

교란대기가 ASK 지상 光通信시스템에 미치는 영향

The Effects of Turbulent Atmosphere on Terrestrial Optical ASK Communication Systems

洪權義*, 金垓煥**, 鄭鎮鎬***, 金映權****

(Kwon-Eui Hong, June-Hwan Kim, Jin-Ho Jung and Yung-Kwon Kim)

요 약

본 논문은 레이저를 이용한 지상 광통신에 교란대기가 미치는 영향을 해석하기 위한 것으로, 대기의 교란은 맑은 날이나 흐린 날에도 존재한다. 대기 교란으로 인하여 전파해 가는 광선은 빔의 방향, breathing, 신틸레이션이 발생하며 이는 광통신 시스템 성능의 저하를 가져온다. 이를 해석하기 위하여 대기 굴절률 구조상수 측정 시스템 및 레이저 다이오드를 이용한 지상 광통신 시스템을 설계하였고, 이를 이용하여 대기의 굴절률 구조상수에 따른 지상 광통신 시스템의 비트 오류율을 이론적으로 유도하고 실험하였으며, 연접 오류와의 관계를 실험을 통해 구하였다.

Abstract

Since the wireless optical communications system transmits informations through the atmosphere, it is subject to many effects of the constituent materials of atmosphere. The turbulence effect always exists in both clear and cloudy days. It causes a beam wandering, breathing, and scintillation. These disadvantageous phenomena degrade the performance of an optical communications system.

In this paper, I designed a refractive index measuring system and subcarrier ASK optical communications system. Through this system I measured refractive index in May and in August. From these measurements, the minimum value of the refractive index in these period was about $\approx 10^{-15}$ [$m^{-2/3}$] at night time and the maximum value was about $\approx 10^{-12}$ [$m^{-2/3}$] at day time. The refractive index structure parameter, BER(bit error rate), and the burst length were measured simultaneously. In these measurements, the theoretically predicted BER and the measured values showed a good agreement. Keyword : Wireless Optical LAN, Turbulence Effect, Refractive Index Structure, Light wave Communication, Subcarrier ASK.

* 金浦專門大學 電子科
(Dept. of Electronic, Kimpo College)

** 建國大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Konkuk Univ.)

*** 湖西大學校 電氣電子制御工學科
(School of Elec. Eng., Hoseo Univ.)

**** 建國大學校 電氣電子工學科
(School of Elec. Eng., Konkuk Univ.)

接受日:1997年8月2日, 修正完了日:1997年10月13日

I. 서 론

지상에서의 광통신은 레이저 광의 가간섭성, 단색성, 고휘도, 높은 직진성을 이용할 수 있으므로 다른 통신 시스템에서 볼 수 없는 여러 가지 장점이 있다. 레이저 광을 이용한 통신은 광파를 이용하기 때문에 다른 통신원들과의 간섭이 발생하지 않으며, 높은 직진성으로 통신의 보안성이 좋다. 또한 시

스텝이 소형이고 가볍기 때문에 설치가 용이하고, 소비전력이 작기 때문에 경제적이다. 하지만 강한 강도를 갖는 레이저를 이용하기 때문에 사람에 대한 안전성이 문제가 되며, 통신 시 태양 광이나 주변의 광원들에 의한 광이 잡음으로 작용하여 광통신 시스템의 성능을 저하시키는 문제가 있다. 이러한 문제들은 통신 시스템의 설치장소를 건물과 건물사이로 선택하고, 태양의 적사광선이 검파기에 직접 수신되지 않게 시스템을 설치하면 문제를 해결할 수 있다.

그러나 대기를 채널로 하는 레이저를 이용한 광통신은 광 전송 경로의 대기상태에 따라 흡수, 산란, 교란 등에 의한 영향을 피할 수 없다. 대기에 의한 광 에너지의 흡수는 레이저의 파장, 대기 구성물질 및 광통신 경로 길이에 따라 변화한다. 대기를 전파해 가는 광은 특정 파장대에서 광의 전송도(transmissivity)가 아주 높아지는 파장대역 즉, 광 전송 윈도우가 존재하는데, 이 파장대역을 이용하면 대기흡수에 의한 영향은 최소화할 수 있게 된다^[12]. 대기 교란은 지상에서 고도에 따른 대기의 온도차이에 기인하는 대기 굴절률의 변동이 바람에 의하여 이동될 때 발생하며, 이러한 대기를 광이 지나가면, 굴절률 변동의 크기에 따라 빔의 편향, 상의 움직임, 빔의 퍼짐, 신틸레이션(불규칙한 휘도의 변화)등을 일으킨다. 굴절률 변동에서 변동의 최소 크기는 비균질 매질의 최소 크기(inner scale: l_0)로 나타내며 지상에서 2[mm] ~ 10[mm]의 크기를 갖으며, 최대 크기는 비균질 매질의 최대 크기(outer scale: L_0)로 나타내며 수[m]에서 수백[m]의 크기를 갖는다^[3]. 작은 비균질 매질은 광 위상의 왜곡을 가져오며, 큰 비균질 매질은 빔의 편향을 가져오는 원인이 된다^[4]. 광 통신에 영향을 주는 원인 중 흡수에 의한 영향은 전송 윈도우를 이용하여 영향을 최소화할 수 있으며, 산란에 의한 영향은 맑은 대기를 고려함으로써 그 영향을 무시할 수 있다.

그러나 교란에 의한 효과는 흐린 날 및 맑은 날을 막론하고 그 영향은 항상 있게된다. 이를 해석하기 위해 본 논문에서는 맑은 날 대기를 통과하는 광 신호에 영향을 주는 대기 굴절률 구조상수를 측정할 수 있는 측정장치를 설계 제작하여 대기 굴절률 구조상수 변동을 측정하였다. 측정장치는 5[mW] He-Ne 레이저, 광 검파기, A/D 컨버터를 내장한 컴퓨터로 구성되어 있으며 측정거리는 100[m]이다. 측정 결과 대기 굴절률 구조상수는 최저 10^{-15} [m⁻²³], 최고 10^{-12} [m⁻²³]의 값을 얻을 수 있었다. 또한 이러한 굴절률 구조상수의 변동이 광 통신에 미치는 영향을 해석하기 위해 ASK 광통신 시스템의 비트 오류 확률을 굴절률 구조상수의 향으로 유도하였다. 그리고 제작된 ASK 광통신 시스템을 이용하여 굴절률 구조상수에 따르는 비트 오류확률 및 연접오류길이를 측정을 하였다.

II. 대기 채널에서의 광 전송

지상 광통신시스템에서 광원으로부터 전송되는 광 신호는 수신단에 도달하기 전에 대기 공간을 통과하게 되며, 이때 대기로부터 여러 영향을 받게 된다. 맑은 날을 고려하면 이는 주로 대기의 교란에 의한 것이다. 그림 1 과 그림 2는 레이저 빔의 전파에 대한 대기 굴절지수의 불규칙한 신틸레이션의 효과를 보여준다. 그림 1에서 빔의 직경보다 큰 에디들은 얇은 렌즈(weak lens)와 같이 작용하여 빔의 직경에는 변화 없이 빔의 진행 방향을 빋겨 가게 한다. 점선이 광이 진행하는 광 축일 때, 에디가 없을 경우, 광은 축 방향으로 진행하여 점선으로 된 원과 같이 진행하게 되나 에디의 렌즈 역할로 진행 방향의 축을 벗어나게 된다. 이와 같은 불규칙한 변화를 빔의 방향(beam wander)이라고 한다. 빔의 직경보다 작은 교란 에디들은 빔의 회절 및 굴절 효과를 일으킨다. 레이저에서 출력되는 광의 파면은 일정하나 작은 교란 에디에 의하여 파면의 왜곡이 발생하고, 그 결과 수신 평면에서는 광의 휘도가 불규칙하게 변화하는 신틸레이션과 수신 광의 단면이 변화하는 breathing 현상이 발생하게 된다. 이것은 그림 2에 나타나 있다. 그리고 그림 1 과 그림 2의 현상은 동시에 발생하게 된다^[3].

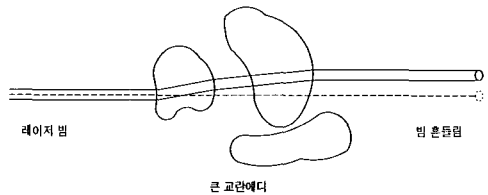


그림 1. 큰 에디(eddy)에 의한 빔의 편향

Fig. 1. Beam wander by large turbulent eddies (scale sizes of turbulent eddies > beam diameter).



그림 2. 작은 에디(eddy)에 의한 신틸레이션

Fig. 2. Beam scintillation by small turbulent eddies (scale sizes of turbulent eddies < beam diameter).

III. 교란대기에서 광 ASK 송수신 시스템 해석

직접 수광 통신 시스템의 블록선도는 그림 3과 같다^[2]. 그림 3에서처럼 강도 변조되어 광원으로 입력된 정보는 교란 대기를 통하여 전송되어 광 검파기에 의해 수신된다. 광 수신기는 수광 면적 전체에 걸쳐 입사된 광을 수신한다. 수광부에 들어온 광은 집광 렌즈와 공간 필터를 통과하게 되고, 모아진 광은 렌즈의 초점에서 포토다이오드에 입사되게 된다.

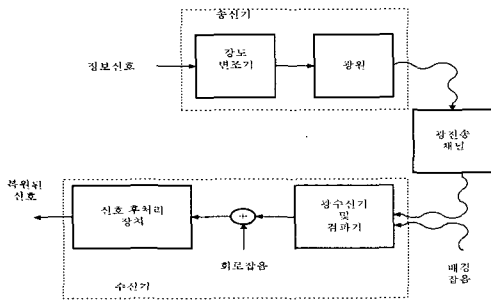


그림 3. 직접 수광 통신시스템
Fig. 3. The direct detection communication system.

이때 대기의 배경 복사광도 수광 렌즈를 통하여 모아 지게 되므로 수신되는 field는 다음과 같이 표현된다^[2].

$$f_r(t, \mathbf{r}) = f_s(t, \mathbf{r}) + f_b(t, \mathbf{r}), \quad \mathbf{r} \in A \quad (1)$$

여기서 f_s 는 광원의 field이며, f_b 는 배경 잡음에 의한 field이다. A 는 광 검파기의 수신단 면적이고 \mathbf{r} 은 광 검파면 한 점의 위치이다. 여기서 광 축에 평행한 광은 렌즈의 초점 위치에 있는 공간 필터를 통과하나 그렇지 않은 광은 공간 필터를 통과하지 못하므로 대부분의 배경에 의한 복사는 공간 필터에 의해 제거된다. 이 때 field는 다음과 같다

$$f_r(t, \mathbf{r}) \approx f_s(t, \mathbf{r}), \quad \mathbf{r} \in A \quad (2)$$

광 검파기는 기본적으로 전력 검파 소자로 입사된 광의 순시 field에 응답한다. 수신기가 전송된 신호를 복원하기 위해서는 전달된 정보가 field의 강도 변화와 연관되어 있어야 한다. 이렇게 되기 위해서 정보의 파형이 전달되는 field의 강도로 변조가 되어야 한다.

수신기의 개구 면적이 A 일 때 수신된 광 신호의 평균 전력은 다음과 같다.

$$\overline{P_r} = \overline{I} \cdot A \exp(-\alpha_a Z) \quad (3)$$

여기서 α_a 는 흡수 계수이다^[5].

그러므로 자유 공간에서의 평균 전력($\overline{I} \cdot A$)은 채널에 의한 감쇠에 의해 줄어든다. 하지만 거리 100[m]에서는 가시광선 파장의 대기 원도우를 이용하면 지수항에 의한 감쇠는 무시할 수 있다. 여기서 대기 교란에 의한 전력의 변화의 분산을 구한다. 먼저 전력의 제곱 평균은 다음과 같이 계산된다.

$$\overline{P_r^2} = \overline{\left(\int_A I(t, \mathbf{r}) d\mathbf{r} \right)^2} \quad (4)$$

수신기의 면적이 일정하므로 제곱 평균 전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\overline{P_r^2} = \overline{I^2} \cdot A^2 \quad (5)$$

식 4와 식 5로부터 수신 전력의 분산은 다음과 같다.

$$\text{var}(P_r) = \overline{P_r^2} - (\overline{P_r})^2 \quad (6)$$

여기서 정규화된 분산은 다음과 같이 유도된다.

$$\Delta P_r = \frac{\text{var}(P_r)}{(\overline{P_r})^2} \quad (7)$$

수신 광 전력의 분산 값으로 포락선 검파기의 비트 오류 확률은 다음과 같다.

$$P(E) = \frac{1}{2} \exp\left[-\frac{1}{8} \frac{1}{\Delta P_r}\right] \quad (8)$$

식 8에서 ΔP_r 은 식 7로 정의되는 수신된 광신호 전력의 분산이다. 수신된 광신호 전력의 정규화된 분산은 광 수신기의 면적이 일정할 때 수신 광 강도의 분산과 같다. 즉, $\Delta P_r = \sigma_I^2$ 이다. 수신 광 강도의 분산은 프레넬 대역의 크기가 $l_0 \leq \sqrt{\lambda L}$ 일 때 식 9로 표현된다^[3].

$$\sigma_I^2 = \exp(0.5k^{7/6} L^{11/6} C_n^2) - 1 \quad (9)$$

여기서 k 는 전파상수이며, L 은 광 전파 경로길이, C_n^2 는 굴절률 구조상수이다. 식 8 및 식 9로부터 교란대기에서 ASK로 변조된 광신호를 포락선 검파 방식으로

복구하는 광통신 시스템에 대한 비트 오류 확률을 굴절률 구조상수 항으로는 식 10과 같이 유도된다.

$$P(E) = \frac{1}{2} \exp \left[-\frac{1}{8} \frac{1}{\exp(0.5k^{7/6}L^{11/6}C_n^2) - 1} \right] \quad (10)$$

식 10을 이용해서 광 전송 경로 길이 및 굴절률 구조상수에 따른 이론적인 비트 오류확률은 그림 4와 같다. 그림 4는 굴절률 구조상수의 값이 $10^{-15} \sim 10^{-12} [m^{-2/3}]$ 까지의 값일 때, 광 전송 경로길이 50[m], 75[m], 100[m], 150[m], 200[m], 500[m]에 대한 비트 오류율을 계산하여 그린 것이다. 본 논문에서 대기 굴절률 구조상수 및 전송 오류율을 측정할 광전송 경로길이는 100[m]이므로 이에 대하여 그림 4에서 보면 굴절률 구조상수의 값이 $10^{-15} [m^{-2/3}]$ 이하에서는 비트 오류율이 10^{-9} 이하의 아주 작은 전송 오류율을 보이고 있으며, $10^{-13} \sim 10^{-12} [m^{-2/3}]$ 부근에서는 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ 범위의 비트 오류율을 갖게된다.

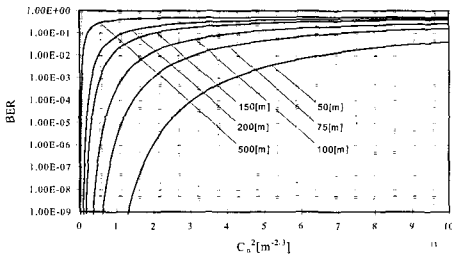


그림 4. 굴절을 구조상수 및 광전송 경로길이에 따른 비트 오류율

Fig. 4. The BER versus C_n^2 and optical transmission path length.

IV. 교란대기에서의 광 ASK 통신 실험 및 측정

4-1. 교란대기에서의 광 ASK 송수신 시스템

설계된 광통신 시스템은 근거리(100[m] ~ 200[m])에서의 컴퓨터 네트워크의 구현을 목표로 하므로 광원으로는 출력 파장이 630[nm], 출력이 5[mW]인 반도체 레이저를 선

정하고 수광 소자로는 PIN 포토다이오드를 선정하였다. 수광 소자로 PIN 포토다이오드를 선정한 것은, 응답속도가 아주 빠르며 암전류 특성이 좋기 때문이다. PIN 포토다이오드의 광 주파수에 대한 응답특성으로는 적외선(infrared) 파장대의 레이저 다이오드를 사용하여야 하나 가시광선이 아니므로 광학계의 정렬에 곤란이 따른다. 이에 따라 레이저 출력 광 강도를 입력전류로 변환할 수 있고, 광학계의 정렬이 용이한 가시광선 파장 대(630[nm])의 출력을 갖는 레이저 다이오드를 ASK 통신용 광원으로 선정하였다. 광통신은 IBM-PC/486DX 호환기종의 컴퓨터를 이용하며, 이는 그림 5와 같다.

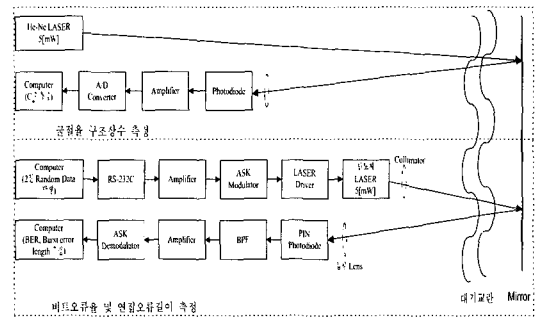


그림 5. 굴절률 구조상수와 비트 오류율 및 연결 오류길이 측정장치 구성

Fig. 5. Configurations for the measurement of the refractive index structure parameter, BER, and burst length.

4-2. 측정 결과

4-2-1. 굴절률 구조상수에 따른 비트 오류율

그림 6에서 측정된 비트 오류율은 그림 4에서 도시한 광 전송거리 100[m]에 대한 이론 값과 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 교란 대기에서 굴절률 구조상수 및 광 전송 경로 길이에 따른 비트 오류율은 식 10으로 유도되었고, 이는 그림 6에 실선으로 나타냈다. 사각형 및 삼각형으로 표시된 값들은 측정된 값들로써 사각형은 통신 속도가 9600bps일 때이며 삼각형은 4800bps일 때의 측정된 비트 오류율이다. 여기서 C_n^2 의 값이 $\approx 10^{-14} [m^{-2/3}]$ 이하의 경우에는 밤의 경우로 측정된 비트 오류율은 0에 가깝다. 이러한 경우는 대기의 교란 강도가 아주 약해서 광통신에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 그러나 낮 시간이 되면서 교란의 강도가 강해지고 굴절률 구조상수는 상승하게 된다. 굴절률 구조상

수가 $\approx 10^{-12}[m^{-2/3}]$ 이 되면 이는 강 교란에 가까워지고 경우는 이론 및 측정값에서 볼 수 있듯이 비트 오류율이 $10^{-2} \sim 10^{-1}$ 의 아주 높은 전송 오류율을 보이고 있어 통신이 어려움을 알 수 있다. 이러한 경우는 낮의 12시에서 15시까지 시간에서 측정된 값이다.

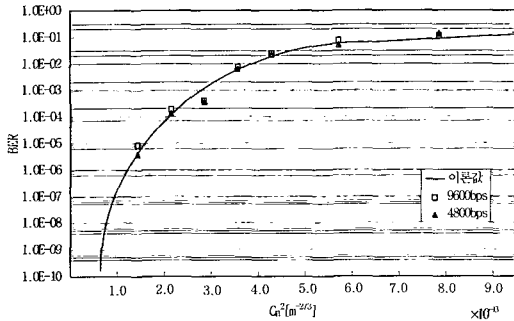


그림 6. 두 데이터 전송율에서 C_n^2 에 따른 비트 오류율

Fig. 6. The BER versus C_n^2 at two data transmission rates.

4-2-2. 굴절을 구조상수에 따른 연접 오류길이

굴절을 구조상수와 통신 속도에 따른 연접 오류길이의 분포는 그림 7-a ~ 그림 7-g와 같다. 연접 오류길이는 비트 오류율을 측정하면서 동시에 측정하였다. 그림 6의 굴절을 구조상수에 따른 비트 오류율에서 볼 수 있듯이 C_n^2 값이 $10^{-15}[m^{-2/3}]$ 이하의 경우에는 비트 오류가 발생하지 않으며, 그러므로 연접 오류도 발생하지 않는다. C_n^2 의 값이 $\approx 10^{-14}[m^{-2/3}]$ 정도에서는 비트 오류율이 $\approx 10^{-8}$ 이므로 연접 오류는 측정할 수 없었다. 측정시 낮 시간의 C_n^2 값은 $10^{-13} \sim 10^{-12}[m^{-2/3}]$ 범위의 값을 갖는다. 이 그림들에서 사각형은 통신 속도 9600bps에서 연접 오류를 나타내며, 삼각형은 통신 속도 4800bps에 대한 연접 오류를 나타낸다. 그림 7-a는 $C_n^2 = 1.25 \cdot 10^{-13}[m^{-2/3}]$ 에 대한 측정된 연접 오류분포, 그림 7-b는 $C_n^2 = 1.69 \cdot 10^{-13}[m^{-2/3}]$ 에 대한 측정된 연접 오류분포, 그림 7-c는 $C_n^2 = 2.05 \cdot 10^{-13}[m^{-2/3}]$ 에 대한 측정된 연접 오류분포, 그림 7-d는 $C_n^2 = 3.23 \cdot 10^{-13}[m^{-2/3}]$ 에 대한 측정된 연접 오류분포, 그림 7-e는 $C_n^2 = 4.38 \cdot 10^{-13}[m^{-2/3}]$ 에 대한 측정된 연접 오류분포, 그림 7-f는 $C_n^2 = 6.57 \cdot 10^{-13}[m^{-2/3}]$ 에 대한 측정된 연접 오류분포이다.

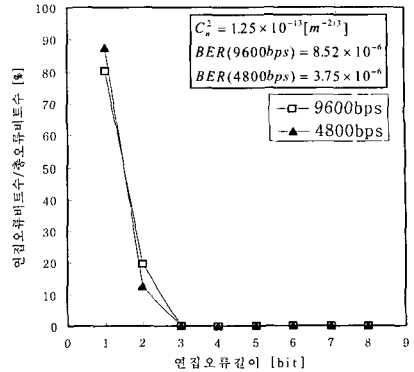


그림 7-a. 측정된 연접 오류분포(1)

Fig. 7-a. Burst error distribution with the measurements(1).

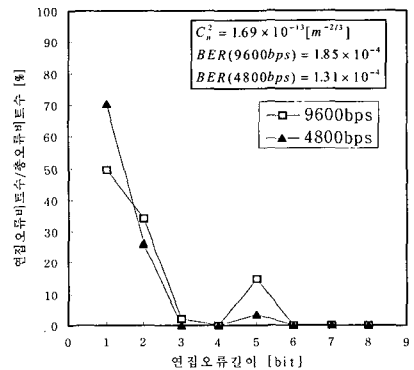


그림 7-b. 측정된 연접 오류분포(2)

Fig. 7-b. Burst error distribution with the measurements(2).

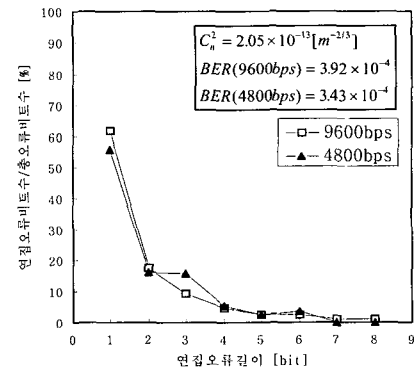


그림 7-c. 측정된 연접 오류분포(3)

Fig. 7-c. Burst error distribution with the measurements(3).

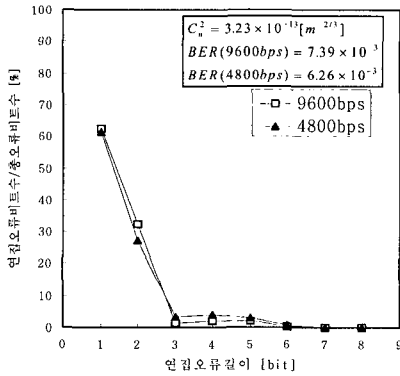


그림 7-d. 측정된 연접 오류분포(4)

Fig. 7-d. Burst error distribution with the measurements(4).

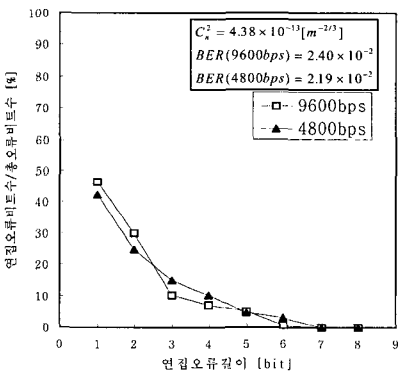


그림 7-e. 측정된 연접 오류분포(5)

Fig. 7-e. Burst error distribution with the measurements(5).

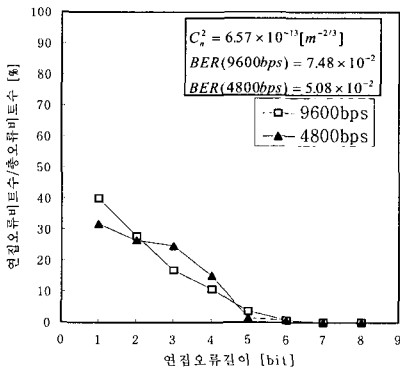


그림 7-f. 측정된 연접 오류분포(6)

Fig. 7-f. Burst error distribution with the measurements(6).

V. 결론

본 논문에서는 대기 굴절을 구조상수를 측정하는 시스템을 설계 제작하여 굴절을 구조상수를 측정하였다. 이 측정을 통하여 대기 굴절을 구조상수는 밤 시간에는 아주 낮아 C_n^2 의 값은 $\approx 10^{-14} [m^{-2/3}]$ 정도의 값을 계절에 관계없이 보이고 있음이 측정되었으며, 낮 시간에는 $\approx 10^{-13} \sim 10^{-12} [m^{-2/3}]$ 정도의 값으로 측정되었다. 일반적으로 맑은 날의 교란의 강도는 저녁 해지는 시간을 기준으로 급격히 감소하여 해가 뜨기 전 까지 안정된 낮은 값을 유지함을 알 수 있었다. 그러나 비가 오는 시간에는 물방울 입자에 의한 광의 산란 영향으로 굴절을 구조상수 값은 $\approx 10^{-12} [m^{-2/3}]$ 정도로 상승함을 관찰할 수 있었다. 측정결과로 맑은 날의 굴절률 구조상수 값은 $\approx 10^{-15} \sim 10^{-12} [m^{-2/3}]$ 범위의 값을 갖는 것으로 나타났다.

이러한 굴절을 구조상수의 변화가 지상 광통신에 미치는 영향을 해석하기 위하여 광 ASK 통신 시스템을 설계 제작하였다. 광통신 시스템에 변조 방식을 부캐리어 ASK을 선택한 이유는 광 LAN을 구성할 수 있게 하고, 주위의 저주파 배경잡음을 필터를 통해 제거하기 위해서이다. 컴퓨터의 비동기 직렬 통신단을 이용한 통신의 최고속도는 9600bps가 되도록 설계하였으며, 통신의 속도는 소프트웨어에 의해 다른 통신 속도를 선택 가능하게 설계하였다. 이러한 광 ASK 통신 시스템을 교란대기에서 운영하여 대기의 교란이 광통신에 미치는 영향을 정량화 하였다.

굴절을 구조상수 측정 장치 및 광 ASK 통신 시스템을 이용한 교란 대기에서의 광통신 측정에서 굴절을 구조상수 값이 $10^{-12} [m^{-2/3}]$ 이상의 강한 교란의 경우 광 ASK 통신 시스템을 이용한 데이터의 전송은 비트 오류율이 $\approx 10^{-1}$ 정도임을 보인다. 이러한 경우 광 ASK 통신장치를 이용한 정보의 전달은 불가능함을 알 수 있었다. 대기교란의 세기가 약한 밤 시간의 굴절률 구조상수 값은 $\approx 10^{-14} [m^{-2/3}]$ 으로 측정되었으며, 이 때의 비트 오류율은 10^{-6} 이하로 전송 데이터에 손상이 크게는 발생하지 않음을 볼 수 있다. 하지만 일출이 시작되면서 태양에 의한 지표면 가열이 시작되어 복사열이 발생하므로 대기교란의 세기는 밤 시간의 낮은 값에서 점점 증가하여 $10^{-13} \sim 10^{-12} [m^{-2/3}]$ 범위의 굴절률 구조상수 값을 갖게 되면서 전송 데이터의 비트 오류가 급격히 증가하기 시작하며, $10^{-13} [m^{-2/3}]$ 정도의 굴절률 구조상수 상태에서는 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ 의 비트 오류율을 보이며, 비트 오류를 보상하

지 않고는 데이터의 전송이 어려운 상태가 된다. 굴절률 구조상수가 증가함에 따라 전송되는 신호의 비트 오류가 증가하는 현상은 이론적으로 유도한 광 ASK 통신시스템에서 비트 오류율 값과 일치하는 것을 보여준다. 또한 굴절률 구조상수 값이 증가함에 따라 연직 오류길어도 증가함을 굴절률 구조상수와 통신속도에 따르는 연직 오류 분포 측정 그래프에서 확인할 수 있다.

이상의 측정 결과, 레이저를 이용한 광 ASK 통신에서 대기의 교란에 의해서 발생하는 연직 오류길이를 알 수 있으므로, 이를 이산적인 오류로 바꾸어주는 적절한 크기의 인터리버와 디인터리버의 구성이 가능하며, 이를 이용한 에러 정정 부호화 방법을 이용하면 효과적인 광 통신 시스템이 구성될 것이다.

광통신 실험을 하기 위하여 제작한 광 검파 회로에서는 대기교란의 효과를 측정하기 위해서 수신되는 신호의 크기를 일정하게 하기 위한 신호 자동 이득조절회로를 설계하지 않았으며, 이로 인해 광신호는 대기의 교란에 의한 신틸레이션이 신호의 복조에 영향을 주었다. 그러므로 검파 회로에 AGC(automatic gain control)기능을 도입하면 광통신 시스템의 안정성은 크게 향상될 것으로 예측되며, 오류 정정 부호기를 이용하게 되면 안정된 광 통신망을 구축할 수 있을 것이다.

본 논문은 맑은 대기 조건에서 대기의 교란이 광통신에 미치는 영향에 대하여 해석하였으며, 연무, 안개, 비 등의 교란 및 산란이 존재하는 대기에 대하여는 다루지 않았다. 지상 광통신 시스템은 연무나 안개 등에 의한 산란에 의해 광통신의 성능이 크게 영향을 받으므로 이를 해석하기 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Khalil Seyrafi and S.A. Hovanessian, *Introduction to Electro-Optical Imaging and tracking Systems*, ArtechHouse, London, 1993.

[2] Robert M. Gagliardi and Sherman Karp, *Optical communications (2nd Edition)*, John Wiley & Sons, New York, 1969.

[3] Michael Bass, etal., *Handbook of Optics volume I*, McGraw-Hill, 1995.

[4] Ting-i Wang, G. R. Ochs, and S. F. Clifford, "A saturation-resistant optical scintillometer to measure Cn^2 ," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 68, No. 3, March 1978.

[5] V. I. Tatarskii, *Wave propagation in a Turbulent Medium*, McGraw-Hill, New York, 1961.

[6] J. W. Strohbehn, *Laser Beam Propagation in the Atmosphere*, Springer-Verlag, New York, 1978.

[7] William K. Pratt, *Laser Communication Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1969.

[8] Anna Consortini, F. Cochetti, J. H. Churnside and R. J. Hill, "Inner-scale effect on irradiance variance measured for weak-to strong atmospheric scintillation," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 10, No. 11, November 1993.

[9] Azar, H. M. Loebenstein, G. Appelbaum, E. Azoulay, U. Halavee, M. Tamir, and M. Tur, "Aperture averaging of the two-wavelength intensity covariance function in atmospheric turbulence," *Applied Optics*, Vol. 24, No. 15, 1 August 1985

[10] Akira Ishimaru, "Theory of optical propagation in the atmosphere," *Optical Engineering*, January/February 1981, Vol. 20, No. 1

[11] G. R. Ochs and Reginald J. Hill, "Optical-scintillation method of measuring turbulence inner scale," *Applied Optics*, Vol. 24, No. 15, August 1985.

[12] S.J. Wang, Y. Baykal, and M. A. Plonus, "Receiver-aperature averaging effects for the intensity fluctuation of a beam wave in the turbulent atmosphere," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 73, No. 6, June 1983

[13] J. H. Churnside and R. G. Frehlich, "Experimental evaluation of lognormally modulated Rician and IK models of optical scintillation in the atmosphere," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 6, No. 11, November 1989.

[14] Stanley M. Flatte, Guang-Yu Wang, and Jan

- Martin, "Irradiance variance of optical waves through atmospheric turbulence by numerical simulation and comparison with experiment," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 10, No. 11, November 1993.
- [15] J. H. Churnside, "Aperture averaging of optical scintillations in the turbulent atmosphere," *Applied Optics*, Vol. 30, No. 15, 20 May 1991.
- [16] R. S. Lawrence and J. W. Strohbehn, "A survey of clear-air propagation effects relevant to optical communication," *Proc. IEEE*, Vol. 58, No. 10, October 1970.
- [17] R. J. Hill, "Comparison of scintillation methods for measuring the inner scale of turbulence," *Applied Optics*, Vol. 27, No. 11, 1 June 1988
- [18] C. E. Coulman, J. Vernin, Y. Coquegniot, and J. L. Caccia, "Outer scale of turbulence appropriate to modeling refractive-index structure profiles," *Applied Optics*, Vol. 27, No. 1, 1 January 1988
- [19] H. T. Yura, "Threshold detection in the presence of atmospheric turbulence," *Applied Optics*, Vol. 34, No. 6, 20 February 1995
- [20] Y. T. Koh and F. Davidson, "Interleaved Concatenated Coding for the Turbulent Atmospheric Direct Detection Optical Communication Channel," *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 37, No. 6, June, 1, 1989

저 자 소 개

洪 權 義 (正會員) 第1卷 第1號 논문 97-01-15 참조.
현재 김포전문대학 전자과 교수.

鄭 鎮 鎬 (正會員) 第1卷 第1號 논문 97-01-06 참조.
현재 호서대학교 전기전자제어공학부 부교수.



金 焜 煥 (學生會員)
1996년 2월 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 현 건국대학교 대학원 전자공학과 재학중. 주관심분야 광파통신, 집적 광학 등.

金 暎 權 (IEEE Korea Council Chairman)
第1卷 第1號 논문 97-01-14 참조.
현재 건국대학교 전기·전자공학부 교수.