

# 비방사성유전체선로를 이용한 155.52Mbps ATM 신호전송용 60GHz 대역 무선통신송수신기개발

종신회원 신 천 우\*

## The 60GHz Transceiver Development for 155.52Mbps ATM Signal Transmission using NRD Waveguide

Cheon-Woo Shin\* *A Life Member*

### 요 약

본 논문은 비방사성유전체선로를 이용한 60GHz 무선통신 송수신기 개발에 관한 것이다. 비방사성유전체선로를 이용하여 전발진기, 서클레이터, ASK변조기, 밸런스믹서, 3dB 방향성 결합기 및 대역통과 필터를 제작하였으며, 이를 이용하여 밀리미터파 대역인 60GHz에서 동작하고 전송대역폭은 2GHz 정도이며, 송신출력 10mW이하에서 1Km이상의 통신이 가능한 무선통신송수신기를 제작하였다. 또한 제작된 무선통신송수신기에 대해 BER실험을 실시하였으며, 통신거리 1Km에서 155.52Mbps ATM(OC-3) 데이터 전송속도에서 BER은 10<sup>-11</sup> 정도였으며, 심한 강우시에는 BER 10<sup>-6</sup> 정도로 안정된 전송특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

**Key Word** : Transceiver; NRD waveguide; 60GHz; 155.52Mbps ATM(OC-3)

### ABSTRACT

This paper reports on the development of a 60GHz wide bandwidth wireless transceiver using NRD waveguide. We fabricated a wireless transceiver using NRD waveguide, which consists of a 3 dB directional coupler, a bandpass filter, a Gunn oscillator, an ASK modulator, and a Balanced Mixer. The new transceiver is capable of transmitting an output power of 10mW to a distance of more than 1 Km, operating in 60GHz frequency and bandwidth of 2GHz. The value of BER reached approximately 10 when the transceiver was tested at the 155.52Mbps ATM(OC 3) at the communication distance of 1 km. It demonstrated an impressively stable transmission feature of BER 10<sup>-6</sup> even in the heavy rainfall.

### I. 서 론

정보통신기술의 발달과 함께 한정된 전파자원의 효율적 이용에 관한 관심이 증가하여 새로운 주파수 자원인 밀리미터 대역(30 ~ 300GHz)의 밀리미터파 자원을 이용한 정보통신 서비스의 연구와 개발이 일본과 미국을 중심으로 진행되고 있다<sup>1-4)</sup>. 밀리미터파는 파장이 짧아서 각종 소자를 소형화 및

경량화 시킬 수 있고 넓은 대역폭을 이용하여 많은 양의 정보를 수백 Mbps에서 수Gbps급의 빠른 속도로 전송할 수 있으며, 직진성이 좋아서 목표물을 추적 및 탐지시에 높은 해상도와 정밀성을 얻을 수 있다.

지금까지는 마이크로스트립 라인(microstrip line), 유전체 도파로 등이 밀리미터파 집적회로에 응용되고 있다. 그러나 마이크로스트립 라인은 밀리미터파 영역에서 사용될 때 전도손실이 증가한다는 단점이

\* 경성대학교 멀티미디어공학과(cwshin@star.ks.ac.kr)

논문번호: #030395-0814, 접수일자: 2003년 8월 14일

있고, 이미지 라인이나 인슐라 라인(insular line) 등과 같은 유전체 도파로는 직선영역에서의 전도손실은 상당히 작은 값을 가지지만 유전체 도파로의 굽어진 부분이나 불연속적인 부분에서 옆의 라인과의 크로스토크(crosstalk)나 부가적인 손실이 발생하는 문제점이 있다.

1981년 요네야마(Yoneyama)등에 의해서 제안된 비방사성유전체선로(Non Radiative Dielectric Waveguide: NRD Waveguide)는 그림 1에서와 같이 평행한 도체판 사이에 유전체가 삽입된 간단한 구조로 이루어져 있으며, 이때 평판 도체판 사이의 간격은 자유공간에서의 파장의 반보다 짧아야 한다<sup>11-13</sup>. 이러한 비방사성유전체선로의 전송모드는 자체가 유전체의 공기와 경계면에 평행한 LSM 모드와 전계가 평행한 LSE 모드로 크게 구별되며, 두 개의 모드는 모두 비방사성으로 선로 속에서 공존하게 된다.

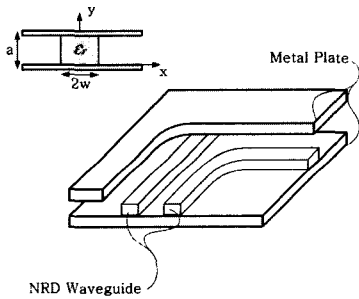


그림 1. 비방사성유전체선로(NRD Waveguide)의 구조  
Fig. 1. The structure of NRD waveguide.

또한 비방사성유전체선로구조는 유전체 도파로의 불연속부나 벤딩(bending)에 의해 발생하는 복사신호를 평행 평판 도파로의 차단 주파수 특성으로 인해 효과적으로 억압할 수 있으며, 유전체선로가 갖는 저손실 특성의 저하없이 신호를 전송할 수 있으며, 광대역 및 초고속통신이 가능한 장점이 있다.

본 논문에서는 비방사성유전체선로를 이용하여 밀리미터파 대역용 무선통신송수신기를 제작하였으며, 동작모드는 손실이 적은 LSM 모드를 적용하였고, 다음 식과 같이 비방사성 유전체선로를 설계하였다<sup>14</sup>.

$$a/\lambda \geq 0.45$$

$$\sqrt{\epsilon_r - 1} b/\lambda \geq 0.4 \sim 0.6$$

여기서  $\epsilon_r$ 은 유전체선로의 비유전율,  $\lambda$ 는 파장이다.

또한 제작된 무선통신송수신기의 사용주파는 밀리미터파 대역인 60GHz으로 하였는데, 이는 60GHz 대역은 산소분자의 강력한 신호 흡수특성으로 인해 주파수 재사용률이 좋고, 도청위험이 적은 장점이 있기 때문이다. 또한 사용주파수 60GHz에서 송신출력을 10mW이하에서 1Km이상의 통신이 가능한 무선통신송수신기를 제작하였다.

## II. 본론

본 논문에서는 제작된 60GHz 무선통신송수신기의 개념도를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 나타낸 바와 같이, 제작된 60GHz 무선통신송수신기는 두 개의 평행한 도체판 사이에 사용주파수 60GHz 대역의 파장에 비례하도록 비방사성유전체선로가 각각 송신부회로와 수신부 회로로 배치된다. 이때 평행한 도체판 사이의 간격은 사용주파수의 반파장 이하가 되도록 하였다. 그림 2에서 나타낸 바와 같이, 송신신호는 발진기에서 발진된 신호가 셔클레이터를 통해 ASK 변조기로 전달되어 위상변조신호로 만들어지며, 변조신호는 셔클레이터를 지나 안테나로 전송되어 외부로 송신된다. 또한 안테나를 통해 외부에서 수신되는 신호는 3dB 방향성 결합기의 한 입력단자에 전달되어 배분되고, 국부발진기에 의한 생성된 국부발진신호(LO)가 결합기에서 배분된 신호(RF)와 혼합되어 밸런스믹서에서 중간주파수(IF)가 된다.

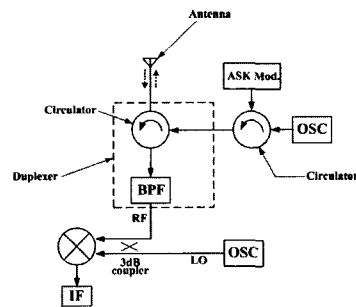


그림 2. 60GHz 대역용 송수신기의 개념도  
Fig. 2. Block diagram of 60GHz transceiver.

1. 송신부 회로 제작 및 특성

송신부 회로는 각각 건발진기(Gunn Oscillator), ASK 변조기 (ASKModulator), 서클레이터(Circulator) 및 송수신공용 안테나(Antenna)로 구성 되도록 하였다.

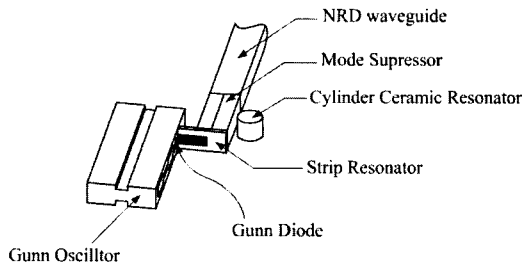


그림 3. 밀리미터파 발진용 건발진기 구조  
Fig. 3. The structure of gunn oscillator.

1.1 건발진기

그림 3은 60GHz 대역의 밀리미터파를 발진시키기 위한 건발진기(Gunn Oscillator)의 구조를 나타낸 것이다. 그림 3에서와 같이 금속판 위에 건다이오드(Gunn Diode)가 장착된 건다이오드마운트(Gunn Diode Mount)로 구성된다. 이때 건다이오드 마운트에 바이어스 전압을 인가하면 밀리미터파가 발진하게 되며, 발생한 발진신호를 비방사성유전체 선로로 급전하기 위해서 스트립공진기(Strip Resonator)가 부착되며, 스트립공진기의 길이 변화에 따라 공진주파수를 조정할 수 있다. 그림 4는 스트립공진기의 길이변화에 따른 건발진기의 발진 특성을 나타낸 것이다.

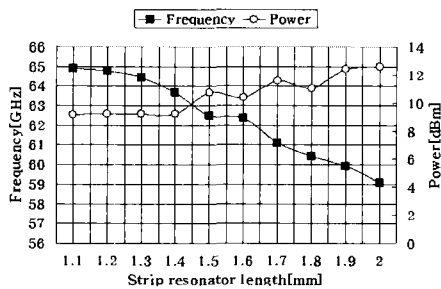


그림 4. 스트립공진기의 길이변화에 따른 발진기의 발진 특성  
Fig. 4. Characteristics of gunn oscillator on strip resonator of size .

그림 4에서와 같이 스트립공진기의 길이를 변화시켜가면 공진주파수를 조정할 수 있으며, 사용되는 스트립공진기의 길이가 1.45mm일 경우 공진되는 발진주파수는 약 62GHz 정도이며, 송신출력은 10dBm이하였다.

또한 공진된 발진주파수의 안정화를 위해 주파수 라킹(Frequency Locking)용 원통형 세라믹 공진기를 사용하는 데, 이는 모드스프레서의 인접간격 지점에 놓여진다. 그림 5는 건발진기의 발진주파수의 안정화 특성을 알기 위해 주파수라킹 이전과 이후의 특성을 나타낸 것이다. 그림 5의 (a)는 온도변화에 따른 밀리미터파 주파수 대역별 관계를 주파수 라킹 이전과 이후에 대해 나타내었고, 그림 5의 (b)는 온도변화에 따른 출력관계를 주파수라킹 이전과 이후에 대해 그 특성을 나타내었다. 그림 (a)와 (b)에서와 같이 발진주파수의 주파수 안정화특성은 전반적인 온도변화에 대해서 주파수라킹 이후가 라킹 이전보다 출력 및 주파수 대역별로 안정된 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 특성은 수신기에서의 국부발진기에서도 동일한 특성을 가진다.

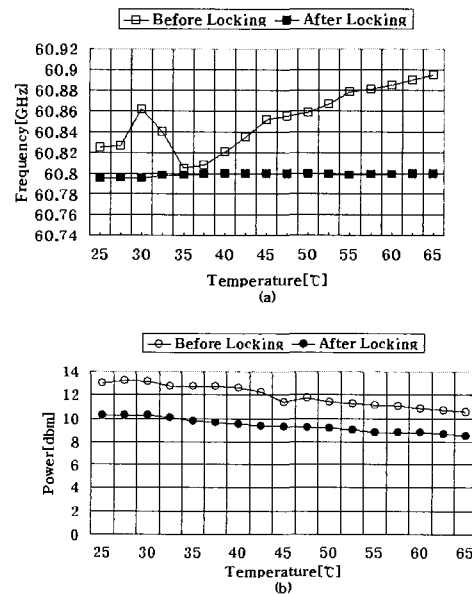


그림 5. 발진주파수 라킹 전후의 주파수의 안정화 특성  
(a) 온도변화에 따른 주파수대역별 주파수 라킹 특성  
(b) 온도변화에 따른 출력별 주파수 라킹 특성  
Fig. 5. Stabilization characteristics of oscillated frequency according to frequency locking availability.  
(a) Frequency relation according to temperature.  
(b) Output power relation according to temperature.

1.2 ASK 변조기

그림 6은 송신부 회로에 사용되는 ASK 변조기의 구조를 나타낸 것으로서 비방사유전체 선로 사이에 쇼트키배리어다이오드마운트가 부착되어 있고 원안의 쇼트키배리어다이오드마운트는 동박(Copper Film)이  $\lambda/4$  초크로 패터닝된 유전체 기판상에 쇼트키배리어다이오드(Shottky barrier Diode)가 장착된 구조이다. 그림 6에서와 같이 ASK 변조기는 쇼트키배리어다이오드마운트에 바이어스 전압을 인가할 경우 비방사유전체선로를 통해 흐르는 입력파는 쇼트키배리어다이오드마운트에서 흡수 및 차단되고, 바이어스 전압을 비인가할 경우 입력파는 쇼트키다이오드마운트를 통과하여 비방사유전체선로 후방에서 반사되어 ASK 위상변조가 가능한 방식을 이용하였다.

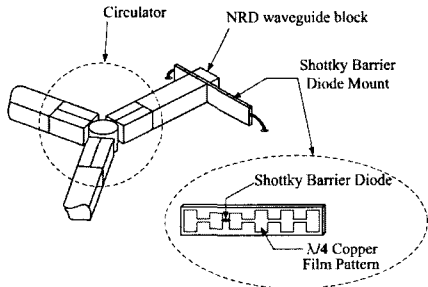


그림 6. ASK 변조기의 구조  
Fig. 6. The structure of ASK modulator.

그림 7은 사용된 ASK 변조기에서의 변조특성을 나타낸 것이다. 그림 7에서와 같이 송신시 캐리어 주파수는 60GHz이며, 변조된 좌,우측파대의 변조신호 레벨이 주파수를 1~500MHz(1Gbps)까지 변화시켰을 경우에 거의 일정한 출력을 가지고 있음을 알 수 있다.

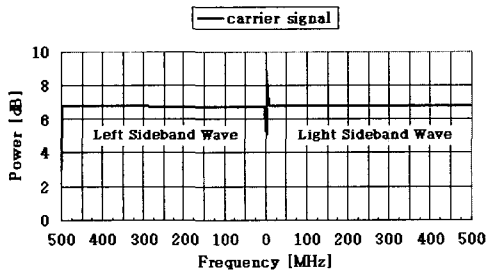


그림 7. ASK 변조기에서의 변조특성  
Fig. 7. Modulation characteristics of ASK modulator.

1.3 서큘레이터

그림 8은 60GHz 밀리미터파 대역용 송수신기에 사용되는 서큘레이터(Circulator)의 구조를 나타낸 것이므로써 페라이트공진기를 중심으로 120° 간격으로 비방사유전체선로가 배치되고, 그 사이에 불필요모드를 제거하는 모드스프레서를 삽입한 구조를 가진다.

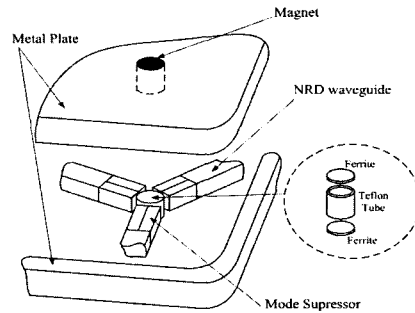


그림 8. 서큘레이터 구조  
Fig. 8. The structure of circulator.

송신부 회로에 사용되는 서큘레이터는 발진기에서 발생한 발진신호가 ASK 변조기를 통해 위상변조된 신호로 바뀌어 안테나가 있는 출력포트로 전송되게 한다. 또한 그림 8에서와 같이 원안의 페라이트공진기(Ferrite Resonator)는 두 개의 페라이트와 테프론 튜브로 이루어져 있으며, 영구자석이 페라이트공진기의 상하에 놓여지게 된다.

그림 9는 서큘레이터의 삽입손실(Insertion Loss) 및 반사손실(Return Loss) 특성을 나타낸 사진이다. 그림 9에서와 같이 60GHz 대역에서의 삽입손실은 약 0.5dB 이내이고, 반사손실은 약 20dB 이상되는 대역이 2GHz 이상으로 매우 우수한 전송특성을 가진 서큘레이터임을 알 수 있다.

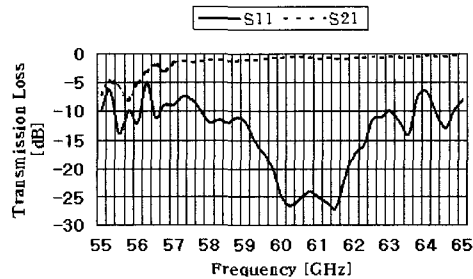


그림 9. 서큘레이터의 삽입손실 및 반사손실 특성  
Fig. 9. Return loss and insertion loss of circulator.

## 2. 수신부 회로 제작 및 특성

본 논문에서 60GHz 무선통신송수신기의 수신부 회로는 각각 국부발진용 건발진기(Gunn Oscillator), 밸런스드믹서부(Balanced Mixer), 3dB 방향성 결합기(3dB Directional Coupler), 송수신분리용 듀플렉서(Duplexer) 및 송수신공용 안테나(Antenna)로 구성되어 있다.

### 2.1 국부발진용 건발진기

그림 3에 나타난 바와 같이 국부발진용 건발진기는 송신부 회로에 사용된 건발진기의 발진소자와 동일한 구조로 이루어져 있으며, 주파수 안정화용 원통형 세라믹 공진기에 의해 안정화된 국부발진신호(LO)는 180° 밴드의 비방사성유전체선로를 통해 전달되어 3dB 방향성 결합기에 의해 배분된 신호와 혼합된다.

### 2.2 3dB 방향성 결합기

그림 10은 수신부 회로에 사용되는 3dB 방향성 결합기의 구조를 나타낸 것으로써 3dB 방향성 결합기(3dB Directional Coupler)는 국부 발진기에서 전송된 발진신호를 배분하고, 배분된 신호는 안테나를 통해 입력된 외부신호와 함께 밸런스믹서로 보내진다. 그림 10에서 나타난 원안은 비방사성 유전체 선로간의 결합간격(Coupler gap)을 나타낸 것이며, 이는 결합간격에 따라 배분되는 전력량은 달라짐을 알 수 있다.

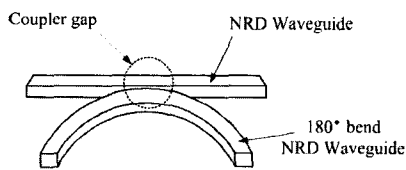


그림 10. 3dB 방향성 결합기의 구조  
Fig. 10. The structure of 3dB directional coupler.

그림 11은 3dB 방향성 결합기에서의 결합간격에 따른 전력량의 관계를 나타낸 도표이다. 그림 11에서와 같이 결합간격에 따라 통과특성 및 전력량이 변하며, 결합간격 약 1.65mm 정도에서 전력손실이 적고, 통과특성이 양호함을 알 수 있다.

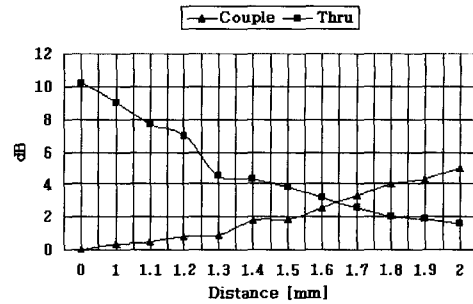


그림 11. 3dB 방향성 결합기의 결합간격에 따른 전력량  
Fig. 11. Power of the 3dB directional coupler.

### 2.3 밸런스믹서

수신부 회로에 사용되는 밸런스믹서(Balanced Mixer)는 두 개의 비방사성유전체선로와 두 개의 쇼트키다이오드마운트 및 비방사성유전체블록으로 구성되어 있으며, 그림 12에 나타내었다.

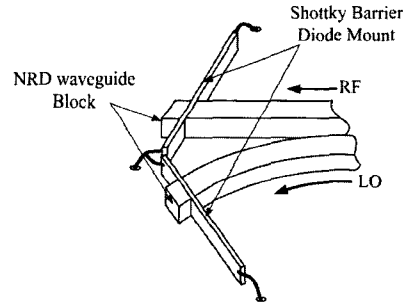


그림 12. 밸런스믹서의 구조  
Fig. 12. The structure of balanced mixer.

그림 12에서와 같이 밸런스믹서는 국부발진신호와 외부에서 수신된 신호를 혼합하여 중간주파수(IF)를 얻어내는 구조로 되어있다. 그림 13은 밸런스믹서를 사용하여 수신되는 중간주파수에 따른 변환손실을 나타낸 것이다. 그림 13에서와 같이 약 4GHz 대역까지 8dBm이하의 변환손실을 얻을 수 있었다.

### 2.4 송수신분리용 듀플렉서

송수신분리용 듀플렉서(Duplexer)는 그림 2에서 나타난 바와 같이 수신부의 대역통과 필터와 셔클레이터를 배치하여 듀플렉서를 구성할 수 있으며, 이는 송신부 회로의 송신신호를 안테나를 통해 외부로 방사시키고, 안테나를 통해 유입되는 외부신호(RF)를 송신신호의 간섭없이 수신부에 전송시키기 위해 사용된다. 따라서 송신신호와 수신신호의 상호 간섭없이 신호가 최대한 분리되게 한다.

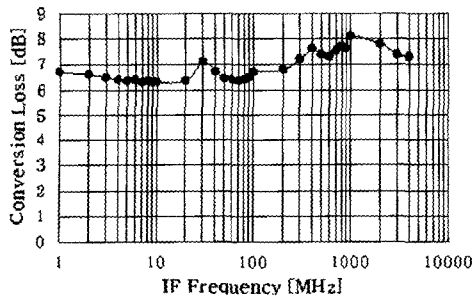


그림 13. 수신되는 중간주파수에 따른 변환손실  
Fig. 13. Conversion loss versus IF

그림 14는 듀플렉서에 사용되는 대역통과 필터의 구조를 나타낸 것이다. 그림 14에서와 같이 대역통과 필터는 3개의 원통형 세라믹공진기로 구성되어 있으며, 필요한 외부 수신신호를 수신부에 통과시키고, 송신부의 불필요한 신호 유입을 막기 위해 사용된다.

그림 15는 대역통과 필터의 전송특성을 나타낸 사진이다. 그림 15에서와 같이 60GHz 대역에서 차단 및 통과대역의 스킨트(Skirt) 특성이 우수하게 나타남을 알 수 있다.

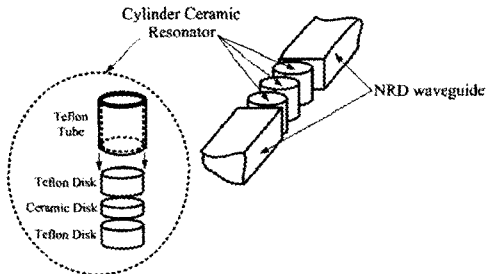


그림 14. 대역통과 필터의 구조  
Fig. 14. The structure of band pass filter.

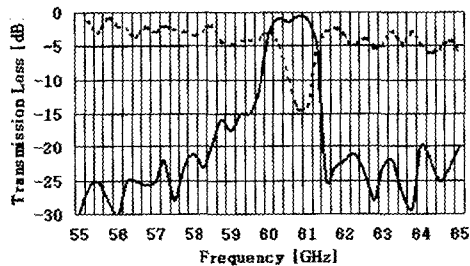


그림 15. 대역통과 필터의 전송특성  
Fig. 15. Transmission characteristics of the band pass filter.

### 3. 데이터 전송실험

본 논문은 제작된 60GHz 무선통신송수신기 데이터 전송특성을 실험하기 위해 1Km의 통신거리에서 두 대의 송수신기 A와 B를 이용하여 강우시와 비강우시의 BER 시험을 실시하였다. 그림 16은 데이터 전송시험을 하기 위해 부산 남천동에 위치한 빌딩옥상간 1Km 지점사이트에 60GHz 밀리미터파 대역용 송수신기를 설치한 사진이다. 이때 전송된 데이터 전송속도는 155.52Mbps ATM(OC 3) 신호로서 광대역 전송이 가능하였다.

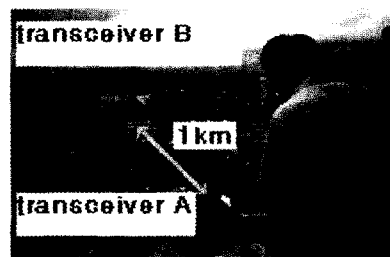


그림 16. 155MbpsATM(OC-3)급 데이터 송수신 시험사진  
Fig. 16. Photograph of 155.52Mbps ATM(OC-3) data transmission test.

그림 17은 60GHz 대역용 무선통신송수신기를 사용하여 비강우시의 BER 조건을 나타낸 그림이고, 그림 18은 강우시의 BER 조건을 나타낸 그림이다.

그림 17과 18에 각각 나타낸 바와 같이 무선통신 송수신기에 있어서, 비강우시에는 BER이  $10^{-11}$  이고, 강우량이 시간당 35mm 이상의 심한 강우시의 BER은  $10^{-6}$ 으로 나타남으로써 이를 이용한 무선 백본 사용이 가능함을 알 수 있었다.

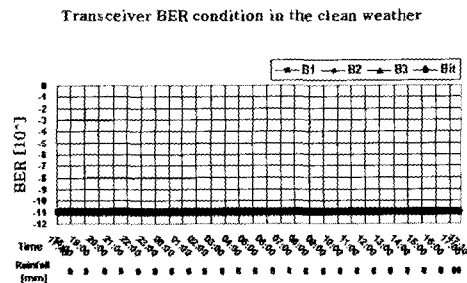


그림 17. 무선통신송수신기의 비강우시 BER 조건  
Fig. 17. BER of the transceiver in a clean weather.

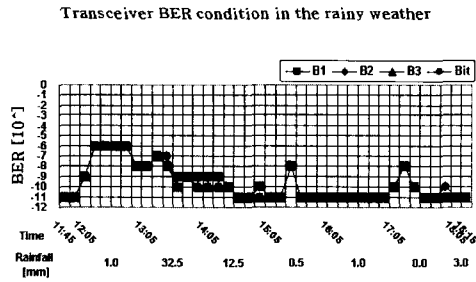


그림 18. 무선통신송수신기의 비강우시 BER 조건  
Fig. 18. BER of the transceiver in a rainy day.

### III. 결론

본 논문은 밀리미터파 대역용 60GHz 무선통신 송수신기를 제작하였다. 이는 두 개의 평행한 도체판 사이에 사용주파수 60GHz 대역의 파장에 비례하는 비방사성유전체선로를 배치하고, 송신부는 각각 건발진기(Gunn Oscillator), ASK 변조기(ASK Modulator), 서큘레이터(Circulator), 대역통과 필터(Filter) 및 안테나(Antenna)로 구성하고, 수신부는 각각 국부발진용 건발진기(Gunn Oscillator), 밸런스 믹서부(Balanced Mixer), 3dB 방향성 결합기(3dB Directional Coupler), 송수신분리용 듀플렉서(Duplexer) 및 송수신공용 안테나(Antenna)로 구성하여 제작하였다.

제작된 무선통신송수신기에 있어서, 60GHz 대역에서의 삽입손실은 0.5dB 이내이고, 반사손실은 약 20dB 이상이며, 대역폭은 2GHz 정도이고, 송신출력 10mW이하에서 1Km이상의 통신이 가능하였다. 또한 통신거리 1Km에서 155.52Mbps ATM(OC 데이터 전송속도에서 BER이  $10^{-11}$  정도였으며, 심한 강우시에는 BER  $10^{-6}$  정도로 안정된 전송특성을 가지며 광대역 및 초고속통신이 가능함을 알 수 있었다.

### 참고 문헌

[1] T. Yoneyama and S. Nishida "Non radiative dielectric waveguide for millimeter wave integrated circuits", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT* , 11. pp.1188 1192. Nov. 1981

[2] T. Yoneyama, M. Yamaguchi and S. Nishida

"Bends in nonradiative dielectric waveguides", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT* , 12. pp.2146 2150. Dec. 1982

[3] T. Yoneyama, N. Tozawa and S. Nishida "Coupling characteristics of nonradiative dielectric wave guide", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT* , 8. pp.648 645. Aug. 1983

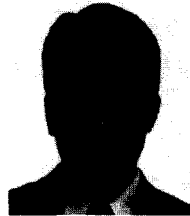
[4] T. Yoneyama, H. Tamaki and S. Nishida "Analysis and measurements of nonradiative dielectric waveguide bend", *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., MTT* , 8. pp.876 882. Aug. 1986

[5] R. Kuroki, M. Sugioka and T. Yoneyama. "Millimeter wave communication system by using NRD guide", *The 3<sup>rd</sup> RIEC international symposium NTAMMW.*, pp.35 40. Dec. 14 15. 1998

[6] Cheon Woo. Shin. "Development of 60GHz millimeter wave wide bandwidth receiver", *Telecommunications Review Vol. 9, No. 5.* pp.855 863, 9~10. 1999

신 천 우(Cheon-Woo Shin)

중신회원



1996년 3월 : 일본

오사카대학 기초공학부

시스템공학과 박사졸업

1999년 2월 : 동명정보대학교

부설 센서기술 연구소

소장역임

1999년 3월~현재: 경성대학교 정보과학부

멀티미디어 공학과 교수

2000년 9월 ~ 현재 엔알디테크(주) CTO

<관심분야> 초고주파통신시스템, RF회로설계, 멀티미디어시스템