

축열식 전기온풍기의 심야전력 공급시간 자동제어장치 개발

권성철, 한승호, 고기중, 정우용, 이학주, 나기영
한전 전력연구원

Development of Power Supply Time Controller during Off-Peak Period
for Thermal-storage Electric Heat Radiator

Kwon Seongchul, Han Seungho, Ko Keejoong, Chung WooYong, Lee Hakju, Na Kiyong
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

Abstract - 한전에서는 수요관리정책의 일환으로 심야 전력요금제도를 운영하고, 심야축열기기를 보급하여 기저부하증대 및 부하율을 개선하여 전력공급 원가절감에 노력하여 왔으나, 최근 유가상승 등의 원인으로 1999년과 2000년에 심야전력 난방기기의 급격한 보급증가로 인한 심야시간대 동계 최대 전력수요가 발생하여 22시 이후 단시간 부하급증으로 일부지역의 배전선로 회선용량부족 및 부하불평형으로 정전을 유발하게 되는 등 많은 어려움이 발생하였다. 본 논문은 심야수요급증으로 인한 대책의 일환으로 축열식 심야난방기기의 하나인 축열식 전기온풍기에 대하여 심야전력의 공급시간 자동제어장치를 개발하였다. 축열 잔열량을 측정하여 그 잉여량 만큼의 시간동안 심야전력의 공급을 지연하여 심야전력 공급초기에 집중되는 심야기기의 가동을 억제하여 심야부하를 분산하게 된다. 이로써 축열식 난방기기에 의한 동계 최대 전력수요 발생을 억제하여, 배전선로의 효율적인 운영에 기여할 것으로 기대된다.

한 지원을 중단하고, 10kW초과분에 대한 고과부담 공사비를 부과하는 등 여러 가지 단기대책을 마련하였다. 그러나 장기적으로 최대전력수요에 영향을 주지 않도록 심야부하를 분산시켜 부하평준화 효과를 제고 할 수 있는 장기적인 대책마련이 시급하다. 이에 축열식 전기보일러, 온수기, 온풍기 및 온돌 등 4가지 심야전력기기에 대하여 잔여 축열량에 따른 심야전력의 공급 시간을 제어하는 제어장치를 개발하였다. 본 논문에서는 그 중에서 축열식 전기온풍기에 대한 심야전력 공급시간 자동제어장치의 개발에 대하여 기술하였다.

1. 서 론

한전에서는 수요관리정책의 일환으로 1985년 심야전력 요금 제도를 신설한 이래 꾸준히 심야전력을 이용하는 축열 및 축냉기기를 보급하여 심야전력 수요를 개발함으로써 원자력 및 석탄 등 기저발전설비의 이용률을 제고하여 부하율을 향상시키고, 전원구성 최적화로 전력공급의 원가를 절감하여 왔다. 그러나 1999년 ~ 2000년에 들어서 국내외 유가상승으로 인한 심야축열기기의 경제성이 상대적으로 향상되었고, 심야기기 보급시장의 경쟁심화로 인한 기기가격의 하락으로 인하여 심야전력을 이용한 난방기기의 신청고객이 급증하여 2000년 한 해 동안 '86~'99년의 총보급량을 상회하는 실정에 이르렀다.

2. 본 론

2.1 축열식 전기온풍기

심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기는 심야전력공급시간(22시부터 익일 08시까지 10시간)동안 온풍기 내부의 축열재를 가열하여 그 현열을 저장하였다가 이를 이용하여 실내 난방용으로 방열하는 기기로, 방열방식에 따라 송풍기를 사용하여 축열재 주위로 공기를 강제 순환시키는 강제송풍방식과 축열재의 하층부에서 상층부로 공기의 자연대류를 이용하는 자연대류방식으로 분류된다. <표 1>에 실험에 사용한 온풍기의 사양을 기술하였다.

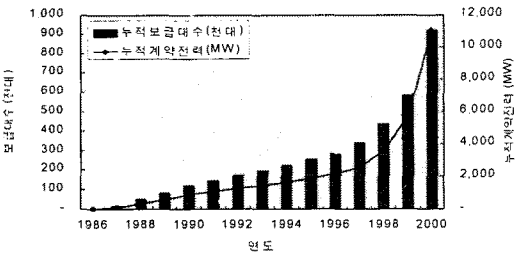
<표 1> 실험에 사용한 온풍기 사양

정격 전압	단상 220V 강제송풍식
소비전력	4.8kW
난방면적	6 - 8평
최대유효축열량	39,000 kCal
축열재 중량	189kg (5.4kg × 35개)

2.1.1 축열 및 방열 과정

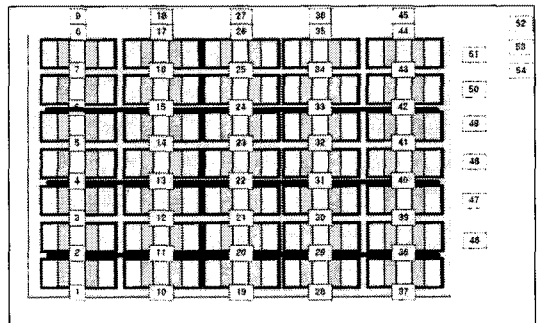
온풍기의 축·방열 과정을 실험하기 위하여 <그림 2>에 나타난 것 과 같이 총 54개의 열전대를 사용하였다. 축열재로 사용된 마그네시아(MgO)계열의 총 35개의 축열벽들의 온도를 측정하기 위하여 51개의 센서를 이용하고, 나머지로 실내온도, 축열량조절센서, 및 송풍기 온도계측을 위하여 3개의 센서를 추가로 사용하였다.

심야축열기기 보급실적

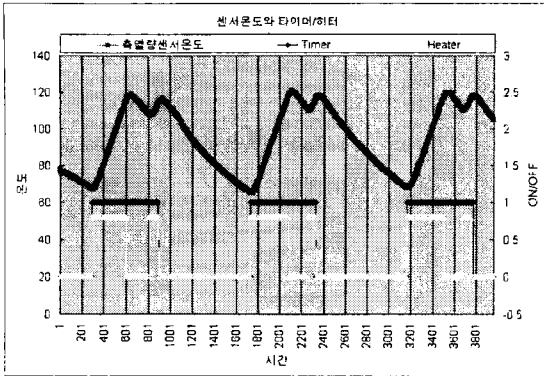


<그림 1> 축열기기 보급실적

이의 여파로 인하여 심야시간대 동계 최대 전력수요가 발생하고, 일부지역 송전선로 및 변전소 주변압기의 용량 부족 및 배전선로 회선용량 부족 및 부하 불평형으로 정전을 유발하는 등 많은 문제점을 야기했다. 심야난방기기의 수요급증에 따른 조치사항으로 한전에서는 심야 전력 공급시간대를 조정하고, 심야전력 설치보조금에 대

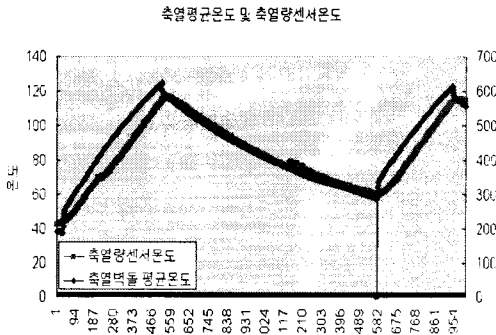


<그림 2> 온풍기 내부의 센서설치 위치도



<그림 3> 온풍기 동작 특성(제어장치 미장착)

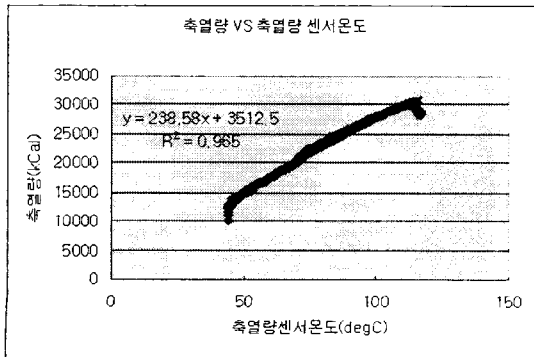
<그림 3>에서는 심야전력 공급시간 제어장치를 장착하지 않았을 때의 온풍기의 동작특성을 나타낸 것이다. 타이머가 켜짐과 동시에 히터가 켜져서 설정해 놓은 축열량 값에 따라 히터의 ON/OFF가 결정된다.



<그림 4> 축열평균온도와 축열량센서온도

[그림 4]에서는 축·방열과정에서 전체 축열량 및 이를 이용한 축열벽돌의 평균온도 변화곡선이다. [그림 4]는 축열 및 방열과정에서 축열량을 조절하는 축열량제어 장치의 온도센서의 변화곡선이다.

[그림 3],[그림 4]에서 알 수 있듯이 축 방열시 온풍기 전체 축열량과 축열량 제어센서의 변화가 거의 유사하다는 것을 발견할 수 있다. [그림 5]는 축열량을 축열량센서온도로 Linear Curve fitting을 한 것으로 상관계수가 0.965로 비교적 높은 상관관계를 나타냄을 알 수 있다.

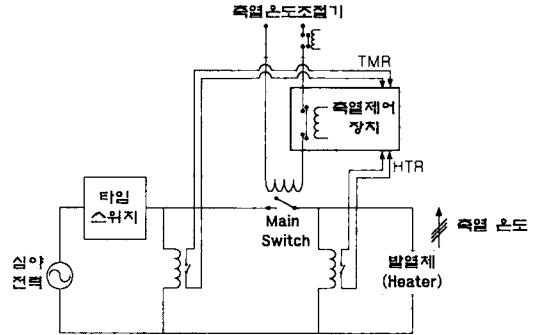


<그림 5> 축열량 및 축열량 센서온도 Fitting

2.2 심야전력 공급시간 제어전략

2.2.1 제어장치 구성

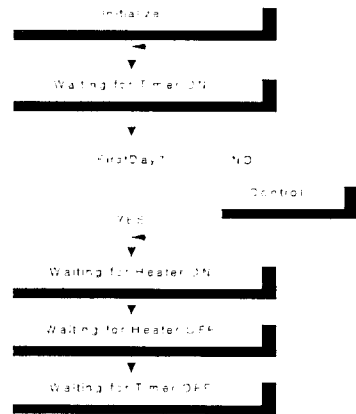
심야전력 공급시간 자동제어장치는 심야전력용 타임스위치와 축열식 전기온풍기의 축열량제어기와 직렬로 연결되어 심야전력의 공급시간을 제어한다. 제어장치는 타이머(TMR)와 온풍기 Heater(HTR)의 접점 신호, 방열체의 축열온도를 입력으로 하여 축열잔량에 비례하여 주스위치의 개폐를 제어하여 심야전력 공급시간을 조절한다.



<그림 6> 심야전력 공급시간 자동제어장치 구성도

2.2.2 제어전략

제어장치는 [그림 7]과 같이 총 6개의 상태(state)로 이루어지고, 각각의 상태의 타이머와 히터의 접점 입력의 값에 따라 변환된다. 각종 변수의 초기화(1:Initialize) 후 타이머가 ON되기를 기다리고, 타이머가 ON후에는 첫째날이면 제어장치를 바이패스하여 히터 ON▶히터 OFF▶타이머 OFF▶Waiting Timer ON으로 상태가 변화 된다. 둘째날부터는 타이머 ON후 6:Control 상태로 넘어가서 심야전력 공급시간을 제어하게 된다.



<그림 7> 제어장치 State Diagram

2.2.2 제어알고리즘

온풍기를 가동한 첫날에는 공급시간 제어를 하지 않는 초기모드로 동작한다. 초기모드에서는 축열온도 및 심야전력시간중의 축열량 상승률(Kp),[수식1]을 계산한다. 여기서 Q_{OFF} , Q_{ON} , t_{off} , t_{on} 은 각각 히터 Off, 및 ON 때의 축열량 및 시간을 의미한다. 초기모드로 운전한 다음날부터는 자동제어장치에 의하여 운전이 되고, 일정한 시간간격으로 예측지연시간(t_{delay})[수식2]을 계산하게 된다.

여기서 t_{goal} 은 축열최종종료시간으로 최대값은 600(10시간×60분)이지만 여유율을 두어 축열시작 8시간 30분만에 축열종료 되도록 510(8.5시간 ×60분)으로 설정하였다,

$$K_p = \frac{Q_{OFF} - Q_{ON}}{t_{off} - t_{on}} \quad \text{[수식 2]}$$

$$t_{delay} = t_{goal} - \frac{(Q_{OFF} - Q_{CLR})}{K_p} \quad \text{[수식 3]}$$

<그림 8>에서 6:Control 단계에서 현재시간(Timer ON이후 경과된 시간)이 t_{delay} 보다 크거나 같아지면 제어 장치의 릴레이 출력을 ON하여 3:Waiting for Heater ON 단계로 천이한다.

2.2.3 실험 과정

2.2.2의 제어알고리즘을 토대로 축열벽돌의 열량을 이용한 제어, 축열량센서만을 이용한 제어 및 열량을 축열량센서로 Linear Fitting한 센서값을 이용한 제어 등 3가지 방식의 실험을 수행하였다.

1) 열량을 이용한 제어

축열벽돌의 온도를 측정하여 각각의 축열벽돌의 평균 온도 및 내부열량을 계산하여 축열 및 방열과정의 열량 변화를 이용하여 심야전력 공급시간을 제어한다. 전날의 열량 및 축열평균온도의 축열 기용기를 계산하여 이를 이용하여 다음날의 축열지연시간을 계산한다.

2) 축열량센서온도를 이용한 제어

온풍기의 축열량을 제어하는 센서의 온도값을 이용하여 심야전력 공급시간을 제어한다. 전날의 센서온도값의 축열시 온도상승률을 계산하여 이를 이용하여 다음날의 축열지연시간을 계산한다.

3) Fitting된 온도값을 이용한 제어

온풍기의 축열벽돌 전체의 평균온도를 열량을 기준으로 계산하고, 이를 축열량 센서온도로 피팅하여 이 값을 기준으로 심야전력 공급시간을 제어한다. 피팅된 온도값의 축열시 온도상승률을 계산하고, 이를 이용한 다음날의 축열지연시간을 계산한다.

2.2.4 실험결과 비교

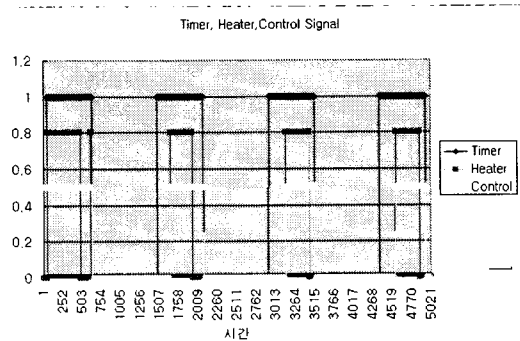
[표3]에서는 4일 동안의 실험결과 값을 나타내었다. $t_{HeaterON}$, $t_{HeaterOFF}$, $Q_{HeaterON}$, $Q_{HeaterOFF}$, $T_{HeaterON}$, $T_{HeaterOFF}$ 은 각각 Heater가 켜지고 꺼질때의 시각, 열량, 및 온도를 나타낸다. 그리고, K by Q, K, K by FitQ, t_{delay} , t_{delay} by Q는 각각 열량에 의한 온도상승률, 축열량 센서의 온도상승률, 피팅열량에 의한 온도상승률 및 축열지연시간 값이다.

<표 3> 실험결과 값

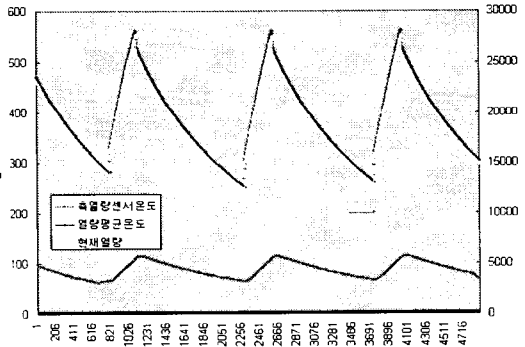
	첫째날	둘째날	셋째날	네째날
$t_{HeaterON}$	0	166	216	211
$t_{HeaterOFF}$	436	455	525	517
$Q_{HeaterON}$	10767	13728	12344	12813
$Q_{HeaterOFF}$	30478	27635	27492	27494
$T_{HeaterON}$	50.54	64.17	63.93	65.9
$T_{HeaterOFF}$	115.61	111.26	111.1	110.99
K by Q	-	48.12	49.02	47.98
K	-	0.16	0.15	0.15
K by FitQ	-	38.87	36.42	35.16
t_{delay}	0	165	216	210
t_{delay} by Q	0	139	192	210

열량에 의한 제어와 센서온도에 의한 제어를 비교하면 [표4]와 같이 t_{delay} 가 약 20여분(t_{delay} by Q의 15%) 정도 더 늦어지는 걸 알 수 있다.

	1st	2nd	3rd	4th
t_{delay}	0	165	216	210
t_{delay} by Q	0	139	192	210
오차	-	-26	-24	0
%	-	19%	13%	0%



<그림 8> 타이머, 히터 및 제어신호



<그림 9> 열량 및 축열량 센서온도 변화 추이

3. 결 론

본 논문에서는 축열식 전기온풍기의 심야전력 공급시간 자동제어장치를 개발하였다. 축열식 전기기기가 심야 전력시간대가 시작하는 오후10시경 일제히 축열을 시작하여 심야전력으로 인한 동계 최대전력수요를 발생시키는 것을 축열잔량을 측정하여 이에 비례하여 심야전력 공급시간을 동적으로 제어한다. 이로 인하여 동계 심야 피크부하 발생을 억제할 수 있을 뿐만 아니라, 축열잔량에 따른 제어를 가능하게 하여 에너지 효율성을 높일 수 있다.

[참 고 문 헌]

[1] National Instrument, LabVIEW User Manual