

전력 소비형태 분석과 절전기술

4

卞 鍾 達

韓國電力技術(株) 委屬技術役

7. 미국의 수요관리

가. 개 황

전통적으로 전력회사는 증가하는 전력소비에 대하여 새로운 발전소를 건설함으로써 여기에 대처하여 왔다. 그러나 연료비의 상승과 환경에 대한 영향이 커짐에 따라 에너지 절약에 대하여 관심을 가지지 않을 수 없게 되었다. 이와 같은 관점에서 수요관리(Demand-Side Management : DSM) 개념이 발아(發芽)하게 된 것이다. 즉 가정과 산업체에서 주어진 일을 수행하는 데에 소요되는 전기의 양을 줄임으로써 새로 건설하여야 할 발전설비 용량의 필요시기를 늦추도록 하는 것이다.

전력회사는 여러 프로그램을 통해서 DSM 노력을 대표적인 조명, 난/냉방 및 모터와 같은 단일 기술에 집중시키고 있다. 높은 초기 투자를 필요로 하기 때문에 덜 매력적일 수도 있는 에너지 절약 방식의 채택을 촉진하기 위한 프로그램을 일반적으로 전력회사가 지원하게 되는 것이다.

처음 DSM의 개념이 도입되었을 때 몇몇 전력회사 경영진은 그 효과에 대하여 회의적이었다.

많은 사람들이 이와 같은 일은 관심과 자원을 절실히 필요로 하는 새 발전소 건설문제로부터 다른 곳으로 돌리게 될 것으로 우려하였다. 실제로 이와 같은 우려는 완전히 잘못된 것만은 아니었다. 즉 어떤 DSM 옹호자는 이것이 마치 전력회사의 모든 문제를 해결시킬 수 있는 만병통치약으로 작용할 것이라는 견해를 가지기도 하였던 것이다. 거의 대부분의 확신에 찬 DSM 주장자들의 일부는 새로운 발전소 건설의 중요성을 아직도 평가절하하고 있으나, 대부분의 사람들은 DSM을 전반적인 전력회사의 계획과 운영의 일개 부분으로 인식하고 있는 것이다.

처음으로 DSM 프로그램이 지목을 받게 되었을 때, 어떤 비평가는 편익이 많은 사람들이 예측하고 있는 것만큼 크지 못할 것이라고 주장하였다. 실제로 프로그램 효과에 대한 빈약한 평가 능력과 감지기능은 어떤 노력에 대한 한계로 작용하였다. 그럼에도 불구하고 Electric Utility Week (McGraw-Hill Energy Group 뉴스레터)의 조사에 의하면 대부분의 프로그램이 최소한 프로그램 착수 때에 예측한 에너지 절약을 이룩할 수 있었으며, 어떤 경우에는 당초 기대했던 것보다 훨씬 많이 절약한 것으로 나타났다. 예를

들면 New England Electric System의 세계의 전력회사인 Granite State Electric Co., Naragansett Electric Co. 및 Massachusetts Electric Co.는 1991년 전력소비량 절감계획 37MW의 거의 두배의 실적을 올렸다.

모든 전력회사가 DSM이 그들의 고객들에게 도움을 준다고는 생각하지 않는다. 가장 극단적인 사례의 하나는 Vermont의 조그만 전력회사인 Franklin Electric Light Co.로서 이 회사는 주 정부의 DSM 요구사항을 충족시키느니 차라리 사업포기를 선택하기로 한 것이다. 이 회사는 DSM 프로그램으로 10% 절전을 달성하기 위하여는 전기요금을 30%나 인상하지 않을 수 없는 것으로 판단하였으며 또 이 전력회사는 무엇보다도 종업원이 몇명 되지 않았기 때문에 이 프로그램의 추진만을 위하여 직원을 더 고용할 수는 없었던 것이다. 결국 이 전력회사는 Citizen's Utilities 회사에 매각되었다. 왜냐하면 큰 회사의 일부가 됨으로써 프로그램 추진비용을 보다 많은 전기요금 납부자들에게 분산시켜 DSM의 타당성을 제고시키게 될 것으로 믿었기 때문이다.

DSM의 인기에도 불구하고 몇몇 사람들은 그것이 오래 지속되지 못할 것이라고 주장하기도 하였다. 에디슨 전기협회(EEI)에 의하면 DSM 프로그램과 산업체의 자가발전이 1990년대 전력 수요 충족을 위하여 현재 건설하고 있거나 계획되고 있는 164GW 전원의 거의 3분의 1을 점하게 될 것으로 전망하고 있다. DSM에 의해서 제의된 상당히 많은 부하절감 잠재력은 새로운 에너지 절감기기 및 서비스에 대한 수요를 촉발하게 되었다. 금년에 전력회사들은 약 20억달러를 투입하게 될 것이며, 몇몇 사람들은 2005년에는 이 금액이 연간 500억달러에 이를 것이라고 말하고 있다.

DSM의 편익을 알아보는 것은 어려운 일이다. 미국은 독일, 일본 또는 스웨덴보다 GNP의 달러당 두배나 많은 에너지를 사용하고 있다. 이와 같은 차이는 미국 국토의 크기 때문이기도

하지만(예를 들면 생산품을 시장으로 출하하고 원자재를 공장으로 반입하는데 더 많은 에너지가 소비된다), 그러나 이와 같은 차이의 반 이상은 에너지효율이 낮은 데에 기인하고 있는 것이다. 사실 미국은 상위 10개 공업화국 중에 에너지 효율에 있어서 9위를 점하고 있는 것이다.

미국전력연구소(EPRI)는 현재 사용할 수 있는 '보다 더 가격효율적인 기술을 전부 적용 시행한다면 에너지사용을 20% 감축시킬 수 있다고 추정하고 있다. 다른 몇 소식통들은 이것으로 70%까지 절감할 수 있다고 주장하고 있다. 이와 같은 백분율에 관계없이 효율개선의 여지가 있다는 것과 세계경제의 경쟁적인 입장에서 제품과 서비스를 생산하는데 소요되는 에너지의 양을 감축시키는 데 최선을 다하여야 한다는 것은 거의 대부분의 산업종사자들에게는 자명한 과제인 것이다.

거의 대부분의 경우 DSM의 편익을 효율개선에 의한 에너지 절감 뿐이라고 말한다. 그러나 생산 종사자의 안락과 생산성이라는 다른 편익이 있으며 더 나아가서 발전소와 송전선을 덜 건설하고 연료를 덜 연소시킴으로써 얻어지는 환경편익이 있다.

나. 조명이 우선 대상

미국의 DSM 프로그램에서 집중 공략의 주요 대상은 조명분야이며, 여기에는 상당한 이유가 있다. 즉 미국의 상업용 건물의 총 면적은 약 629억ft²이나 되는 것이다. 최근의 조사에 의하면 상업용 건물의 총 에너지 사용량의 19.3% 내지 53.3%가 조명이다. 건물 형태 중에서 비교적 낮은 비중의 조명을 사용하는 곳이 호텔이다. 호텔에서는 난/냉방에 사용되는 에너지의 비중이 크다. 이와는 대조적으로 학교는 조명에 많은 에너지를 투입하고 있다.

조명 에너지의 절감은 에너지 및 환경의 양측 관점에서 매우 중요하다. 상업 공간에서는 평균적으로 조명 시스템은 1.74W/ft²의 접속부하를

갖는 것으로 추정되고 있다. 또한 이 조명 시스템은 연간 평균 2,808시간 가동하고 있다. 전국 평균 에너지비용인 \$0.074/kWh를 적용하면 조명 시스템은 연간 그 비용이 22.74조달러에 이른다.

그러나 현재 사용할 수 있는 조명기술로서 건물의 조명부하를 현재의 전력소비량의 약 반 수준인 0.89W/ft²까지 충분히 낮출 수 있으며 더 나아가서 조명제어장치를 추가함으로써 연간 평균사용시간을 2,808시간에서 2,527시간으로 낮출 수가 있다. 만일 모든 상업용 조명 시스템에 이와 같은 에너지 사용수준과 제어를 적용할 수 있다고 가정하면 상업부문의 에너지비용 절감이 연간 123억달러가 된다.

비용절감 이외의 편익도 물론 발생된다. 앞에서 언급한 바와 같이 조명 에너지 절감은 발전소로부터의 발산물의 감소를 의미한다. 매 kWh의 전기를 발생시키기 위하여 평균 SO₂ 5.3그램, N₂O 2.8그램 그리고 CO₂ 1.61파운드(1b)를 생성하게 된다. 이와 같은 수치는 전력회사간에 사용하는 발전소에 따라 크게 변동한다. 조명 에너지 감소로 얻어지는 총 환경편익은 SO₂가 연간 969,000톤, N₂O가 연간 510,000톤 그리고 CO₂가 연간 133,500,000톤에 이른다. 이것은 도로에서 자동차 24,300,000대를 제거하는 것과 동일한 효과이다.

물론 모든 빌딩에서 이러한 수준으로 개체(改替)할 수는 없다. 어떤 경우는 이와 같은 개체가 기술적으로 불가능할 수도 있으며 또 재정적인 동기를 유발하지 않을 수도 있다. 그럼에도 불구하고 현재 사용가능한 기술을 조명과 다른 분야까지 적용함으로써 에너지를 절약하고 공해를 경감시킬 수 있는 두 가지에 대한 막대한 잠재적 가능성이 있는 것이다.

조명사용 기기추정	전 체	호 텔
형광 전등	87%	15%
백열 전등	10%	82%
고압 및 저압 나트륨전등	1%	1%
수은 등	1%	1%

위 표는 두 가지 형태의 상업용 건물의 조명설비 종류를 보여주고 있다. 전체와 호텔간의 차이에서 볼 수 있는 바와 같이 수치가 크게 변화하고 있는 것을 알 수 있다. 호텔에서의 백열등 사용이 많은 것은 장식조명과 전통적으로 백열등을 사용하여 온 객실의 조명 때문이다.

가장 중요한 조명에 대한 에너지 절약 개선은 형광등과 백열등에 관계되는 것이다. 형광등 조명시스템에 대하여는 다른 어느 조명방식보다도 많은 개량이 이루어졌다. 등과 안정기에 대하여 집중적인 개량이 이루어졌으며 발광체에 대하여도 메이커들의 관심이 모아지고 있다.

좀 오래된 형광 램프 개발품에는 34-W T-12 형광등, 고효율 마그네틱 안정기 및 전자 T-12 안정기 등이 있으며 보다 새로운 개발품에는 아래와 같은 것들이 있다.

- 32-W T-8 램프
- 전자 T-8 안정기(전 및 감소 광출력)
- 8-ft T-8 램프 및 전자 안정기
- 40-50-W T-5쌍 튜브 램프

위에서 사용하고 있는 T-8 및 T-5 등의 호칭은 램프의 직경을 1인치의 8분의 1로 표시한 것이다. 예를 들면 T-8은 1인치의 직경을 가지는 램프인 것이다. 일반적으로 말해서 새로 나오는 램프는 재래의 것보다 직경이 작아지고 있다. 새로 개발된 T-8 램프는 램프 내부에 다른 코팅(실제로는 3-형광체)으로 보다 좋은 연색(演色) 효과와 효율향상을 얻기 위한 것이다. 추가적인 편익은 보다 나은 광속 유지이다. 이것은 광출력이 작동시간이 증가하여도 높은 수준으로 유지되는 것을 의미한다.

적정한 에너지 효율을 좋은 전자 안정기와 결합하여 사용하면 T-8 형광등은 표준형광 램프의 단지 61%의 에너지 소모만으로 동일한 빛을 내게 된다. 4-램프 조명기구인 경우 이것은 표준 램프 및 안정기의 174W에 비하여 106W의 부하 접속에 해당함을 의미하고 있다. 만일 약간의(약 10%) 감소가 빛 출력에 허용된다면, 빛 출력 감

소 안정기를 사용할 수 있으며, 이 때에는 에너지 소비가 106W에서 95W로 더욱 낮아지게 된다.

많은 건물 소유주들이 과거 10년간 조명 시스템을 34-W T-12 램프로 이미 개체하였다. T-8은 이 램프에 비교하면 아직도 인상적인 결과 나타남을 알 수가 있다. 이것은 34-W 램프에 비하여 76%의 전력으로 더 많은 빛(약 13% 증가)을 낸다.

표준 40-W 램프 또는 34-W 에너지 고효율형 램프로부터 이것으로 전환하려면 램프와 안정기 두 가지를 모두 교체하여야 한다. 이와 같은 필요조건에도 불구하고 T-8 램프는 많은 전력회사 DSM의 주축으로서 에너지 절약 프로그램에 크게 기여하고 있다.

컴팩트 형광등은 신형광램프 기술의 또 다른 응용이다. 이 램프형식은 많이 사용되고 있는 백열전구를 교체하기 위한 것이다. 컴팩트 형광등은 5W에서 50W까지의 규격이 있으며, 여러 가지 다른 모양의 것을 구득할 수 있다. 이들 중에는 둘, 셋 및 넷의 튜브로 되고 안정기가 부착된 것도 있다. 이 램프는 특별한 어댑터와 소켓을 필요로 한다. 나사식 형은 중형 백열등 베이스 소켓에 맞으며, 종합형 또는 분리형 안정기가 여기에 구비되어 있다. 이렇게 함으로써 수명이 긴 안정기의 교체없이 램프를 교환할 수가 있는 것이다.

또한 특별한 목적을 위하여 만들어진 하드와이어형도 있는 바, 이것은 출구표시판의 백열등을 교체하기 위한 것이다. 전형적인 100W 백열등은 26-W 4-램프로 교체할 수 있으며, 이때 전력 소비는 4분의 1인 반면 백열등과 근본적으로 동일한 광속을 얻을 수 있다. 더 나아가서 이 램프는 백열등보다 수명이 13배에 이른다.

백열전구를 컴팩트 형광등으로 교체하여 얻어지는 유지관리비 절감액만으로도 그 타당성을 얻을 수 있다. 그러나 모든 개량이 이루어졌는데도 불구하고 컴팩트 형광등의 모든 것이 완전한 것

은 아니다. 이것은 거의 대부분의 백열등보다 크기가 크며, 백열등을 쫓았던 자리에 항상 맞는 것은 아니기 때문이다.

가정에서는 전형적인 테이블 램프에 비싸지 않은 부착물을 사용하는 것만으로도 컴팩트 형광등을 사용할 수 있도록 변경시킬 수 있다. 그러나 상업용에 있어서는 이와 같은 교환이 그렇게 단순하지만은 않다.

이와 같은 사소한 어려움에도 불구하고 컴팩트 형광등은 계속해서 인기를 얻어 전력회사의 제공 또는 조명 환불 프로그램의 대상으로 자주 채택되었다. 이와 같은 일은 부분적으로 이들이 비교적 단순하기 때문이기도 한데, 일반적으로 조명 프로그램은 아주 훌륭한 성과를 기록하고 있다.

다. 새로운 기술

조명에 있어서 전구와 안정기만이 발전된 것은 아니다. 최근의 EPRI 보고에 의하면 반사각의 성공적인 적용사례가 지적되었다. 큰 제조공장에서 4-램프 7,000 등 이상을 2×4 조명기구를 자체적으로 설계한 경면(鏡面) 반사각으로 개체하였다. 대부분의 반사각 설치는 그 장치가 다양하기 때문에 자체설계에 의하여 설치되었다. 기존 40W 램프와 안정기가 교체되었으며, 전체 수량의 반은 제거되어 버렸다. 결과적으로 광도가 15% 감소되었으나 받아들여질 수 있는 수준이었다. 첫째는 조명비 200,000달러와 에어컨디셔닝의 24,000달러가 절감되었다. 전력회사의 리베이트 56,000달러를 감안하여 프로젝트비용 180,000달러는 7개월에 상환될 수 있었다.

작은 규모인 경우로서 치과 콤플렉스는 반사판을 사용하여 개체하였다. 기존 T-12 램프와 마그네틱 안정기를 T-10 램프와 전자 안정기로 교체하였다. 광도 수준은 최초로 상승하였으며, 에너지비용은 63%가 감소하였다. 전력회사의 리베이트 1,565달러를 받고 15개월만에 상환이 완료되었다.

다른 신 조명기술-미국에서는 아직 구입할 수 없다-은 전극이 없는 형광등 즉 "E" 램프이다. 이 램프는 형광튜브내의 아르곤 가스를 이온화시키는데 전파를 사용한다. 모든 형광등이 사용하는 표준 형광방식으로 이온화된 가스는 빛을 발하게 된다.

1991년에 유명한 조명기기 제작회사는 85-W E 램프를 유럽에서 선을 보였으며, 추정수명이 60,000시간이라고 하였다. 그 회사는 1993년에 이 조명기기를 미국에서도 제작할 수 있을 것이라고 말하였다. 그러나 아직까지 더 작은 규격의 E 램프를 제작한 회사는 없다. 그러나 최소한 1개 회사는 모델을 개발중이며, 1~2년 내에 상업생산이 가능하다고 주장하고 있다.

라. 전등의 점멸 제어

거재(居在) 센서가 판매되기 시작한지도 몇년이 되었으나, 근래에 와서 겨우 이것을 조명 에너지 제어에 효과적으로 사용할 수 있었다는데 착안하게 되었다. 거재 센서에는 적외선, 초음파 및 극초단파 등 세가지 타입이 있다. 적외선 센서는 표면온도 변화와 움직임에 대하여 반응하며, 초음파와 극초단파 센서는 신호를 발생시키고 이 신호에 변화가 있을 때에 반응한다. 어떤 타입인가에 관계없이 이 센서는 누가 근처에 있다는 것을 감지하고 전등을 켜게 된다. 이 센서는 또한 사람이 존재하고 있는 것을 계속 모니터링하며 미리 조정해 둔 시간 동안에 활동이 감지되지 않으면 전등을 끄게 된다.

이 시간 길이는 일반적으로 15초~20초 사이에서 조정되며, 긴 시간길이가 일반적으로 에너지 절약과 램프 수명간의 보다 나은 균형을 이루게 된다. 램프 수명은 램프를 너무 자주 켜고 끄고 하면 단축된다. 사무실과 같은 작은 공간에서는 이 센서는 전등스위치와 바꾸어 주지만 하면 된다. 그러나 큰 곳에서는 센서는 감지범위를 넓히기 위하여 천장에 설치하여야 한다. 이와 같은

설치방법은 조명스위치와 교체 설치하는 것보다 비용이 많이 소요된다.

어떤 거재 센서는 본래의 기능에 추가하여 다른 기능을 더 가지고 있다. 예를 들면 어떤 장치는 주변의 밝기를 감지할 수 있어 인위적인 조명의 수준을 조정하여 필요한 양만큼의 조명만을 사용할 수 있도록 하여 준다. 어떤 센서는 주변의 밝기가 자연광에 의해서 어느 수준에 도달하면 조명기기를 끄는 것도 있다.

거재 센서는 사무실, 회의실, 화장실 및 창고 등과 같이 항상 사람이 있지 않는 곳에 적합하다. 거재 센서는 기계가 놓인 곳에서는 사용하지 않는 것이 좋다. 왜냐하면 중요한 때에 조명이 꺼지면 위험할 경우가 있을 수 있기 때문이다.

또한 초음파형은 HVAC 시스템 또는 바람에 의하여 무엇이 움직일 때 공기의 움직임에 의하여 작동되는 경우가 있다. 또한 이들은 재점등 시간이 긴 램프에 사용할 때에는 주의를 하여야 한다.

적외선 감지기를 뉴욕 빌딩의 회의실과 개인 사무실에 설치한 경우를 보면, 전력회사의 리베이트없이 초기투자비는 160,000달러였다. 연간 650,000kWh의 전기 소비절감으로 60,000달러가 절약되어 2.5년이면 투자비가 회수되었다. 교실에서 이와 같은 감지장치를 시험해 본 결과 하루 3시간의 조명시간 단축으로 전기사용을 절감하는 실적을 보였다.

마. 절전형 모터

제작자들이 에너지 개선을 위한 관심으로 편익을 얻을 수 있는 분야는 조명기기 뿐만이 아니다. 전기모터는 조명으로 사용되는 에너지 이외의 큰 비중을 차지하고 있다. 에너지성(DOE)은 전 미국의 전력사용의 50% 이상이 전기모터에 의해서 소비되고 있는 것으로 추정하고 있다.

1975년 이후 메이커들은 프리미엄 즉 고효율 모터를 내놓기 시작하였다. 대부분의 효율개선이

1~100마력 (HP) 범위의 모터에서 이루어졌다. 일반적으로 100마력 이상의 모터는 이미 매우 높은 효율로 제작되고 있는 것이다. 그리고 1마력 미만은 효율개선이 어렵다. 1-HP모터인 경우 고효율형과 표준형의 효율차이가 약 6%이며, 100-HP모터인 경우는 그 차이가 1, 2%에 불과하다.

가격 프리미엄은 메이커와 모터 용량에 따라 달라지며, 일반적으로 15~20% 수준이다. 손실을 감소시킴으로써 개선하게 되는 것이다. 모터의 에너지 손실은 일반적으로 아래와 같이 분포되어 있다.

- 코어(회전자 및 고정자의 래미네이션)의 히스테리시스손이 전체손의 25%가 된다. 코어 손실은 고품질의 실리콘 강판을 회전자 및 고정자 권선에 사용함으로써 감소시키게 된다.
- 회전자 및 고정자 권선의 I²R 손은 약 60%를 차지한다. I²R 손은 알루미늄 대신에 동권선을 사용하든지 도체의 단면적을 증가시킴으로써 감소시킨다.
- 베어링의 마찰과 냉각팬의 바람에 의하여 5%의 손실이 추가된다. 고품질 베어링이 마찰을 감소시키며, 냉각팬은 손실을 최소로 하도록 재설계된다.
- 기타 잡다한 손실들이 나머지 10%를 차지한다. 제작상 허용여유도의 개선으로 기타 손실을 어느 범위내로 제한시킬 수 있다.

그러나 이와 같은 개선은 반대급부 없이는 불가능한 것이다. 그러나 고효율 유도전동기는 표준형의 같은 것에 비해 더 빨리 회전함을 알게 되었다. 15-HP모터를 예로 들면 그 증가는 1,747rpm~1,766rpm이다. 이것은 큰 것으로 보이지는 않을지 모르나, 어떤 사용용도에서는 조그만한 증가일지라도 큰 에너지 사용을 의미하게 된다. 왜냐하면 펌프 및 팬을 회전시키는데 소요되는 에너지는 샤프트 속도의 3제곱에 비례하여 증가하기 때문이다.

위에서 언급한 모터의 사례에서 그와 같은 속

도 증가는 전력소비를 3.3% 증가시키게 되어 표준형 및 고효율형 모터의 명관효율 비교에서 절감되는 것으로 추정되는 6%의 반 이상이 된다. 팬 및 펌프를 작동시키지 않는 모터는 속도 증가에 따른 전력수요가 일반적으로 선형적으로 증가하기 때문에 보다 적은 패네틸만 받게 된다. 만일 모터가 벨트에 연계되어 운전되는 경우는 회전되는 장치가 필요로 하는 rpm을 확보할 수 있도록 시브를 교환할 수 있다. 이것은 기어연계 운전인 경우에는 어려우며, 직결 운전장치(대부분의 펌프)에서는 불가능하다.

이와 같은 조심스러움에도 불구하고 고효율 모터는 많은 에너지절감 프로그램에서 사용되고 있다. New England의 어떤 제조설비를 검토한 결과 공정 모터 65대와 비공정 모터 67대의 교체를 권고하였다. 초기투자는 37,500달러로 추정되었으며, 연간 절감액 10,472달러로 3.6년이면 상환 가능하다는 것이다.

전력회사와 제조설비 소유주는 이 권고를 검토한 결과 프로그램을 축소하여 공정모터 54대와 비공정 모터 57대를 교체하기로 하였다. 25,000달러를 투자하고 연간 5,600달러 절감으로 4.5년 상환이 가능하였다. 권고안과 실제 수행내용과의 차이는 어떤 고효율형의 모터 프레임 사이즈를 구득할 수 없었던 것과 어떤 형 또는 기능에 대한 리베이트가 없었기 때문이었다.

이 사례에서 보는 바와 같이 모터의 교체는 그 모터가 사용하고 있는 상태였으며 다른 이유로는 교체할 필요가 없었다는 점에 유의하는 것이 중요하다. 만일 모터가 소손되었거나 또는 새로운 기기가 발주되고 있는 경우는 경제성이 달라진다. 이와 같은 경우에는 고효율 모터의 가격차이만이 타당성 검토의 대상이 되어야 한다.

속도조정구동(ASD: Adjustable-Speed Drive) 이 공정 및 HVAC에서 모터제어에 양호하며, 에너지가 감소되기 때문에 그 사용이 증가하고 있다. 모든 시스템이 그들이 경험한 침투부하에 맞도록 용량을 결정하게 된다. HVAC 적용에 있어

서 이 첨두는 1년에 단지 몇 시간밖에 일어나지 않는다. 다른 시간에는 이 건물은 냉방 또는 난방에 대처할 수 있는 보다 적은 용수 또는 공기만이 필요한 것이다.

전통적인 흐름제어에는 댐퍼, 밸브 또는 인렛 밴 등의 사용이 포함되어 있으나 이것들은 시스템에 제한을 가하는 것이며, 결과적으로 낮은 플로우 레이트에서도 동일한 팬 또는 펌프 에너지를 사용하게 되는 것이다.

ASD는 펌프 또는 팬의 속도를 변화시켜 필요로 하는 양 만큼 보내어 흐름률을 변화시키기 때문에 재래식 시스템보다 훨씬 적은 에너지를 사용하게 된다. 피드백 루프로 흐름률을 감지하여 펌프 또는 팬 모터를 제어하게 된다. 가장 기초적인 ASD 운전원리는 모터의 고정자(고정되어 있는 부분)의 회전자장의 주파수를 제어하는 것이다. 전력회사로부터 받는 60Hz의 전력은 피드백 신호에 의하여 소모로 하는 주파수로 전자적으로 변환시킨다. 모터속도는 공급전력의 주파수 조정으로 제어되는 것이다.

큰 산업설비에 대한 한 조사보고는 고정속도의 냉각수 펌프를 속도 변경구동 모터로 변경함으로써 연간 6,305달러가 절약될 것이라고 추정하였다. 이것은 모든 냉각수 코일 밸브를 3방향(코일 또는 바이패스 회로를 통한 흐름 조정) 대신 양방향(켜기/끄기)으로 바꾸어야 한다. 속도조정 구동장치, 제어장치 및 밸브 등의 설치에 83,490달러가 소요되며, 이 투자비는 13.2년에 상환할 수 있는 것으로 추정되었다. 이와 같은 변환의 또 다른 편익은 냉각기의 마모가 경감되는 것이다.

바. 냉장 및 냉방

창고 및 공정에서의 냉방 시스템은 그 사용시간이 길기 때문에 막대한 에너지를 소비하게 된다. 냉방공정이 적용되는 경우 전체 공장 에너지 사용량의 60%까지 냉장기기에 의하여 소비된다.

이와 같은 사용 비율은 조명을 증가한다. 조명은 거의 대부분의 경우 냉장기기 다음으로 가장 에너지 소비를 많이 한다.

냉장 시스템에서의 에너지 절감기술은 새로운 제품과 오래된 원칙의 재사용의 혼합체이다. 새로운 제품이란 스크롤 또는 스크류 기술을 사용한 콤프레서이다. 새로운 냉각제는 에너지 효율 개선의 욕구보다 프레온(CFC)과 지구 온난화에 관한 관심에 관련하여 개발되고 있는 것이다. 또한 에너지 효율과 환경에 대한 제한된 영향에 의하여 암모니아가 다시 사용될 것으로 보인다.

스크롤 콤프레서는 고정된 스크롤과 서로 맞물려진 회전스크롤을 사용한다. 회전 스크롤이 움직이면 콤프레서의 바깥날로부터 가스를 흡입시키는 기능을 수행하게 된다. 스크롤의 회전은 가스를 압축시키는 격실을 형성하게 되며, 마지막으로 고정 스크류의 가운데의 포트로부터 높은 압력에서 방출된다. 여기에는 회전 스크롤만이 움직이는 부분이며 밸브같은 것도 없다.

그러므로 콤프레서를 손질하기가 쉬울 뿐만 아니라 수명도 길며 효율도 더 높다. 그리고 또한 소음이 적다. 본질적으로 진동이 없으며, 먼지와 액체 냉각제에 대하여 더 여유가 있으며, 가변속도 적용에도 사용할 수 있다.

에너지 관점에서 볼 때 이들이 왕복운동 기계에 비하여 훨씬 좋은 부분부하 성능을 가진다. 전형적인 스크롤형 콤프레서는 자체용량의 40%에서 단지 전부하 전력의 27%만 사용한다. 스크롤 방식은 70톤까지 다양한 규격품을 구입할 수가 있다.

스크류 콤프레서는 동력이 전달되지 않는 두 개의 기어와 닳물리는 메인 로터를 사용한다. 가스는 로터와 기어 사이의 공간에 들어오게 되며 압축된다. 스크롤형과 같이 움직이는 부분이 적으며 유지관리가 더 쉽다. 부분 부하효율이 마찬가지로 좋다. 즉 50% 부하시 이 기계는 35%의 전력을 사용한다. 왕복운동형 콤프레서가 많은 DSM 프로그램에서 스크류형 또는 스크롤형으로

대체되고 있다.

Connecticut의 냉동식품을 처리하는 대형 냉장 플랜트는 63대의 왕복운동형 콤프레서를 사용하는 49대의 냉장기를 50~250HP의 6대의 스크류 콤프레서를 사용하는 중앙 집중 방식으로 교체하였다. 839kW의 수요전력 감소로 2,000,000kWh가 절약되는 것으로 추정되었다. 이 프로젝트는 초기투자에 1,180,000달러가 소요되며 연간 151,000달러가 절약될 것으로 기대되었다. 7.8년의 상환기간이 전력회사의 리베이트 지불로 2.9년으로 단축되었다.

사. 히트펌프의 사용

히트펌프는 새로운 것이 아니나 온수장치와 지열 난/냉방 시스템의 일부분으로 사용되는 것은 새로운 것이다. 1970년대와 1980년대 초기의 대부분의 히트펌프는 공기 근원적인 것이었다. 이들은 낮은 공기온도에서는 효율이 나빴으며, 30°F 이하에서는 보조 전기히터가 필요했기 때문에 한계성이 있었다.

공기-공기 히트펌프는 그 당시 훌륭한 평가를 받지 못하였다. 그러나 새로 등장한 물을 사용하는 모델은 공기 대 공기형이 갖지 못했던 유리한 점들을 갖추었다. 이것은 열원으로 물을 사용하기 때문에 보조히터가 덜 소요되며, 효율이 높아 낮은 외기온도에서 보다 더 잘 작동한다는 이점이 있다.

물의 루프 구성으로 된 히트펌프는 이제 신설 또는 개발 프로젝트에 사용되고 있으며, 이 점은 불확실성을 수반하는 투기적인 개발사업자들에게는 완전한 절충식 시스템인 것으로 밝혀졌다. 이와 같은 적용에서는 개발사업자들은 냉각탑, 보일러, 펌프 및 기본적인 파이프 루프를 시설하여야 한다. 세입자가 사용할 공간에 대한 실제적인 작업은 그 공간이 임대차가 이루어지고 공간 사용계획이 완료된 후까지 늦출 수가 있다. 이렇게 함으로써 개발사업자의 초기투자를 최저수준으로

경감하고 공간 사용계획에는 최대의 유연성을 주게 된다.

물의 루프 히트펌프는 거의 모든 경우 천장공간에 위치하므로 임대할 수 있는 실내공간을 필요로 하지 않는다. 현재와 같이 칸막이가 많은 사무실 빌딩에서는 얼마간의 공간은 난방용으로 필요로 하며, 동시에 다른 공간이 냉방용으로 필요한 경우가 많다. 건물의 내부가 연간 기준으로 거의 항상 냉방을 필요로 한다. 외부에서는 열을 받아 들이지 않는다. 대부분의 빌딩이 전체적으로 재사용 전기에너지에 의하여 난방이 되고 있으므로 보조난방은 필요가 없다.

히트펌프사용으로 추가로 얻는 편익에는 공간 구획의 유연성, 세입자에 대한 난방방사용 대금 청구의 용이성과 서비스의 용이성 등이 포함된다. 물-루프 히트펌프의 주거용 변형은 땅-원천형으로서 냉각탑 또는 보일러가 필요없는 것이다. 그 대신 이때에는 토양을 폐열과 열원의 대상으로 사용하게 된다.

파이프 루프는 열교환 유체를 내장하고 있으며 수평으로 된 도랑 또는 수직으로 우물이나 못에 설치하게 된다. 시스템이 난방으로 지하수를 그 열원으로 사용할 때에는 시스템에서 버려지는 열은 지하수로 옮겨진다. 지하수 온도의 변화는 낮을 때 37°F에서 높을 때 79°F 범위내에서만 변동하기 때문에 보조열이 필요한 경우에도 그것은 소량에 불과하다. 이와 같은 형식의 히트시스템의 투자비 상환 기간은 보통 4 내지 5년이 된다.

히트펌프는 또한 온수가열용으로도 사용된다. 이 경우 이 시스템은 빌딩내부로부터 열을 수거하여 내부용수를 약 140°F까지 가열할 수 있다. 이와 같은 방식으로 운전될 때 동작계수(냉각, 가열에 이용되는 열량과 외부로부터 주어진 일량과의 비)가 2와 4 사이에 있게 된다. 이와 대조적으로 가장 성능이 좋은 가스온수기는 동작계수가 0.6에서 0.9범위이며, 전기저항 가열기는 0.9에서 1.0범위이다.

EPRI에서 인용한 사례는 Florida의 제조회사

로서 기존 전기 시스템을 히트펌프온수기로 교체한 케이스이다. 설치에 16,000달러가 소요되었으며, 연간 절감액은 4,000달러였다. 이 시스템은 또한 실내에 얼마간의 냉방작용으로도 작용하였으나 이것은 상환기간 계산에서 제외되었으며, 그것까지 고려한다면 절감액은 더 큰 것으로 추정된다.

8. 절전 기술

가. 절전의 범위

전기를 이용함에 있어서 단순히 전기 스위치를 필요없을 때 끄기만 하는 것으로 절전이 잘되고 있다고 할 수는 없는 것이다. 지구상의 유한한 에너지 자원, 에너지 사용에 따른 지구환경의 황폐화, 모든 생산품을 만들고 서비스를 수행하는데, 그리고 필요로 하는 장소로 운송하는 데 소요되는 에너지와 이에 따르는 자연파괴 등 그리고 우리가 이룩하여야 할 적정수준의 경제성장 등을 고려할 때 절전은 단순한 순간적인 전기사용의 억제 뿐만 아니라 불필요한 과다 발전설비를 보유하지 않고 전기요금을 적정수준에서 유지할 수 있도록 해주는 합리적인 사용도 당연히 절전개념에 포함되어야만 한다.

더 나아가서 1차 에너지로부터 전력을 생산하는 데 소요되는 에너지전환 손실의 감소, 국가적인 차원에서의 1차 에너지의 최대효율 사용방안 강구도 전기요금의 인하 요인이 될 수 있기 때문에 절전의 범주에 포함시킨다는 것은 당연한 것이라 하겠다. 즉 집단 에너지 공급 전기설비에 해당되는 복합화력(코제너레이션) 또는 복합 사이클 발전 시스템도 이와 같은 범주에 속한다고 할 수 있을 것이다.

또한 물자절약과 물자의 재활용은 물자생산에 투입되는 에너지의 합리화에 기여하게 되며 지구환경 보전에 크게 기여하고 폐기물의 효과적인 처리 방안 강구도 폐열의 지역난방 이용 등으로

에너지 소비절감에 기여하게 되는 것이다.

나. 공급자측의 절전

(1) 전원구성의 최적화

전력은 1차 에너지를 변환하여 생산하는 에너지이므로 전력생산에 투입되는 1차 에너지의 구성을 최적화함으로써 자원빈국인 우리나라의 안정적인 에너지확보를 기하는 것도 궁극적인 절전대책의 하나라고 할 수 있을 것이다. 우리나라의 취약한 공급구조를 고려할 때 특정의 에너지원에 과도하게 의존하지 않고 각종 에너지원의 적절한 조합 즉 적절한 에너지믹스에 의하여, 에너지의 안정적 공급을 확보하는 것은 필요불가결한 것이다.

이와 같은 에너지의 베스트믹스를 생각할 때 고려하여야 할 요소로서 다음의 두가지가 있다.

첫째로 석유대체 에너지의 적극적인 도입이다. 특히 석유공급을 전량 수입에 의존하고 있을 뿐만 아니라 이의 대부분을 정정이 불안정한 중동에서 수입하고 있기 때문에 걸프사태 때에 나타난 바와 같이 우리나라의 에너지시류리타는 만전이라고 할 수 없는 것이다. 또한 앞으로 개발도상국의 에너지 수요의 증가, 북미, 북해 등 OECD 지역에서의 석유공급능력의 감소 등 석유수급의 불균형이 예상됨을 감안할 때 석유대체 에너지의 개발·도입을 적극 추진하며, 계속해서 석유의존도를 경감시키는 것이 필요하다.

둘째로 지구 온난화 문제에 대한 적극적인 대처이다. CO₂를 비롯한 온실효과 가스의 배출량을 최소로 억제하기 위하여, 원자력, 신·재생가능 에너지 등의 비화석 에너지에 대한 의존을 가능한 한 높여 나가는 일이다.

이들의 요소를 고려하여 각 에너지원의 공급안정성, 경제성, 환경부하, 도입가능성 등에 대한 종합평가로 에너지믹스를 구축하여야 할 것이다.

(2) 발전 열효율 제고

〈표 8-1〉 우리나라 발전 열효율 추이

단위 : %

연 도	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
열 효율	22.64	26.38	32.39	34.28	36.39	36.80	36.26	36.68	36.80	36.99	36.93	36.73

자료 : 전기연감-1993.

〈표 8-2〉 우리나라 송배전 손실률의 추이

단위 : %

연 도	1961	1966	1971	1976	1981	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
송배전손실률	29.35	18.08	11.42	10.49	6.66	5.87	6.01	5.75	6.08	5.62	5.60	5.78

〈표 8-3〉 송배전 전력손실의 분포(1992년)

단위 : MWh(%)

구 분	전력량	(손실률)
발전단 전력량	130,962,535	
소내 전력량	6,236,067	
송전단 전력량	124,726,468	
양수용 전력량	2,417,648	
양수제외 송전량	122,308,820	
154kV 이상 손실량	3,946,347	(3.23)
공급단 전력량	118,362,473	
66kV 및 22kV-△손실량	158,418	(0.13)
배분단 전력량	118,204,055	
배전손실	2,960,077	(2.42)
11.4kV~22.9kV	851,156	(0.70)
3.3kV~6.6kV	18,156	(0.02)
22kV-△MTTr. Tie Tr.	16,208	(0.01)
주상 Tr 손실	1,101,703	(0.90)
저압선손실	567,239	(0.46)
계량기손실	152,155	(0.12)
도전·기타	253,460	(0.21)
총 손실량	7,064,842	(5.78)
판매전력량	115,243,978	

필요로 하는 1차 에너지의 양을 줄일 수 있기 때
발전으로 1차 에너지에서 2차 에너지인 전력을
생산할 때의 열효율은 동일한 전력량 생산에 있
어 열효율이 좋을수록 투입되는 연간 1차 에너지
의 양이 적어진다.

우리나라의 종합적인 열효율은 1992년도에
36.73%를 시현하고 있다. 발전 열효율을 높이면

문에 절전을 근원적으로 하게 되는 셈이다. 특히
설비용량이 부족하게 되면 열효율이 나쁜 비상용
발전소도 가동하게 되므로 열효율이 나빠져 1차
에너지 소비가 많아지게 된다. 우리나라 발전 열
효율은 표 8-1 과 같다.

(3) 전력손실의 감소

발전소에서 생산된 전력을 소비자에게 공급하
기 위하여 수송되는 과정에서 전력손실이 발생하
는 바 이와 같은 손실을 감소시키도록 노력함은
물론 도전방지에도 철저를 기하여 도전된 전력량
의 요금을 다른 소비자들이 대신 부담하지 않도
록 하는 것도 절전 대책이다. 우리나라 송배전
손실률은 표 8-2 와 같다.

이와 같은 송배전 손실역시 고효율의 기기 사
용과 경제적인 전력 시스템운용 그리고 규정전압
유지, 역률향상 등으로 경감시킴으로써 절전 효
과를 기대할 수 있는 것이다.

송배전 손실 이외에 발전소 소내용 전력도 세
심하게 배려하여 전력소비를 최소한으로 유지하
도록 절전노력을 하여야 할 것이다. 1992년도
의 손실 전력량 분석내용은 표 8-3 과 같다.

(4) 합리적인 전력계통 운용

합리적인 전력계통 구성과 경제급전으로 전력
생산 코스트를 절감시키며 규정전압의 유지, 역
률향상으로 수송단계의 전력량 손실 감소에 기여

토록 할 수 있다. 또한 송전선로 전압의 격상, 1차 및 2차 배전전압의 승압지역의 지속적인 확장도 손실감소에 크게 기여하게 될 것이다.

수시로 변동하는 전력수요에 대응하여 경제적인 급전으로 발전원가를 낮춤으로써 근원적인 절전효과를 기대할 수 있는 것이다.

(5) 전기요금에 의한 절전

전기요금 책정에 일반적으로 적용되는 3대 원칙은 아래와 같다.

- 원가주의 원칙: 전기를 생산하여 수용가에게 공급하는 데 소요되는 적정한 원가를 보상하여야 한다.
- 공정보수주의 원칙: 전력사업은 계속 증가하는 수요에 대비하여 지속적인 투자가 필요하므로 전력사업의 건실한 발전을 위하여 적정한 보수가 주어져야 한다.
- 공평의 원칙: 전기 사용조건이 상이함에 따른 종별 원가주의를 공정하게 반영하여 요금을 책정하고 모든 수용가에게 차별 없이 공평하게 적용되어야 한다.

1973년 제1차 석유파동을 계기로 체감요금제도를 산업용을 제외한 주택용과 업무용 요금을 소비성 수요 억제를 목적으로 체증요금제로 개편함으로써 절전을 유도하기도 하였다.

그러나 1982년 이후 매년 전기요금을 인하하고, 12단계의 높은 누진체제도 5단계로 대폭 완화하는 등의 전기요금체계가 되면서 수요가 폭발적으로 증가하게 되어 예비율이 급강하함으로써 1991년에는 예비율이 이른바 적정선인 15%를 훨씬 하회하는 4.5%에서 맴돌아 전력위기를 맞았던 것이다.

전기요금은 적정수준에서 유지되어야 하며, 전기요금구조는 전력의 과소비 억제에 크게 기여할 뿐만 아니라 전력사업을 지속적으로 유지하며 증가하는 수요를 충족시키기 위한 투자가 적기에 이루어질 수 있는 공정보수주의 원칙이 준수되어야 할 것이다.

〈표 8-4〉 우리나라 전기요금의 국제비교

단위: 원/kWh

국 명	한국	대만	일본	서독	영국	미국	프랑스
평균종합요금	58.97	64.29	116.94	90.10	76.38	49.76	71.87
비 중	100	109	198	153	130	84	122

환율: 91. 12. 31 기준

자료: 전기연감, 1993.

물론 우리나라는 전기사업이 공익성과 독점성으로 국가의 규제를 받아 전기요금은 그 수준이나 체계를 국민의 복지 향상, 물가안정, 자원의 경제적 이용 등 공익에 적합하도록 유도함은 물론 에너지 정책이나 경제정책을 효율적으로 수행하기 위한 정책요소를 반영하는 것이기 때문에 단순한 문제는 아니지만 전기요금의 고가정책으로 보다 철저한 절전의식을 뿌리박도록 하는 것도 한가지 방법일 것이므로 신중히 검토할 만한 방안이라고 생각된다. 우리나라 전기요금의 국제적인 비교를 표 8-4에 제시하였다.

또한 심야요금제도를 비롯한 여러 가지 부하평준화를 유도하기 위한 요금제도도 부하율을 제고시키는 데 결정적인 역할을 하게 된다.

(6) 기 타

집단 에너지 공급 전기설비인 복합화력 즉 열병합 발전 또는 복합 사이클 시스템에 의한 발전 방식 등은 종합적인 고효율 발전방식으로 투입되는 1차 에너지를 효율적으로 사용함으로써 전력 생산 원가를 저감할 수 있어 절전효과를 얻을 수 있다.

또한 신에너지 내지 대체 에너지의 개발과 그 도입 그리고 재생가능 1차 에너지의 사용, 무공해 1차 에너지의 사용 등도 절전목적에 부합되는 것이며, 양수발전을 비롯한 전기의 저장 방식도 절전 목적 달성에 기여하며 축전지식 저장 방식은 지역적 첨두부하에 대응하여 사용할 수 있어 절전효과가 큰 것으로 기대되고 있다.

☞ 다음 호에 계속