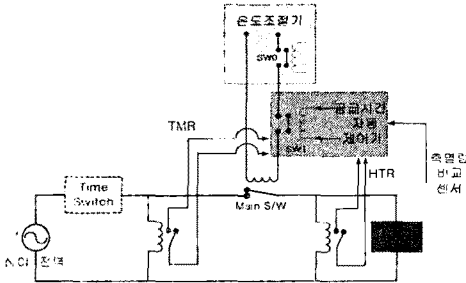


그림 8 심야전력 공급시간 자동제어장치 구성

실험은 기초실험데이터를 얻었던 실험장소의 서재에 그림 6에서와 같이 축열 비교센서를 삽입하고, 그림 9의 공급시간자동제어장치 시제품으로 2주간 실험하였다.

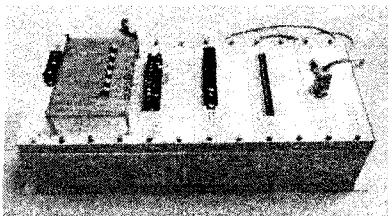


그림 9 심야온돌 공급시간 자동제어장치

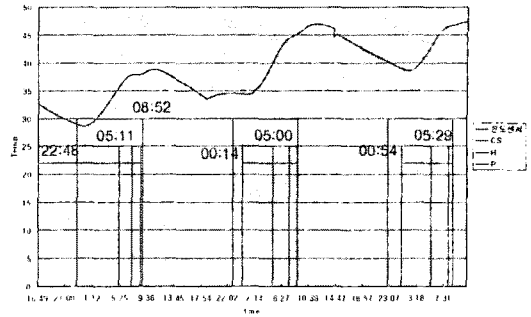


그림 10 축열개시시각 결정 알고리즘

그림 10은 축열개시시각 결정 알고리즘의 실증실험 결과이다. 식(2)에서와 같이 정확히 축열시간이 지연되었다.

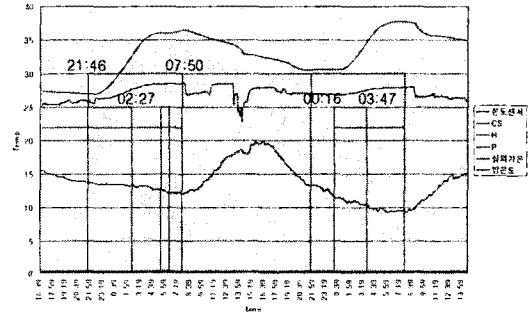


그림 11 심야온돌 공급시간 자동제어 알고리즘 실험결과

그림 11은 축열량비교센서를 이용하고, 그림 7의 알고리즘을 사용하고, 축열지연시간을 식 (4)로 구한 실증실험 결과이다. 여기에서 Kp값은 10%의 온도변화량을 1시간의 축열시간증가로 보아 그 40%인 24분의 지연시간을 주는 값으로 결정되었다. 둘째날의 온도센서의 온도가 전날에 비해 높아서 둘째날이 첫째날에 비해 방열량이 적은 것으로 인식하여 축열지연시간이 그 온도비만큼 더 미루어졌다.

실증실험결과 알고리즘대로 심야전력공급시간이 정확히 지연됨을 알 수 있다.

앞으로의 과제는 계속된 실험을 통해서 현장시공의 문제점이 될 축열량비교센서를 기존 온도조절기의 센서와 통합하기 위한 축열식전기온돌에서의 온도센서위치와, 축열식전기보일러나 온수기에서와 같이 심야전력공급지연시간과는 별개로 동작하는 최소 축열량 보장 온도를 결정하여 축열식 전기온돌에서도 공급시간 자동제어장치가 보급되도록 하는것이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김준호 "심야전력을 이용하는 축열식 난방시스템의 보급 현황과 전망", 수요관리 기술 워크샵, 1999
- [2] 고요 "온실가스 저감을 위한 전기에너지 절약기술", 임우당
- [3] 정봉만 외, "전력부하관리시스템 개발 및 응용기술" 최종 보고서 KIER-966404/1, 과학기술처, 1996.
- [4] 정봉만 외, "심야전력을 이용한 에너지저장 및 부하향상기술" 에너지기술연구소, 과학기술처, 1999.
- [5] 박석인 외, "축열식 심야보일러 공급시간자동제어시스템", 대한전기학회 하계학술대회, pp.956~958, 2001.