

# 하계 피크전력 감소를 위한 냉방기제어시스템 개발 및 적용

## The Development and Implementation of Airconditioner Control System for Peak Load Clipping

° 문 홍 석 · 조 선 구 · 이 복 규 · 이 원 빈

전력연구원 전력계통연구소( Tel : 042-865-5494; 대전시 유성구 문지동 103-16, 305-380)

**Abstracts** The rapid growth of air conditioning load has become a main reason of peak load increase in summer. In connection with this, we surveyed the load management projects of utilities world-wide and their detailed activities. This study is to develop a remote load control system using computer and radio communications. We finished the field-test of this system on August 1995 in Seoul area. During the field-test, the remote load control of air conditioners was proved to be well-timed. Two control modes, group control and all control, are available for the user to select.

The transmission reliability of the load control signal was very good and the functions of system hardware as well as the software were excellent. So we confirmed the applicability of the load control system including the pager communication network. In this paper, detailed information on the system functions and experimental results are described.

<표2-1> 부분별 소비전력량 비교

년도	1981 ~ 1987	1988 ~ 1991	1992	1993	1994	1995
GNP 성장률(%)	9.7	9.3	5.9	5.8	8.4	9.7
전력총수요 성장률(%)	10.1	12.9	10.4	10.8	14.7	11.9
주택용수요 성장률(%)	11.6	14.2	11.9	9.7	11.0	
산업용수요 성장률(%)	12.6	17.5	16.4	19.0	24.5	
산업용수요 성장률(%)	9.2	11.4	8.2	8.5	12.4	

## I 서론

전력수요는 일별, 주별, 계절별로 시간의 흐름에 따라 변화하며 수요의 변동폭이 심한 경우에는 특성상 저장에 불능하므로 최대수요에 대한 관리가 무엇보다도 중요하다고 하겠다. 하계 최대수요는 최근 90-95년 기간 중 연평균 11.5% 증가하였으며, 94년은 이상고온으로 전년도에 비해 무려 23%나 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 최대수요의 급증추세는 에어컨 보유 대수 확대에 따른 냉방수요 증가로부터 기인하는 것으로 분석된다. 냉방부하 급증에 대비하기 위해서는 공급능력을 확대해야 하겠지만 전원입지의 어려움과 막대한 시설투자 부담도 가중되기 때문에 수요관리 차원에서 최대부하를 억제하는 정책이 가장 바람직하다고 하겠다. 본 연구에서는 첨두부하를 억제하는 방안으로 컴퓨터와 무선통신 기술을 이용한 원격부하제어시스템을 개발하였고, 수용가의 냉방기기에 대한 부하제어 실증시험을 실시하였으며 그 결과를 분석하였다.

## II 하계 피크부하 분석

### 1 최근 부하상승 추이

전력수요는 1980년대 중반기 이후에 지속적인 전기요금 인하와 국민소득의 증가에 따른 문화생활 등이 복합적으로 작용하여 표2-1에서 보는 바와 같이 매년 10% 이상씩 성장하였다. 특히 91,92년의 낮은 경제성장률에도 불구하고 전력수요는 높은 성장을 계속해 왔으며, 서비스 업종의 증가로 상업용의 전력수요는 급격히 신장되었다.

### 2 향후 피크부하 상승 전망

최대수요는 냉방부하의 증가로 인하여 여름철에 발생되고 있으며, 따라서 여름철 기상 여건과 밀접한 관계가 있다. 특히 93년 여름은 이상 고온 현상으로 전력수요는 23%의 높은 증가율을 기록한 반면, 92년도 여름은 이상 저온 현상으로 여름철 전력수요가 낮아 겨울철에 최대부하가 발생하였다.

앞으로 최대부하는 연간 10% 이상의 전력수요 증가 및 냉방기기의 급격한 보급으로 인하여 높은 증가를 계속할 것으로 예측된다. 그림 2-1에 한전 전력경제처에서 2010년까지 전력수요가 증가하는 현상을 분석한 자료이다. 이것은 최근의 최대수요가 증가하는 현상에 따라 93년에 전망했던 예측결과를 94년도에 급격한 냉방수요 증가로 95년도 수정하여 나타낸 것이다. 94년 이후 에어컨은 대중화 되고 있으며 사치품에서 생활 필수품으로 변환되고 있어 향후 5년 내에 대부분 가정에 보급될 전망으로 앞으로 여름철 최대수

요의 급격한 증가는 지속될 것으로 전망된다.

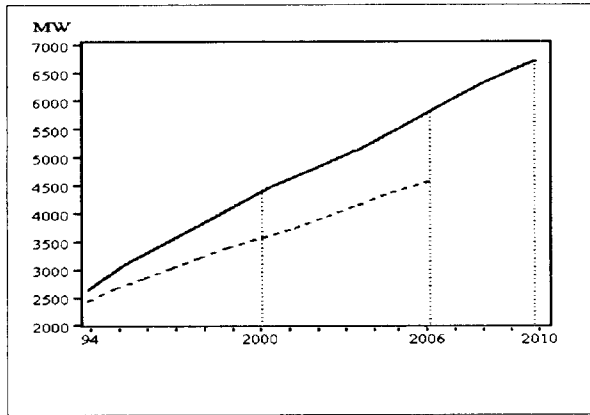


그림 2-1 최대예측부하  
Fig. Peak Load Forecast

### III 부하관리 대책

그림 3-1에는 95년도의 전력수요 곡선을 표시한 것이다. 냉방기를 사용하는 7, 8월중은 기타 계절에 비해 최대전력이 훨씬 높았으며 당년도 냉방부하는 5,668 MW 정도로 추정되었다. 금년도 약 100 만대의 에어컨 추가 보급으로 95년에 비해 냉방부하가 급격히 증가하였으며 약 7,000MW 정도로 예상되고 있다. 따라서 냉방기 사용에 의해 발생하는 첨두부하를 억제하고 심야부하를 창출함으로써 부하평준화를 기하며 효율적인 전력공급을 위해서는 계절별, 시간대별 차등요금제도의 실시 및 빙축열 시스템 및 디맨드 콘트롤러등의 보급에의한 방법으로 수용가가 첨두시간대에 전력사용을 억제토록 유도하는 간접제어 방식이 있으며, 이에반해 첨두부하시간대에 냉방부하를 즉시 억제할 목적으로 컴퓨터와 정보통신시스템을 이용하여 원격에서 직접 수용가측의 제어 수신기에 신호를 보내에어컨의 동작을 제어하는 직접제어 방식이있다.

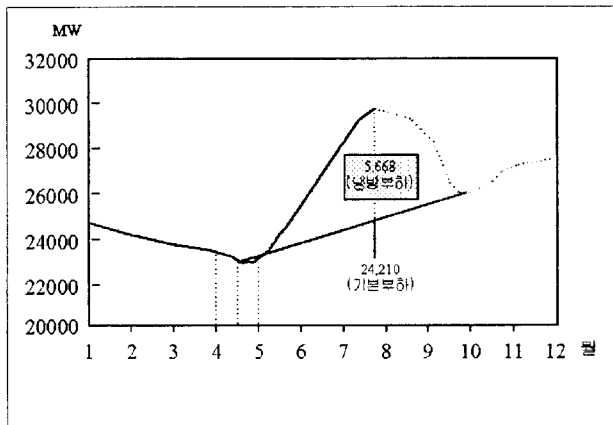


그림 3-1 최대부하 대 냉방부하  
Fig. Peak load ver air conditioning load

## IV 직접부하제어 기술

### 1 통신방식 적용

직접부하제어 시스템의 통신방식은 Distributed Automation(배전선로자동화) 및 Automatic Remote Metering(자동검침)과 관련하여 정보통신의 발전에 따라 선진국에서는 다양한 전송매체를 이용하여 많은 시스템이 개발되었으며, 부하제어 목적으로는 1900년대 초에 전력선에 직접 제어신호를 주입하여 전송하는 리플콘트롤 시스템이 개발되어, 현재까지도 주로 유럽지방에서 온수기 등을 제어할 목적으로 적용하고 있고, 미국에서는 일부 전력회사에서 배전선반송 방식에의한 시스템을 적용하고 있으나 대부분의 전력회사에서는 사설 VHF망 및 통신회사의 Pager망에의한 부하제어시스템이 운용되고 있다.

국내에서는 1990년도에 한전에서 사설무선망(VHF)을 이용한 부하제어 시스템을 개발하였고 현장 시험을 시행한 바가 있다. 이 방식에의한 부하제어시스템은 전송신뢰도에 약간의 문제가 있었고 95년부터 한전의 사설 VHF망을 Trunked Radio System으로 교체해감에 따라 이방식은 더 이상 부하제어용으로 사용할 수 없게 되었다.

또한 한전과 국내 중전기 업체간에 공동으로 개발한 한국형 배전자동화시스템은 통신용 패어케이블을 이용하고 있으며, 자동검침 및 부하제어 목적으로 통신케이블과 배전선반송방식을 혼용하는 HybridSystem을 적용하였다. 또한 한전의 CATV전송망을 다목적으로 활용하는 면에서 CATV망을 이용한 직접부하제어의 적용이 추진되고 있다. 그러나 이 시스템들은 아직 기술적으로 미비하고, 경제성에 있어서도 무선방식에 비해 불리하므로 당장 활용화 하기에는 적절치 못하다고 판단된다..

현재 이동통신회사에서 운용하고 있는 Pager 시스템은 전송신뢰도가 우수하며, 다른 통신방식에 비해 경제성 면에서 유리하고, 부하제어 목적으로는 조기에 활용 가능하다는 것을 전송시험과 시스템의 비교 분석을 통하여 증명하였다.

따라서 Pager망을 이용한 방식이 직접부하제어의 최적방식으로 판단하고 이방식에 의한 시스템을 개발하였다.

### 2 시스템의 개발

#### 2.1 시스템의 개요

paging 시스템을 이용한 원격부하제어 시스템은 전력수요에 비하여 공급이 충분치 않을 경우 최대부하를 경감시킬 목적으로 수용가의 냉방기기를 전력회사의 중앙제어소에서 컴퓨터와 pager system을 이용하여 제어신호를 송출함으로써 수용가에 설치된 냉.난방기기를 제어하는 방식으로 수용가에는 제어스위치가 설치되어 있어, 중앙제어소로부터 전송되는 신호를 수신함과 동시에 해당기기의 전원을 차단함으로써, 피크전력시에 부하를 조절할 수가 있는 것이다.

그림 4-1은 KEPRI에서 개발하여 현재 시험운용중에 있는 Pager 망을 이용한 부하제어시스템을 나타내었다.

이 시스템은 한전의 EMS시스템과 연계하므로써 EMS로부터 공급능력, 최대전력, 예비율, 주파수 등을 수신하며, 이 데이터에 의해 부하제어의 중앙지령시스템으로부터 수용가

에 설치된 에어컨의 제어를 수행케 된다.

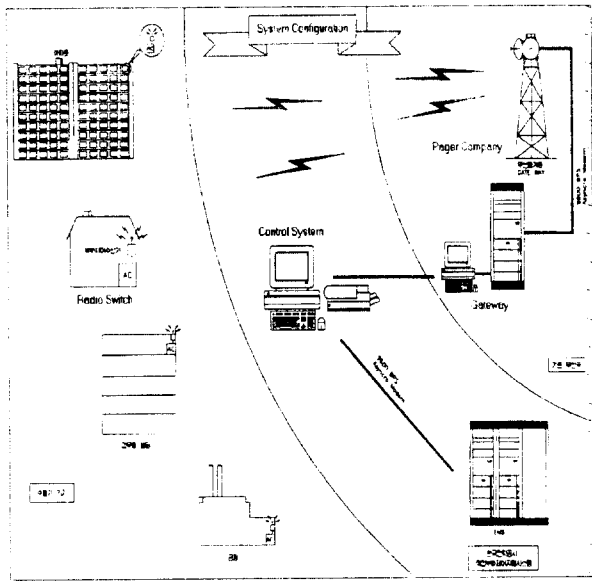


그림4-1 직접부하제어시스템 구성도  
Fig. Direct load control system

## 2.2 시스템의 구성

### 2.2.1 지령시스템

한전 본사에 중앙지령시스템과 지사 또는 지점에 지역지령시스템을 운용할 수 있도록 시스템을 구성하였으며, 각 지령시스템은 Host computer와 주변장치들로 되었다.

- H/W : 펜티엄 PC사용
- S/W : 부하제어 운용프로그램, EMS연계 프로그램
  - 시스템의 기능
  - 개별제어, 그룹제어, 일괄제어기능
  - 동일신호 2회 자동연속 반복 송출기능

### 2.2.2 부하제어 스위치

- 회로구성
  - 322-328MHZ 대역내의 채널이용
  - FSK-NRZ 변조의 신호수신기능
  - 더블 헤더로 다인 방식에 의한 데이터 복조
  - 전송속도 : 1200 bps
- 전기적 특성
  - RF 유닛 : POCSAG포맷으로 송출된 paging 신호의 Mod and Demod
  - Decoder : RF유닛에서 복조된 제어명령의 분석 및 냉난방설비 등을 제어함
  - 설비제어 명령포맷
  - 외부신호에의한 오동작 방지를 위한 코드화된 제어명령

- 수신데이터의 페리티체크 기능에 의한 오류 데이터 복원
- 제어 수행 후 자체 Timer에 의한 복원 기능

## 2.3 부하제어 방법

전력수급 상황과 제어규모에 따라 개별제어, 그룹제어, 일괄제어로 구분하며 운용 형태에 따라 수동제어와 자동제어로 구분한다

부하제어의 명령을 수행할 때 운용자가 직접 상황에 따라 명령을 보내는 수동제어 명령이 있고, 예비율 및 주파수의 기준 값을 미리 다단계로 설정해 놓고, 이 값에 따라 컴퓨터가 자동으로 명령을 수행하는 자동제어 방식이 있다.

또한 제어규모에 따라 개별제어, 그룹제어, 일괄제어 방식이 있으며, 다음과 같이 구분한다.

부하제어 대상 기기의 각각을 개별적으로 제어하는 개별제어의 경우는 중앙지령장치로부터 제어수신기에 개별적으로 데이터를 다운로드 또는 수신기의 동작시험을 목적으로 특별한 경우에만 운용되며, 그룹제어는 제어대상을 여러 그룹으로 분할하여 일정한 주기(30분중 7.5분, 10분, 15분)로 제어하는 방식이다. 일괄제어는 전력수급 비상시 또는 중대한 계통사고로 인하여 주파수가 저하되었을 때 전체 부하대상기기를 일괄적으로 제어하는 방식이다.

## V Pilot system의 설치 및 시험분석

### 1 system의 시설개요

#### 1.1 대상 시설지역의 선정

실증시험용 시제품으로서 중앙지령시스템, 무선통신시스템의 게이트웨이, EMS연계장치 등과 200대의 제어수신기를 제작하였다. 제어수신기의 시설은 각 지역에 분산하기보다는 특정 지역에 집중적으로 설치함으로써 실증시험시스템의 운전효과 측정에 유리하고, 정확한 분석자료를 취득할 수 있다고 판단하였다. 따라서 지역특성과 건물형태, 사업종 등을 고려하여 대상 지역을 다음과 같이 선정하였다.

주거지역의 대상으로 선정된 서울의 강남지역에 위치한 H아파트는 94년도 여름에 이상 고온 현상의 일기가 발생되었을 당시에 아파트의 자체 변압기(용량:600kVA)가 에어컨 사용으로 인하여 과부하 현상이 일어나 아파트내의 전력파크가 발생하는 저녁 시간대에 전기공급을 중단하는 사태까지 발생됨으로써 주민들이 많은 고통을 겪었던 지역이었다. 또한 변전실 내부 공간이 협소하므로 변압기 증설이 용이치 않고, 변압기의 교체에 따른 비용도 많이 소요되어 고심하던 중이었으므로 주민들로부터 호응이 좋았다. 따라서 주민들의 협조 하에 145대의 제어수신기를 설치할 수 있었다.

한편 상업용의 에어컨제어 대상 지역으로 빌딩이 많고 상가가 밀집하여 있는 여의도의 한 상업지역을 선정하였고 이곳에는 45대의 수신기를 설치하였다.

#### 1.2 pilot system의 시설개요

##### 1.2.1 중앙제어 시스템

중앙제어시스템은 중앙지령장치와 지역지령장치로 구분

하여 중앙지령장치는 한전의 전력연구원에 설치하였으며, 지역지령장치는 H 아파트의 변전실에 설치하였다.

중앙지령장치는 EMS로부터 수신되는 자료에 의해 상용 주파수와 예비율의 일정한 값을 선정해 놓고 이 값 이하로 수신되는 데이터에 따라 제어를 수행하며, H 아파트에 설치된 지역지령장치는 변전실의 계기판넬로부터 취득된 전력 값과 지령장치의 컴퓨터에 설정된 값을 비교하여 제어를 수행한다.

### 1.2.2 Pager용 Gateway subsystem

- 안전성을 확보하기 위하여 Pager용 교환시스템과 이중으로 포트를 구성하였다.
- 중앙제어소로부터의 제어명령을 Pager의 통신포맷으로 변환하고 전송을 유지한다.
- Pager 교환기의 트래픽을 고려하여 제어명령을 분산 처리하였다.

### 1.2.3 제어스위치 시설

에어컨 설비에서 실내에 설치된 송풍기는 항상 가동될 수 있게 하고 밖에 설치된 소비전력이 높은(약 80%) 압축기만을 제어함으로써 에어컨이 제어되는 것을 고객들이 인지하지 못하도록 하며 제어효과를 높이기 위해 압축기의 전원 회로 측을 제어할 수 있도록 구성하였다.

## VI 실증시험 결과 및 문제점

### 1 실증시험 결과

아파트 변전실의 지령장치로부터 수용가에 시설되어 있는 부하제어수신기에 수 차례의 신호를 보낸 후, 수신기가 동작되는 상태를 확인하였다. 이때 모든 신호가 완전하게 잘 전달되고 있다는 것을 수신기의 동작 램프와 에어컨의 제어되는 상태에 따라 알 수 있었다.

단, 무선호출의 사용 비중이 높은 시간대(오전10~12시, 오후4~6시)에는 지령장치로부터 발신된 신호가 30초 이상 지연되어 수신기에 도달하는 현상이 발생하였다.

또 다른 기능 시험으로서 제어명령을 개별, 그룹 또는 일괄제어로 구분하여 시행하였던 모든 명령이 정상적으로 처리되었다. 이때 에어컨의 제어주기는 10분 정지하고, 20분 가동하는 간격으로 설정하여 시험을 시행하였으며, 매초마다 아파트의 부하변동 추이를 Database에 저장하여 부하제어 실효를 일간, 주간, 월간 별로 집계 분석하고, 이를 그래프로 상으로 출력하므로써 부하의 변동 상황을 정확히 분석할 수 있었다.

시험 기간중 무더위가 계속되는 저녁 시간대에 이 아파트의 전력수요는 변압기 용량에 육박할 정도로 높아지므로 전력수요가 500kW를 넘어서는 순간에 지령장치에서 자동으로 제어를 시행하도록 하였으며, 최대부하로서 550kW 전력 값을 초과하지 않도록 설정하였다. 이때 그룹제어를 실시함으로써 얻어지는 아파트의 경감부하는 약 100kW이고 부하제어율은 18.2%로 산정되었다. 이 결과만으로서 직접 부하제어의 제어효과를 판단할 수는 없지만 33.3%의 높은 제어에도 불구하고 대상 고객들은 큰 불편감이 없었다는 반

응을 보였다.

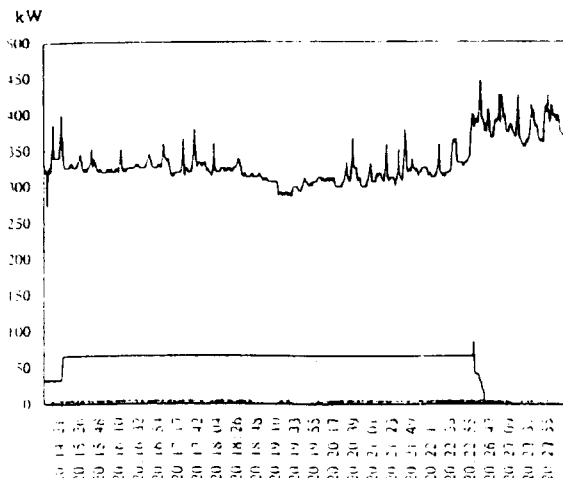


그림 6-1 아파트 부하곡선  
Fig. The test result graph

<그림 6-1>은 부하제어를 실시하는 과정에서 95년 8월 10일 20시 14분부터 20시 27분까지 취득된 전력 데이터를 22초 간격으로 샘플링하여 그래프로 표시한 것으로서, 상부측 검은선 그래프는 수전 변압기 부하(LP)변동 실적을 나타냈고, 하부측 그래프는 제어를 실시함으로써 얻어지는 최대 부하의 경감된 값을 나타냈다. 이 그래프 상에서 순간적으로 임펄스처럼 변동된 그림으로 보이는 것은 아파트의 에리베이터의 기동에 의해 발생하는 순간전력이 계상되므로서 나타난 것이며, 이때는 정확한 부하 값을 산출하기 곤란하였다. 따라서 금년 시험에서는 이를 보완하여 별도의 장치를 부가함으로써 에리베이트 등의 동력 데이터를 제거하고 순수한 전력만을 취득할 수 있었다.

위 그림은 95년도의 자동제어에의해 결과되는 시험 데이터를 도시한 것으로서 에리베이터 기동전력 값이 계상되었으므로 약간의 오차가 있으나 그룹제어로서 많은 제어효과를 얻었으며, 총 550대략 70kW의 부하경감 효과가 있다고 분석되었다.

## 2. 문제점

### 2.1 현재 시스템의 문제점

현재 실증시험시스템으로서 운용되고 있는 직접부하제어 시스템의 신호전송 방식은 제어명령 시(압축기의 20분 가동, 10분 정지)마다 기동 또는 정지명령을 각 그룹별로 계속해서 발신해야함으로 이동통신의 무선호출시스템의 부하를 가중시킬 뿐 아니라 중앙지령시스템으로부터 발신된 제어신호가 수용가에 설치된 부하제어수신기까지 전달되는 과정에서 무선호출시스템의 트래픽 시간대에 전달시간이 길어지는 현상으로, 전력계통에 이상이 발생하였을 때 긴급히 일괄제어를 하여야 하나 신속히 이에 대응할 수가 없는 것이다.

- 1차 실증시험에서 무선호출의 트래픽 발생시간대(오후 4~6시)에 부하제어 시스템의 신호 전달이 최대 30초 정

도 지연되었다.

## 2.2 주택용 에어컨에 제어스위치 설치

우리나라의 주거형태는 도심지에는 아파트가 밀집되어 있고, 도시생활자의 60% 이상이 아파트에 거주하고 있다. 따라서, 부하제어수신기의 설치를 하기 위해서는 필히 해당 고객의 아파트 내를 출입하여야 하며, 아파트 베란다 및 창문 외측에 위치한 압축기에서 작업을 하여야 함으로 많은 위험과 어려움이 따른다.

## 2.3 대책방안

### - 분산형 부하제어시스템 개발

현재까지 직접부하제어를 실용화하고 있는 각 전력회사의 시스템들은 에어컨의 기동과 정지를 시행할 때마다 지령 시스템으로부터 제어명령을 발신하는 방식으로 시스템이 구성되어 있다. 따라서 부하제어의 단일 목적으로 별도의 통신용 채널이 확보하여야 하나, 경제성을 고려하여 기존의 업무용 채널을 공유하다 보니 신호의 전송이 지연되게 된다.

이러한 현상을 막기 위해 중앙으로부터 빈번하게 발신하는 신호전송 방식을 피하고 제어수신기에 능동 기능을 부가함으로써 수신기 자체 스케줄러 프로그램에 의해 에어컨을 제어토록 하는 방법으로 수신기가 중앙지령장치의 일부 기능을 분담하도록 한다.

우리의 연구개발에서는 95년도 실증시험에서 밝혀진 문제점을 보완키 위해 위의 분산제어 방식의 제어수신기를 개발하였고, 현재 시험 중에 있으나 지금까지는 밝혀진 문제점은 없다.

### - 원격제어형 에어컨 개발

부하제어수신기는 건물 또는 가정내의 에어컨에 설치하여야 하나 설치작업을 위해서 수용가로부터의 호응 받기가 어렵고, 공사하는데 많은 시간과 비용이 수반된다. 이것은 부하제어 시행에 커다란 장애 요인이 될 수 있으며 향후 계속적으로 증가하고 있는 냉방부하에 대해 전혀 대비하지 못할 수도 있는 것이다.

따라서 이러한 장애요인을 해결하기 위해서는 에어컨의 생산공정에서 에어컨 내부에 부하제어수신기를 삼입할 수 있도록 제도화 하고 이를 적극 보급할 수 있는 대책이 강구되어야 할 것이다.

## Ⅶ 결론

95년과 96년도 여름 1,2차 실증시험에서 개발시스템의 하드웨어 및 프로그램의 신뢰성과 기능이 우수하였으며, 통신 신뢰성도 매우 높아 무선호출망을 이용한 부하제어시스템의 실용화 가능성을 확인하였다.

그러나 무선호출시스템의 트래픽 시간대에 발생하는 전송지연을 현상을 해결하고 pager시스템의 설비 이용요금을 절감키 위하여 분산제어 방식의 시스템화가 검토되어야 할 것이다.

앞으로 확대 적용할 경우에는 부하제어 신호수신기의 제

작단가를 낮추고 신규로 출하되는 에어컨에 제어수신기를 내장하는 방안 등의 경제성 확보를 위한 지속적인 노력이 필요하겠다.

또한 부하제어 대상 고객에 대한 체계적인 홍보방안을 마련하여 수요자와 공급자가 모두 만족하는 범위 안에서 요금제도를 개선한다든지, 인세티브를 제공하는 방법도 계속 검토해야 하겠다.

## [참고 문헌]

- [1] COBA-MID, "The Direct Load Control Industry Report," 1993-94, Short-Term Needs and Long-Term Strategies, March, 1993.
- [2] Philip I. Dunklin, "The Distribution Automation Industry Report," First Edition, CHARTWELL Inc., 1993. 8.
- [3] "Water Heating/Space Conditioning Control Test" Final Report, Division of Energy Conservation and Rates, TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, 1992.
- [4] 정태용 외, "냉방수요행태 조사분석및 예측", 에너지 경제연구원, 1994. 10.
- [5] "부하조절 업무처리기준", 한국전력공사 판매사업단 영업처, 1995. 5.
- [6] "최대부하 직접제어에 관한 연구", 한국전력공사 계통운용처, 1990.
- [7] "수용가 자동원방검침과 부하집중제어에 관한 연구", 한국전력공사 전력연구원, 1987.