韓國産業應用學會論文集, 제8권, 제2호, 97-104, 2005.5
J. Korean Society of Industrial Application, Vol.8, No2, 97-104, May, 2005

60GHz대역 무선통신장애 해결을 위한 온도보상장치 개발

The Development of the Temperature Compensation Equipment to minimize Error in the Wireless Transmission System at 60GHz Band

명병수*, 구성득**
Byung-Soo Myung*, Seong-Deag Ku**

<Abstract>

Usually, propagation attenuation of millimeter wave occurs by rainfall, snowfall, temperature, effect of pressure of air. In 60GHz wave band wireless communication network, temperature change becomes big factor of propagation loss department. Also, temperature change causes disturbance of 60GHz frequency at transceiver. In this study, we used 60GHz transceiver and found propagation loss of wireless path and operating frequency disturbance characteristics. In transceiver that there is no temperature compensated device, operating frequency of TX changed by 60.865GHz at temperature of -5℃, and appeared by 60.730GHz when is 50℃. Therefore, operating frequency change width by temperature change are about 100MHz, greatly. But, in transceiver that there is temperature compensated device, operating frequency of TX changed by 60.830GHz at temperature of -5℃, and appeared by 60.710GHz when is 50℃. Therefore, operating frequency change width by temperature change are about 20MHz. According to these result, we constructed between buildings examination wireless site for point to point wireless communication using 60GHz band transceivers who have do temperature compensated device, and investigated data transmission characteristics about ambient temperature change. Therefore, if use transceiver that have temperature compensated device, may overcome the wireless transmission error in 60GHz band wireless communication LAN networks despite of ambient temperature change.

Key words : transceiver, transmission characteristics

1. 서 론

최근 정보화 사회로의 발전과 더불어 무선통신에 대한 수요가 급격히 증가함에 따라 개인휴대전화(PCS), LMDS(Local Multipoint Distribution System), WLL(Wireless Local Loop), WLAN(Wireless Local Area Network) 등 새로운 개념의 무선통신시스템이 개발되고 있으며 차량 레이더, 도로교통

* 정회원, 상주대학교 기계공학과, 공학박사
E-mail : bsmyung@sangju.ac.krl
** 정회원, 상주대학교 산업대학원, 공학석사
E-mail : ksd0445@lycos.co.kr

* Sangju National Uni. Dept. of Mechanical Eng.
E-mail : bsmyung@sangju.ac.krl
** Sangju National Uni. Dept. of Mechanical Eng.
E-mail : ksd0445@lycos.co.kr

종합정보 시스템 등 전파이용 분야도 날로 확대되고 있다. 또한 사용주파수 대역[1]도 기존의 UHF 대역에서 준 마이크로파 대역인 1~3GHz, 마이크로파 대역인 3~30GHz, 그리고 밀리미터파 대역인 30~300GHz으로 까지 확장되고 있다.

일반적으로 밀리미터파의 전파에 영향을 미치는 현상들은 자유공간 손 실외에도 대기 감쇠, 강우 감쇠, 수풀에 의한 감쇠, 반사, 회절 등이 있다. 밀리미터파 대역에서는 회절에 의한 손실이 크기 때문에 주로 가시거리 통신을 하게 되며, 또한 고이득 안테나를 사용하기 때문에 대기 감쇠가 큰 특정 주파수를 제외하고는 자유공간손실과 강우감쇠가 경로손실에 있어서 지배적인 요인[4]로 작용하는 것으로 알려져 있다.

밀리미터파 대역 중 60GHz 대역은 강한 산소분자의 흡수 성질로 인해 강우감쇠에 강한 전파 특성을 가지고 있기 때문에 근거리 무선 LAN 망에 적용하는 사례가 많이 늘고 있다. 그러나 60GHz 대역의 강우감쇠 특성은 우수하지만 상대적으로 기온변화에 의한 전파경로 손실이 많은 실정이다. 이는 일반적으로 강우감쇠의 경우 빗방울의 떨어지는 모양과 공기의 저항, 속도 및 밀도에 관한 요소로 밀리미터파의 경로손실을 연구한 보고는 많이 있으나, 강우시 또는 계절변화에 따른 기온변화 즉 온도변화에 대한 대기감쇠 요인에 대한 연구보고는 없는 실정이다. 특히 국내와 같은 강우가 적은 지역의 환경에서 강우감쇠에 의한 경로손실보다는 기온변화에 의한 감쇠가 더 큰 요인으로 작용할 수 있기 때문에 반드시 기온변화에 의한 경로손실의 기초 데이터를 수집 정리하여 무선통신장치에 적용할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 밀리미터파 대역용 무선통신장치를 제작한 후, 기온변화 및 발진주파수의 온도변화에 의한 무선통신장애를 분석하고, 이의 온도보상장치를 개발하고 적용실험을 실시하여 결과를 장치에 사용하는 실용화 연구에 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

밀리미터파는 파장이 수 밀리미터 미만의 전자기파를 의미하며, 약 30~300GHz 주파수 대역이 이에 해당된다. 밀리미터파 장비는 밀리미터파를 이용하여 중계회선 및 가입자 회선을 전송하는 시스템으로 신규주파수 대역을 이용하므로 해당 대역의 전파자원이 풍부하고 파장이 짧아 장비의 소형화를 이룰 수 있다.

밀리미터파의 전파특성은 일반적으로 자유공간상의 밀리미터파 특성은 대기의 흡수 및 산란현상에 의한 영향을 많이 받는다. 밀리미터파의 손실요인은 대기상태의 여러 가지 요인 즉, 강우, 수증기, 산소입자, 먼지, 안개, 기타의 요인에 따라 전파 진행 중 에너지가 흡수되거나 산란되는 형태로 감쇠현상이 발생된다. 특히 전파가 대기분자에 의해 받는 흡수감쇠는 주로 산소와 수증기에 의해 영향을 받는다. 산화질소 등 미량성분도 밀리미터파 대역에 흡수선을 가지는데, 산소와 수증기와 비교하여 무시할 수 있을 정도의 영향이다. 지상 근방의 평균적 조건에서 대기에 의한 감쇠특성을 그림 1에 나타내었다.

이때 지상 근방의 평균적 조건은 지상기온이 15℃, 기압 1013hPa, 수증기 밀도r7.5g/m^3 ITU-R에서 권장기준이며, 대기 감쇠는 주로 산소와 물분자의 흡수에 기인하고 산소분자의 흡수선, 즉 흡수가 최대가 되는 주파수는 약 60GHz 및 118GHz부근이며, 물분자의 흡수선은 약 22GHz, 193GHz 및 325GHz부근이었다. 따라서, 밀리미터파 대역 시스템에서 특수한 경우를 제외하고는 이러한 물과 산소분자의 공진주파수를 벗어난 영역[5-7]의 주파수를 사용하게 된다. 또한 대기의 흡수는 전파의 빔이 지나가는 고도와 온도에 밀접한 관계가 있다.

ITU-R(1998a) 모델에 의하면, 고도가 0~5km이내이고, 350GHz 주파수대역 이하의 대기감쇠계수[dB/km]은 건조대기 감쇠계수와 수증기의 감쇠계수의 합으로 주어진다.

대기감쇠계수는 토대로 60GHz 대역에 있어서, 기온변화에 따른 대기감쇠 계수는 온도변화에 대한 감쇠계수는 15℃에 약 15dB/km였으며 이는 ITU-R(1996) 대기감쇠계수 15dB/km와 일치하는 계산 값으로 대기감쇠계수는 작아지지만 반대로 낮아지면 크게 증가하는 것으로 나타나 성능에 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 60GHz 대역용 LAN망 설계에

고려하였다.

기상 데이터는 주요도시의 30년간 월 평년값을 사용하여 서울지역의 최저평균기온은 -2.5℃ 최고 25.4℃로 60GHz 대역에서 대기감쇠계수는 각각 25/10.5dB/km이며, 부산지역의 경우 최저 3.0℃이고, 최고 25.7℃로서 대기감쇠계수는 각각 21/11dB/km이었다.

따라서 계절에 있어서 대기감쇠계수는 기온변화에 영향을 받는 것으로 나타났으며, 60GHz 대역을 이용한 무선통신 랜망의 설계시에 보정이 필요함을 알 수 있었다.

무선통신장치 개발에서 60GHz대역용 무선통신장치의 변조방식은 ASK변조방식으로 하였으며, 요구대역폭은 400MHz이며, 데이터 전송속도는 100Mbps로 하였다. 이에 대한 잡음지수는

$N_o = kTB_T = 1.38 \times 10^{-23} J/K \times 290K \times 400MHz$

식과 같다.

상기와 같은 조건을 가지고 60GHz대역에서 사용되는 무선통신시스템의 개발 시 필요로 하는 소요 송신전력(P_{TX})을 구하였으며

$P_{TX} = P_{RX} - G_{TX} - G_{RX} + T_l$ 식으로 나타낼 수 있다.

60GHz 대역에 대해 기온이 낮을수록 1km 무선유효통신 거리에서 요구되는 수신감도는 증가함을 알 수 있다. 따라서 온도변화에 대해서 요구되는 수신감도가 달라짐으로 무선통신송·수신 장치의 신호증폭 및 온도보정이 이루어져야 할 것이다. 60GHz 대역용 초고속무선통신에서 NRD 가이드는 정보통신기술의 발달과 함께 한정된 전파자원의 효율적인 이용에 관한 관심이 증가하면서 새로운 주파수 자원인 밀리미터파 대역(30~300GHz)의 초고주파 자원을 선진국 중심으로 많이 연구가 진행되고 있다.

Tischer[9]에 의해서 처음 제안된 H-guide는 두 금속판 사이에 유전체를 삽입함으로써 전달되는 전자기파의 손실을 매우 크게 줄일 수 있었다. 그러나 이 구조는 두 금속판 사이의 간격이 커서 불연속면에서의 불필요한 방사가 매우 크다는 단점을 가지고 있다.

Yoneyama와 Nishida[10]에 의해서 제안된 NRD가이드는 그림 4에서와 같이 평행한 평판 도체판 사이에 유전체가 삽입된 간단한 구조로 이루어져 있다. 평행한 두 개의 금속판이 자유공간 파장의 반이하의 거리로 떨어져 있을 때 전기장 성분이 금속판에 평행한 전자기파는 컷오프(cut off)에 의해서 평판 사이로 진행할 수게 된다.

NRD가이드 구조는 유전체 도파로의 불연속부나 곡선구간 즉, 벤딩에 의해 발생되는 복사신호를 평행 평판 도파로의 차단 주파수 특성으로 인해 효과적으로 억압할 수 있으며, 유전체 도파로가 갖는 저 손실 특성의 저하없이 신호를 전송할 수 있기 때문에 밀리미터파 응용시스템[11~22]에 적용 가능하다.

평행한 두 평판 도체판 사이에 삽입된 유전체 스트립의 유전 상수는 주변의 유전체 매질 보다 커야 한다. 이때 유전체가 없을 경우에 도체 판에 평행하게 편광된 전자기파는 식(6)을 만족하는 조건에서 차단되어 진행하지 못한다.

NRD가이드 의 정성적인 동작원리의 모드특성을 구명하기 위해서는 복소평면에서 고유치는 판에 평행한 x방향의 파수는 사용 주파수, 유전체의 폭과 유전상수에 따라 변화 시키고, 판에 수직한 y방향의 파수는 사이의 거리에 따라 결정하여 x방향과 y방향의 고유치는 완전히 독립적으로 결정하였다. 따라서 일반적인 분류법에 의해서 NRD가이드의 모드는 LSM_{nm} 모드로 나타낼 수 있는데, 기본전송파의 LSM과 LSE모드의 전자계 분포를 나타낸 것으로 일반적으로 NRD 가이드의 구성 요소들은 수직방향으로 대칭을 유지하므로 m=1로 가설한 후 LSE모드를 고려하지 않는다면 NRD가이드에서 대역폭은 LSM_{01}과 LSM_{11}의 LSM_{01} 역차단영과 비방사 조건영역 ($f < f_c = c/2a$)으로 경계조건을 결정하였다. 따라서 유전체 스트립 폭과 높이, 유전 상수와 같은NRD가이드의 기하학적, 물리적인 조건을 잘 선택해야만 NRD가이드의 전달특성을 계산하였다.

NRD가이드 이론을 적용한 60GHz 대역 무선통신송·수신용 RF모듈의 개념도를 그림 1에 나타내었다. 그림에서와 같이 송수신용 RF 모듈은 두 개의 평행한 도체판 사이에 사용주파수 60GHz 대역의 파장에 비례하도록 비방사성 유전체선로가 각각 송신부 회로와 수신

부 회로 배치하며 이때 평행한 도체판 사이의 간격은 사용주파수의 반파장 이하가 되도록 하였다.

그림1은 NRD가이드 이론을 적용하여 60GHz 대역 송·수신용 RF 모듈 구성 블록도이며, 개발한 NRD 가이드를 이용한 60GHz 대역용 무선통신송·수신 장치에 기온변화에 발진주파수교란 장애 및 전파경로상의 무선통신장애 여부를 분석하였다. 특히 무선통신장치내의 RF 모듈에 있어서는 사용온도범위에서 발진주파수가 흔들리지 않도록 하는 온도보상장치를 별도 제작하여 적용하였다.

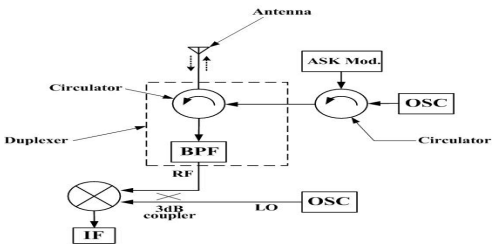


Fig. 1 Block diagram of 60GHz RF module.

3. 장치의 개발 및 고찰

3.1 온도보상 장치

주위 온도변화에 대하여 RF 모듈의 송·수신수주파수를 그 허용편차로 유지하기 위하여 온도보상장치는 분석데이터를 적용하여 설계 및 제작하였다.

3.1.1 보상장치의 설계

도보 상장치는 히터플레이트, B접점바이메탈 및 카트리지열선으로 구성된다. 설계된 히터는 가열된 열선이 히터 플레이트를 가열시키고, 적정온도가 될 때까지 전력이 소모되는 구조로 되어 있고, 접점바이메탈은 온도변화의 검출 및 온도조정의 목적으로 설계되어있다. 이때 접점재료는 온도변화에 따라 팽창계수가 적은 니켈과 철의 합금, 팽창계수가 큰 구리와 아연합금으로 이루어져 있다. 따라서 저온 때에는 수평이던 것이 고온이 되면 니켈·철합금 쪽으로 구부러지므로 저온에서는 바이메탈을 통해 전류가 흐르지만, 고온 때는 접점이 떨어져 전류가 흐르지 않게 된다. 그림 2는 온도보상장치의 ON/ OFF 온도제어에 대한 온도조절 감도를 나타낸 그래프이다. 설정된 기준온도는 32℃이며, ON/OFF 동작을 수행할 경우 온도조절감도(D)는 약 0.8℃ 정도로 하였다.

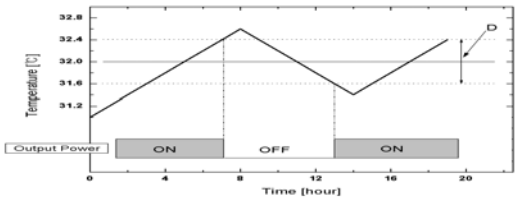


Fig. 2 Temperature tuning sensitivity about heater.

(2) 온도보상장치의 장착부

온도보상장치는 데이터를 이용하여 최적용량의 히터를 제작한 후, 사용할 무선통신송·수신기에 장착하였다. 그림3은 온도보상장치가 장착된 60GHz 대역 무선통신송·수신기의 내부 도를 나타낸 것이다. 기존 NRD 가이드를 이용한 RF 송·수신 모듈 상부에 제작한 히터를 부착한 후, 전원장치를 통해 전원을 공급받도록 구성하였다.

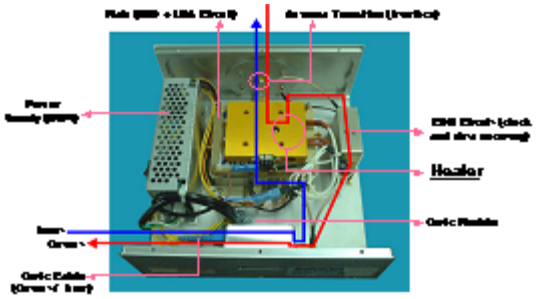


Fig. 3 Inside 60GHz transceiver mount with temperature compensation equipment

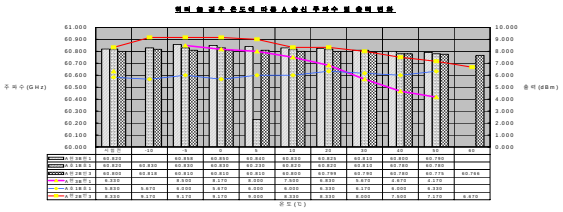
3,2. 온도변화에 대한 통신성능

3.2.1 내열 및 내한성능

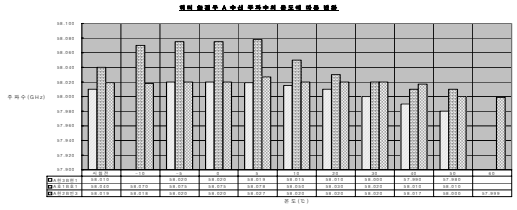
온도보상장치가 장착된 60GHz 대역 무선통신송·수신기를 내열 및 내한장치에 수납하여 24시간 이상 장시간 저온 및 고온의 온도변화를 주어 무선통신장치의 온도변화특성을 분석하였다. 이는 실외사이트에 생길 수 있는 기온에 대한 동일한 온도조건 변화를 주어 무선통신장애 문제를 실내에서 확인한 후, 온도보정을 하기 위해서 이다.

그림4는 내열/내한장치에 수납되는 감쇠기에 연결 전송특성을 분석하였는데 이때 40dB

고정감쇠기와 25dB가변 감쇠기를 이용하여 실외에서는 총전파경로손실과 비례한 값을 측정하였다.



(a) 송신주파수 및 출력변화특성

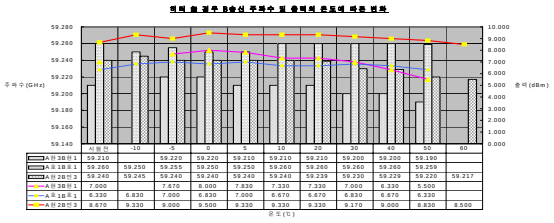


(b) 수신주파수 및 출력변화 특성

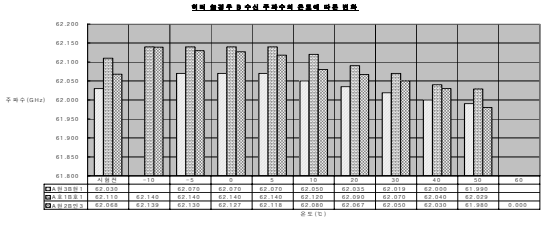
Fig. 4 In A set, the Characteristics of TX & RX Frequency and Power without Temperature Compensation Equipment.

3.2.2 온도변화에 대한 송신주파수 및 출력

온도변화에 대한 통신성능 측정 즉, 송신주파수 및 출력변화는 60GHz대역 무선통신 송·수신기 A, B세트를 내열/내한장치에 수납하여 장시간 통신 성능 시험을 실시하였다.



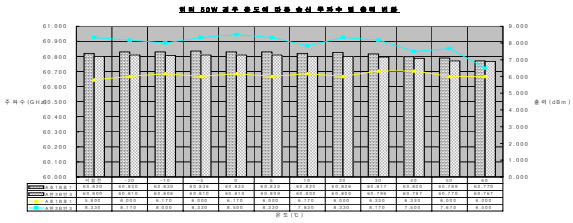
(a) 송신주파수 및 출력변화특성



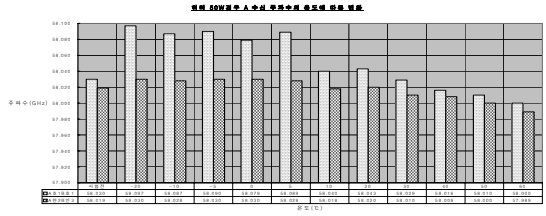
(b) 수신주파수 및 출력변화특성

Fig. 5 In B set, the characteristics of TX & RX frequency and power without temperature compensation equipment.

무선통신송·수신기 A, B는 송신주파수 및 출력 특성과 장착한 후 히터의 전력을 50W 및 70W로 변화시키며 적용한 A, B세트 송·수신기의 송신주파수 및 출력특성을 그림 5에서부터 그림 7까지 막대그래프로 나타내었다. 그림 5, 6에 의하면, 온도변화에 따라 송신주파수 변화폭이 약 100MHz의 큰 폭으로 민감하게 반응하고 그에 따른 출력변화폭이 크게 나타났다.

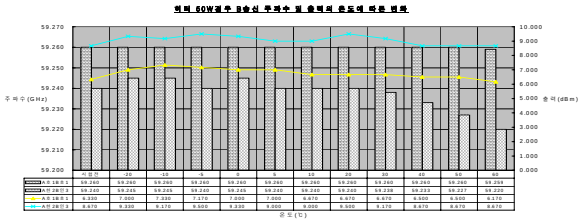


(a) 송신주파수 및 출력변화특성

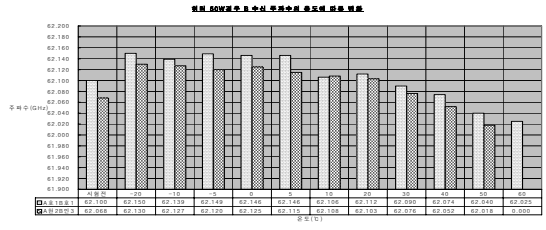


(b) 송신주파수 및 출력변화특성

Fig. 6 In A set, the characteristics of TX & RX frequency and power at 50W heater.



(a) 송신주파수 및 출력변화특성



(b) 수신주파수 및 출력변화특성

Fig. 7 In B set, the characteristics of TX & RX frequency and power at 50W heater.

또한 그림 5~7에 의하면, 온도보상장치가 장착된 무선통신송・수신기에 있어서, 온도변화에 따라 송신주파수는 약 20MHz~25MHz에서 변화폭이 적고, 출력변화도 안정되었다.

4. 특성분석

4.1 온도변화에 대한 송신특성

그림 8에 의하면 온도가 -5℃일 때 송신주파수는 60.865GHz, 50℃일 때 60.730GHz 정도 나타났으며, 온도변화에 약 100MHz의 큰 폭으로 민감하게 반응함을 알 수 있었으며, 온도에 대해 발진주파수 특성이 변화하여 그림에서 보는바와 같이 송신출력이 급격한 변하는 것으로 나타났다.

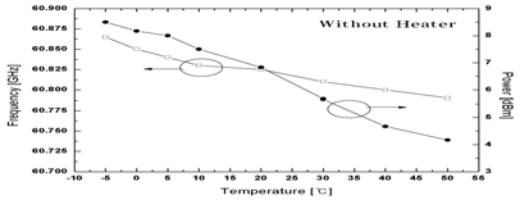


Fig. 8 The characteristics of frequency and power without heater.

70W급 히터를 장착하였을 때 그림 9와 같이 무선 TX신송·수신기에 온도가 -5℃일 때 송신 주파수는 60.83GHz, 온도가 50℃ 일 때 송신 주파 수는 60.81GHz 정도 나타났으며, 온도 변화에 대해 송신주파수 변화폭은 약 20MHz의 소폭으로 변화함 알 수 있었으며 송신출력 특성이 소폭 변화를 보였으나 송신 주파수는 안정적이었다.

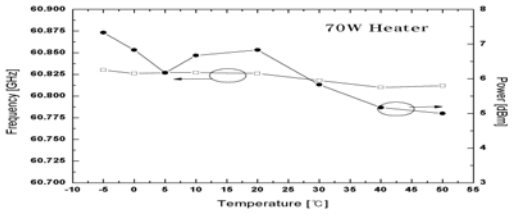


Fig. 9 The characteristics of TX t temperature frequency and power with 70W heater.

4.2 온도변화에 대한 수신 특성

60GHz 대역 무선통신송·수신기 에서 온도변화에 대한 수신주파수 특성은 그림10과 같으며 온도 보상 장치를 장착한 B세트가 장착하지 않은 것에 비해 수신주파수 안정도가 높은 것으로 나타나 수신 성능이 우수함을 알 수 있었다.

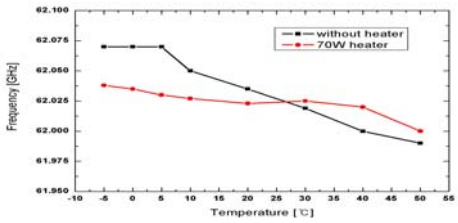


Fig. 10 The characteristics of B set RX frequency.

4.3 온도변화에 대한 데이터전송속도

60GHz 대역 무선통신송·수신기에서 데이터 전송특성을 분석하기 위해 데이터 프레임(Frame)의 크기별로 전송속도분석을 온도변화에 따라 실시하였는데 무선통신송·수신기에 온도 보상장치를 장착하지 않을 경우에 있어서 데이터 전송속도 특성을 타낸 것이며 -5℃~+5℃의 저온변화에 대해서 프레임 크기에 따라 다소 전송특성을 나빠짐을 알 수 있었다. 이는 온도의 변화로 인해 B 세트의 수신감도가 현저히 떨어짐으로 생겨나는 전송의 손실되고 있음을 알 수 있었다.

Table 1. Data Transmission Speed haracteristics without heater.

Data / Temp. ℃	Transmission Speed, Mbps				
	64byte	128byte	256byte	1024byte	1518byte
시험전	100	100	100	100	100
-5	99	99	99	100	99
0	100	99	99	100	99
5	99	99	99	100	100
10	100	100	100	100	100
20	100	100	100	100	100
30	100	100	100	100	100
40	100	100	100	100	100
50	99	99	99	98	90

표 1은 무선통신송·수신기에 온도보상장치는 그림11에서 보는바와 같고 장착후에 있어서, 데이터 전송속도 특성을 나타낸 것이다. 온도가 변화하더라도 프레임 사이즈의 증가에

도 100%의 전송특성을 나타냄을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 결과를 토대로 실외의 무선통신망에 온도보상 장치를 장착한 무선통신송· 수신기를 이용하여 무선통신장애 해결이 가능한 것으로 사료된다.

5. 무선통신망에서의 통신성능

5.1 실외 시험

개발된 60GHz대역용 무선통신송·수신기를 무선통신거리 1km, 점대점(point to point)의 통신망을 두 곳의 빌딩상부에 구축하여 무선통신장애 실험을 실시하였으며, 이때 개발한 두 대의 60GHz 대역용 무선통신송·수신기를 이용하였다.

송·수신 데이터에 대한 전송특성을 시험은 1km 지점의 빌딩옥상에 60GHz 대역용 무선통신 송·수신기, 광모듈 및 SONET 분석 장비를 설치하여 두 지점의 무선통신송·수신기의 데이터 전송속도는 100Mbps이며 광대역 전송하였다.

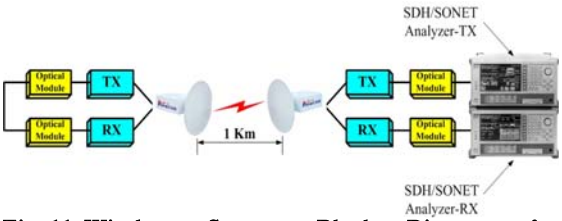


Fig. 11 Wireless System Block Diagram for Transmission Measurement.

5.2 기온변화에 대한 BER 특성

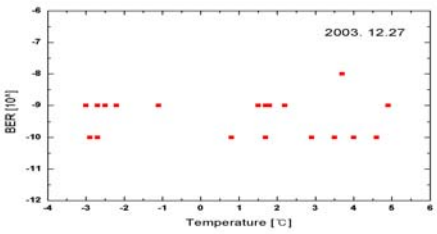


Fig. 12 BER characteristics by air temperature change.

국내 기후에 있어서, 최저기온변화를 보이는 겨울에 온도보상 장치가 장착된 무선통신송·수신기를 이용하여 24시간 실외 BER 시험을 실시하였다. 그림 12에서 보는바와 같이 -3℃이하의 온도에서 BER은 10^{-9}의 우수한 특성을 나타내었고, 하루 중 최저 BER 10^{-8} 이상으로 부산지역의 평년기온에서는 온도보상장치로 60GHz 무선통신송·수신기의 무선통신 장애 해결할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구는 60GHz 대역을 이용한 무선통신 LAN망의 통신유효링크 구간에서 기온변화에 따른 전파손실과 무선통신장치의 주파수 교란에 의한 통신장애를 해결하기 위해 온도보상장치를 개발하였다.

이 장치는 서로 다른 팽창계수를 갖는 접점재료에 의해 온도조절이 이루어지고 기준온도가 32℃, 온도조절감도가 0.8℃이며, ON/OFF 온도제어방식으로 NRD 가이드 이론에 의해 제작된 무선통신송·수신기에 내장되고, 개발된 장치에 적용하여 온도변화에 의한 송신주파수 변화 및 출력 특성을 분석하였다.

송·수신기에 있어서, 온도가 -5℃일 때 송신주파수는 60.865GHz, 50℃일 때 송신주파수는 60.730GHz가 최적으로 나타났으며 온도변화에 대해 송신주파수 변화폭이 약 100MHz의 큰 폭으로 민감하게 반응하였고, 송신출력이 급격히 변화되는 것으로 나타났다.

그러나 온도보상장치가 장착된 무선통신송수신기는 온도가 -5℃일 때 송신주파수는 60.83GHz, 온도가 50℃일 때 송신주파수는 60.81GHz 정도로 주위온도변화에 대해 송신주파수 변화폭이 약 20MHz의 소폭으로 변화하였고, 송신출력의 변화로 인해 송신주파수가 안정되는 것으로 나타났다.

또한 무선 통신 송·수신기에 온도보상장치를 장착 대비분석결과 온도변화에 대한 전송데이터 프레임 사이즈의 증가에도 불구하고 정확한 전송특성을 나타났다.

이와 같이 온도보상장치가 장착된 60GHz 대역용 무선통신송·수신기를 이용하여 실외에 점대점 무선통신을 위한 시험사이트를 구성, 주위의 기온변화에 대한 전송특성을 조사하였다. 특히 부산지역의 평년 평균 최저기온을 기준으로 BER 시험을 실한 결과 2003년도 12월27일 24시간동안 최저기온 -3℃이하에서도

BER은 10^{-9}이었다.

따라서 온도보상장치가 적용된 60GHz 대역용 무선 LAN의 기온변화에 의한 통신장애를 극복할 수 있었으며, 저온 및 고온에서 온도보상과 환경보상은 반드시 고려되어야 할 것으로 나타났다.

참고문헌

1) Skolnik, M. I., “Millimeter and Submillimeter Wave Application”, *Proceeding of the Symposium on Submillimeter Waves, Polytechnic Press of Poly. Institute of Brooklyn*, New York, pp.9-25, 1970.
2) Couch, Leon W., Modern Communications Systems, *Prentice Hall, Inc., Englewood cliffs*, NJ. 1995.(ISBN 0 02 325286 3)
3) Proakis, John G., Digital Communications Second Edition, *McGraw Hill, New York*, NY, 1989(ISBN 0 07 050937 9)
4) Jim Zyren, Al Petrick, " Tutorial on Basic Link Budget Analysis", *Intersil Application Note, abstract prism*, AN9801.1 pp.1-8, June 1998.
5) CCIR Doc. Rep. 719-3,"Attenuation by Atmospheric Gases," *ITU* 1990.
6) CCIR Doc. Rept 721-3, "Attenuation by Hydrometers, In Particular Precipitation and Other Atmospheric Particles," *ITU* 1990.
7) E.K. Smith, "Centimeter and Millimeter Wave Attenuation and Brightness Temperature due to Atmospheric Oxygen and Water Vapor," *Radio Science*, Vol. 17, pp. 1455-1464, Nov.-Dec. 1982.
8) Lee, William C. Y., "Mobile Celluar Telecommunications Systems", *McGraw Hill, New Yok*, NY, 1989(ISBN 0 07 037030 3).
9) Tischer, F. J.; "A Waveguide Structure with Low Losses", *Arch. Elekt. Übertragung*, , p. 592, 1953. 7.

(2004년 11월 24일 접수, 2005년 4월 20일 채택)