最大負荷制御의 經濟的 妥當性 檢討

*유 승 철, **윤 갑 구, *조 순 봉 *한국전력공사 **에이스기술단

Economic Feasibility Study for Peak Load Control

*Sung-Chul Yu, **Kap-Koo Yoon, *Soon-Bong, Cho *Korea Electric Power Corporation
**ACE Engineering, Inc.

Abstract

Demand side management (DSM) is the planning and implementation of those utility designed to influence customer use of electricity in ways that will produce desired changes in the utility's load shape.

It is conspicuous that the peak load control of DSM is efficiently adopted. In this paper, the package type air conditioner(A/C) mounted radio controlled switch. During the summer of 1990 KEPCO conducted tests in Seoul areas to determine the economic feasibility of interrupting A/C units for short periods of time during peak load periods. These tests were performed between July 30 and September 20 and were limited to the hours of between 1 and 6 p.m.

These tests indicated that each A/C contributes approximately 4.5kW to the system peak and can be switched off 10 minutes out of each 1/2 hour without causing the customer any discomfort. Switching each A/C off for 10 minutes out of each 1/2 hour results in a peak load demand reduction of one kW per unit.

서 론

최대부하 억제에 대한 경제적 타당성은 최대부하를 억제할 때의 비용과 최대부하를 억제하지 않을때의 비용과의 경제성을 비교 평가하는 것이다.

여기서 최대부하를 억제할 때의 비용은 에어컨을 제어하기 위한 직접부하 제어 시스템 시설에 소요되는 투자비용과 운전비용 및 판매전력 감소에 따른 수입 감소와 수용가가 받게 되는 피해 및 손실에 대한 비용이 되겠다.

한편 최대부하를 억제하지 않았을 때의 비용은 피크부하용 발송배전시설에 소요되는 투자비용과 운전비용이 된다. 바꾸어 말해서 이 비용은 최대부하를 억제하는 시설을 하는 경우에 대하여는 회피비용으로 표현된다.

경제성의 평가는 초기 투자비와 운전보수비 및 감가상각비 등을 포함하고 금리와 수명기간까지 고려한 라이프 사이클 코스트(LCC:Life Cycle Cost) 개념을 적용한다. LCC는 비용의 발생시기와 금리 때문에 시간에 따라 다르다.

본 연구에서는 특정한 현금 흐름이 반복되는 조건에서 계산상의 이점이 많은 연가법을 이용하여 대안간의 경제성을 검토하기로 한다.

1. 투자비 산정 [1~5]

가. 실계통 적용설비 투자비

우리나라의 경우 냉방부하 무선원격제어에 대하여는 1990년 여름에 실증시험 경험과 유사한 설비로서 가로등 무선원격제어 설비에 대한 투자 경험을 가지고 있다.

위 경험과 이방면의 기술이 어느 정도 정착된 미국의 자료 표1을 인용하여 무선스위치 대당 투자금액을 투자비로 가름한다.

표1의 미화 금액은 미국내의 FOB가격이므로 운반비와 보험료 및 제세공과금을 고려 한다. 이러한 조건에서 여기서는 국산무선 스위치 대당 243,000원(50대 제작시)과 표1의 가격을 참고로 하여 실계통에 적용할 설비투자비는 무선스위치 대당 약 187,000원을 기준으로 하기로 한다.

<표1> 직접부하제어 방식별 가격 예

방 식	조사처	가 격 범 위 [$/수신기]
무선방식	EPRI	수신기 : 50~100, 설치비 : 15~50 기 타 : 10~50, 합 계 : 75~200
	ORNL	수신기 : 65~125, 평균 : 75 설치비 평균 : 20
	EW	수신기 : 50~90, 장치 : 50~65
리플방식	ORNL	수신기 : 65~112, 평균 : 88
PLC 방식	ORNL	단방향 : 60~87, 양방향 : 200~337
종 합	EW	단방향 단기능 : 130~140 설치비 교육비 등 포함 : 200

* EPRI : Electric Power Research Institute EA/EM-3597, December 1984
ORNL : Oak Ridge National Laboratory Survey 1978~81
EW : Electrical World, February 1982

나. 감소전력 kW당 투자비

투자비에 대한 경제성을 검토하기 위하여 부하제어에 의한 모든 투자비와 투자회피비용 등을 kW당 가격으로 환산하는 것이 편리하다.

우선 현실적으로 제어가 가능하고, 효과가 큰 것을 선정하기 위하여 최대부하 시간대의 가동률이 높은 패키지형 에어컨을 대상으로 하여 kW당 투자비를 산정하면 다음과 같다.

(1) 산정식

감소전력 kW당 투자비를 C 라고 하면

$$C = \frac{C_s}{P_{ar} \times A} \text{ [원/KW]}$$

여기서

C_s :무선원격 제어 시스템 무선스위치 대당 투자비 [원/대]

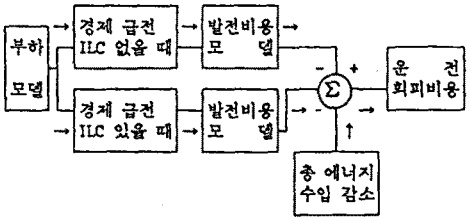
P_{ar}:평균 감소전력(비제어시 평균전력-제어시 평균전력)[KW/대]

A :제어율(제어 시스템 신뢰도×에어컨 가동률)[PU]

2. 투자효과 산정[1~5]

가. 운전회피 비용

단기적으로 발전시설은 고정되었으므로 그림1과 같이 운전비용만 고려한다.



ILC : Interruptible Load Control

[그림 1] 운전회피비용 계산

만일 부하지속곡선이 그림1과 같이 f(h)에서 g(h)로 바뀌어지고 총 에너지 소비가 같다면 운전회피비용 A_{OC}는

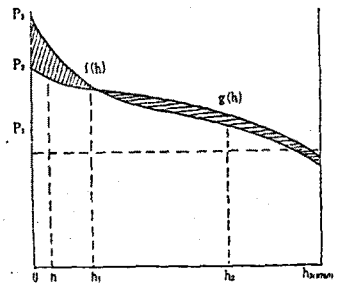
$$A_{OC} = A_{GC} - E_{RL} \quad (1)$$

여기서 발전회피비용 A_{GC}는

$$A_{GC} = \int_0^{P_1} C_b(p) \mid f^{-1}(P) - g^{-1}(p) \mid dP + \int_{p_1}^{P_2} C_i(p) \mid f^{-1}(p) - g^{-1}(p) \mid dP + \int_{p_2}^{P_3} C_p(p) \mid f^{-1}(p) - g^{-1}(p) \mid dP \quad (2)$$

에너지 수입감소 E_{RL}은

$$E_{RL} = \int_0^{h_1} P_b \mid f(h) - g(h) \mid dh + \int_{h_1}^{h_2} P_{sp} \mid f(h) - g(h) \mid dh + \int_{h_2}^{h_3} P_{op} \mid f(h) - g(h) \mid dh \quad (3)$$



[그림2] 부하지속곡선

여기서

C_b : 기저부하용 발전비용

C_i : 중간부하용 발전비용

C_P : 피크부하용 발전비용

P_P : 피크 에너지 변화

P_{sP}: 중간 에너지 변화

P_{oP}: 비피크 에너지 변화

총 실제부하 제한전력 A_{IP}는

$$A_{IP} = IP_1 \cdot E_1 + IP_2 \cdot E_2 + \cdots + IP_N \cdot E_N = \sum_{i=1}^{N} IP_i \cdot E_i \quad (4)$$

여기서

IP_i : 고객 i의 계약차단수요(여기에서는 에어컨용량)

E_i : 실제차단부하/계약차단수요

실제차단 에너지 A_{IE}는 차단 지속시간 h에 따라

$$A_{IE} = h \cdot A_{IP} \quad (5)$$

피크지연 보상을 고려하면

$$A_{IE} = S_P \cdot A_{IE} + S_i \cdot A_{IE} + S_b \cdot A_{IE} \quad (6)$$

여기서

S_P , S_i , S_b : 피크 보상률 ($S_P + S_i + S_b = 1.0$)

$$A_{GC} = A_{IE} \mid C_P(1-S_P) - C_i \cdot S_i - C_b \cdot S_b \mid \quad (7)$$

그림 2에서

$$A_{IE} = D_{sP} \cdot A_{IE} + D_{oP} \cdot A_{IE} \quad (8)$$

여기서

D_{sP} , D_{oP} : 피크에너지의 중간 및 비피크로의 이동률

$$E_{RL} = A_{IE}(P_P - P_{sP} \cdot D_{sP} - P_{op} \cdot D_{oP}) \quad (9)$$

따라서 운전회피비용 A_{OC}는

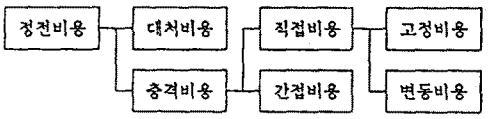
$$A_{OC} = A_{GC} - E_{RL} = A_{IE} \mid C_P(1-S_P) + P_{sP} \cdot D_{sP} + P_{oP} \cdot D_{oP} - C_i \cdot S_i - C_b \cdot S_b - P_p \mid \quad (10)$$

나. 정전비용과 회피비용[8]

(1) 정전비용 요소

예비력이 부족한 상태에서 피크부하용 발전설비도 건설하지 못했을 경우라면 수용가의 정전확률이 높아진다. 이러한 환경에서의 최대부하 제어시스템 시설비 투자에 대한 경제성은 정전비용과 비교된다.

여기서 정전비용의 요소는 그림3과 같다.



[그림 3] 정전비용 요소

(2) 정전비용과 회피비용

아직 한국전력계통에서의 정전비용 평가자료가 미흡하므로 해외자료 함께 인용한다.

하루 10시간 차단시 하루당 공급지장비용 및 회비비용을 표2에 나타냈다.

일반적으로 정전비용은 표2에서 보는 바와 같이 피크부하용 발전설비건설 회피비용보다 불시차단의 경우 23~404배, 예고차단의 경우 7~121배 크다.

더욱이 기본요금 단가보다는 더욱 큰 것으로 나타나고 있다.

<표 2> 정전비용 및 회피비용

(단위 : 원/kW/일)

구 분	비 용
1. 정전비용(해외)	
가. 불시차단	
1) 산업용	14,000~140,000
2) 업무용	35,000~245,000
나. 예고차단	
1) 산업용	4,200~ 42,000
2) 업무용	10,500~ 73,500
다. GDP/kWh	7,470
2. 회피비용	
가. 피크발전소 건설회피	606
나. 전체 고정비용 기준	515
3. 기본요금 단가	
가. 산업용	88
나. 업무용	134

* GDP : Gross Domestic Product

다. 투자 회피비용[1~5]

부하차단 조절은 피크를 경감시키므로 전원투자비가 감소된다. 따라서 투자회피비용(A_{CCC} : Avoided Capital Carring Cost, 자산운영 회피비용)이 고려되어야 한다.

그림4는 A_{CCC}의 계산과정을 설명한다.

같은 방법으로

$$A_{CCC} = P_{VACCC} - P_{VDRL} \tag{11}$$

발전시설 투자회피비용 P_{VACCC}는

$$P_{VACCC} = P_{VCCC} - P_{VCCC'} \tag{12}$$

여기서

P_{VCCC} , $P_{VCCC'}$: 부하차단 프로그램 있을때와 없을때의 투자비의 현가금액

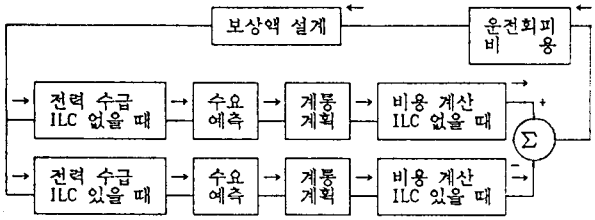
$$P_{VCCC} = \sum_{n=0}^{\infty} KI(1-g)^{nL}\left(\frac{1+\pi}{1+r}\right)^{nL} = KI\frac{1}{\left\{1-\frac{(1+\pi)(1-g)}{1+r}\right\}^{L}} \tag{13}$$

여기서

I : amount of aach investment

L : number of year between two consecutive investments

K : present value of carrying cost of $1 of investment over lifetime with carrying costassumed to be paid at the end of each year



[그림 4] 투자회피비용 계산

$$P_{VCCCC} = \sum_{n=0}^{\infty} KI\left(\frac{1+\pi}{1+r}\right)(1-g)^{nL+d} = KI\frac{\left\{\frac{(1+\pi)(1-g)}{1+r}\right\}^{d}}{1-\left\{\frac{(1+\pi)(1-g)}{1+r}\right\}^{L}} \tag{14}$$

여기서

d : number of years that the investment is delayed

부하차단계획은 장기적으로 계통의 확장계획을 늦출수 있게 된다. 여기서 수요예측, 인플레, 유가 등을 결정하기는 매우 어렵다. 단지, 이 검토에서는 기술개선율 g, 금리 r 및 인플레율 π만을 고려하였다. P_{VDRL}은 수요수입감소 현가액이고 이것은 수요수입의 현가액과는 다르다. P_{VDRL}은 대개 E_{RL} 에너지 수입손실에 비해 적으므로 무시된다.

투자회피비용을 앞에서의 무선스위치 투자비와 같은 방법으로 연간 kW당 투자회피비용 즉, 연가법으로 표현하면 더욱 비교하기 간편하다.

예를 들어 부하제어 시스템 투자로 공급설비인 복합화력 발전설비와 이에 수반한 송배전설비 투자를 보류시킬 때의 투자회피비용의 연간 금액 A_{CCC}는 다음과 같다.[4]

A_{CCC} = 공급설비 건설단가×연간 고정비율

= (433,000+114,820)×0.1197

= 65,574[원/kW·년]

여기서

연간고정비:자본비+감가상각+법인세 및 제세+보험료+철거비+운전유지비

복합화력 발전설비 건설단가 : 433,000원/kW

송배전설비 건설단가 : 114,820원/kW

감각상각률 : $D = \frac{1-잔존가치율}{내용년수} \fallingdotseq \frac{1}{n} = \frac{1}{20} = 0.05$

자본비율(내용년수간 평균 자본비율) : $C_R = r - D$

여기서

자본회수계수 $r = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}$

$$C_R = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1} - D$$

여기서

n : 수명기간(내용년수)

i : 할인률

$\frac{0.08(1+0.08)^{20}}{(1+0.08)^{20}-1} - 0.05$

= 0.0519

운전유지율:C_O = $\frac{운전유지비}{각\ 전원설비별\ 자산가액}$

= $\frac{운전유지비}{각\ 전원설비별\ 설비용량 \times 건설단가}$

= 0.0131(실적치)

세금율(법인세, 방위세, 주민세, 재산세, 인지세 등) : 0.0017

보험비율 = $\frac{보험료}{각\ 전원별\ 설비의\ 자산가액}$ = 0.003

철거비 : 원자력은 0.001 그밖의 경우는 무시

따라서

고정비율계=자본비율+감가상각률+세금률+보험비율+운전유지비율

= 0.0519+0.05+0.0017+0.003+0.0131=0.1197

3. 결 론

가. 투자비

무선스위치 설치 비 [원/대]	제어시간별 감소전력 kW당 설치비[원/kW·년]		
	7.5/30분	10/30분	15/30분
187,200	66,677	48,070	30,249

나. 투자효과

(1) 운전회피비용 : 최대부하공급설비인 내연력 발전설비 연료비 31.83원/kWh 적용

(2) 정전비용과 회피비용 : 정전비용은 업종별 정전조건별로 정전회피 비용보다 7~404배 큼

(3) 투자회피비용 : 최대부하공급설비인 복합화력 발전설비 투자비 433,000원/kW 적용

다. 연차별 무선스위치 보급대수 추정

(단위 : 천대/년)

연 차	1	2	3	4	5
제1안: 무선스위치 국산 생산 능력 기준	120	120	120	120	120
제2안: 패키지형 에어컨 보급 대수 기준	318	159	239	358	536
제3안: 하계와 동계 최대부하 차이 기준	1,318	132	145	159	176

라. 경제성 평가

5년간 이득금액은 적용방안에 따라 312~1,269[억원]에 이르며 B/C비는 1.3배 이상이다. 현실적으로 제2안을 기준으로 사업추진을 하면서 조정하는 것이 바람직하겠다.[5]

방 안	투자비용 [천원]	회피비용 [천원]	이득금액 [천원]	B/C비
제1안	86,526,000	117,744,482	31,218,482	1.36
제2안	201,653,650	271,265,507	69,611,857	1.35
제3안	386,819,290	513,754,174	126,934,884	1.33

마. 수용가 인센티브

이득금액은 부하제어 시스템을 시설하도록 협조해 주는 수용가에게 혜택을 주도록하여 공급설비 투자를 늦추고, 공급설비 고장시 중요부하 제한을 경감시키며, 에너지 절감효과를 높히는 것이 소망스럽다. 위의 이득금액을 년간 kW 당 이득금액(패키지형 에어콘 1년 1대분)으로 나타내면 15,151 ~ 17,484원이 된다.

한편, 해외전력회사의 직접부하제어 수용가 인센티브는 년간 5,700 ~ 43,000원으로 조사 되었다.

4. 향후 연구 과제[9~15]

(1) 실증시험의 확대실시와 실계통 적용 방안
(2) 부하제어 대상기기에 제어시스템 내장 방안
(3) 에너지관리시스템(EMS)과 종합배전자동화(배전선로원방감시제어, 원격검침, 고객정보관리)시스템
(4) 초고속공중정보통신망(ISDN)및 종합유선방송(CATV) 전송망 구축과의 연계방안
(5) 부하모형과 전원구성의 변화에 즉응한 제어방식과 인센티브 연동방안
(6) 실시간 요금제도와 연계한 혁신적 수요관리(DSM) 프로그램 개발
(7) 지구환경을 고려한 통합적자원관리계획과의 연계방안

참고문헌

[1] C.S.Cheu, J.T.Leu : Interruptible Control for Taiwan Power Company, IEEE Trans. Power System, Vol.5, No.2, pp.460~465, May 1990

[2] J.J. Bzura : Radio Control of Air Conditioning in Rhode Island, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.5,No.2, May 1990.

[3] 이일곤,윤갑구,한영석 : 최대부하직접제어방식 실용화를 위한 연구, 한국전력공사, pp 1 ~ 316, 1990.12

[4] George W. Brazil : Arkansas Power & Light Company Air Conditioning Load Management Program, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting 1979 pp. 36-41

[5] 오창석,윤갑구,조순봉: 최대수요전력 제어기술과 경제성 검토,대한전기학회 하계학술대회논문집,pp.110~112,1992.

[6] 유승철,윤갑구 : 최대부하 직접제어 경제성검토, 대한전기협회, pp.27~38, 1993.9

[7] E.F.Gorzelnik : Utility Embrace Direct Local Control, Electrical World, pp.69~84, Feb. 1982.

[8] 부하차단 요금제도에 관한 연구, 한국전력공사, 1990.4

[9] 윤갑구,이두수,한영석 : 배전자동화와 직접부하제어를 위한 제어 및 통신시스템,대한전기학회, '90학술연구발표회 논문 전력계통분야 1990. pp.8~13

[10] Demand Side Management, Volumes 1-3, EA/EM - 3597, Research Project 2381-4,Final Report, EPRI December 1984

[11] Lester R.Brown : State of the World(지구환경보고서), Worldwatch Institute (도서출판 따님), pp.177~209, 1993.9.1

[12] 남기철 : 전력기술연구의 어제와 오늘,한전,한국전력공사, pp. 16~19, 1993. 9

[13] 정보시스템처 : 우리회사의 CATV사업참여 배경 및 전망,한전, 한국전력공사, pp.26~27, 1993. 10

[14] 강원구 : 전력의 수요측 관리방안, 93년도 하계학술대회 논문집(A), 대한전기학회, pp.45~47, 1993.7.18-20

[15] 김문덕 : 전력수급계획에 DSM을 도입하는데 있어서의 기술적 문제점, IEA 주체 DSM Conference, 1993.11.4-5