

# 플러그부하로 인한 사무공간의 냉방부하



허 정 호

- 출처 : ASHRAE Journal 1997년 12월호
- Paul Komor, Ph.D.  
(건물에너지연구와 정보관련회사인 미국의 E Source, Inc.에서 research manager로 일하고 있으며 University of Colorado in Boulder의 교수진으로도 활동하고 있음)

사무소건물의 냉방시스템의 용량이 적게 설계되면 최대냉방부하가 걸리는 날에 재실자가 불쾌감을 느끼고 쉽게 화를 내게된다. 그러나, 시스템의 용량이 과대하게되면 필요이상으로 초기 설치비용이 낭비되게 되고 필요이상의 운전비 때문에 에너지 효율이 낮게 된다. 더구나 시스템의 과대한 용량은 습도 제어를 어렵게 하고 온도의 변동을 크게 하여 쾌적감에 역효과를 초래할 수도 있다.

시스템의 적정용량을 결정하기 위해서는 건물의 부하를 정확하게 계산해야한다. 냉방시스템의 크기를 결정할 때 건물의 부하에 관련된 많은 요인들을 고려해야한다. 실내 냉방시스템의 크기는 열과 습기 즉, 외부부하(예: 태양열과 외기)와 내부부하(예: 조명, 인체, 플러그부하)를 제거하도록 결정되어야한다.

플러그부하는 콘센트에 연결된 모든 전기기기를 포함한다. 이러한 부하는 일반적으로 전체 냉방부하의 약 15~20%를 나타낸다.<sup>1)</sup> 오피스 빌딩에서 대부분의 에너지를 소비하는 플러그 부하는 컴퓨터와 그 주변기기 즉, 프린터, 복사기, 모니터와 같은 관련 기기이다(표 1 참조). 최근 몇 년 동안 사무실에서 급증하는 이러한 기기들은 점점 큰 문제로 부각되고 있다.

이러한 플러그 부하의 크기산정을 위한 지침은 거의 없다. 예를 들면, 캘리포니아의 기준 24(California's Title 24 standard)는 다양한 기기의 부하를 계산하기 위해서 3개의 옵션을 제공한다: 1) 장차 예상되는 건물의 용도에 근거한 실제 정보를 사용, 또는 2) 제작자가 만든 데이터 또는 기술협회로부터의 정보를 사용, 또는 3) 설계자의 경험에 의한 예상 부하 및 재실패턴에 근거한 다른 데이터.<sup>2)</sup>

대개 실내에 장차 어떤 기기가 사용될 것인지 알려지지 않기 때문에, 첫 번째 옵션은 사무용 기기에 적용할 수 없을 때가 많다. 심지어 건축주가 장차 빌딩을 사용하기로 되어 있더라도 사무용 기기는 거의 대부분 건물이 완공된 후에 마지막으로 결정된다.

기술 협회가 지침을 제공하기에는 충분한 데이터가 지금까지는 없었기 때문에, 두 번째 옵션을 사무용 기기에 적용하기에는 한계가 있다. 1993, ASHRAE Handbook-Fundamentals에 의하면 "사무실의 책상에 있는 컴퓨터 모니터는 최고 15 Btu/h·ft<sup>2</sup> (4.4W/ft<sup>2</sup> [47.3W/m<sup>2</sup>])에 달하는 열취득을 나타낸다"고 언급한다. 이것은 유용한 상한선이지만, 합리적인 가정에 필요한 자세한 지침은 아닌 것이다. 어떤 경우에는 이 보다

Device	Power consumption (watts)		Active time (%)	Number of devices	Total average power (watts)
	Active	Standby			
Computer and color monitor	150	0	100	50	7,500
Printer	250	80	20	5	570
Copier	220	90	20	3	588
Fax	175	35	20	3	189
Refrigerator	120	0	100	2	240
Microwave	1500	0	5	2	150
Incandescent lights	100	0	100	10	1,000
<b>Total watts</b>					<b>10,237</b>
<b>Total watts per square foot</b>					<b>1.0</b>

Notes:  
a: Device assumed to be active 100% of the time.  
Sources: E source estimates, M. Plette et al., "Office Technology Energy Use and Savings Potential in New York," report prepared for NYSERDA and Consolidated Edison by Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, CA (June 1995).

〈표 1〉 재실인원이 50명인 전형적인 사무소건물에서의 사무용기기의 에너지사용량. 전력사용량은 1995년 생산된 일반적인 기기의 측정된 값이다(제조사사의 정격성능데이터가 아님)

약간 더 높기도 한다. 12억 달러가 소요되는 미 국방성 건물(650만 ft<sup>2</sup> [604,000m<sup>2</sup>]인 워싱턴 D.C.외곽의 정부 오피스 빌딩)의 개보수 공사의 초기 시방서에는 개방형 사무공간에 대해서 평방 피트 당 5.5와트(59.2W/m<sup>2</sup>)의 실내기기 부하를 가정하고 있다.<sup>4)</sup>

다행스럽게도, 가정 값을 대신할 만큼 이제는 플러그부하의 실제 측정된 데이터가 충분하다는 것이다. 이 데이터는 제조사의 정격성능데이터(nameplate ratings)가 실제 전력사용량을 나타내는 것이 아니라는 것과 플러그 부하의 일반적인 가정 값인 2~5W/ft<sup>2</sup> (21.5~53.8W/m<sup>2</sup>)보다 훨씬 낮은 0.4~1.1W/ft<sup>2</sup> (4.3~11.8W/m<sup>2</sup>)라는 것을 제시하고 있다.

### 제조사의 정격성능데이터에 나타나지 않은 실제 열의 방산

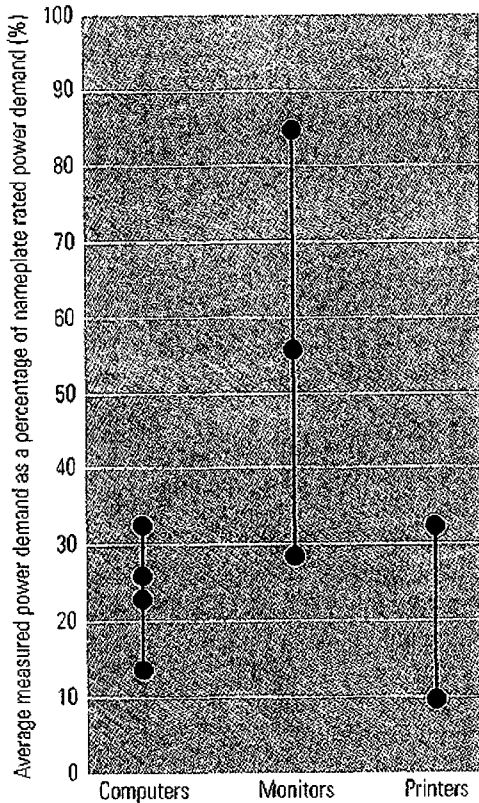
몇몇 연구에서 제조사의 정격성능데이터

와 실제전력사용량 사이의 관련성을 연구해 왔다.<sup>5)</sup> 그림 1은 실제전력사용량이 제조사의 정격성능데이터의 20~50%정도임을 비교 요약하고 있다.

제조사의 정격성능데이터는 전기배선의 용량을 결정하는 목적으로 계획된 것이지만 장기적인 전력사용량이나 열의 배출을 계산하는 목적으로 만들어진 것은 아니다. 예를 들면, 기기의 기동 시와 같이 제조사의 정격성능데이터가 나올 경우도 있으나 이와 같은 단기간의 전력은 미소한 열량에 불과하기 때문에 냉방시스템의 용량을 결정하는데 영향을 주어서는 안 된다.

### 실제 요구 전력 : 그 증거

최근 수년간, 많은 건물 연구자들과 엔지니어들이 플러그 부하 전력사용량의 실시간 측정을 수행해 왔다. 그러나, 콘센트의 배선이 조명 배선과 동일한 회로로 구성되어 있



〈그림 1〉 제조사의 정격성능데이터와 실제 전력소비량. 각 점은 연구사례를 나타낸다. 예를 들면, 컴퓨터의 실제 전력소비량은 제조사의 정격성능데이터의 14~33%로 측정되었다. 서로 다른 내부기기를 사용하는 다양한 제조사의 제품을 측정한 관계로 연구결과가 상당히 차이가 난다.

재한다. 그 데이터는 서로 일치하지만, 일반적으로 사용되는 가정이나 지침과는 다르다. 그림 2와 표 2와 같이, 측정된 실제의 플러그 부하 데이터의 범위는 평방 피트 당 0.4~1.1와트(4.3~11.8W/m<sup>2</sup>)이다.<sup>6)</sup> 이러한 데이터는 총 면적이 130만 ft<sup>2</sup>(121,000m<sup>2</sup>)인 44개 빌딩에서 측정되었다. 측정 대상으로 전형적인 사무소빌딩을 선택하였다. 그 결과는 낮게 보이지만, 전형적인 사무소건물에 근거한 기기의 종류와 건물에서 실제로 소비되는 전력량을 숙고해야 한다. 예를 들면, 50명의 직원이 있는 사무실에 각 직원마다 컬러 모니터를 가진 컴퓨터가 있고, 다섯 대의 네트워크 프린터, 3대의 복사기, 3대의 팩스기가 있다고 가정한다. 또한 이 사무실에는 2대의 냉장고와 두 대의 마이크로웨이브, 그리고 열 대의 조립식 백열전등이 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 총 전력 소비량은 10.2kW이 된다.(모든 장치들이 항상 사용 중이라고 가정하기 때문에 동시사용율의 여유에 대해서는 고려하지 않는다.) 또한, 1인당 200 ft<sup>2</sup>(19 m<sup>2</sup>)의 공간(접견실, 복도, 욕실, 그리고 다른 공용공간을 포함)이 공조된다고 가정한다. 그 결과 10,000ft<sup>2</sup>(930m<sup>2</sup>), 또는 평방 피트 당 1.02 와트(11.0W/m<sup>2</sup>)가 되며 이것은 그림 2와 같이 측정 데이터와 일치한다.

### 적정용량의 이익

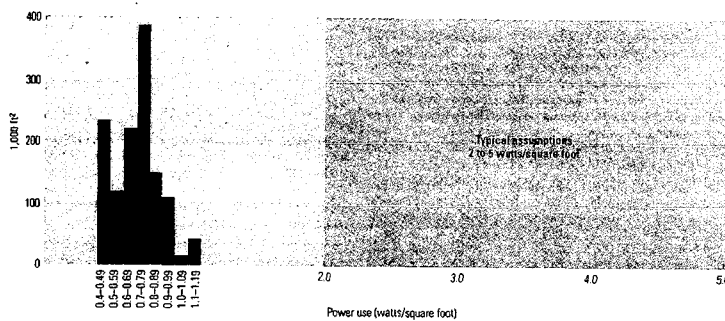
기 때문에 측정하기가 어렵다. 이것이 콘센트의 전력량을 따로 분류하는 것을 어렵게 한다. 또한, 사무용 기기는 고주파(third harmonics)를 내는 전력공급장치를 포함하고 있고 이것을 측정하기가 용이하지는 않지만 열을 발생시키기 때문에 측정하여야 한다.

이러한 난제에도 불구하고, 측정된 상당히 질 높은 플러그 부하 데이터가 비공식적인 지침의 실제 데이터를 대신하기 위하여 존

플러그 부하를 평방 피트 당 1 와트로 가정한다면, 그 데이터의 설정은 일반적으로 사용되는 평방 피트 당 3 와트보다 더 적절하기 때문에, 냉방시스템 용량의 크기와 비용에서 큰 차이가 날 수 있다. 예를 들면, 100,000ft<sup>2</sup>(9,300m<sup>2</sup>)인 사무소건물에서 플러그 부하를 평방 피트 당 3 와트(32.3W/m<sup>2</sup>)로 가정한다면, 300kW의 사무소의 기기 부하를 나타낼 것이다. 이 부하 열을 제거하는 데는

Measured watts/ft <sup>2</sup>	Type of buildings	Location	Year data taken	Building size (ft <sup>2</sup> )	Source	Notes
0.44	Office	Washington, DC area	1990	34,500	Winters and McCallin, 1991	Computers, monitors, and printers only
0.46	Office	Washington state	1991	91,800	Szykowsk and Chvala, 1993	
0.48	10 Offices	West coast U.S.	n/a	108,200	Fisher, 1998	Average for 10 small offices, 2,500 hours per year operation assumed
0.57	Research	Washington state	1991	15,000	Szykowsk and Chvala, 1993	
0.58	Office and Research	Washington, DC area	1993	100,600	Winters and McCallin, 1991	Computers, monitors, and printers only
0.67	Office	Washington state	1991	148,590	Szykowsk and Chvala, 1993	
0.67	Office with laboratory	Washington, DC area	1993	76,000	Winters and McCallin, 1991	Computers, monitors, and printers only
0.70	12 Offices	West coast U.S.	1990	388,200	Fisher, 1998	Average for 12 offices, 2,500 hours per year operation assumed
0.83	Office	British Columbia, Canada	1992	68,400	Fisher, 1998	
0.84	Research	Washington state	1991	12,000	Szykowsk and Chvala, 1993	
0.88	Office	British Columbia, Canada	1994	68,400	Fisher, 1998	
0.91	Office	Washington, DC area	1993	41,500	Winters and McCallin, 1991	Computers, monitors, and printers only
0.92	Office	Washington, DC area	1993	32,000	Fisher, 1998	
0.93	Office	California	1990	20,000	Dolan, Bloome, 1991; Margit, 1992	
0.97	Office	Washington state	1991	17,800	Szykowsk and Chvala, 1993	
1.03	Office	Washington, DC area	1993	16,600	Winters and McCallin, 1991	Computers, monitors, and printers only
1.11	8 Offices	Washington, DC area	1993	43,300	Fisher, 1998	Average for 8 small offices

〈표 2〉 사무용기기 제조사의 정격성능데이터. 공식 및 비공식적 자료에서 발췌된 자료이다. 특별한 언급이 없으면 측정데이터(W/ft<sup>2</sup>)는 모든 플러그 부하를 포함하고 있다.



〈그림 2〉 사무용기기의 플러그부하. 그림은 연면적이 130만ft<sup>2</sup>(121,000m<sup>2</sup>)인 44개 건물에서 사무용기기의 전력소비량 측정 값(W/ft<sup>2</sup>)을 나타내고 있다. 평균은 0.83W/ft<sup>2</sup>(8.9W/m<sup>2</sup>)이다.

85냉동 톤(300kW)의 효과적인 냉방 용량이 필요하다. 그러나, 1 W/ft<sup>2</sup>라 가정한다면 약 28냉동 톤(100kW)의 냉방 용량이 필요하다. 그 차이(57냉동 톤[200kW])는 상당한 비용 절감으로 환산된다.

냉동기는 톤 당 약 400달러(\$114/kW)가 소요되므로<sup>7)</sup> 플러그 부하를 정확하게 산정함으로써 약 23,000 달러의 냉동기에 선행 투자되는 비용이 절약될 것이다. (냉방시스

템의 비효율로 인해 부하 1톤을 제거하기 위해서 냉동기 1톤 이상을 필요로 한다. 그래서 실제 절약은 약간 더 높을 것이다.) 새로운 건물의 경우, 덕트, 팬, 그리고 냉방관련 기기의 동등한 크기축소에 의해 톤당 3,000달러(\$850/kW)까지 추가적인 절약이 가능할지도 모른다.<sup>8)</sup>

적정용량에 의한 운전 비용의 절약은 패키지화된 지붕설치 유닛(packaged rooftop unit)과 냉동기에 중요하다. 패키지 유닛은 기동시 일반적으로 비효율적 운전이 되며 약 10분 정도 지나서야 최대 효율에 도달한다.<sup>9)</sup> 따라서, 빈번하게 작동되는 과대한 용량의 패키지유닛은 자체의 비효율적인 기동운전이 지나고 나서 운전되기 때문에 더 많은 시간을 소비할 것이다. 패키지화된 지붕설치 유닛과 냉동기가 낮은 부하에서 작동할 경우에는 효율에 불이익이 있다.<sup>10)</sup> 냉동기의 적정용량은 고부하의 범위에서 전형적인 운전이 되도록 하기 때문에 결과적으로 운전비용의 절감을 초래할 수 있다. 냉방설비의 적정용량 산정은 다음과 같은 부가적인 이점이 있다.

- 정확한 크기의 냉방설비는 훨씬 덜 운전되고, 실내온도를 일정하게 유지하며 더 나은 습도조절이 가능하다.

- 동등한 모든 유닛을 제외한, 더 작은 유닛의 유지는 상대적으로 간편하고 비용이 더 적게 든다(유지 계약은 일반적으로 톤 단위로 요금체계가 이루어진다).
- 개보수의 경우, 작은 유닛은 다른 용도로 사용될 수 있는 전기용량을 없애준다.

그 데이터는 플러그 부하가 생각보다 상당히 낮다는 것을 보여주고 있으나 이것이 평균적인 사무실의 부하라고 인식하는 것이 중요하다. 부엌이나 복사실과 같은 곳은 상당히 높은 플러그 부하를 가질 수 있다. 비록 총 냉방 용량이 평균부하를 조절하기 위해서 크기가 결정되긴 하지만, 공기 조절과 분배 시스템은 필요하다면, 높은 부하를 감당할 수 있도록 충분히 용통성이 있어야 한다. 부하계산 소프트웨어에 동시부하율을 사용하는 것은 과도한 냉방설비를 막는 유용한 방법이다.

### 플러그부하의 감소

상업용 건물의 새로운 HVAC 시스템은 건물의 현재부하뿐 만이 아니라 장래 예상되는 부하에도 대응할 수 있도록 용량을 결정해야 한다. 미래의 플러그 부하는 기기 밀도(평방 피트 당 컴퓨터, 프린터 그리고 다른 기기의 갯수)와 각 기기의 연간 사용시간 그리고 각 기기의 에너지사용량에 따라 결정된다.

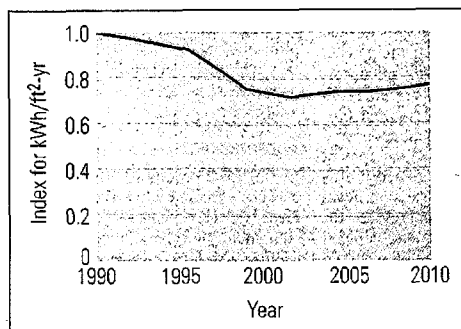
비록 이러한 변수는 불확실하지만, 어떤 일반적인 경향은 있다. 미국의 에너지스타 프로그램(미국 정부의 후원으로 사무용기기 제작자들로 하여금 에너지 효율을 높이도록 하는 노력)은 아마도 미국에서 판매되고 있는 컴퓨터, 모니터, 프린터, 복사기, 그리고

팩스기의 각 장치 당 에너지 사용을 상당히 감소시킬 것이다. 호주, 일본, 뉴질랜드, 스웨덴, 그리고 스위스에서는 이와 유사한 프로그램이 이미 시행되고 있거나 검토되고 있다.

미국의 기기밀도에 관한 예측에 의하면, 컴퓨터와 모니터의 밀도가 꾸준히 증가하고 있지만 그 증가율은 점점 낮아져 대략 2000년까지는 1인당 한 대의 컴퓨터와 모니터에 이르게 된다고 한다.<sup>11)</sup>(물론, 어떤 사무실은 이미 1인당 한 대의 컴퓨터보다 더 많이 보유하고 있을지도 모르지만, 현재 미국 사무실의 평균은 1인당 약 0.7 대이다.)<sup>12)</sup>

연간 사용시간과 인구밀도(1인당 평방 피트)당 사용시간은 크게 달라지지 않을 것 같다.

미국의 최근 연구에 의하면 이러한 요인의 결과로서,<sup>13)</sup> 현재부터 약 2002년까지 사무소 기기의 에너지사용량 밀도(연간 평방 피트 당 kWh)가 감소한다는 것이다(그림 3 참조). 예상이라는 것이 불확실하지만, 사무용 기기의 전력량(평방 피트 당 와트)이 향후 10년 사이에 크게 증가할 것이라는 증거는 거의 없다. 오히려 감소하는 경향이 있는



〈그림3〉 사무용기기의 에너지사용 밀도에 관한 예측. 에너지사용 밀도는 2002년 경 까지 감소하다가 그 이후에는 서서히 증가할 것으로 예상된다.

데 그 원인 중 하나는 에너지 스타 및 다른 유사한 프로그램에 고취된 기술의 진보이다.

〈참 고 문 헌〉

**결론**

플러그 부하는 상당한 냉방 용량을 필요로 한다. 플러그 부하를 적정용량보다 조금 크게 하는 것은 일리가 있다(임대자가 특별히 기기를 과도하게 많이 사용하는 경우). 이러한 과대용량을 결정하는데 유용한 지침은 외기 설계조건을 어떻게 설정하는가를 고려하는 것이다. 일반적으로 2.5%조건을 사용하는데 이것은 냉방시스템의 용량이 총 100시간 중 가장 덥고 습한 또는 가장 더운 2.5시간을 제외한 대부분의 시간동안은 쾌적감을 제공하도록 설계된다는 의미이다.<sup>14)</sup> 즉, 그림 2의 데이터는 평균( $\mu$ ) 0.83W/ft<sup>2</sup> (8.9W/m<sup>2</sup>)와 샘플 표준편차( $\sigma$ ) 0.21W/ft<sup>2</sup> (2.3W/m<sup>2</sup>)이다. 데이터가 정규 분포하고 있다고 한다면 데이터의 2.5%만이  $\mu+2\sigma$ , 또는 1.25W/ft<sup>2</sup>(13.4W/m<sup>2</sup>)보다 큰 값을 가지게 된다는 것이다.

새로운 설비를 설치하거나 기존의 냉방시스템을 교체할 때, 에너지 사용자는 사무용 기기 에너지 소비량에 대한 가정에 면밀한 주의가 필요하다. 만약 플러그 부하가 1.25W/ft<sup>2</sup>(13.4W/m<sup>2</sup>)보다 커야 한다면, 공간의 실제 부하가 일반적인 부하보다 상당히 높다는 명확한 증거와 같이 어쩔 수 없는 이유가 있어야 한다. 그런 경우에, 이러한 부하는 과대 평가되어서는 안 된다. 심지어 기기의 사용이 심한 생활품 거래 장소에서도, 플러그 부하는 8~10W/ft<sup>2</sup>와트(86.1~107.6W/m<sup>2</sup>)보다 3W/ft<sup>2</sup>(32.3W/m<sup>2</sup>)로 측정되었다.

1. See, for example, M. Shepard et al., Commercial Space Cooling And Air Handling Technology Atlas, June 1995, E Source, Boulder, CO, P.31.
2. California Code of Regulations, Title24, Part6, Subchapter5, Section144(a)9. This document is available at [www.energy.ca.gov/reports/title24](http://www.energy.ca.gov/reports/title24).
3. 1993 ASHRAE Handbook-Fundamentals, p.26.11.
4. Larry Lister, personal communication(May 1996), Construction Engineering Research Laboratories(CERL), U.S. Army Corps of Engineers, P.O. Box9005, Champaign, IL61821-9005.
5. G. Newsham and D. Tiller, "The energy consumption of desktop computers: Measurement and savings potential," IEEE transactions on industry applications, v.30, no.4(July/August 1994), pp.1065-1072; M.Piette, J. Eto, and J. Harris"Office equipment energy use and trends," Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-31308(September 1991); R. Szydlowski and W. Chvala,"Energy consumption of personal computer workstations," Battelle/Pacific Northwest Laboratory, PNL-9061 (February 1994; and C. Wilkins and N. McGaffin,"Measuring computer equipment loads in office buildings," ASHRAE Journal(August 1994).
6. Dubin-Bloome Associates, P.C., "Conceptual design report for pacific gas and electric customer technology test(ACT2) for energy efficiency," prepared for PG&E(January 1991); J.

- Farley, personal communication(March 1996), Center for Electric End-Use Data(CEED), EPS Solutions, 1 Richmond Square, Suite 122C, Providence, RI 02906; Larry Lister(March 1996); E. Martin, "Energy efficiency of electronic office equipment: case study for a building retrofit," Proceedings, ACEEE, Washington, D.C., v.1, pp.167 Load Equipment Energy Use in the Richard Blanshard Building, 1992 and 1994," prepared for British Columbia Buildings Corporation(May 1995); and Wilkins and McGaffin(1994).
7. Author's estimate based in part on Means mechanical Cost Data, 19th Edition(1995), p.281.
  8. Martin Kiley and William Moselle, eds., National Construction Estimator, 40th Edition(Carlsbad, CA: Craftsman Book Company, 1992), p.476.
  9. J. Proctor, Z. Katsmelson, and B. Wilson, "Bigger Is Not Better: Sizing Air Conditioners Properly," Refrigeration Services and Contracting, v.64, no.4(April 1996), p.24.
  10. S. Silver, P.Fine, and F.Rose, "Performance Monitoring of DX Rooftop Cooling Equipment," Energy Engineering v.87 no.5, 1990, pp.32-41; L.Fryer, "Electric Chiller Buyer's Guide," E Source Tech Update TU-95-1, February 1995, p.17.
  11. J.Koomey, M.Cramer, M.Piette, and J.Eto, "Efficiency Improvements in U.S. Office Equipment: Expected Policy Impacts and Uncertainties," LBNL, Berkeley, CA(December 1995), p.10.
  12. Koomey et al. 1995, p.10.
  13. Koomey et al. 1995.
  14. For more information, see 1993 ASHRAE Handbook-Fundamentals, chapter 24.
  15. Scott Frank, personal communication (June 1996), Jaros Baum and Bolles Consulting Engineers, 345 Park Avenue, New York, NY10154-0002. 