

이 형 권 (한국전기연구소)
김 재 언 (한국전기연구소)
구 헌 회 * (한국전기연구소)

1. 서언

최근 에너지절감 계획의 필요성, 날로증가되고 있는 전력수용에 대한 공급대책의 마련인 전원개발 및 신규설비 확장에 소요되는 투자비 급증, 환경문제, 전력설비의 효율적 운영 등으로 인하여 전력수요의 제어를 목적으로하는 L.M.(Load Management)의 중요성이 강조되고 있다.

여기에서는 수용가의 전력사용 pattern 변화-peak억제, load valleys의 균등화-를 효과적으로 수행한 미국 AEP사 (American Electric power Service Corporation)의 ETS Program field test 내용 및 결과를 소개하기로 한다.

2. 외국의 적용사례 및 그 경제적 효과

미국 AEP사가 1976/77 Winter Season 부터 3년간 실시한 ETS program field test 내용 및 결과를 Home, T&D system, Generation system의 세 분야에 걸쳐 소개하기로 한다.

가.Home에 대한 FIELD TEST

1) ETS space heating

표1. Modified ETS furnace package

구분	Storage section	Night heating section
소비전력	14.4KW 단상120/240V 60Hz	10KW단상 120/240V 60Hz
구 조	1.6Kw heating element 9개 storage core 112 bricks	5Kw heating element 2개 -
풍 량	378-425 L/S	472 L/S
방열온도	60°C	60°C
에너지축적 용량	최대100Kwh	-
크 기	610x610x1910h (mm)	508x508x1910h(mm)

이 ETS furnace에는 peak 기간중에도 수용가가 원하면 사용할 수 있는 override control option이 주어졌으며, night heating section부는 off-peak 동안 home내에 설치된 자동온도 조절기에 의하여 제어된다. 이외에도 field test 기간중에 새로이 개발된 first-,second-generation American-produced ETS furnace가 각각 1대씩 위에서 언급된 설비를 대신하여 투입되었다.

2) ETS water heating

표2. ETS water heater 계원

항 목 구분	수 치	비 고
최대온수축적량	454L (120gal)	ETS furnace와 마찬가지로 override control option이 주어짐
구 조	bottom 1Kw/2Kw top 4.5Kw	
additional hot water	114 L (30gal) (tank에 남은 온수량이 30gal 이하로될때 경보)	

3) Test Homes

설비운영과 ETS 설비크기에 날씨가 미치는 영향을 파악하기 위해서 AEP service area중 5개주-virginia(30), W.Virginia(4), ohio(16), Indiana(14), Michigan(7)에 걸쳐 71개 RES TEST HOMES을 random하게 선정하였다. RES TEST HOMES에 대한 일반계원은 다음과 같다.

표3. RES TEST HOMES에 대한 일반제원

평균난방 면적	: 142.98m ² (1539 sq.ft)
on-peak기간동안(16시간)	: 100Kwh
요구되는 최대사용량	
년간 heating degree.	: 4300 ~6800 °c. 일 days
실외 최저기온	: -23.3 c-12.2 °c
design Heat Loss	: 약 7.8 Kw

4)ETS 설비의 열축적 제어방법

가)ETS furnace charge control;설비의 standby losses를 줄이고, off-peak 기간 부하곡선을 완만하게 유지시키기 위해서 전기 입력이 자동적으로 조절 되도록 하는 제어방법을 채택하고 있다. 즉,실외 온도와 축열 내부의 온도를 센싱하여 off-peak 기간에 열축적 제어를 한다. 실외 온도가 0 °c 이상되는 경우 열축적부의 1/2을 min-charge level로, -17.8 °c 이하가 되는 경우 열축적부의 max-charge level로 하여 실외 온도에 따라 min-max charge level이 선형적으로 변화하게끔 하였다. (minimum half charge level 결정을 위한 별도의 field test 결과 -7.8 °c 까지 가능하였다.)

나)ETS water heater charge control;실외 기온은 ETS water heater charge control에 거의 영향을 미치지 않기 때문에 off-peak cycle의 마지막까지 full charge 시키는 것이 바람직하다. 따라서 전날쓰고남은 온수량이 유일한 변수로 되는데, 이것과 물탱크내의 자동온도 조절장치에 의하여 top heating element (4.5Kw, 3Kw)와 bottom element (1Kw,2Kw)가 제어된다.

5)Test Metering

ETS furnace와 water heater의 peak 및 off-peak시 그 전력 소비량의 측정에는 dual-register Kwh meter가, non-ETS 전기기구 (전동,냉장고등)의 전력소비량 측정에는 single register Kwh meter가 설치 운용되었다.

6) RES TEST 결과

3년간에 걸친 field test의 결과 ETS space heating system에 대한 수용가의 반응은 operating cost, practice, life style 등의 모든 실문분야에서 거의 90%이상의 좋은 반응을 얻었다. 그러나 ETS water heater system에서는 약 45%가 온수사용 pattern이 세탁,목욕,그릇세척의 취향 습관에 맞게 조정될 필요가 있다는 반응을 보였다.

또한 종래의 non-storage space and water heating 설비에 비하여 RES TEST HOME에서의 1가구당 rate savings은 \$ 0.01/Kwh이었다.

아래 그림은 3년간에 걸친 field TEST의 data에 의하여 구성된 평균수요 부하곡선이다.

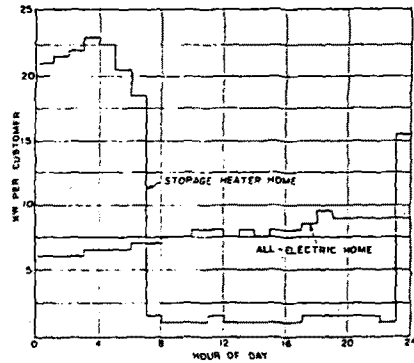


그림 1. Average ETS HOME과 Average allelectric Home에 대한 수요곡선.

이 시험결과 standby loss를 줄이기 위한 대책으로 우수한 insulation material 사용, min-charge level을 1/4(봄,가을)까지 두는 것이 합당하다는 결론을 얻었으며,ETS furnace 설비의 크기 결정에 있어서 실외 최저기온시 열침투 속도 (Infiltration rate) 0.5 air change/h (기존지역 이상), 0.25 air change/h (기존지역이하) 또, 실내 유지온도 21.1 °c를 고려하는 것이 적합하다는 결론을 얻었다.

나. T&D systems에서의 효과

그림 2.는 off-peak시 수요증가량이 on-peak시 수요 감소량의 2배임을 보여주고있다.

이러한 영향을 고려한다면 ETS Saturation level을 증가시킬수록 (단, off-peak시 첨두 수요치와 on-peak시 첨부 수요치가 같을때까지) on-peak시의 demand level을 그만큼 낮출수 있다는 것을 알수있다.

T&D systems은 peak demand level을 고려하여 계획되기 때문에 field test에서 나타난 바와 같이 첨두 수요감소, 부하증가를 감소를 가져오는 ETS saturation level에 의하여 T&D systems 분야의 자본지출을 감소시킬 수 있다. 이점에 착안하여 주택용 부하의 수요예상을 non-electric heat homes, electric heat homes, ETS homes 부문에 대하여 실시하였고, 여기서 ETS saturation level을 0%, 10%, 20%, 30%로 가정하여 그것으로 인하여 부하증가에 미치는 영향관계를 분석하였다. 이 결과와 부하증가에 따른 T&D 분야의 자본지출관계, ETS 설비증가에 따른 배전설비 비용 등을 78/79 winter 부터 88/89 winter까지 10년간에 걸친 분석결과는 아래표와 같았다.

표4. ETS saturation에 대한 T&D 분야의 자본 지출 절감

ETS Sat.	System Expend. Reduction from		Local Facility Costs (\$M)		Net Expend. Total Reduction (\$M)
	0% ETS Sat.	Meters	Distrib. Transformer & Service Drop	Total Concs	
0%	---	---	---	---	---
10%	6	1.7	2.8	4.5	1.5
20%	15	3.3	5.6	8.9	6.1
30%	23	5.0	8.4	13.4	9.6

다. Generation Systems에서의 효과

표5. PEAK-PERIOD LOAD REDUCTIONS (KW per Test Customer)

	Maximum Day	Minimum Day	Average All Days
JANUARY	6.53	1.97	4.94
FEBRUARY	6.40	1.07	4.78
MARCH	6.11	1.28	2.98
APRIL	5.91	1.22	3.78
MAY	6.21	2.12	3.59
JUNE	1.05	0.18	0.43
JULY	0.21	0.15	0.22
AUGUST	0.41	0.15	0.29
SEPTEMBER	0.94	0.16	0.24
OCTOBER	1.99	0.47	1.22
NOVEMBER	4.71	0.45	1.24
DECEMBER	6.40	2.01	3.60
Annual Average			1.92

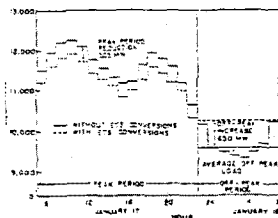
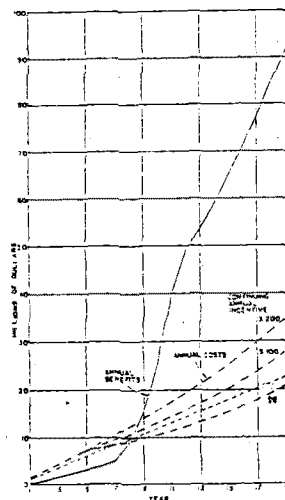


그림2. 1977.1.17-18

ETS load shape를 근거로하여 50,000 ETS conversions을 가정하였을때 얻어진 효과

16시간 discharge/8시간 charge cycle로써 얻어진 1977.1.17-18 ETS load shape를 근거로하여 50,000 installations을 가정했을때 그 효과가 그림2, Test customer당 년평균 첨두 부하 절감이 표5에서와 같이 나타났다. 이와같이 적절한 규모의 ETS 설비를 이용하여 system peak loads를 줄임으로써 첫째, 장기적인 측면에서 불태 수요증가에 따른 전원개발 계획 필요성의 장기간 지연 둘째, 단기적인 측면에서 불태 발전된 전력의 효율적 사용 (AEP의 경우 주위 전력회사들에 대한 전력판매로 인한 수익도 고려하였음)이 얻어질수 있다는 점에 주안점을 두어 ETS 설비로 인한 long-term 및 short-term benefits을 분석하였다. 그 분석 과정에서 매년 5,000대의 ETS설비 증가를 가정하였고, long-term에서의 benefits은 1988.12로 설치완료 예정인 Lewis Country Unit No.1의 투자비용을 참작하였다.

ETS설비의 증가를 도모하기 위해서는 Test Program Home에 충분한 economic incentives가 주어져야 한다. 따라서 이 incentives를 제공하는 방법으로 첫째, Uniform, continuous, incentives 방식-five year pay-back period 이후에도 계속 같은 incentives (\$ 240/year)가 주어진다. 둘째, 모든 ETS 수용가에게 continuing incentives가 주어지며, 새로운 ETS 수용가에만 처음5년간 Additional incentives가 제공되는 방식들이 채택되어 annual benefits와 분석.비교한 결과 후자의 방식이 더욱 합당하다는 결과를 얻어냈다



또한 AEP system에 수용될 수 있는 최대 ETS 설비대수는 critical point (30% ETS saturation level)에서 1977/78 winter당시 127,000까지 가능한것으로 나타났다.

참 고 문 헌

그림3. 매년5,000대 증가를 가정했을때의 ANNUAL BENEFITS와 ANNUAL COST

3. 결론

AEP System에 대한 ETS field test결과 전력회사측 및 일반수용가 (homes) 모두에 상당한 economic benefits이 있음이 밝혀졌으며, 특히 ETS space heating 설비의 용량 결정 요소인 DESIGN HEAT LOSS, STANDBY LOSS에 있어서 American home에 적합한 실험 data 및 대책을 얻었다는 것이 주목할만하다. (ETS설비 가격을 optimal하게 결정) 원유도입 가격이 비교적 고가이며, 자원 역시 풍부하지 않으며, 앞으로의 국민생활 수준향상·고도의 경제발전 등으로 인한 전력수요 증가의 상황에 있는 우리나라에서도 대도시 지역의 고급주택, 맨션APT, 상업부문(빌딩)을 부하대상으로하여 적합한 용량의 ETS설비에 의한 L.M. 적용의 경제성 분석을 시도하여보는 것이 에너지 절약의 관점에서 볼때 상당한 가치가 있는 것으로 사료된다.

1. M.D.Adams, "AEP system ETS program: An Evaluation of the Impact on the Generation System" : Summer IEEE Meeting 1981.
2. William R.Coleman & Carmine M.Grastaro, "AEP system ETS program: An Evaluation of performance within the Home" ; Summer IEEE Meeting 1981.
3. W.E. Mekolites & Richard J.Gursky, "AEP system ETS program: An Evaluation of the Impact on the Y&D system" : Summer IEEE Meeting 1981.