

통신기기 냉각용 하이브리드 냉방시스템의 성능특성

전종욱, 김용찬*, 최종민**†

고려대학교 기계공학과 대학원, *고려대학교 기계공학과, **한밭대학교 기계공학과

Cooling Performance of a Hybrid Refrigeration System for Telecommunication Equipment

Jongug Jeon, Yongchan Kim*, Jong Min Choi**†

Graduate School of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

*Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

ABSTRACT: Electronic and telecommunication industries are constantly trying to develop compact components having high power density. Therefore, a proper heat dissipation method is very important to allow reliable operation of the telecommunication equipment. In this study, a hybrid refrigeration system for a telecommunication equipment room was designed to save energy consumption and improve reliability of the compressor. In addition, the performance of the hybrid refrigeration system was measured with a variation of outdoor load. The designed hybrid refrigeration system for the telecommunication equipment shelter saved the energy approximately 50% at the mode switch temperature of 8.3°C.

Key words: Refrigeration system (냉방시스템), Cooling performance (냉각 성능),
Telecommunication equipment (통신장비)

1. 서 론

전자화로 집적기술의 급속한 발달로 인한 전자기기의 고밀도화는 생산단가를 낮추고 회로의 처리속도를 빠르게 하며 신뢰성 있는 시스템을 구성하기 위해 매우 효과적인 방안이다. 하지만 정보통신기기의 고집적화로 인하여 기기의 열밀도가 급격히 증가하고 있으며, 이로 인한 보드의 표면온도 상승은 기기의 성능저하 및 접속불량 등을 일으켜 기기의 고장율을 증가시킨다.⁽¹⁾

정보통신기기에서 발생되는 열은 통신기지국으로 방출되며, 통신기지국 내의 냉방기에 의해 냉

†Corresponding author

Tel : +82-42-821-1731; fax: +82-42-821-1587

E-mail address : jmchoi@hanbat.ac.kr

각된 공기를 통신기기에 공급하여 통신장비를 냉각하고 있다. 그러므로 통신기기의 열신뢰성 측면에서 통신기지국 냉방은 매우 중요하다. 통신기지국 냉방기로는 일반 공조시스템에 사용되는 냉방기가 사용되고 있으며, 통신기지국에서는 연중 열부하가 발생하므로 일반 주거공간과 달리 사계절 냉방기가 가동되고 있다.⁽²⁾ 냉방기가 연중 가동됨에 따라 통신기기국에서의 에너지 소비가 증가함에 따라 통신기기의 효율적 냉각과 함께 에너지 절약이 중요한 현안으로 대두되고 있다.⁽³⁾

Baer⁽⁴⁾는 통신기기의 에너지 밀도와 열부하에 대한 연구를 수행하였으며, 대부분의 통신기기는 통신기지국 공기에 의하여 냉각되고 있으며, 통신기지국 냉방 부하는 지속적으로 증가할 것으로 보고하였다. Hayama and Nakao⁽⁵⁾는 고열밀도의

통신기지국 냉방을 위한 다양한 공기유동 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 이들은 공기유동 특성 실험을 통하여 통신기기와 기기 주변 공기온도에 영향을 미치는 조건 및 요소들에 대한 연구를 수행하였으며, 통신기지국의 에너지 소비량 저감을 위하여 효율적인 냉방시스템이 절실히 요구된다는 결론을 얻었다. Cinato et al.⁽³⁾은 통신기지국의 효율적 운영을 위해서 통신기지국 에너지 절약에 관한 다양한 분석을 실시하였으며, 통신기지국의 냉방시스템의 성능 향상을 통해 가장 큰 에너지 절감을 이를 수 있다는 결론을 얻었다.

대부분의 기존의 통신기기 관련 연구 및 개발은 기기 냉각과 통신기지국의 공기 기류에 관한 연구가 수행되었으며, 통신기지국 에너지 소비의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 냉방시스템에 관한 연구는 매우 부족하다. 본 연구에서는 통신기지국 냉방기의 에너지 절약을 위한 냉방시스템을 설계 및 제작하였으며, 이에 대한 성능 실험을 실시하여 통신기지국의 에너지 절약에 기여하고자 한다.

2. 통신기지국 열부하 측정

본 연구에서는 필드의 통신장비에 대한 열적 성능에 관한 데이터를 취득하여 통신장비의 냉각 특성을 분석하였다. 이를 기반으로 통신기지국 냉방기의 에너지 절약을 위한 냉방기를 설계 및 제작하였으며, 이에 대한 성능 실험을 수행하였다.

Fig. 1은 본 연구에서 통신기기의 열부하를 측정한 통신기지국 내부의 사진을 나타낸다. 각 통신캐비넷은 12개의 랙으로 구성되었으며, 각각의 랙은 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 PCB, 팬, 냉각기로 구성되었다. 통신기지국의 열부하 특성 분석 및 냉방기 설계의 기초자료를 제공하기 위하여 통신기기 사용이 적은 시간대에 운전 중인 통신장비 일부를 정지시키고, 통신랙 내부의 PCB 발열부 및 단위랙 입출구에 온도센서를 설치한 뒤 통신장비를 재가동시켜 열부하 변화에 따른 성능을 측정하였다. 온도 측정은 T형 열전대(T-type thermocouple)을 사용하였으며, 데이터 로거를 이용하여 데이터를 취득하였다. 또한, PCB 발열부를 실리콘 리버히터로 교체하고 캐비-

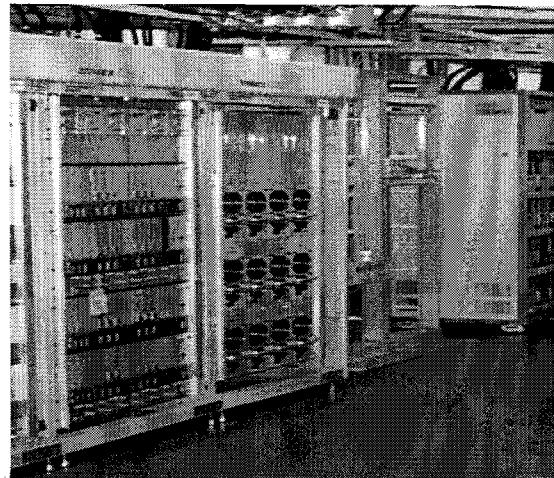


Fig. 1 Photograph of the telecommunication equipment.

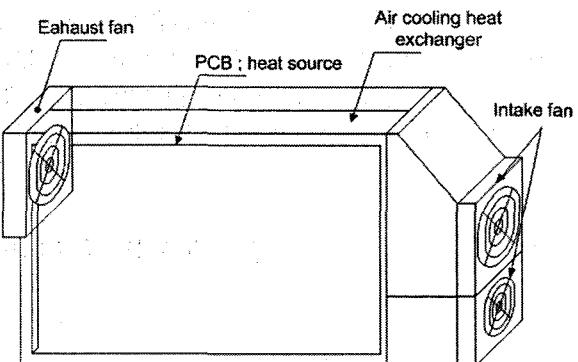


Fig. 2 Structure of unit rack for telecommunication unit.

넷을 항온항습 챔버에 설치하여 통신기기의 열밀도 증가에 따른 통신기기의 열성능을 평가하여 통신기지국 냉방기 설계의 기초자료를 제공하였다.

3. 에너지 절약형 통신기지국 냉방기

기존의 통신기지국은 증기압축식 공기조화기를 설치하여 사계절 통신기지국 내의 공기를 냉각시킨다. 냉방기는 압축기, 응축기, 팽창장치 및 증발기의 4개 구성부품으로 구성되어 응축기로부터 실외로 열을 방출하고, 증발기에서 통신기지국 내의 공기를 냉각한다. 통신중계기지국에 설치된 통신기기에서는 연중 사계절 열부하가 발생하므로 일반주거용 공조시스템과는 달리 하절기뿐만 아

나라 동절기에도 냉방이 필요하다. 그리므로 냉방 시스템은 연중 가동되고 동절기 등의 외기온이 낮은 기간에는 압축기가 자주 단속(on/off) 운전하기 때문에 이에 따른 손실이 발생하여 에너지 소비량이 매우 크다. 또한, 같은 단속운전으로 인해 냉방기의 핵심 부품인 압축기의 수명이 감소하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 연간 냉방이 필요하고, 광범위한 외기 온도 조건에서 운전이 필요한 통신기지국 열부하 특성을 반영하여 통신기지국의 효율적 냉각과 에너지 절약을 위한 냉방기를 고안하였으며 이에 대한 성능 실험을 실시하였다. Fig. 3은 본 연구에서 고안한 에너지 절약형 냉방기의 구조도 및 실험장치의 개략도를 나타낸다. 냉방기는 냉매를 압축기, 응축기, 팽창장치 및 증발기를 통과하도록 순환시키는 냉매 순환루프와 냉각수를 냉매 순환장치의 응축기 및 증발기와 선택적으로 통과시킴과 동시에 실외에 설치된 방열기를 통과시키는 냉각수 순환루프로 구성된다.

냉방시스템은 외기온도가 높은 하절기에는 냉매 순환장치를 작동시키고 냉각수 순환장치의 냉각수는 응축기와 방열기를 순환한다. 통신기지국

내부의 공기는 증발기에서 냉매와 공기가 열교환 함으로써 냉각되며, 응축기의 고온고압의 냉매는 응축기를 통과하는 냉각수 순환장치의 냉각수와 열교환하여 방열기를 통해서 외부로 열을 방출한다. 외기온도가 낮은 동절기에는 냉매 순환장치는 작동시키지 않고, 냉각수 순환장치의 냉각수는 증발기와 방열기를 통과하도록 하여 방열기에서 저온의 대기와 열교환한 저온의 냉각수가 증발기를 통과하면서 실내 공기와 열교환하여 통신기지국 내의 공기를 냉각한다. 본 논문에서는 외기온도가 높은 경우 냉매순환루프와 냉각수 순환루프가 모두 작동하는 운전상태를 모드 1이라하고, 외기온도가 낮은 경우 냉각수 순환루프만 작동되는 운전상태를 모드 2라 한다.

외기온도 변화에 따른 냉방기의 성능 실험을 위해 Fig. 3과 같이 냉방기를 항온항습실에 설치하였다. 항온항습실은 냉동기, 가습기, 전기히터로 구성되어 냉방기의 실내와 실외의 온습도 조건을 구현 가능하도록 구성하였다. 냉방기의 성능평가를 위해 시스템 주요 부위에 센서를 설치하였다. 온도는 T형 열전대를 이용하여 측정하였으며, 압력계를 이용하여 시스템 주요부위의 압

Psychrometric calorimeter

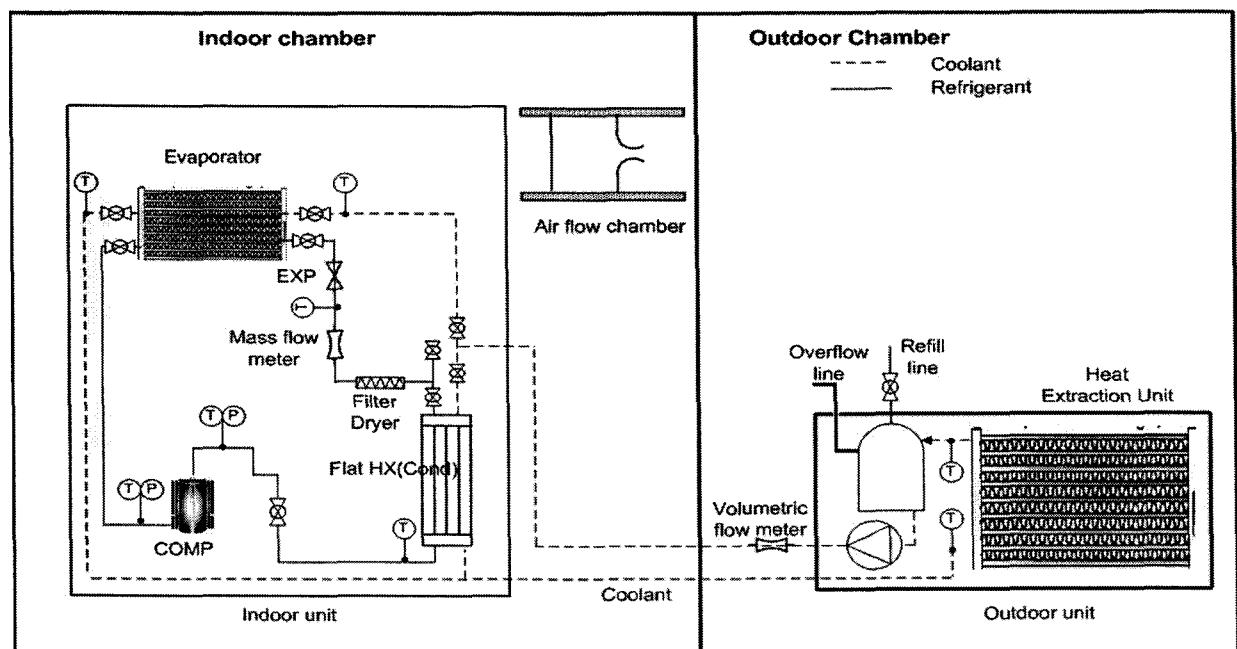


Fig. 3 Schematic diagram of hybrid refrigeration system.

력을 측정하였다. 냉매측 유량은 Coriolis형 질량 유량계를 이용하여 측정하였으며, 냉각수 유량은 체적유량계를 이용하여 측정하였다. 시스템의 소비전력은 적산전력계를 이용하여 측정하였다. 시스템 냉방용량은 ASHRAE⁽⁶⁾와 ANSI/-AMCA⁽⁷⁾ 규격에 따라 수풍실을 이용하여 공기 엔탈피법에 의하여 측정 및 계산하였다.

방열기가 설치된 실외측 항온항습실의 온도를 변화시켜 냉방기의 실외 부하 변동에 따른 성능 실험을 실시하였으며, 외기 온도는 5°C에서 35°C 범위에서 변화시켰다. 실외온도 변화에 따라 냉방기의 모드 1과 모드 2에 대한 냉방 성능 실험을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 4는 통신기지국 현장에 설치된 통신기기 PCB 발열부의 시간대별 평균온도와 최대온도를 나타낸 것이다. 유입공기의 최대온도는 25.4°C이고 토출공기의 최대온도는 30.4°C였으며, 발열부의 국부온도는 위치와 시간에 따라 50°C에서 58°C를 나타났다. Noh et al.⁽⁸⁾에 의하면 통신기기는 약 75°C 이하에서 열적 신뢰성을 갖는 것으로 보고되었으며, 본 연구에서 측정한 통신기지국내의 통신기기는 연중 열적 신뢰성을 갖고 운전될 것으로 판단된다. PCB의 평균온도와 최대온도는 일과시간 이후에 더 크게 나타났으며, 새벽 2시부터 아침 9시까지가 통신장비의 열부하가 가장 적었다. 이는 일반적으로 낮에 가장 큰 열부하를 나타내는 사무공간의 열부하 특성과 구별되는 통신기지국의 열부하 패턴이며, 통신기기는 업무시간 이후와 주말에 최대 열부하를 갖는 특징을 나타냈다. 또한, 통신기지국은 일반적인 공조공간과 달리 통신기기에 연중 열부하가 발생하여 사계절 냉방기를 가동하여야 한다.

Fig. 5은 통신기기 PCB부를 실리콘 러버히터로 교체하고 발열부의 전력량 변화에 따른 발열부의 최고 표면온도의 변화를 나타낸다. 발열량 증가에 따라 기기 표면온도는 선형적으로 증가하였으나 펜 풍량 증가에 따른 최고 온도 변화는 미미하였다. 이는 풍량이 변화되어도 공기 냉각시스템의 구조적인 문제로 인하여 통신기기 내부 유동정체점에서의 냉각 성능은 크게 변화되지 않기 때문인 것으로 판단된다.

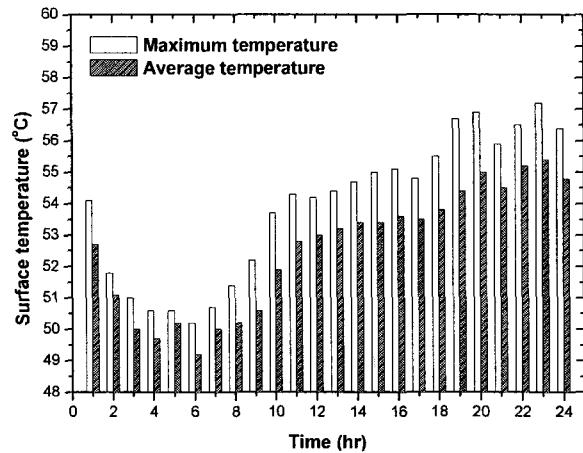


Fig. 4 Surface temperature according to time.

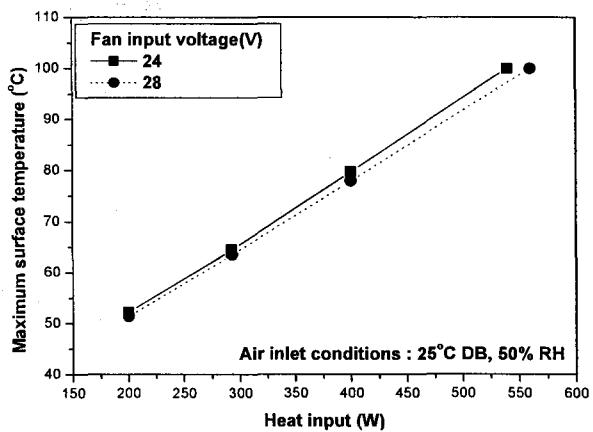


Fig. 5 Maximum surface temperature according to heat input.

Fig. 6은 통신기기입구 공기온도 변화에 따른 발열부의 표면 평균온도와 최대온도를 나타낸다. 입구 공기온도 증가에 따라 발열부와 냉각 유체인 공기와의 온도차이가 감소하여 발열부 표면온도와 최대온도는 선형적으로 증가하였다. 최대온도와 평균온도는 입구공기온도 변화시에도 일정한 차이를 나타냈으며, 이는 통신기기 내부의 공기 유동의 불균일성이 기인한다. 통신기기의 발열량이 현재의 293 W에서 400 W로 37% 증가하였을 때 유입 공기온도를 19°C 이하로 조절하여야 기기가 열적 신뢰성을 갖고 운전될 수 있다. 향후에 통신기기의 소형화에 따라 통신기기의 열밀도는 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 통신기기의 효율적 냉각의 중요성은 더욱 증대될 것으로 예상된다.

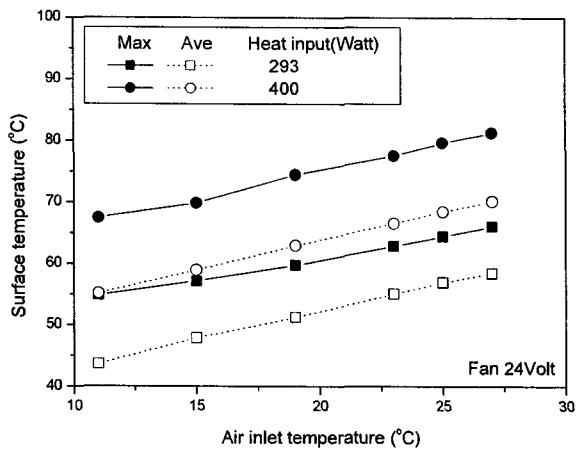


Fig. 6 Maximum and average temperature according to air inlet temperature.

냉각성능 향상은 열교환기 형상 변화나 냉각 유체의 유량 증가로 가능하다. 하지만, 통신기기에서 열교환기의 크기를 증가시키는 것은 통신기기의 크기를 증가시키며, 냉각유체인 공기 풍량 증가 시에는 통신기기의 평균온도는 감소하지만, 내부 기류분포로 국부 최고온도 변화는 크지 않으므로 통신기기의 신뢰성 확보를 위해서는 유입 공기의 온도를 낮추는 것이 바람직하다. 하지만, 이는 통신기지국 냉방기의 소비전력 및 운전율을 증가시켜 에너지 소비량이 증가하므로 에너지 절약적 냉방기 개발의 필요성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 통신기지국 냉방기의 에너지 절약을 위하여 새롭게 고안한 냉방기를 제작하고 성능 실험을 실시하였다. Fig 7은 본 연구에서 제안한 통신기지국용 냉방기의 모드 1에서 외기온도 변화에 따른 냉방용량을 나타낸다. 외기온도가 증가함에 따라 냉방기의 냉방용량은 감소하였다. 이는 외기온도가 증가함에 따라 응축기에 공급되는 냉각수의 온도가 증가하여 응축압력 및 증발압력이 증가하고 이에 따라 증발기에서 냉매와 공기와의 온도차이가 감소하여 열전달 성능이 저하되었기 때문이다. 이 때, 응축압력 증가폭이 증발압력 증가폭보다 커서 압축기의 소비전력은 증가하였다. 실내온도가 27°C이고 실외온도가 16.7°C에서 35°C로 증가함에 따라 냉방용량은 7.3% 감소하였다.

Fig. 8은 냉방기의 모드 2에서 외기온도 변화에 따른 냉방성능을 나타낸다. 외기온도가 증가함에 따라 증발기에 공급되는 냉각수의 온도가 증가하

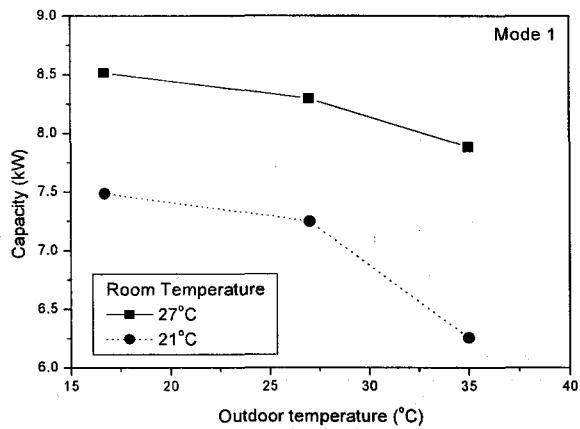


Fig. 7 Cooling capacity as a function of outdoor temperature in mode 1.

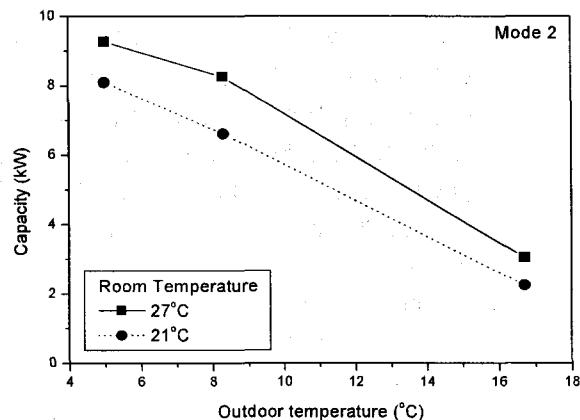


Fig. 8 Cooling capacity as a function of outdoor temperature in mode 2.

여 공기와 냉각수와의 온도차이가 감소하여 열전달 성능이 감소하였다. 실내온도가 27°C이고 실외온도가 5°C에서 16.7°C로 증가함에 따라 냉방용량은 67.1 % 감소하였다. 외기온도 변화에 따른 모드 2에서 냉방용량 변화는 모드 1에서의 냉방용량 변화보다 크게 나타났는데, 이는 모드 1에서의 외기온도 변화에 따른 냉각수 온도 변화는 응축기를 통해 냉매 순환루프의 증기압축식 냉방기의 냉매 사이클의 변화를 통해 간접적으로 실내공기의 열교환에 반영되지만 모드 2에서는 외기온도 변화에 의한 냉각수 온도 변화가 실내공기에 직접 전달되기 때문이다.

통신기지국 부하에 따라 냉방기의 모드 변환점을 선정하고 냉방기를 운전할 경우 모드 2에서의 소비전력은 모드 1에서의 소비전력에 비하여 현

격히 작으므로 통신기지국의 에너지 절약을 이를 수 있을 것이다. 외기온도가 높은 모드 1에서의 정격 용량을 8.3 kW로 선정할 경우 외기온도가 8.3°C 이하에서 냉방기는 모드 2로 운전가능하다. Fig. 9는 서울의 연간 기상 데이터를 나타낸다. 서울의 경우 일년 중 약 37%의 기간이 외기온도가 8.3°C 이하로 나타났다. 그러므로 이 기간에 본 연구에서 개발한 냉방기를 통신기지국에 적용한다면 50.3% 이상의 에너지 절감을 이를 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구에서는 필드에서 사용되고 있는 통신기기 열부하 변화에 따른 성능을 측정하고, 이를 기반으로 통신기지국 에너지 절약을 위한 냉방기를 설계 및 제작하였다. 서울시내에 설치된 통신기기의 입구 공기의 최대온도는 25°C, 표면 최대온도는 58°C로 나타났다. 통신기기의 발열량 증가에 따라 기기의 열신뢰성을 확보하기 위해서는 통신기지국의 온도를 저하시켜 통신기기에 공급되는 공기의 온도를 저하시키는 것이 바람직하다. 통신기지국의 효율적 냉각 및 기지국 에너지 절약을 위해 제안된 냉방시스템은 외기온도에 따른 모드 1과 모드 2로 운전되며, 모드 1에서는 증기압축식 사이클과 냉각수 순환루프가 가동되며, 모드 2에서는 냉각수 순환루프만 가동되며, 이에 따라 모드 2에서의 소비전력을 급격히 감소되어 통신기지국의 에너지 절약을 이를 수 있다. 모드 변환점을 8.3°C로 설정할 경우 서울의 경우 연간 약 37%의 기간 동안에 50.3% 이상의 에너지 절약을 달성할 수 있을 것이다.

후기

이 논문은 2004년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2004-042-D00023).

참고문헌

1. Kim, W. T., and Kim, K.S., 1996, Forced convective cooling characteristics with

stacked modules of multi-PCB's in

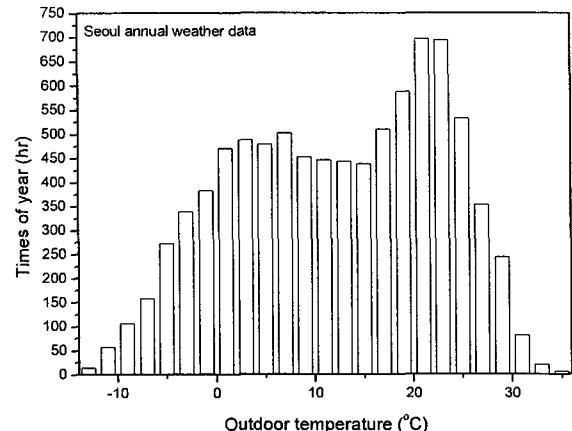


Fig. 9 Annual weather data in Seoul.

- telecommunication cabinet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 230-239.
2. Schmidt,, R. R., and Shaukatullah, H., 2003, Computer and telecommunications equipment room cooling, A review of literature, IEEE Transactions on components and packaging technologies, Vol. 26, No. 1, pp. 89-98.
 3. Cinato, P., Bianco, C., Licciardi, L., Pizzuti, F., Antonetti, M., and Grossoni, M., 1998, INTELEC, pp. 770-776.
 4. Baer, D. B., 2001, Emerging cooling requirements & systems in telecommunications spaces, INTELEC, pp. 95-100.
 5. H. Hayana, M. Nakao, 1989, Cooling data and dot-coms, Consulting-Specifying Engineering, Vol. 29, No. 1, pp. 28-36.
 6. ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioners and heat pumps, ASHRAE Standard 116, Atlanta(GA).
 7. ANSI, 1985, Laboratory methods of testing fans for rating, ANSI/AMCA 210, Arlington(VA).
 8. Noh, H.K., Song, K.S., and Chun, S.K., 1998, The cooling characteristics on the air supply and return flow system in the telecommunication cabinet room, INTELEC, pp. 777-784.