

통신기지국용 하이브리드 냉방기의 성능특성 연구

김 용 찬, 최 종 민[†], 강 훈^{**}, 윤 준 상^{***},
김 영 배^{****}, 최 광 민^{****}, 이 호 성^{****}

고려대학교 기계공학과, [†]한밭대학교 기계공학과, ^{**}한밭대학교 생산융합기술연구소,
^{***}한밭대학교 기계공학과 대학원, ^{****}고려대학교 기계공학과 대학원

Performance Characteristics of a Hybrid Air-Conditioner for Telecommunication Equipment Rooms

Yongchan Kim, Jong Min Choi[†], Hoon Kang^{**}, Joonsang Yoon^{***},
Youngbae Kim^{****}, Hoseong Lee^{****}, Kwangmin Choi^{****}

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

[†]Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

*^{**}IFTP, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea*

*^{***}Graduate School of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea*

*^{****}Graduate School of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea*

(Received May 3, 2006; revision received September 20, 2006)

ABSTRACT: The power density and heat dissipation rate per unit area of the telecommunication equipment have been increased with the technology development in the footprint of telecommunication hardware. A proper heat dissipation method from the PCB module is very important to allow reliable operation of its electronic component. In this study, a hybrid air-conditioner for the telecommunication equipment room was designed to save energy and obtain system reliability. For high outdoor temperatures, the hybrid system operates in the vapor compression cycle, while, for low outdoor temperatures, the hybrid system works in the secondary fluid cooling cycle with no operation of the compressor. The performance of the hybrid air-conditioner was measured by varying outdoor and indoor temperatures. The hybrid air-conditioner yielded 50% energy saving compared with the conventional refrigeration system when the mode switch temperature was 8.3°C.

Key words: Hybrid air-conditioner(하이브리드 냉방기), Heat density(열밀도), Telecommunication equipment(통신장비), Cooling(냉각)

1. 서 론

전자회로 집적기술의 급속한 발달로 인한 전자

기기의 고밀도화는 생산단가를 낮추고 회로의 처리속도를 빠르게 하며 신뢰성 있는 시스템을 구성하기 위해 매우 효과적인 방안이다. 하지만 정보통신기기의 고집적화로 인하여 기기의 열밀도는 급격히 증가하고 있으며, 이로 인한 보드의 표면온도 상승은 기기의 성능저하 및 접속불량 등을 일으켜 기기의 고장률을 증가시킨다.⁽¹⁻⁴⁾

[†] Corresponding author

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

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

무인통신기지국에 설치되는 통신장비는 고열유속의 발열체를 다수 포함하고 있으므로 통신기기의 사용량 증가에 따라 PCB 보드의 표면온도는 급격히 상승한다. 이때, 한계점 이상으로 온도가 상승하면 기기의 성능이 저하되며, 접촉불량 등의 고장을 유발하게 되므로 적절한 냉각을 통하여 최저온도로 유지하여 주어야 한다.^(1,5)

정보통신기기에서 발생하는 열은 통신기지국으로 방출되며, 통신기지국 내의 냉방기에 의해 냉각된 공기를 통신기기에 공급하여 통신장비를 냉각하고 있다. 그러므로 통신기기의 열신뢰성 측면에서 통신기지국 냉방은 매우 중요하다. 통신기지국 냉방기는 일반 공조용 냉방기가 사용되고 있으며, 통신기지국에서는 연중 열부하가 발생하므로 일반 주거공간과 달리 사계절 내내 냉방기가 가동되고 있다.⁽⁶⁾ 냉방기가 연중 가동됨에 따라 통신기지국에서의 에너지 소비량이 크게 증가하고 있으므로 통신기기의 효율적 냉각과 함께 에너지 절약이 중요한 현안으로 대두되고 있다.⁽⁷⁾

Baer⁽⁸⁾는 통신기기의 에너지 밀도와 열부하에 대한 연구를 수행하였으며, 통신기지국 냉방부하는 지속적으로 증가할 것으로 예측하였다. Schmidt and Shaukatullah⁽⁶⁾는 통신기지국의 효율적 냉방을 위한 다양한 실험적 및 수치해석적 연구를 수행하였으며, 통신기지국 내의 공기가 기지국 하부에서 상부의 유동을 가질 때 가장 좋은 냉각 성능을 갖는다고 보고하였다. Hayama and Nakao⁽⁹⁾는 고열밀도의 통신기지국 냉방을 위한 다양한 공기유동 시스템에 대한 연구를 수행하였다. Cinato et al.⁽⁷⁾은 통신기지국의 효율적 운영을 위해서 통신기지국 에너지 절약에 관한 다양한 분석을 실시하였으며, 통신기지국의 냉방시스템의 성능 향상을 통해 큰 에너지 절감을 이룰 수 있다는 결론을 얻었다.

세계적으로 통신기기 산업 분야에서도 기기의 효율적 냉각과 함께 통신기지국의 에너지 절약의 필요성이 증대되고 있다.⁽⁷⁾ 그러나, 대부분의 기존의 통신기기 관련 연구 및 개발은 기기 냉각과 통신기지국의 공기기류에 국한되어 있으며, 통신기지국 에너지 소비의 가장 큰 비중을 차지하고 있는 냉방시스템에 관한 연구는 매우 부족하다. 본 연구에서는 통신기지국에서 운전되고 있는 통신기기의 열특성을 분석하였다. 이를 기반으로 통신기지국 냉방에 적합한 하이브리드 냉방시스템

을 설계 및 제작하였다. 외기조건 및 실내조건을 변화시키면서 하이브리드 냉방시스템에 대한 성능을 측정하였으며, 측정결과와 분석을 통하여 시스템의 최적인전 및 에너지 절약 가능성에 대한 평가를 수행하였다.

2. 통신기지국 열부하 측정

통신기지국에서 사용할 수 있는 냉방기의 최적 설계를 위하여 통신기지국에 설치되어 운영되고 있는 통신장비에 대한 열적 성능을 측정하였다. 통신장비는 한 개의 캐비닛에 12개의 랙으로 구성되어 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 각각의 랙은 PCB 모듈, 팬 및 냉각기로 구성되어 있다. 통신기지국의 열부하 특성을 분석하기 위하여 각 통신랙 내부의 PCB 발열부 및 입출구에 온도센서를 설치하여 열부하 변화에 따른 성능을 측정하였다. 온도는 T형 열전대(T-type thermo-couple)를 사용하여 측정하였다.

또한, PCB 모듈의 발열부를 실리콘 러버히터로 교체하고 캐비닛을 항온항습 챔버에 설치하여 통신기기 열밀도의 증가에 따른 통신기기의 성능을 평가하였다. 통신기기의 열부하특성 분석결과에 기초하여 통신기지국용 냉방기를 최적설계하였다.

3. 하이브리드 통신기지국 냉방기

기존의 통신기지국은 Fig. 2에 나타난 증기압축식 냉방기를 설치하여 사계절 통신기지국 내를 냉방하고 있다. 냉방기는 압축기, 응축기, 팽창장

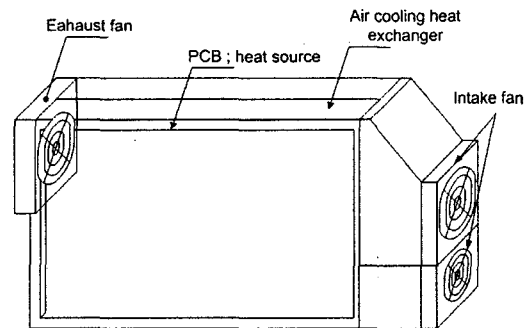


Fig. 1 Structure of unit rack for telecommunication unit.

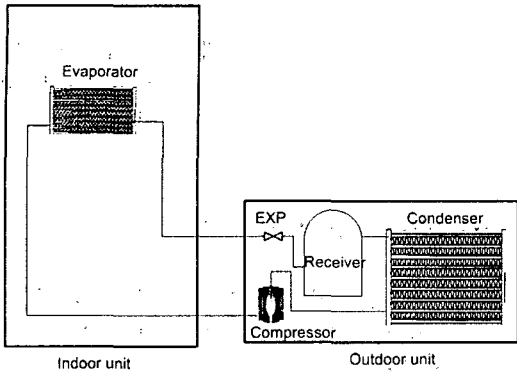


Fig. 2 Structure of a vapor compression refrigerating system.

치 및 증발기의 4개 구성부품으로 구성되어 응축기로부터 실외로 열을 방출하고, 증발기에서 통신기지국 내의 공기를 냉각한다. 통신중계기 기지국에 설치된 통신기에서는 연중 사계절 열부하가 발생하므로 일반주거용 공조시스템과는 달리 하절기뿐만 아니라 동절기에도 냉방이 필요하다. 그러므로 냉방시스템은 연중 가동되고 외기온도가 낮은 동절기에는 압축기가 자주 단속(on/off) 운전되기 때문에 손실이 많이 발생하여 에너지 소비량이 매우 크다. 또한, 잦은 단속운전으로 인해 냉방기의 핵심 부품인 압축기의 수명이 단축되는 문제점이 있다.

본 연구에서는 연간 냉방이 필요하고, 광범위한 외기온도 조건에서 운전이 필요한 통신기지국 열부하 특성을 반영하여 통신기지국의 효율적 냉각과 에너지 절약을 위한 냉방기를 설계하였다. Fig.3은 본 연구에서 고안한 하이브리드 냉방기의 구조도 및 실험장치의 개략도를 나타낸다. 하이브리드 냉방기는 2RT급 왕복동식 압축기, 2RT급 판형 열교환기(응축기), 모세관 및 20단 4열의 증발기로 구성된 증기압축 사이클과 냉각수를 응축기 및 증발기에 선택적으로 공급하는 실외유닛으로 구성되어 있다.

하이브리드 냉방시스템은 외기온도가 높은 하절기에는 증기압축 사이클을 작동시켜 증발기에서 냉방효과를 얻는다. 이때 냉각수는 응축기로 공급된다. 통신기지국 내부의 공기는 증발기에서 냉매와 공기가 열교환함으로써 냉각되며, 응축기의 고온고압의 냉매는 응축기를 통과하는 냉각수 순환장치의 냉각수와 열교환하여 방열기를 통해서 외부로 열을 방출한다(이하 Mode 1이라 칭함). 외기온도가 낮은 동절기에는 압축기는 가동시키지 않고, 방열기에서 실외공기에 의해 냉각된 냉각수를 증발기에 공급하여 통신기지국 내의 공기와 열교환하여 냉방효과를 얻는다(이하 Mode 2라 칭함). 운전모드에 따라 증발기에는 냉매 또는 냉각수가 각각 흐르도록 Fig.4와 같이 4배관 시스템으로 설계하였다.

Psychrometric calorimeter

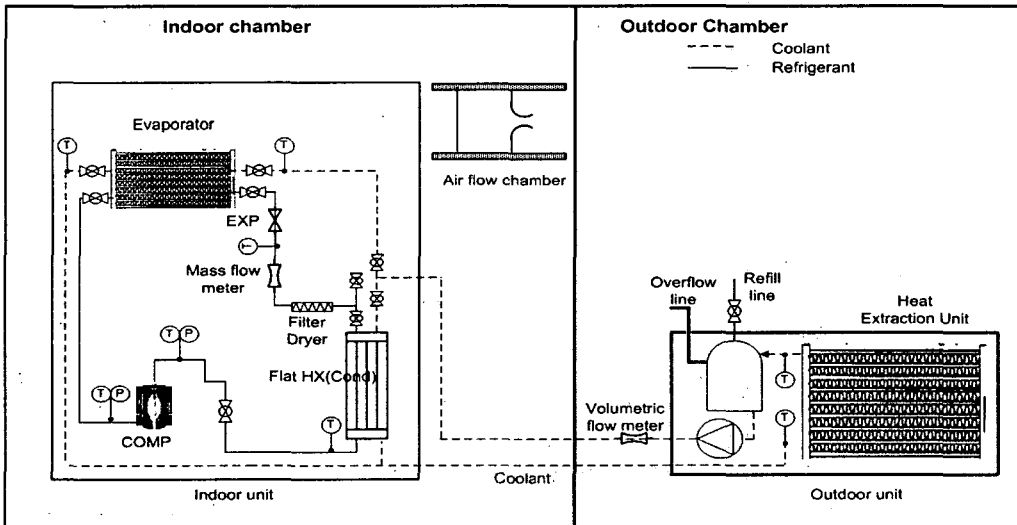


Fig. 3 Schematic diagram of a hybrid refrigeration system.

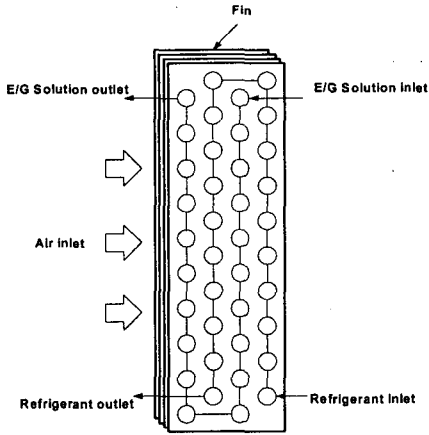


Fig. 4 Schematic of a evaporator.

외기온도 변화에 따른 하이브리드 냉방기의 성능실험을 위해 Fig.3과 같이 하이브리드 냉방기를 항온항습실에 설치하였다. 항온항습실은 냉방기, 가습기, 전기히터로 구성되어 하이브리드 냉방기의 실내와 실외의 온습도 조건을 구현 가능하도록 구성하였다. 하이브리드 냉방기의 성능평가를 위해 시스템 주요 부위에 센서를 설치하였다. 온도는 T형 열전대를 이용하여 측정하였으며, 시스템 주요 부위의 압력을 압력계를 이용하여 측정하였다. 냉매측 유량은 Coriolis형 질량유량계를 이용하여 측정하였으며, 냉각수 유량은 체적유량계를 이용하여 측정하였다. 시스템의 소비전력은 적산전력계를 이용하여 측정하였다. 시스템 냉방용량은 ASHRAE⁽¹⁰⁾와 ANSI/AMCA⁽¹¹⁾ 규격에 따라 수풍실을 이용하여 공기엔탈피법에 의하여 측정 및 계산하였다.

방열기가 설치된 실외측 항온항습실의 온도를 변화시켜 하이브리드 냉방기의 실외부하 변동에 따른 성능실험을 실시하였으며, 외기온도는 5°C에서 35°C 범위에서 변화시켰다. 외기온도 변화에 따라 하이브리드 냉방기의 Mode 1과 Mode 2에 대한 냉방성능 실험을 실시하였다. 각 냉방 모드와 실외부하 조건에서 시스템이 안정화된 후에 2초 간격으로 1시간 동안 데이터를 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

Fig.5는 통신기지국 현장에 설치된 통신기기 PCB 발열부의 시간대별 평균 온도와 최대 온도

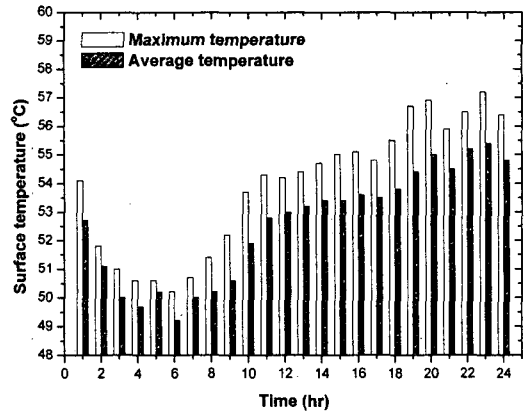


Fig. 5 Maximum and average surface temperature according to time variation.

를 나타낸 것이다. 유입공기의 최대온도는 25.4°C이고 토출공기의 최대온도는 30.4°C였으며, 발열부의 국부온도는 위치와 시간에 따라 50°C에서 58°C를 나타냈다. Noh et al.⁽¹²⁾에 의하면 통신기기는 약 75°C 이하에서 열적 신뢰성을 갖는 것으로 보고되었으며, 본 연구에서 측정된 통신기지국 내의 통신기기는 연중 열적 신뢰성을 갖고 운전되고 있는 것으로 판단된다. PCB의 평균 온도와 최대 온도는 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.6은 통신기기 PCB 모듈을 실리콘 러버히터로 교체하고 발열부의 전력량 변화에 따른 발열부의 최고 표면온도를 측정된 결과이다. 발열량의 증가에 따라 기기 표면온도는 선형적으로 증가하였으나 팬 풍량 증가에 따른 최고온도 변화는 미미하였다. 이는 풍량이 변화되어도 공기 냉각시스템의 구조적인 문제로 인하여 통신기기의 내부유동 정체점에서 냉각성능은 크게 변화되지 않기 때문인 것으로 판단된다.

Fig.7은 통신기기 입구공기온도 변화에 따른 발열부의 표면 평균 온도와 최대 온도를 나타낸다. 입구공기온도 증가에 따라 발열부와 냉각유체인

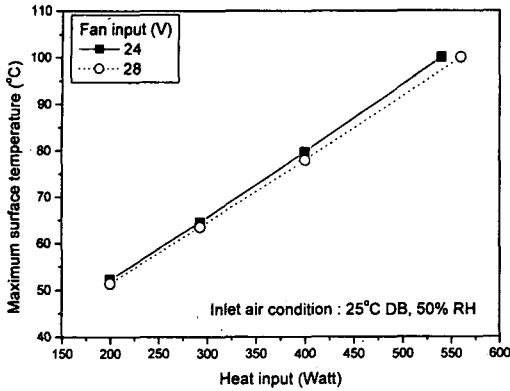


Fig. 6 Maximum surface temperature according to heat input.

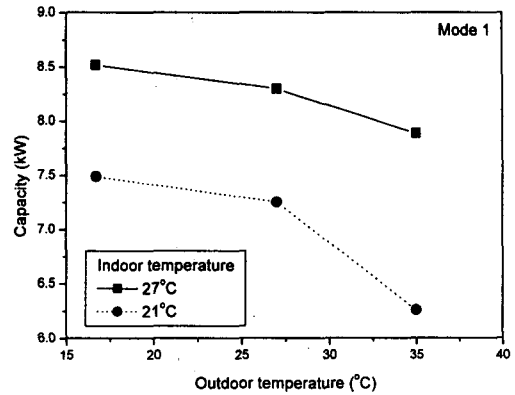


Fig. 8 Cooling capacity as a function of outdoor temperature in mode 1.

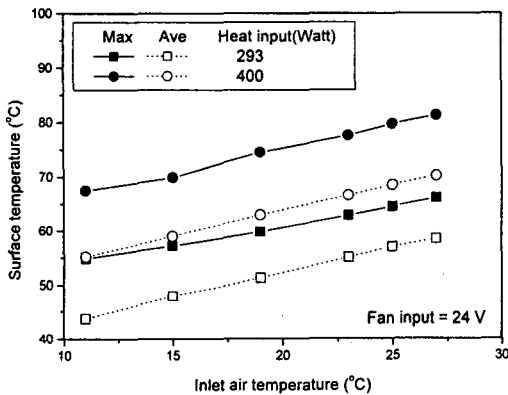


Fig. 7 Maximum and average temperatures according to inlet air temperature.

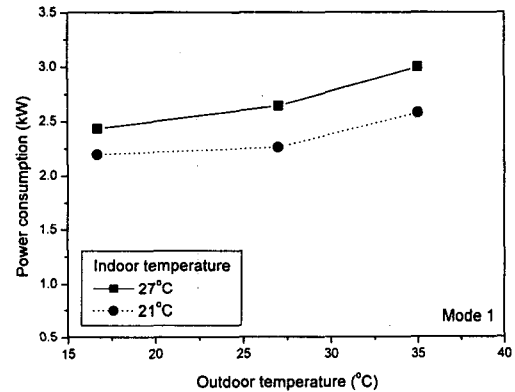


Fig. 9 Power consumption as a function of outdoor temperature in mode 1.

공기와의 온도차이가 감소하여 발열부 표면온도와 최대 온도는 선형적으로 증가하였다. 최대 온도와 평균 온도는 입구공기온도 변화시에도 일정한 차이를 나타냈으며, 이는 통신기기 내부의 공기유동의 불균일성에 기인한다. 통신기기 허용 최대 표면온도는 75°C 이하이므로⁽¹²⁾ 통신기기의 발열량이 현재의 293 W에서 400 W로 37% 증가하였을 때 유입공기온도를 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.

냉각성능 향상은 열교환기 형상 변화나 냉각유체의 유량 증가로 가능하다. 하지만, 통신기기에

서 열교환기의 크기를 증가시키는 것은 통신기기의 크기를 증가시키며, 냉각유체인 공기의 풍량증가 시에는 통신기기의 평균 온도는 감소하지만, 내부 기류분포로 국부 최고온도 변화는 크지 않으므로 통신기기의 신뢰성 확보를 위해서는 유입공기의 온도를 낮추는 것이 바람직하다. 하지만, 이는 통신기지국 냉방기의 소비전력 및 운전율을 증가시켜 에너지 소비량이 증가하므로 에너지 절약적 냉방기 개발이 필요하다.

본 연구에서는 통신기지국 냉방기의 에너지 절약을 위하여 하이브리드 냉방기를 설계하고 성능실험을 실시하였다. Fig. 8 및 Fig. 9는 본 연구에서 제안한 통신기지국용 하이브리드 냉방기의 Mode 1에서 외기온도 변화에 따른 냉방용량 및 소비전력을 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 온도 차이가 감소하여 열전달 성능이 저하되었기 때문이다. 이때, 응축압력 증가폭이 증발압력 증가폭보다 커서 압축기의 소비전력은 증가하였다. 실내온도가 27°C이고 실외온도가 16.7°C에서 35°C로 증가함에 따라 냉방용량은 7.3% 감소하였으며, 소비전력은 23.5% 증가하였다.

Fig. 10은 하이브리드 냉방기의 Mode 2에서 외기온도 변화에 따른 냉방성능을 나타낸다. 외기온도가 증가함에 따라 증발기에 공급되는 냉각수의 온도가 증가하여 공기와 냉각수와의 온도 차이가 감소하여 열전달 성능이 감소하였다. 실내온도가 27°C이고 실외온도가 5°C에서 16.7°C로 증가함에 따라 냉방용량은 67.1% 감소하였다. 외기온도 변화에 따른 Mode 2에서 냉방용량 변화는 Mode 1에서의 냉방용량 변화보다 크게 나타났다. 이는 Mode 1에서는 증기압축식 사이클을 통하여 간접적으로 실내공기의 온도를 변화시키지만, Mode 2에서는 외기온도 변화에 의한 냉각수의 온도 변화가 실내공기에 직접 전달되기 때문이다.

Fig. 11은 Mode 2에서 하이브리드 냉방기의 외기온도 변화에 따른 소비전력 변화를 나타낸다. 모든 운전조건에 대하여 소비전력 변화는 6.9% 이내로 매우 작게 나타났다. Mode 2에서의 소비전력은 Mode 1에서의 소비전력에 비하여 매우 작게 나타났다. 이는 Mode 2에서는 압축기가 가동되지 않아 전력소요가 크게 감소함에 기인한다. 또한, 외기온도 변화에 따른 Mode 2에서의 소비전력 변화율은 Mode 1에서의 소비전력 변화율에 비하여 매우 작게 나타났다. 이는 Mode 2에서는 외기온도 변화에 따라 냉각수의 점도가 변화하여 펌프의 소요동력만 변화되지만, Mode 1에서는 외기온도 변화에 따라 펌프 소요동력과 압축기 소요동력이 크게 변화되기 때문이다.

Fig. 9와 Fig. 11에서 보여지듯이 통신기지국 부하에 따라 하이브리드 냉방기의 모드 변환점을 선정하고, 하이브리드 냉방기를 운전할 경우 Mode 2에서의 소비전력은 Mode 1에 비하여 50.3% 작으므로 에너지를 크게 절약할 수 있을 것으로 판단된다. 외기온도가 높은 Mode 1에서의 정격용량을 8.3kW로 선정할 경우 외기온도가 8.3°C 이

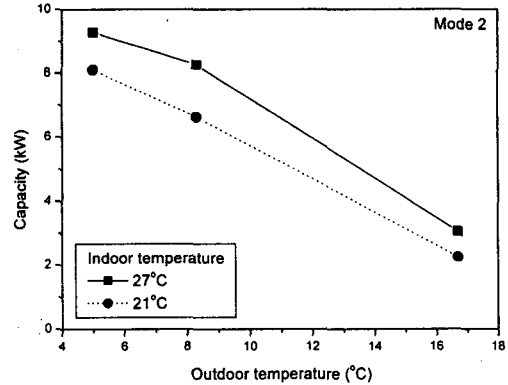


Fig. 10 Cooling capacity as a function of outdoor temperature in mode 2.

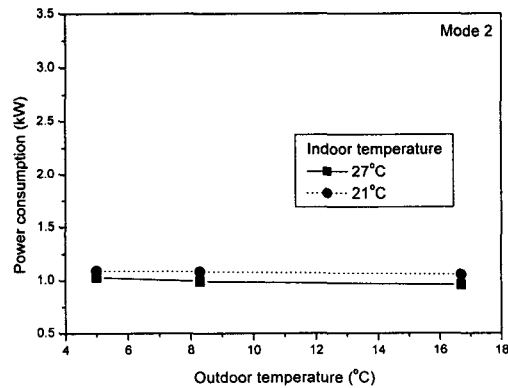


Fig. 11 Power consumption as a function of outdoor temperature in mode 2.

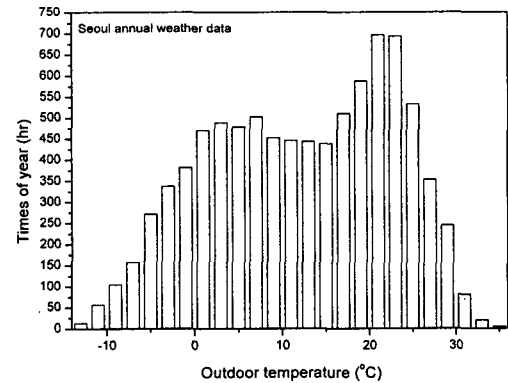


Fig. 12 Annual weather data in Seoul.

하에서는 하이브리드 냉방기는 Mode 2로 운전 가능하다. Fig. 12는 서울의 연간 기상 데이터를 나

타낸다. 서울의 경우 1년 중 약 37%의 기간이 외기온도가 8.3℃ 이하로 나타났으므로 이 기간에 본 연구에서 개발한 하이브리드 냉방기를 통신기지국에 적용한다면 50.3% 이상의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

5. 결 론

본 연구에서는 통신기기의 열부하 변화에 따른 성능을 측정하고, 이를 바탕으로 통신기지국 에너지 절약을 위한 하이브리드 냉방기를 설계 및 제작하였다. 서울시내에 설치된 통신기기의 입구공기의 최대 온도는 25℃, 표면온도는 58℃로 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 하이브리드 냉방시스템은 외기온도에 따른 Mode 1과 Mode 2로 운전되며, Mode 1에서는 증기압축식 사이클과 냉각수 순환루프가 가동되며, Mode 2에서는 냉각수 순환루프만 가동된다. 따라서 Mode 2에서의 소비전력이 급격히 감소되어 통신기지국의 에너지 절약이 가능하다. 모드 전환점을 8.3℃로 설정할 경우 서울에서는 1년 중 약 37%의 기간 동안에 50.3% 이상의 에너지 절감효과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

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

참고문헌

- Kim, W. T. and Kim, K. S., 1996, Forced convective cooling characteristics with stacked modules of multi-PCB's in telecommunication cabinet, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 230-239.
- Ha, S. J., Kim, T. H., Yang, T. J. and Kim, J. S., 2004, Development of cooling system for electronic devices using oscillating capillary tube heat pipe, Proceedings of the SAREK, pp. 869-874.
- Kim, W. T., Song, K. S. and Lee, Y., 1998, Design of a two-phase loop thermosyphons for telecommunication system(II), KSME International Journal, Vol. 12, pp. 942-955.
- Lee, H., Jeong, Y., Shin, J., Kang, M. and Chun, K., 2004, Package embedded heat exchanger for stacked multi-chip module, Sensors and actuators, Vol. 114, pp. 204-211.
- Yun, R., Kim, Y. C., Kim, H., Choi, J. M. and Cheon, D. K., 2006, Optimum design of liquid cooling heat exchangers and cooling-fluid distributors for a amplifier of telecommunication equipment, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 1, pp. 24-30.
- 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.
- Cinato, P., Bianco, C., Licciardi, L., Pizzuti, F., Antonetti, M. and Grossoni, M., 1998, INTELEC, pp. 770-776.
- Baer, D. B., 2001, Emerging cooling requirements & systems in telecommunications spaces, INTELEC, pp. 95-100.
- Hayana, H. and Nakao, M., 1989, Cooling data and dot-coms, Consulting-Specifying Engineering, Vol. 29, No. 1, pp. 28-36.
- ASHRAE, 1983, Methods of testing for seasonal efficiency of unitary air-conditioners and heat pumps, ASHRAE Standard 116, Atlanta (GA).
- ANSI, 1985, Laboratory methods of testing fans for rating, ANSI/AMCA 210, Arlington (VA).
- 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.