

最大負荷 直接制御

경제성 검토

유 승 철
한국전력공사 계통운용처장
윤 갑 구
에이스기술단 대표/기술사

■ 머리말

최대부하 억제에 대한 타당성은 최대부하를 억제할 때의 비용과 최대부하를 억제하지 않을 때의 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.

단기적으로 발전시설은 이미 고정되어 있으므로 발전시설에 여유가 있을 때는 그의 운전회피 비용만 고려하면 되는데 반해 발전시설이 부족할

때에는 수용가의 정전비용(공급지장비용 : Failure Cost or Value of Service, Outage Cost, Interruption Cost)을 고려하여야 한다. 장기적으로는 피크부하용 발송배전시설에 대한 공급설비 투자 회피비용을 추가로 고려하여야 한다.

경제성의 평가는 초기 투자비와 운전보수비 및 감가상각비 등을 포함하고 금리와 수명기간까지 고려한 라이프 사이클 코스트(Life Cycle Cost) 개념을 적용한다.

라이프 사이클 코스트는 비용의 발생시기와 금리 때문에 시간에 따라 다르므로 설비투자를 하는 현재를 기점으로 환산하는 현가법과 운용기간 중의 연간비용으로 환산해서 매년 동액으로 하는 연간등가법(또는 연가법)이 있으며 사용기간이 끝나는 시점의 가치로 환산하는 종가법이 있다. 본고에서는 특정한 현금 흐름이 반복되는 조건에서 계산상의 이점이 많은 연가법을 이용하여 대안간의 경제성을 검토하기로 한다.

<표 1> 직접부하제어 실증시험 투자비

항 목	세 부 항 목	금액(천원)
연구용역비	인 건 비	44,435
	경 비	22,383
	일반 관리비 등	4,082
	소 계	70,900
공사비	중앙 장치	19,214
	무선스위치 50대	12,150
	설치공사비 50대	17,671
	소 계	49,035
합	계	119,935

<표 2> 직접부하제어 방식별 가격 예

방 식	조사처	가 격 범 위 (\$/수신기)
무 선 방식	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, 장차 : 50~65
리 플 방식	ORNL	수신기 : 65~112, 평균 : 88
P L C 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

1. 투자비 산정

가. 실증시험 투자비

우리나라에서는 직접부하 제어 시스템에 대한 설치사례가 없으므로 1990년도 여름에 실시된 냉방부하원격제어 실증시험에 투자된 비용을 참고로 하면 표 1과 같다.

나. 실계통 적용설비 투자비

우리나라의 경우 냉방부하 무선원격제어에 대하여는 실증시험 경험과 유사한 설비로서 타기관에서 적용하고 있는 가동 무선원격제어 설비에 대한 투자 경험 정도를 가지고 있을 뿐이다.

여기서는 냉방부하 원격제어의 실용화를 성공적으로 수행하고 있으며 비교적 이 방법의 기술이 어느 정도 정착되었고 보급수량을 확보하고 있는 미국의 자료 표 2를 인용하여 무선스위치 대당 투자금액을 투자비로 가름한다.

표 2의 미화 금액은 미국내의 FOB 가격이므로 운반비와 보험료 및 제세공과금을 고려하여 한다. 여기서는 상한가에 환율 720(원/\$)을 곱하고 30% 정도를 가산하여 실계통에 적용할 설비투자비는 무선스위치 대당 약 187,000원을 기준으로 하기로 한다.

다. 감소전력 kW당 투자비

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

우선 현실적으로 제어 효과가 큰 것을 선정하기 위하여 단위 용량이 크고 최대부하 시간대의 가동률이 높은 패키지형 에어컨을 대상으로 하여 kW당 투자비를 산정하면 다음과 같다.

(1) 산정식

감소전력 kW당 투자비를 C라고 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)

(2) 제어시간별 감소전력 kW당 투자비

실증시험 결과를 분석한 자료를 인용하여 제어

시간별 감소전력 kW당 투자비를 산정하면 다음과 같다.

(가) 7.5/30분 제어시

$$C_{7.5} = \frac{C_s}{P_{ar7.5} \times A} \text{ [원/kW]} = \frac{187,200}{0.93 \times 0.8} = 251,613 \text{ [원/kW]}$$

(나) 10/30분 제어시

$$C_{10} = \frac{C_s}{P_{ar10} \times A} \text{ [원/kW]} = \frac{187,200}{1.29 \times 0.8} = 181,395 \text{ [원/kW]}$$

(다) 15/30분 제어시

$$C_{15} = \frac{C_s}{P_{ar15} \times A} \text{ [원/kW]} = \frac{187,200}{2.05 \times 0.8} = 114,146 \text{ [원/kW]}$$

(3) 제어시간별 연간 감소전력 kW당 투자비

여기서는 에어컨 부하를 제어하는 무선스위치 투자비를 연간 kW당 투자비 C_y 로 계산한다.

$$C_y = \text{kW당 투자비} \times \text{고정비율}$$

여기서 고정비율은 한국전력공사의 무선통신장비를 기준으로 내용년수를 5년, 할인률 8%로 전제하였을 때 26.5%이고 그 내역은 다음과 같다.

자본 코스트와 감가상각비 : 25.0%

운전유지비 : 1.5%

따라서

(가) 7.5/30분 제어시

$$C_{y7.5} = 251,613 \times 0.265 = 66,677 \text{ [원/kW·년]}$$

(나) 10/30분 제어시

$$C_{y10} = 181,395 \times 0.265 = 48,070 \text{ [원/kW·년]}$$

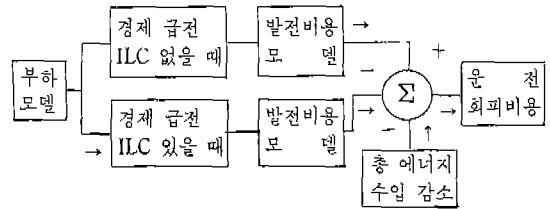
(다) 15/30분 제어시

$$C_{y15} = 114,146 \times 0.265 = 30,249 \text{ [원/kW·년]}$$

2. 투자효과 산정

가. 운전회피 비용

단기적으로 발전시설은 고정되었으므로 그림 1과 같이 운전비용만 고려한다.



ILC : Interruptible Load Control

<그림 1> 운전회피비용 계산

만일 부하지속곡선이 그림 2와 같이 $f(h)$ 에서 $g(h)$ 로 바뀌어지고 총 에너지 소비가 같다면 운전회피비용 A_{oc} 는

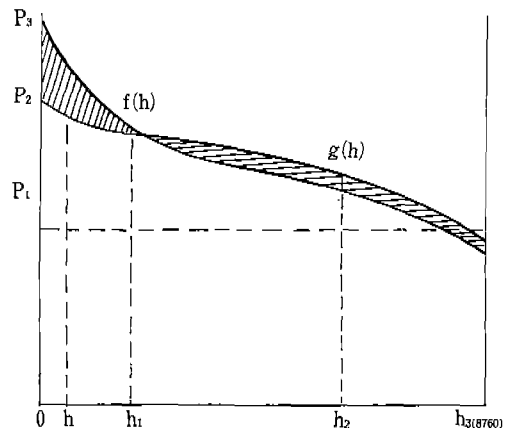
$$A_{oc} = A_{cc} - E_{RL} \quad (1)$$

여기서 발전회피비용 A_{cc} 는

$$A_{cc} = \int_0^{p_1} C_b(p) \{f^{-1}(p) - g^{-1}(p)\} dp + \int_{p_1}^{p_2} C_1(p) \{f^{-1}(p) - g^{-1}(p)\} dp + \int_{p_2}^{p_3} C_p(p) \{f^{-1}(p) - g^{-1}(p)\} dp \quad (2)$$

에너지 수입감소 E_{RL} 은

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



<그림 2> 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

$$A_{IP} = IP_1 \cdot E_1 + IP_2 \cdot E_2 + \dots + IP_N \cdot E_N$$

$$= \sum_{i=1}^N IP_i \cdot E_i \quad (4)$$

여기서

IP_i : 고객 i 의 계약차단수요(여기서는 에어컨 용량)

E_i : 실차단부하/계약차단수요

실제차단 에너지 A_{IE} 는

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

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 : Pay Back Factors of Peaking, Intermediate and Base Loading

$$(S_P + S_i + S_b = 1.0)$$

$$A_{GC} = A_{IE} \{C_P (1 - S_P) - C_{ISI} - C_{bSb}\} \quad (7)$$

그림 2 에서

$$A_{IE} = D_{SP} \cdot A_{IE} + D_{OP} \cdot A_{IE} \quad (8)$$

여기서

D_{SP}, D_{OP} : 피크 에너지의 중간 및 비피크로의 이동률

$$E_{RL} = A_{IE} (P_P - P_{SP} D_{SP} - P_{OP} D_{OP}) \quad (9)$$

따라서 운전회피비용 A_{OC} 는

$$A_{OC} = A_{GC} - E_{RL} = A_{IE} \{C_P (1 - S_P) + P_{SP} D_{SP} + P_{OP} D_{OP} - C_i S_i - C_b S_b - P_P\} \quad (10)$$

이번 실증시험결과에서는 피크에너지의 중간 및 비피크로의 이동은 미소하였으므로 운전회피비용 A_{GC} 는 다음의 사례와 같이 구할 수 있겠다.

$$A_{OC} = A_{GC} - E_{RL} = 5,945,284 - 8,366,400$$

$$= -2,421,116 \text{ [원/년]에서}$$

$$A_{GC} = A_{IE} \times C_P (1 + \text{소내소비율} + \text{송배전손실률})$$

$$= 168,000 \times 31.83 (0.051 + 0.0608)$$

$$= 5,945,284 \text{ 원}$$

여기서

A_{IE} : 무선스위치 120,000대를 설치해서 120 MW를 제한한다고 가정할 때 1989년 하계 부하지속극선상에서의 제한전력량은 168 MWh/년

C_P : 1989년도 내연력 발전연료비 31.83원/kWh

소내소비율: 1989년 실적치 5.1%

송배전손실률: 1989년 실적치 6.08%

$$E_{RL} = A_{IE} \times P_P = 168,000 \times 49.80$$

$$= 8,366,400 \text{ 원/년}$$

여기서

P_P : 1989년도 업무용 고압A 전력량 요금 49.80원/kWh

나. 정전비용과 회피비용

(1) 정전비용 요소

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

여기서 정전비용의 요소는 그림 3 과 같다.

(2) 정전비용과 회피비용

아직 한국전력계통에서의 정전비용 평가자료가 미흡하므로 해외자료를 인용한다.

하루 10시간 차단시 하루당 공급지장비용 및



<그림 3> 정전비용 요소

< 표 3 > 정전비용 및 회피비용
(단위 : 원/kWh/일)

구분	비용
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

회피비용을 표 3에 나타냈다.

일반적으로 정전비용은 표 3에서 보는 바와 같이 피크부하용 발전설비건설 회피비용보다 불시차단의 경우 23~40배, 예고차단의 경우 7~12배 크다.

더욱이 기본요금 단가보다는 더욱 큰 것으로 나타나고 있다.

다. 투자 회피비용

부하차단 조절은 피크를 경감시키므로 전원투자비가 감소된다.

따라서 투자회피비용(A_{CC} : Avoided Capital Carring Cost, 자산운영 회피비용)이 고려되어야 한다.

그림 4는 A_{CC}의 계산과정을 설명한다.

같은 방법으로

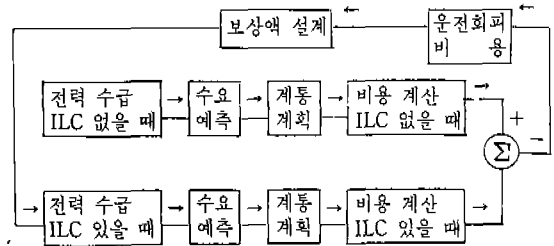
$$A_{CC} = P_{V_{ACCC}} - P_{V_{DRL}} \quad (11)$$

발전시설 투자회피비용 P_{V_{ACCC}}는

$$P_{V_{ACCC}} = P_{V_{VCC}} - P_{V_{VCC}'} \quad (12)$$

여기서

P_{V_{VCC}}, P_{V_{VCC}'} : 부하차단 프로그램 있을 때와 없



< 그림 4 > 투자회피비용 계산

을 때의 투자비의 현재금액

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

$$= KI \frac{1}{\left\{ 1 - \frac{(1+\pi)(1-g)^L}{1+r} \right\}^L} \quad (13)$$

여기서

I : Amount of Each Investment

L : Number of Year between Two Consecutive Investments

K : Present Value of Carrying Cost of \$1 of Investment Over Lifetime with Carrying Cost assumed to be Paid at the End of Each Year

$$P_{V_{VCC}'} = \sum_{n=0}^{\infty} KI \left(\frac{1+\pi}{1+r} \right) (1-g)^{nL+d}$$

$$= KI \frac{\left\{ \frac{(1+\pi)(1-g)}{1+r} \right\}^d}{1 - \left\{ \frac{(1+\pi)(1-g)}{1+r} \right\}^L} \quad (14)$$

여기서

d : Number of Years that the Investment is Delayed

부하차단계획은 장기계획의 확장계획을 늦출 수 있게 된다. 여기서 수요예측, 인플레이, 유가 등을 결정하기는 매우 어렵다.

단지, 이 연구에서는 기술개선율 g, 금리 r 및 인플레이율 π만을 고려하였다. P_{V_{DRL}}은 수요수입감소 현재액이고 이것은 수요수입의 현재액과는 다르다. P_{V_{DRL}}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 Accc는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Accc &= \text{공급설비 건설단가} \times \text{연간 고정비용} \\ &= (433,000 + 114,820) \times 0.1197 \\ &= 65,574 \text{ [원/kW·년]} \end{aligned}$$

여기서

연간고정비 : 자본비 + 감가상각 + 법인세 및 제세 + 보험료 + 철거비 + 운전유지비

복합화력 발전설비 건설단가 : 433,000원/kW

송배전설비 건설단가 : 114,820원/kW

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

자본비율(내용년수간 평균 자본비율)

$$\begin{aligned} C_R : r - D \\ &= \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} - D \\ &= \frac{0.08(1+0.08)^{20}}{(1+0.08)^{20} - 1} - 0.05 \\ &= 0.1019 - 0.05 = 0.0519 \end{aligned}$$

여기서

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

n : 수명기간(내용년수)

i : 할인율

$$\begin{aligned} \text{운전유지비용 } C_o : \frac{\text{운전유지비}}{\text{각 전원설비별 자산가액}} \\ &= \frac{\text{운전유지비}}{\text{각 전원설비별 설비용량} \times \text{건설단가}} \\ &= 0.0131 \text{ (실적치)} \end{aligned}$$

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

$$\text{보험비율} : \frac{\text{보험료}}{\text{각 전원설비별 설비의 자산가액}} = 0.003$$

철거비 : 원자력은 0.001 그밖의 경우는 무시
따라서

$$\begin{aligned} \text{고정비용계} : \text{자본비율} + \text{감가상각률} + \text{세금률} + \\ \text{보험비율} + \text{운전유지비율} = 0.0519 + 0.05 + \\ 0.0131 + 0.0017 + 0.003 = 0.1197 \end{aligned}$$

3. 연차별 무선스위치 보급대수 추정

향후 연차별 최대부하 억제량을 추정하고 그 중에서 무선원격제어 시스템에 의하여 제어할 예정인 대수와 무선스위치 보급대수를 산정하여 해당 제어 시스템 설치계획을 수립한다.

가. 연차별 최대부하 억제 목표

앞에서 분석한 바와 같이 우리나라의 최대부하는 하계 냉방수요의 증가에 따른 영향으로 하계 주간에 발생하고 있다. 따라서 최대부하의 억제를 하계 냉방수요의 제어를 대상으로 하는 것이 현실적으로 타당하다는 것은 이미 여러 번 강조되었다. 여기서는 어느 정도의 부하크기와 얼마만한 부하량을 억제할 것인가를 추정해 본다.

최대부하 삭감목표로서 가장 이상적인 크기는 우리의 현실로서는 연중 가장 큰 하계 최대부하를 연중 두번째로 큰 동계 최대부하 수준으로 억제하는 것이다. 즉 하계와 동계의 부하 차이를 해소시키는 것이다.

최대부하 연 증가율과 같은 비율로 하계와 동계의 부하차이가 증가한다고 가정했을 때 향후 3년간의 부하 차이는 표 4와 같이 연간 8.9~10.8%씩 증가할 것으로 전망된다.

실제로는 최대부하의 증가율보다 냉방부하의

<표 4> 하계와 동계 최대부하 차이 추정

연 도	최 대 부 하		하계최대-동계최대		비 고
	전력(MW)	증가율(%)	전력(MW)	증가율(%)	
1990	17,252	14.6	1,198	19.3	실 적
1991	19,111	10.8	1,327	10.8	전 당
1992	20,924	9.5	1,453	9.5	전 당
1993	22,780	8.9	1,582	8.9	전 당

<표 5> 연차별 최대부하 삭감목표 상한치
(단위: MW)

연 차	1	2	3	4	5
삭감전력 상한치 (MW)	1,318	1,450	1,595	1,754	1,930

증가율이 0.3~1.0% 높을 것으로 전망되기 때문에 하계 최대부하와 동계 최대부하의 차이는 이보다 더 크게 증가될 것으로 추정된다.

아울러 표 4의 하계와 동계 부하 차이는 냉방 부하 전망치의 1/3 정도이다.

다만, 여기서는 계산의 편의를 위해 연도별로 일률적으로 10%씩 증가한다고 가정하여 표 5와 같이 연차별 최대부하 삭감목표의 상한치를 정한다.

나. 제어대상 에어컨 대수 산정

연차별 최대부하 억제 목표를 달성하기 위하여 몇 대의 에어컨을 제어할 것인가를 산정한다.

실증시험 분석결과와 최대부하 삭감목표를 고려하여 제어대상 에어컨 대수, 즉 무선스위치 대수를 다음과 같이 산출한다.

(1) 산정식

제어대상 에어컨 대수를 N_a 라고 하면

$$N_a = \frac{P_{RP}}{P_{ar}} \text{ (대)}$$

여기서

P_{RP} : 최대부하 감소전력(kW)

P_{ar} : 무선스위치 대당 평균 감소전력(kW/대)

무선스위치 대당 평균 감소전력 P_{ar} 은

$$P_{ar} = (P_{an} - P_{ac}) \times A \\ = P_{max} (D_n - D_c) \times A$$

여기서

P_{an} : 비제어시 에어컨 평균전력(kW/대)

P_{ac} : 제어시 에어컨 평균전력(kW/대)

P_{max} : 에어컨 최대 부하(kW/대)

D_n : 비제어시 반복주기 (Duty Cycle)

D_c : 제어시 반복주기

A : 제어율(제어 시스템 신뢰도×에어컨 가동률)

(2) 제어할 에어컨 대수

패키지형 에어컨을 10/30분 제어하는 조건으로 할 때의 무선스위치 대당 또는 제어점당 평균 감소전력 P_{ar} 을 산출하면 다음과 같다.

$$P_{ar} = P_{max} \times (D_n - D_c) \times A \\ = 4.49 \times (0.958 - 0.670) \times 0.8 \\ \approx 1.0 \text{ (kW/대)}$$

여기서 제어율 0.8은 제어 시스템 신뢰도를 실증시험치 0.961로 보고 제어 대상기간의 에어컨 가동률을 0.832로 가정한 경우인데 실용화되고 있는 미국자료에 의하면 제어 시스템 신뢰도를 0.99(고장률 1%에 해당함)까지 향상시킬 수 있으므로 제어되는 에어컨 대당 평균감소전력은 1kW보다는 다소 큰 값으로 기대된다. 계산의 편의를 위해서 제어되는 에어컨 대당 평균감소 전력을 1kW로 간주할 때 표 5의 최대부하 삭감목표로부터 표 6과 같은 제어할 에어컨 대수를 산정할 수 있다.

다. 연차별 무선스위치 보급대수 추정

앞에서 검토된 내용을 토대로 하여 연차별 부하 삭감목표를 패키지형 에어컨의 무선원격제어에 의한 주기운전으로 달성하는 것이다. 이것은 패키지형 에어컨의 보급대수와 무선스위치 생산능력을 고려해야 한다.

패키지형 에어컨 보급대수는 1989년 하계 피크

<표 6> 연차별 제어할 에어컨 대수

연 차	1	2	3	4	5
에어컨 대수 [천대]	1,318	1,450	1,595	1,754	1,930

기간을 기준으로 추정한 것에 의하면 252,406대로 나타나 있다.

무선스위치 생산능력은 국내 제작에만 의존할 경우 시제품 설계기술과 생산능력은 이번 실증시험 결과 어느 정도 가능하다고 판정되지만 다량 생산체제는 구비되지 못하였다. 유사한 전자통신 설비를 제작하는 중소기업체에 문의한 결과로는 적정가격으로 상당기간 구매가 보장될 때 대략 월간 2,000대 정도의 생산능력을 구비할 수 있다고 한다. 현실적으로 5개 업체 정도를 동원한다면 월간 10,000대씩 연간 120,000대의 생산으로 추정하는 것이 적당한 수준이라고 판단된다. 연차별 제어대상 에어컨 대수가 무선스위치의 국내 생산 수량을 상당히 초과하거나 또 다른 기기를 제어 대상에 포함하게 될 때에는 그만한 수량을 외자 도입으로 충당하는 것도 검토해야 한다.

최대부하의 억제 필요성이 시급히 대두된데 반하여 이 방면의 기술축적이 부족한 우리의 실정을 고려하여 국내에서 무리없이 제작할 수 있는 수량을 국산화하고 일정범위 이내의 수량은 수입 제품을 적용하면서 상호비교 검토와 기술보완을 하는 것이 바람직하겠다.

이러한 환경들을 고려하여 여기서는 세 개 방안을 제안한다.

(1) 제 1 안의 무선스위치 보급대수

무선스위치의 국산생산능력 범위에서 패키지형 에어컨을 제어하는 조건이다. 무선스위치의 국산 생산은 앞에서 소개한 대로 연간 120,000대씩 보급되는 것으로 가정할 때 연차별 무선스위치 보급대수는 표 7 과 같다.

여기서 1차년도는 1991년을 기준으로 한 것이

<표 7> 제 1 안의 연차별 무선스위치 보급대수

연 차	1	2	3	4	5
무선스위치 대수(천대/년)	120	120	120	120	120

며 이 방안에 의하면 연차별로 예상 최대전력의 0.6~2.2%의 전력을 삭감할 수 있다.

(2) 제 2 안의 무선스위치 보급대수

최대부하 억제대상으로 가장 적절하다고 보고 있는 패키지형 에어컨의 보급대수를 기준으로 하는 방안이다.

여기서 패키지형 에어컨의 보급대수는 수출·수입대수 통계까지 정확히 확인된 최근 4년간의 전년대비 증가율 21~81%를 참고로 하여 연평균 증가율 50%를 적용하여 추정하면 표 8 과 같다.

여기서 실증시험시 설문조사에 나타난 10/30분 제어에 대한 참여 의사 56%를 고려하면 연차별로 제어에 참여할 에어컨 대수와 보급할 무선스위치 대수는 표 8 과 같이 전망할 수 있다. 이 방안에 의하면 예상 최대전력의 1.7~5.9%를 삭감할 수 있다.

이 방안을 채택할 경우에는 국산 무선스위치 생산능력 부족분에 대하여는 참여할 생산업체를 확대하거나 외제 무선스위치를 도입토록 한다.

(3) 제 3 안의 무선스위치 보급대수

무선스위치의 생산능력이나 제어대상 에어컨 대수에 관계없이 표 5 의 최대부하 삭감목표의 상한치까지 제어하는 조건을 가정한 것이다.

이 방안에 의하면 예상 최대전력의 6.9% 정도를 삭감할 수 있다.

따라서 이 방안을 채택할 경우에는 연차별로

<표 8> 제 2 안의 연차별 무선스위치 보급대수

연 차	1	2	3	4	5
패키지형 에어컨 대수 누계(천대)	568	852	1,278	1,917	2,875
제어할 에어컨 대수 누계(천대)	318	477	716	1,074	1,610
무선스위치 대수(천대/년)	318	159	239	358	536

<표 9> 제 3안의 연차별 무선스위치 보급대수

연 차	1	2	3	4	5
최대부하 삭감 목표상한치(MW)	1,318	1,450	1,595	1,754	1,930
무선스위치 대수(천대/년)	1,318	132	145	159	176

중소기업에서의 국산 무선스위치 생산량을 초과하는 분은 외제를 도입하거나 대기업의 참여를 유도해야 한다. 그리고 제어대상 에어컨 수량이 부족할 때에는 적극적인 홍보와 유인력이 있는 인센티브의 제공으로 참여율을 높이고 패키지형 에어컨 이외의 제어 대상기기를 추가 선정해야 한다.

4. 경제성 분석

가. 연차별 투자금액과 현금 흐름

앞에서 설정한 연차별 방안별 무선스위치 보급대수를 기준으로 연차별 방안별 투자금액(C: Cost)과 이로 인해서 발생하는 투자회피비용(B: Benefit)을 산출한다. 아울러 비교 평가를 일목요연하게 하기 위하여 투자비용과 투자회피비용을 연가법에 의해 연간등가화한 금액으로 표현한다.

(1) 제 1안의 현금 흐름

무선스위치의 국산생산능력을 고려해서 표 7과 같이 연간 120,000대씩의 패키지형 에어컨을 제어할 때의 연차별 투자비용과 회피비용은 표 10과 같다.

(2) 제 2안의 현금 흐름

패키지형 에어컨 보급대수를 전망하고 그 중에서 수용가의 참여율을 고려했을 때의 제어대상이 될 표 8의 무선스위치 보급대수를 기준으로 연차

별 투자비용과 회피비용을 계산하면 표 10과 같다.

(2) 제 3안의 현금 흐름

이상적인 최대부하 삭감 목표의 상한치에 해당하는 표 9의 무선스위치 보급대수를 기준으로 하여 연차별 투자비용과 회피비용을 계산하면 표 10과 같다.

나. 연차별 방안별 경제성 평가

앞에서 방안별 연차별로 계산된 현금 흐름을 무선스위치의 법정수명 5년간으로 종합하면 표 10과 같다.

<표 10> 방안별 5년간 현금 흐름 종합

연 차	제 1안	제 2안	제 3안
① 무선스위치 증설대수 Rs(천대)	600	1,610	1,930
② 제한전력 A _{lp} (MW)	120~160	318~1,160	1,318~1,930
③ 감소전력비율 [%]	0.6~2.2	1.7~5.9	6.9
④ 제한시간(시간)	3~52	16~43	227~472
⑤ 감소전력량 (MWh)	20,034	264,889	965,888
⑥ 투자비 C(천원/년)	86,526,000	201,653,650	386,819,290
⑦ 운전회피비용 A _{cc} (천원/년)	-228,718	-3,817,423	-13,919,804
⑧ 투자회피비용 P _{vacc} (천원/년)	118,033,200	275,082,930	527,673,978
⑨ 회피비용합계 B: A _{ccc} (천원/년)	117,744,482	271,265,507	513,754,174
④ 이득금액 P(천원/년)	31,218,482	69,611,857	126,934,884
⑩ B/C비(배)	1.36	1.35	1.33

①: 5년간 보급대수, ②: 2차년도 제한전력~5차년도 제한전력, ③: ②/예상 최대전력×100, ④, ⑤: 부하지속곡선에서 선정, ⑩: ⑨/⑥

투자비용이 작은 순서는 제1안, 제2안, 제3안의 순으로서 제1안은 비교적 투자에 대한 위험부담이 적은 소극적 투자방안이다.

이득금액이 큰 순서는 제3안, 제2안, 제1안의 순으로서 제3안이 가장 매력이 있으나 관련 조건변화에 대한 시행착오의 위험부담을 갖게 되는 적극적 투자방안이다.

편익비용비율(B/C Ratio)은 세 개의 투자방안이 서로 큰 차이가 없으나 제1안이 비교적 크고 다음은 제2안이 크며 제3안이 다소 작다. 이것은 삭감전력의 크기와 삭감전력량의 크기가 부하 지속곡선의 모양처럼 비선형 특성을 갖고 있는데 기인하는 것이다.

이 연구에 참여한 연구진의 유사한 분야에 대한 경험과 지식을 토대로 하여 권고하는 투자 우선 순위는 제2안을 기준으로 하여 이 사업을 추진하고 그 결과를 평가하여 가면서 제3안쪽으로 확대하거나 제1안쪽으로 축소 조정해 나가는 연동방안을 제안한다.

이렇게 했을 때의 이득은 무선스위치 보급에 큰 무리가 없으며 일부 수입품이 있으므로 국산품의 기술개발과 품질개선에 도움이 될 것이다.

아울러 제어대상 에어컨 보급대수 전망과 고객 참여율을 기준으로 하고 있으므로 예상 조건들에 대한 시행착오가 배제될 수 있어서 비교적 위험 부담이 없는 합리적 투자방안이 된다.

사업의 연차별 진행과정에서 확대할 것이냐 축소할 것이냐는 경제성 분석의 결과에도 의존되지 만 전원공급설비나 부하성장 조건의 변화에 따른 연차별 예비력에 깊은 관심을 두는 것이 바람직하다.

만약 전월설비 계획에 차질이 있거나 고장발생 빈도가 높아지는 일이 있다가나 예상 이상으로 수요가 급증하여 적정예비력 유지가 곤란해서 부하제한 우려가 높아질 때에는 표3과 같이 정전 비용이 이에 대한 회피비용보다 적어도 수십배로 크기 때문에 이 사업은 당연히 확대조정하는 것이 크게 유리할 것이다.

다. 해외 사례와의 비교

미국 Electrical World 1990년 10월호에서는 미국내에서의 수요측 에너지 프로그램의 실질효과를 다음과 같이 소개하고 있다.

- 참여 : 870% 증가(1977년 137 전력회사에서 현재 1,300 전력회사)
- 최대수요감소 : 21,000MW(1977년) ~ 43,000 MW(2000년)
- 절감비용 : \$88-billion

미국내의 몇 개의 전력회사에서의 직접부하제어에 대한 경제성 평가 예를 표11에 소개하는데 우리나라의 평가 결과와 비슷한 범위에 있다.

<표11> 직접부하제어 경제성 평가 예

전력회사명	시스템가격 [\$/제어점]	감소 전력 [kW/제어점]	절감비용 [\$/kW]
Buckeye Power, Ohio	105.00	1.1	95.45
Cobb EMC, Ga	92.80	1.3	71.38
Detroit Edison, Mich	89.50	1.0	89.50
Minnkota Power, ND	663.00	10.0	56.60

<표12> KVEC의 부하제어 성공사례

항 목		내 용
전력 시스템	최 대 수 요	20,000 kW
	최 대 수 요 증 가	6.5%/년(1971~84)
	관 대 전 력 량 증 가	4.0%/년(1971~84)
	부 하 율 감 소	55%(1971), 39%(1984)
제 최 어 대 시	공 급 설 비 투 자	평균 2.7백만불/년, 5.5백만불/년(1992)
	설 치 현 황	시스템개요 : 중앙제어 컴퓨터 : 1식 900MHz 무선중계소 : 4개소 참여수용가 : 5,300호(대형 관개용 펌프 43대 포함) 설치공사비 : \$520,000
부 하 영 현 황	제 어 율	중앙냉방식 에어컨 : 75% 전기온수기 : 40% 관개용 펌프 : 100%
	최 대 수 요 감 소	2,500MW(계통 최대수요의 12.5%)
	인 센 터 브	주탁용 : \$3/월 관개용 펌프 : \$1.5/HP/월
	투자회수기간	2.5년

아울러 좀더 구체적인 직접부하제어 성공사례로서 미국의 KVEC(Kaw Valley Electric Cooperative)의 실용화 실적을 표12에 요약하였다.

라. 향후 운용방안과 부하차단횟수

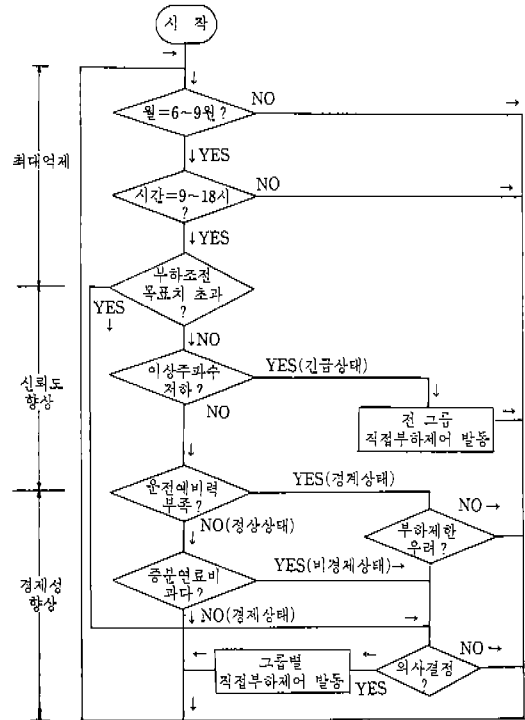
냉방부하의 직접제어는 타당성 검토결과 상당한 경제성이 있으므로 조속히 적용하고 확대해야 할 사업이다. 우선 실증시험 시스템을 계속 활용하고 무선스위치의 단계적 확대 보급이 요망된다.

직접부하제어 대상부하도 확대해 나갈 필요가 있다. 현실적으로 대상이 될 만한 기기는 관개용 펌프류와 심야전력 활용기기 및 긴급시 부하제어 대상기기들을 확대 선정토록 한다.

직접부하제어 운전 모드는 그림 5와 같이 긴급상태, 경제상태, 정상상태로 나누고 정상상태는 경제적, 비경제적 조건으로 구분하면 바람직하겠

다. 직접부하제어는 기본적으로 공급차단 서비스에 해당한다. 공급차단 서비스는 수용가의 부하를 공조기 등의 차단가능한 부하와 정전없이 확실히 공급할 컴퓨터 등의 부하로 구분하여 전자에 대하여는 요금할인을 적용하는 제도이다. 여기서도 냉방부하를 주기적으로 제어하기 위하여는 해당 수용가와 일정기간 동안에 차단할 횟수와 차단시간의 상한치를 명기해야 한다.

1989년 하계의 부하지속곡선을 기준으로 무선



<그림 5> 직접부하제어 운전모드

스위치 보급방안별 최대부하 삭감전력 크기별로 해당일수와 해당시간을 나타내면 표13과 같다.

이 표는 확률적으로 다른 해에도 비슷하므로 무선스위치 보급방안의 선택에 따라 연간 부하차단 일수와 시간수를 정할 수 있겠다. 부하제어 시스템을 하계 냉방에너지 절약차원에서 활용코자 할 때에는 표14의 온도지속시간과 표13의 삭감전력별 해당시간을 참작하면 편리하다. 참고로 미국의 여러 전력회사들이 채용하고 있는 계약상의 부하차단횟수 상한치와 실제의 부하차단횟수 사례를 표15에 소개하였다.

어느 회사나 계약상 차단횟수 상한치가 적을 뿐만 아니라 실제의 차단횟수도 대단히 적은 것으로 나타나고 있다.

부하제어 시스템은 상시 에너지 절약차원에서 이용할 수도 있으나 비상시에 대비하는 것 만으로도 꼭 필요한 시스템이고 전력계통 계획과 운용

<표13> 방안별 삭감전력별 연차별 해당일수 및 시간

연 차	1	2	3	4	5	
제 1 안	전력(MW)	120	240	360	480	600
	일 수	2	5	8	10	13
	시 간	3	11	19	36	52
제 2 안	전력(MW)	318	477	716	1,074	1,610
	일 수	6	10	16	29	46
	시 간	16	36	73	143	343
제 3 안	전력(MW)	1,318	1,450	1,595	1,754	1,930
	일 수	36	36	46	51	55
	시 간	227	227	335	404	472

면에서 경제성과 신뢰성을 향상하는데 가치가 높은 시스템이라고 판단된다.

<표14> 1989년 하계온도 지속시간

온도/월	6	7	8	9	소계	누계
35			3		3	3
34		1	9		10	13
33	2	7	7		16	29
32		10	18		28	57
31	4	21	31		55	112
30	6	40	64	8	118	231
29	15	43	56	13	127	358
28	23	66	64	13	166	524
27	27	49	73	24	173	697
26	39	87	89	38	253	950
25	60	103	84	68	315	1265
24	52	97	89	77	315	1580
23	64	77	75	87	303	1883
22	56	54	50	88	248	2131
21	70	44	14	67	195	2326
20	76	28	8	65	177	2503
19	82	14	3	32	131	2634
18	64	3	7	37	111	2745
17	31			34	65	2810
16	21			30	51	2861
15	23			17	40	2901
14	5			9	14	2915
13				9	9	2924
12				4	4	2928

<표15> 차단횟수 상한치와 차단횟수 비교

전 력 회 사 명	부하차단횟수(회/년)		비 고
	계	약 실제	
Alabama	없음	1	공조기: 30분간 21분 이내의 주기, 연간 90시간 이내 차단 온수기: 근무일 1일 6시간 이내
Baltimore	12	3	
Metropolitan Edison & Pennsylvania	20	20	
Jersey Central	20	20	
Illinois	60	3	
Iowa	없음	3	
Northern State	없음	9	
Pacific Gas			
• 부하차단	없음, 40	10	
• 부하조정	10, 15	10	
Colorado	없음	3	
Public Service & Gas	15	3	
Wisconsin	없음	1	

5. 결 론

가. 투자비 산정

무선스위치 설치비 (원/대)	제어시간별 연간 감소전력 kW 당 설치비(원/kW·년)		
	7.5/30분	10/30분	15/30분
187,200	66,677	48,070	30,249

나. 투자효과 산정

- (1) 운전회피비용: 최대부하공급 설비인 내연력 발전설비 연료비 31.83원/kWh 적용
- (2) 정전비용과 회피비용: 정전비용은 업종별 정전조건별로 정전회피 비용보다 7~40배 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
제 1 안: 무선스위치 국산 생산능력 기준	120	120	120	120	120
제 2 안: 패키지형 에어컨 보급대수 기준	318	159	239	358	536
제 3 안: 하계와 동계 최대부하 차이 기준	1,318	132	145	159	176

라. 경제성 평가

5개년간 이득금액은 적용방안에 따라 312~1,269(억원)에 이르며 B/C비는 1.3배 이상이다. 현실적으로 제 2안을 기준으로 사업추진을 하면서 조정하는 것이 바람직하겠다.

방 안	투자비용 (천원)	회피비용 (천원)	이득금액 (천원)	B/C비
제 1 안	86,526,000	117,744,482	31,218,482	1.36
제 2 안	201,653,650	271,265,507	69,611,857	1.35
제 3 안	386,819,290	513,754,174	126,934,884	1.33