

# 광무선 LAN의 비가시전송에 관한 연구

## A study of optical wireless non-LOS link system

金 竣 煥\*, 洪 權 義\*\*, 金 映 權\*

( June-Hwan Kim\*, Kwon-Eui Hong\*\*, and Yung-Kwon Kim\* )

### 요 약

실내환경에서의 광무선 LAN은 송수신기 사이의 시정선이 성립되지 않는 경우 넓은 수광각을 얻기 위해 반구형 렌즈나 반사체를 사용해야 하며, 실내환경에서 반구형 렌즈를 사용했을 때, 교란대기를 통과하는 광신호는 진폭과 위상이 불규칙하게 변화하고, 빔을 편향시킬 수 있다. 이 페이딩은 비트오류율을 증가시켜 결국 광무선통신의 성능을 저하시키게 된다.

본 논문에서는 시정선이 성립되지 않는 광무선채널을 고려하여 수신기에 반구형 렌즈를 장착한 경우, 천정각에 따른 신호대잡음비를 고찰하고, 또한 실내온도에 기인한 교란효과가 통신성능에 미치는 영향을 살펴본다.

### Abstarct

Under indoor environment, in case that wireless optical LAN does not obtain the line-of-sight between transmitter and receiver, hemi-spherical lens or reflector must be adopted to get broader beam width. The beam tilt and the fluctuations in amplitude and phase of optical signal through indoor-space occur due to the turbulene. This fading often results in unacceptably large bit error probabilities and thus performance degradation of wireless optical communications.

In this paper, when the spherical filter at the front-end of transmitter and receiver is used for wireless optical channel not satisfying line-of-sight, the signal-to-noise ratio as to zenithal angle and the effect from the turbulence due to indoor temperature are investigated.

### I. 서론

고속·대용량의 정보전송을 요구하는 정보사회로 접어들어 따라 넓은 대역을 보유한 광파영역의 통신

이 큰 비중을 차지하게 되었다. 광섬유를 이용한 유선 망은 설치 및 유지, 보수에 막대한 자본과 시간이 소요되는 것에 비해 광무선통신은 설치 및 유지, 보수가 간편하고 저렴하여 광무선통신망의 가입자선로나 근거리통신망의 구축에 적합하다.

특히, 유선 LAN의 선로 유지보수, 중설, 단말장비 이전 등의 어려움을 해소하기 위하여 무선 LAN에 대한 필요성이 증대되고 있다. 무선 LAN은 주파수 대역확산(Spread Spectrum), 협대역, 그리고 적외선을 기반으로 한 전송기술을 사용하는 추세이다. 대역확산

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

\*\* 金浦大學 電子科  
(Dept. of Elec. Eng., Kim-po College)

※ 이 논문은 1997년도 건국대학교 교내 학술진흥 연구비에 의해서 연구되었음.

接受日: 1998년9월10日, 修正完了日: 1998년11월27日

과 비인가 협대역 무선 LAN은 ISM밴드를 사용하며 적외선 LAN은 가시광선 바로 아래의 주파수 대역을 사용한다. 이 중에서 적외선 전송을 기반으로 한 무선 LAN 은 주파수 사용허가가 필요없고 전자파간섭에 대한 면역성이 강한 장점을 바탕으로 지난 몇 년동안 괄목할 만한 성장을 하였다. 적외선 LAN의 가장 큰 단점인 불투과성으로 인한 전파범위의 제한은 그림 1에 보인 것과 같이 확산 및 반사신호를 사용하여 어느 정도 해결할 수 있게 되었다. 광무선 LAN의 전송 채널은 실내환경(Indoor environment)이므로 입자에 기인하는 산란효과 보다는 전열기나 라디에이터로 인한 실내온도에 의해 좌우되는 교란효과에 의해 제한된다. 따라서 본 연구에서는 적외선을 이용한 광무선 LAN에서 비가시(Non-line-of-sight) 간접링크(Non-direct)의 전송각도에 따라서 교란효과를 고려한 채널특성을 해석한다.

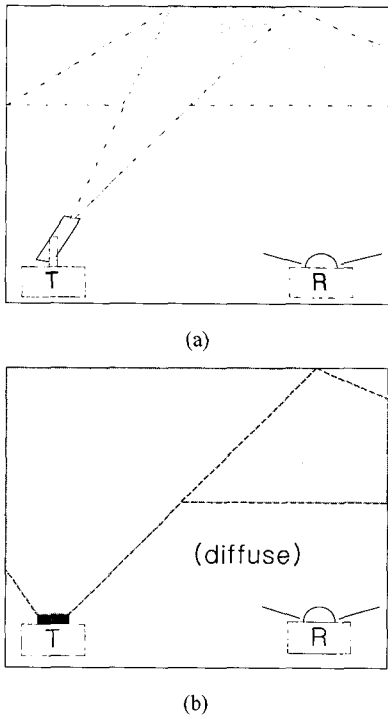


그림 1. 비가시 (a)직접 및 (b)간접 무선 광링크

Fig. 1. (a)direct and (b)non-direct wireless optical links with non-LOS.

## II. 대기 전파

광신호가 공기중에서 겪는 현상은 흡수, 교란, 산란으로 나눌 수 있으며, 광무선 LAN의 신호전송은 실내환경에서 이루어지므로 대기의 기상에 의해 영향을 받는 대기산란은 고려하지 않는다.

### 2.1 대기흡수

대기흡수는 수증기와 이산화탄소, 오존 등과 같은 대기의 구성분자에 의해 대기를 전파하는 광신호의 에너지가 흡수되는 현상이다. 대기흡수에 의한 에너지 손실정도는 광원의 파장에 따라 다르게 나타나며, 광원의 파장을 적절하게 선택함으로써 흡수에 의한 영향을 줄일 수 있다[1],[2],[3],[4].

### 2.2 대기교란

대기의 작은 온도변화로 인하여 대기의 굴절률이 연속적으로 변하게 되며 이 상태를 교란이라고 한다. 광신호에 영향을 미치는 교란대기 효과는 광신호의 직경과 교란매질의 상대적 크기에 의존한다. 광신호의 전파에 대한 비균질 교란매질의 영향을 두가지 경우로 나누어 볼 수 있다. 빔의 직경보다 큰 교란매질은 빔을 편향시키는 렌즈와 같은 역할을 하며, 빔의 직경보다 작은 교란매질은 빔의 크기와 강도를 변화시키는 회절과 굴절효과를 발생시킨다[2].

광신호 전파에 대한 교란의 영향을 기술하는 중요한 인자는 굴절률 구조상수  $C_n^2 [m^{-2/3}]$ , 이며 H-V 모델에 의해 다음의 식으로 주어진다[4].

$$C_n^2 = 0.00594 \left(\frac{W}{27}\right)^2 (h \times 10^{-5})^{10} \exp\left(-\frac{h}{1000}\right) + 2.7 \times 10^{-16} \exp\left(-\frac{h}{1500}\right) + A \exp\left(-\frac{h}{100}\right) \quad (1)$$

여기서  $W = 21$ ,  $h$ 는 고도,  $A = 1.7 \times 10^{-14}$ 이다.

광신호가 교란대기를 통과하면 진폭의 변화와 위상의 왜곡이 발생하며, 바닥 부근을 전파하는 광신호에 대한 광강도변화와 위상변화의 분산은 다음의 식과 같다[4][5].

$$\sigma_j^2 = \begin{cases} \exp(0.5k^{7/6}L^{11/6}C_n^2) - 1, & l_0 \leq \sqrt{\lambda L} \\ \exp(1.28L^3 l_0^{-7/3} C_n^2) - 1, & l_0 > \sqrt{\lambda L} \end{cases} \quad (2)$$

$$\sigma_\phi^2(\rho) = \begin{cases} 1.46 \left( \frac{2\pi}{\lambda_c} \right)^2 \rho^{5/3} \int_0^L C_n^2(r) dz, & l_0 < \rho < (\lambda_c L)^{1/2} \\ 2.91 \left( \frac{2\pi}{\lambda_c} \right)^2 \rho^{5/3} \int_0^L C_n^2(r) dz, & L_0 > \rho > (\lambda_c L)^{1/2} \end{cases} \quad (3)$$

여기서  $k(=2\pi/\lambda)$ 는 전파상수,  $l_0$ 는 교란매질의 최소 크기,  $L_0$ 은 교란매질의 최대 크기,  $L$ 은 광신호의 전파거리,  $\rho$ 는 위상면에서 두 지점간의 거리이다. 일반적으로  $l_0$ 는 실내의 바닥에서 1[mm]정도이다.

### III. 광무선 LAN의 모델링 및 모의실험

광무선 LAN의 송신기로부터 출발한  $P=1[W]$ 의 강도와 1.55[ $\mu m$ ]의 파장을 가지는 광신호는 메모리 없는 전달함수(Memoryless transfer function)  $H[cm^{-2}]$ 로 정의되는 무선채널을 통과하여, 광수신소자(Photodetector)에 이르러 신호방사도(Signal irradiance)  $HP$ 를 갖게된다. 이 때 광수신소자의 응답도는 다음의 식으로 표현된다.

$$\gamma = \frac{\eta q}{h\nu} \quad (4)$$

여기서,  $\eta$ 는 광검출기의 양자화 효율이며, APD(Avalanche photo-diode)를 사용했을 경우, 약 0.9의 값을 갖으며,  $q$ 는 전자의 전하량이고,  $h$ 는 플랑크 상수,  $\nu$ 는 광 주파수이다. 면적  $A=9[cm^2]$ 를 갖는 광수신소자의 각도에 따른 수광능력을 향상시키기 위해 굴절률  $n=2.3$ 을 갖고, 전송도(Transmissivity)가  $T_0=0.82$ 인 반구형 필터(Hemispherical filter)를 적용하면, 수광유효면적(Effective area)  $A_{eff}$ 은 다음과 같다.

$$A_{eff} = n^2 T_0 A \cos \phi \quad (5)$$

위의 식으로부터 광수신소자에 검출된 광전류는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_r = \gamma H P A_{eff} \quad (6)$$

배경잡음은 백색광이고, 등방성이라 가정하면, 필터 대역폭에 대한 배경잡음  $p_{bg}$ 는 파장에 대해서, 수신기의 위치나 방향에 대해서 독립적이다.

$$P_{bg} = q \gamma p_{bg} \Delta \lambda A_{bg} B \quad (7)$$

여기서,  $\Delta \lambda$ 는 필터의 대역폭으로 10[ $nm$ ]로 설정하였으며,  $B$ 는 전송속도(Bit rate)로 100[ $Mbps$ ]를 고려한다.  $A_{bg}$ 는 배경잡음에 대한 유효면적으로 등방성을 갖지않는  $A_{eff}$ 와는 다른 분포를 보인다[6].

$$A_{bg} = n^2 T_0 A \quad (8)$$

한편, 옥내환경에서의 온도변화에 기인하는 비균질 교란효과에 의한 잡음전력은 식(9)로 표현된다. 이 교란효과는 창문을 통하여 전달되는 태양복사열이나 전열기나 난로, 라디에이터의 복사열에 의해서 적외선 빔이 송,수신기 사이의 시정선(Line-of-sight)을 벗어나 편향(Beam tilt)되거나, 빔의 횡단면 상에서 간섭을 일으켜 공간 전력밀도를 변화시키는 신틸레이션(Scintillation)효과, 빔퍼짐(Beam spreading)효과 등으로 광무선통신의 성능에 영향을 준다[7].

$$P_{tur} = \gamma var(P_r) \quad (9)$$

교란효과에 의한 잡음전력은 식(2)에 의해서 광신호의 진폭과 위상의 변화에 대한 분산으로 나타낼 수 있으며, 이는 굴절률 구조상수  $C_n^2$ 의 함수이다[8].

$$\Delta P_r = \frac{var(P_r)}{P_r^2} = \sigma_I^2 \quad (10)$$

송신기에 반구형 필터를 사용했을 경우의 천정각(Zenithal angle)  $\phi$ 에 따른 송신기의 방사패턴(Radiation pattern)은 식 (12)와 그림 2로 표현된다.

$$H(\phi) = \frac{R(\phi) \cos^2 \phi}{h^2} \quad (12)$$

여기서,  $R(\phi)$ 는 광원의 방사패턴이며,  $h=4[m]$ 는 천장과 바닥 사이의 거리이다.

$$R(\phi) = \left| \frac{2k_0 W V_0 \sin\left(\frac{k_0 l}{2} \cos \phi\right) \cos\left(\frac{k_0 L}{2} \sin \phi\right)}{\pi \frac{k_0 l}{2} \cos \phi} \right| \quad (13)$$

여기서,  $W, L, l$ 는 각각 광원의 폭, 길이, 두께이며,  $V_0$ 는 광원의 두께 방향의 전계이다[9].

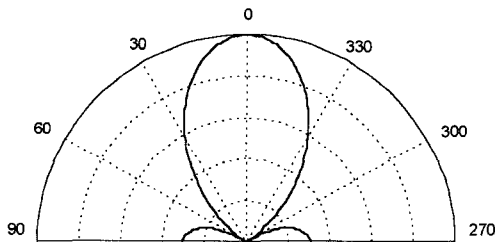


그림 2. 송신기의 방사패턴  
Fig. 2. Radiation pattern of transmitter.

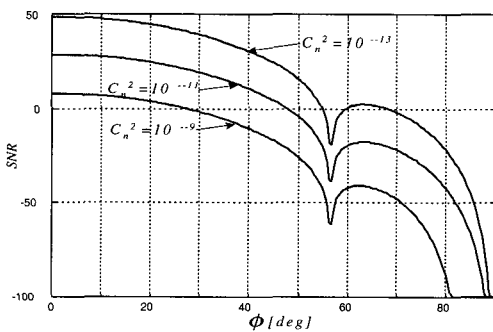


그림 3. 천정각에 대한 신호대잡음비  
Fig. 3. SNR vs. zenithal angle.

결과적으로, 배경잡음과 교란효과에 의한 잡음으로 제한된 광무선LAN의 신호대잡음비는 천정각의 함수이며, (14)식으로 나타낼 수 있다.

$$SNR(\phi) = \frac{(\gamma H(\phi) P A_{eff})^2}{q \gamma p_{bg} \Delta \lambda A_{bg} B + \gamma^2 \sigma_i^2 (H(\phi) P A_{eff})^2} \quad (14)$$

천장에 반사경이 놓여있다고 가정하고 천정각과 굴절률 구조상수의 변화에 따라 신호대잡음비를 계산한 결과, 그림 3에서 보인 것과 같이 천정각이 커짐에 따라 신호대잡음비는 큰 폭으로 저하되었으며, 실내온도에 기인하는 굴절률 구조상수도 신호대잡음비를 저하시키는 요인으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 천정각에 의한 신호대잡음비는 주로 광원의 방사패턴에 의해 좌우되며, 본 논문에서 고려된 광원의 반치빔폭(Half-power beam width)인  $34^\circ$ 보다 큰 각도에서 신호대잡음비는 급격히 저하되며, 또한 방사패턴의 주빔(Main lobe)과 부빔(Side lobe) 사이의 영점(Null)로 인하여  $56^\circ$ 의 각도에서 신호대잡음비 곡선이 깊어 파이는 모양으로 나타난다. 교란효과의 정도를 나타내는 굴절률 구조상수는  $10^{-9}, 10^{-11}, 10^{-13}$ 의 세가지의 약교란 상태를 고려하였으며, 이들은 각각 최대  $20dB$ 까지의 차이를 보이며,  $10^7$  이상의 강교란 상태에서는 신호대잡음비가  $-150dB$  이하로 매우 작은 값을 갖는다.

#### IV. 결론

본 논문은 적외선 반도체레이저를 이용하여 광무선 LAN시스템을 구축할 경우를 가정하고, 비가시영역을 줄이기 위해 송신기의 광원에 반구형 렌즈를 적용했다. 반구형 렌즈를 사용한 실내환경은 굴절률 구조상수를 지수로 하는 교란효과에 의한 잡음전력과 배경잡음전력에 의해서 제한되는 통신채널로 간주할 수 있다. 따라서 위와 같은 통신채널에서 반사체가 천장에 위치하고 송,수신기가 바닥에 위치할 때, 천정각에 따른 신호대잡음비를 고찰하였다.

그 결과, 굴절률 구조상수가 커짐에 따라 신호대잡음비가 작아지며, 천정각에 대한 신호대잡음비는 광원의 방사패턴에 의해 크게 좌우되는 것을 알 수 있

다. 따라서, 본 논문의 결과치는 특정한 수신기가 요구하는 최소전력을 만족하는 송,수신기 사이의 임계각도를 구할 수 있으며, 실내온도가 적외선 광무선통신 채널에 미치는 영향을 고찰할 수 있었다. 향후, 여러 가지 광원의 방사패턴을 고려하고, 실내의 교란효과를 실측하여 적용한다면, 보다 정확한 결과치를 얻을 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Stephen G. Lambert and William L. Casey, *Laser Communications in Space*, Artech House, 1995.
- [2] Khalil Seyrafi and S. A. Hovanesian, *Introduction to Electro-Optical Imaging and Tracking Systems*, Artech House, 1993.
- [3] Robert M. Gagliardi and Sherman Karp, *Optical Communications, 2nd Ed.*, John Wiley & Sons, 1995.
- [4] Michael Bass et al., *Handbook of Optics, Volume I, 2nd Ed.*, McGraw-Hill, 1995.
- [5] William K. Pratt, *Laser Communication Systems*, John Wiley & Sons, 1969.
- [6] Jonh R. Barry, *Wireless Infrared communications*, Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [7] 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.
- [8] Ting-i Wang, G. R. Ochs, and S. F. Clifford, "A saturation-resistant optical scintillometer to measure  $C_n^2$ ," *J. Opt. Soc. Am.*, Vol. 68, No. 3, March 1978.
- [9] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory*, John Wiley & Sons, 1997.

---

### 저 자 소 개

金 垞 煥 (學生會員)

第 1卷 第 1號 論文 97-01-16 參照.

現在 建國大學校 大學院 電子工學科 博士課程 在學中.

洪權義 (正會員)

第 1卷 第 1號 論文 97-01-05 參照.

現在 金浦大學 電子科 教授.

金 暎 權 (IEEE senior member)

第 1卷 第 1號 論文 97-01-14 參照.

現在 建國大學校 電子工學科 教授.