論文95-32A-3-1

B-ISDN용 광위성통신 다운링크의 앙각에 따른 수신안테나 개선에 관한 연구

(A Study on the Improvement of Receiver Antenna as Elevation Angle on Optical Satellite Communication Downlink for B-ISDN)

李 相 奎 *, 韓 宗 碩 *, 鄭 鎭 豪 *** ,金 暎 權 **

(Sang Gyu YI , Jong Seok Han , Jean Hou Jeong, and Yung Kwon Kim)

요 약

높은 보안성과 광대역폭으로 초고속 전송속도를 얻을 수 있는 광위성통신을 이용한 정지궤도위성과 지구국간 B-ISDN망을 구축시 많은 화상, 음성, 데이터 정보를 전송하기 위해서 반송자로써 레이저를 이용한다. 본 논문에서는 맑은 날씨조건하에서의 정지궤도위성과 지구국사이의 B-ISDN용 광위성통신 다운링크에서 지구국 수신안테나의 수신소자 배열 수를 부호이득이 존재하지 않는 경우와 존재하는 경우로 나누어 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다. 광원으로는 대기 흡수의 영향을 적게 받으면서 정보의 고속 전송시 발생하는 분산, 첩(Chirp)등을 극소화시킬 수 있는 1.55μm 파장대의 1[W] 반도체 레이저를 가정하였고, 정보 전송속도는 B-ISDN망에서 요구되는 10 Gbps, 변조 방식은 2진 FSK를 이용하였다. 이때 앙각에 따른 수신 전력, SNR, BER등을 분석하였고, BER가 10-7이하가 되기 위한 수신소자 배열 수를 앙각에 따라 살펴보았다. 또한 채널 부호화를 사용했을 경우 부호화에 의해 수신소자 배열수의 개선을 살펴보았다. 수신소자 배열갯수(N)는 앙각이 38° ~ 90° 인 지역에서는 1개, 33° ~ 37° 인 지역에서는 2개, 30° ~ 32° 인 지역에서는 3개, 그 밖에 앙각이 1° 감소할 때마다 수신소자 배열의 수가 1개씩 증가하여 25° 인 지역에서는 8개의 수신소자 배열로 수신안테나를 설계하였다. 또한 부호화 이득이 있는 경우, 앙각이 25° 지역에서는 수신소자갯수를 5개정도 줄일 수 있어 부호이득으로 수신안테나 크기의 감소 및 수신소자의 배열 갯수를 줄일 수 있는 잇점이 있음을 알 수 있었다.

Abstract

In the B-ISDN using satellite between geo-satellites and earth stations, the laser having high security and broad band width has to be used as a carrier for transmitting massive information of visual, vocal, and high rate data. In this paper, by computer simulation we analyzed the number of optical detector array of optical satellite communication downlink in case of using channel coding and no channel coding for BISDN between geo-satelites and earth stations under clear weather condition. It was supposed that 1 watt semiconductor laser was used and as modulation method, the binary FSK was used. The data rate of 10Gbps was used for B-ISDN. Also, hardly affected by atmospheric absorption 1.55μm wave-length was used to reduce influence of dispersion and chirp generated at a high speed transmission. We analyzed the received power, SNR and BER. The number of optical detector array was determined to satisfy for the BER less than 10^{-7}. Also, we ananlyzed the possibility of reducing the number of optical detector array in case of using channel coding. The number of optical detector array is one in the region where the elevation angle is between 38° and 90° and two where the elevation angle is between 33° and 37° and three where the elevation angle is between 30° and 32° and increases per one as the elevation angle decreases per 1° . So in the region where the elevation angle is 25° , the number of optical detector arrays is eight. In case of using channel coding, the number of optical detector arrays decreases to five in the region where the elevation angle is 25° . Therefore, we remark the advantage of the channelcoding to decrease the size of received antenna and the number of optical detector arrays.

*學生會員, ** 正會員, 建國大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kon-Kuk Univ.)
*** 正會員, 湖西大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Hose Univ.)

接受日字 : 1994年 8月 17日

Ⅰ. 서 론

오늘날 세계의 무선정보통신 산업은 그 어느 때보다 급속한 변화와 발전을 보이고 있다. 이러한 동향은 시간과 장소에 구애됨 없이 어느 누구와도 정보를 교류할 수 있는 무선시대로의 전환을 맞고 있기 때문이다. 최근의 경향을 보아도 유선정보통신보다 무선정보통신 신장률이 월등히 높다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 무선정보통신에 관심이 고조되는 가운데 광통신 분야에서도 무선 광통신기술이 새로운 무선통신 분야로써 연구및 실용화가 활발히 진행되고 있다. 무선광통신은 적외선대의 광을 이용하므로써 높은 보안성과 그 주파수가 월등히 높아서 주파수에 대한 제약이 거의 없고, 또한 대역폭이 넓어서 높은 전송속도를 얻을 수 있다. 이와 같은 조건들을 통하여 위성을 이용한 정지궤도 위성과 지구국간 B-ISDN망을 구축시 대량의 화상, 음성, 데이터 정보를 전송하기 위해서 반송자로써 대역폭이 넓은 레이저를 이용한다. 또한 위성-지구국간의 광통신은 대기의 흡수, 산란, 교란에 의해 장애를 받는다[1]. 이들 중 대기의 흡수에 의한 신호의 감쇄는 광원의 파장을 잘 선택함으로써 보상할 수 있다[2]. 맑은 날씨하에서 광위성 통신은 교란에 의해서 지배되고, 흐린 날씨하에서는 산란에 의해 지배된다[3]. 1990년 CHIEN-CHUNG CHEN의 연구 논문에 따르면 지상 광통신에서 교란대기에의한 광신호의 위상, 진폭의 섭동현상은 각 수신소자의 직경이 교란대기에의한 위상가간섭길이가 되도록 설계된 비가간섭적으로 조합된 광헤테로다인 수신기를 사용하면 보상될 수 있다[4]. 또한 대기효과는 업링크와 다운링크에 대해 다르게 나타난다. 따라서 대기효과에 의해 영향을 받는 광 정보 신호는 기상조건에 따라 교란과 산란, 업링크와 다운링크를 독립적으로 분석해야 한다[5].

본 논문에서는 맑은 날씨 상태 또는 교란 대기상태에서의 정지궤도 위성과 지구국사이의 B-ISDN용 광위성통신 다운링크에서 지구국 수신안테나의 여러 가지 인자들을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석하여 수신소자 배열수를 앙각에 따라 최적으로 설계하였다.

광원으로는 1 [w] 반도체 레이저를 가정하고, 정보전송속도는 B-ISDN망에서 요구되는 10Gbps, 변조방식은 2진 FSK를 취하였다. 또한 광원의 파장을 대기 흡수의 영향을 적게 받으면서 정보의 고속 전송시 발생하는 분산, 첩(Chirp)의 영향을 극소화할 수 있는 파장인 1.55 μm를 사용하였다. 링크방정식에서는 전송 손실, 포인팅 에러, 시스템 마진 등을 고려하였다.

전송손실에서는 대기 전송도를 0.6으로, 포인팅 에러 범폭 θ_p는 0.1 μrad, 레이저 빔폭 θ_B는 6.58 μrad. 시스템 마진은 3dB로 설정하였다. 위성의 송신안테나의 직경은 0.3m로, 송·수신 안테나의 효율은 전형적인 값인 0.75로 가정하였다.

BER가 10^{-7}이 되기 위한 수신소자 조합개수를, 채널 부호화를 사용했을 경우와 사용하지 않았을 경우로 나누어 앙각에 따른 수신소자 조합 개수를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 비교·분석하였으며, 본 논문의 광위성통신 다운 링크 수신 안테나의 조합 설계 값을 대기 교란시의 위성을 이용한 B-ISDN 시스템에서 지구국의 앙각에 따른 광헤타로다인 수신기 설계의 최적화를 위한 설계값으로 활용될 것이다.

Ⅱ. 광위성통신 다운링크 모델링

1. 광위성통신 다운링크에 미치는 대기효과

광위성통신에 영향을 미치는 대기효과는 흡수, 산란, 교란 등이 존재하며 날씨상태에 따라 각기 다른 대기현상이 발생한다. 대기상태가 비교적 흐린 날에는 흡수와 산란이 주된 대기효과이며, 맑은 날씨상태에서는 흡수와 교란이 주된 대기효과이다.

1) 흡 수

광신호가 대기내를 통과할 때 대기 구성 분자에 의해 에너지 흡수가 발생한다. 흡수를 일으키는 주된 대기 구성 분자로는 수증기, CO_2, O_2 등이 있다.

대기흡수에 의한 광신호의 에너지 손실 정도는 그림 〈1〉의 대기의 흡수 스펙트럼에 나타난 것처럼 흡수에 의해 8개의 윈도우가 발생하며, 또한 광원의 파장에 따라서도 대기의 전송도가 다르게 나타나므로 파장을 잘 선택하여 대기의 전송도를 높이면 대기에 의한 흡수효과를 어느 정도 줄일 수 있음을 보여준다[2].

대기에 의한 흡수는 기후조건의 함수로써 기후조건에 따라 변화하지만 흡수가 일어나는 파장은 변화하지 않으며, 파장이 0.8~0.9 μm인 대역에서의 흡수는 주로 수증기에 의해 발생한다. 그림〈1〉은 구름이 없는 전형적인 맑은 날씨상태의 대기 전송도로써, 0.820 ~ 0.838 μm에서는 강한 흡수가 일어나지만 0.850 μm 근처 파장대와 1.55 μm근처 파장대에서는 흡수가 약해져 대기의 전송도가 높아짐을 알 수 있다.

2) 교 란

교란은 맑은 대기상태에서 1~2 ℃정도의 작은 온도변화에 의하여 공기의 굴절률이 연속적으로 불규칙하게 변화되는 상태로서 주로 태양에 의한 대기가열, 바람과 대류현상에 의한 공기의 와류에 의해 발생하며, 수신되는 광신호의 진폭, 위상, 도착각도 등의 섭동을 일으키고 빔을 퍼뜨린다.

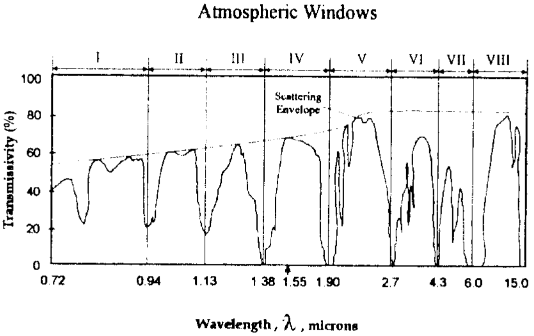


그림 1. 파장에 따른 대기의 전송도

Fig. 1. Atmosphric Transmissivity as to Wavelength.

교란이 주된 대기의 기상조건하에서 대기굴절율은 고도와 수평거리에 의해 변화한다. 교란대기에 관한 통계적 특성은 Kolmogorov에 의해 연구되었으며, 대기굴절율의 2차 모멘트는 아래와 같이 나타낼 수 있다[12].

$$[\ n(h, X) - n(h', X')]^{2}$$
$$= C_n^2\left(\frac{h+h'}{2}\right)[\ |X-X'|^2+|h-h'|^2]^{\frac{1}{3}} \qquad (1)$$

여기서, $C_n^2(h)$: 굴절율 구조함수 h : 대기의 고도 X : 수평 거리 굴절율 구조함수 $C_n^2(h)$은 대기의 고도(h)및 하루중 시간, 계절, 지역적 대기조건에 따라 변하는 함수이다. 다음의 그림〈2〉는 Rome Air Developement Center에서 발표한 자료로써 하루중 고도에 따라 변화하는 굴절율 구조상수를 낮과 밤으로 구분해서 얻은 평균값이다.

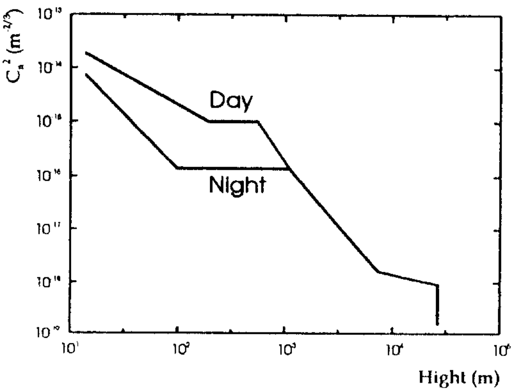


그림 2. 굴절율 구조함수

Fig. 2. Refractive-index Structure Function.

2. 교란대기하의 광위성통신 다운링크 방정식 모델링

본 논문의 광위성통신시스템은 지구국 수신단에서 광헤테로다인 수신기를 이용하여 광신호를 수신하는 다운링크 통신시스템이다. 실제 위성통신 링크는 업링크와 다운링크로 이분될 수 있는데, 여기서는 두 링크의 채널분석에 있어서 여러 상이한 요인들이 존재하므로 서로 독립적으로 분석해야만한다. 그래서 본 논문에서는 두 링크중 위성에서 지구국으로 향하는 다운링크에 대해서만 링크방정식을 모델링 하기로 한다.

정지궤도위성에서 광신호를 송신하면 광신호는 자유공간을 지나 실제 감쇄를 겪는 대기중으로 입사된다. 이때 광신호는 대기중의 산란, 흡수, 교란 등의 영향을 받게 되는데, 이중 맑은 날씨상태하에서 광위성통신을 하는 것으로 가정하였으므로 교란과 흡수가 광신호에 미치는 대기상태의 주를 이룬다. 또한 대기교란효과에 의해 대기구조함수는 위상구조함수로 바뀔 수 있다[2][6].

그러므로 광위성통신 다운링크에서 위상구조함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

$$D[\ \Phi(X_1 - X_2')] = 6.88 \times \left(\frac{|X_1 - X_2'|}{r_i}\right)^{\frac{5}{3}} \qquad (2)$$

여기서, r_i : 대기 교란에 의해 유도된 앙각에 따른 횡방향의 가간섭 길이

$$r_i = \left[\ 0.423(\sec^2(90^\circ - i))\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \int_0^{\infty} C_n^2(h)dh\right]^{\frac{3}{5}}$$

안테나공학[7]에서 기본적인 자유공간 전송손실 L_{Free}는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{Free} = \left[\ \frac{\lambda}{4\pi l}\right]^2 \qquad (3)$$

여기서, λ : 광신호의 파장 l : 정지궤도 위성과 지구국간의 거리

식(3)에서 정지궤도위성과 지구국간의 거리 l은 그림〈3〉과 같이 나타낼 수 있다. 그림〈3〉에서 나타난 거리 l은 다음 식과 같이 천정각을 관찰자가 위성을 향해 보는 앙각으로 나타낼 수 있다.

$$l = l_1 + l_2 = (20 + 35772)\sec(90^\circ - i) \quad [\ Km] \qquad (4)$$

식(4)는 광통신위성과 지구국간의 거리를 자유공간으로 가정하고 계산한 식이다. 그러나 그림〈1〉에 나타난 것처럼 대기권에서는 광신호의 파장에 따라 각기

다른 전송도를 갖기 때문에 본 논문에서 가정한 광신호의 파장인 1.55μm의 대기전송도를 고려하여 식(4)의 대기권의 길이 l_1을 전송도에 알맞는 거리로 환산하여 전체길이를 나타내야한다.

다음은 광위성통신과 지구국간의 전체길이를 대기의 전송도를 고려하여 나타낸 식이다.

$$l = \sqrt{\frac{10}{6}}\, l_1 + l_2 \qquad (5)$$

$$\fallingdotseq \left(\sqrt{\frac{10}{6}} \times 20 + 35772\right)\sec(90^\circ - i) \qquad [\ Km]$$

따라서, 식(5)의 조건을 만족시키기 위해서는 자유공간의 손실 L_{Free}의 식(3)을 다음과 같이 자유 공간과 대기의 전체 전송 손실 L_T로 다시 나타낼 수 있다.

$$L_T = \left[\frac{\lambda}{4\pi\left(\sqrt{\frac{10}{6}}\, l_1 + l_2\right)} \right]^2 \qquad (6)$$

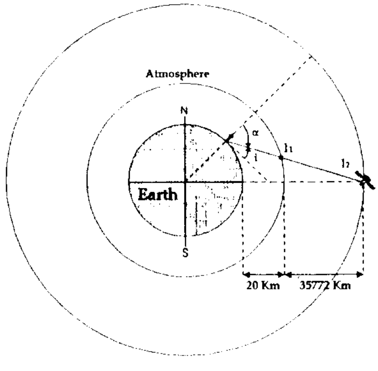


그림 3. 광통신 위성과 지구국간의 거리
Fig. 3. Distance between Earth-Station and Optical Communication Satellite.

또한, 송신 안테나 이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_T = \frac{4\pi A_T \eta_T}{\lambda^2} \qquad (7)$$

여기서, A_T : 송신 안테나의 개구 면적 η_T : 송신 안테나의 효율 광신호가 지구국과 정지궤도위성의 업링크와 다운링크로 송,수신될 때, 신호의 빔이 송/수신기에 정확히 위치가 맞아야 보다 나은 통신성능을 기대할 수 있다. 그러나 대기중의 산란입자에 의해 광신호는 목적방향과 다르게 진행될 수 있다. 이렇게 광신호가 목표하는 송/수신기에 정확히 송/수신이 되는 것을 광신호의 빔이 포인팅을 잘 맞추었다고 한다[8]. 실제 광위성통신에서는 이와 같이 빔포인팅이 정확히 이루어지지 않고 에러를 발생하게 된다. 또한 업링크와 다운링크에 대해서도 빔포인팅 에러는 서로 다르게 나타난다.

그림⟨4⟩는 실제로 광신호의 빔이 정지궤도위성에서 지구국으로 송신될 때의 빔포인팅 에러에 대한 문제를 나타낸 그림이다. 여기서 나타난 것처럼 광신호의 빔이 정지궤도위성에서 지구국으로 송신될 때는 먼저 광신호는 자유공간을 진행하게 되어 자유공간에 비해 상대적으로 짧은 대기권에 진입을 하기 전에 상당한 폭으로 빔이 퍼지게 된다. 이렇게 넓게 퍼진 광신호는 대기효과를 겪더라도 대기 산란입자보다 상대적으로 크기 때문에 빔폭보다 대기 산란 입자는 작아지고 빔은 위상 가간섭길이만큼 파두면이 분할되어 지구국 수신기에 입사된다.

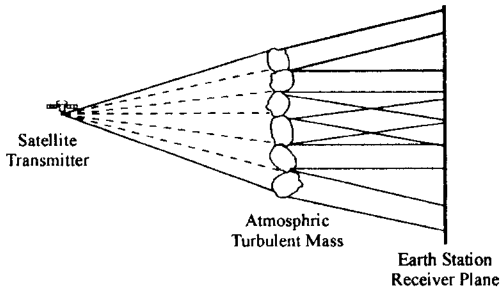


그림 4. 광위성통신 다운링크의 포인팅 에러
Fig. 4. Pointing Error of Optical Satellite Communication Downlink.

파두가 분할되어 입사된 광신호의 빔 포인팅 에러에 의한 손실은 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$L_{PE} = \left[\frac{1}{1+\left(\frac{2\theta_E}{\theta_B}\right)} \right]^2 \qquad (8)$$

여기서, θ_B : 광신호의 빔폭 (6.58 [μrad])

θ_E : 광신호의 포인팅 에러 빔폭 (0.1 [μrad])

광신호가 지구국 수신안테나에 전송되었을 때 수신안테나 이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_R = \frac{4\pi A_R \eta_R}{\lambda^2} \qquad (9)$$

여기서, A_R : 수신 안테나의 개구면적 η_R : 수신 안테나의 효율

마지막으로 광위성통신 다운링크의 방정식을 모델링하면서 고려한 인자는 시스템마진 M이다. 시스템마진

은 자유공간의 전송손실, 빔포인팅 에러에 의한 손실뿐만 아니라 그 밖의 광위성통신 시스템의 구조적 손실, 위성에 의한 자체손실, 지구국 통신시스템의 손실을 고려한 값으로 본 논문에서는 3dB로 가정하기로 한다.

따라서, 광위성통신 다운링크에서 광신호를 수신하여 얻은 전체 수신전력 P_R은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_R = P_T \cdot G_T \cdot L_{Free} \cdot L_{PE} \cdot G_R \cdot M \tag{10}$$

여기서, P_T : 송신 전력

3. 앙각에 따른 광위성통신 시스템의 성능 분석

광위성통신 시스템의 성능은 대기효과에 의해 발생하는 지구국 수신기의 SNR의 불규칙한 변화를 평균으로 취한 값으로 결정된다. 대기효과 중 교란에 의해 발생하는 광신호의 위상, 진폭의 섭동현상은 각 수신기의 직경이 교란에 의해 분할된 위상가간섭길이가 되도록 설계된 광헤테로다인 수신기를 이용하면 보상되며 그 구조는 그림〈5〉와 같다[4].

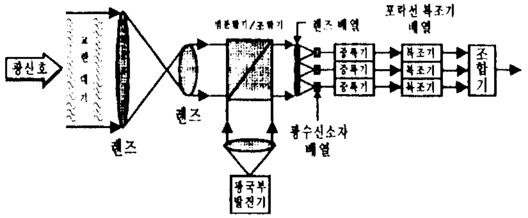


그림 5. 분할된 구경을 갖는 비가간섭적으로 조합된 광헤테로다인 수신기

Fig. 5. Noncoherently combined receiver with segmented aperture.

광위성통신 시스템의 성능을 포락선 복조기의 평균 SNR $\bar{\beta}$로 표시하며 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$\bar{\beta} = 0.445 \cdot \frac{\eta P_R T_S}{h\nu} \tag{11}$$

여기서, η : 광검출기의 양자화 효율 P_R : 수신된 신호의 파워

T_S : 신호의 전송주기 h :Plank 상수

ν : 광원의 주파수 $\left(\frac{c}{\lambda}\right)$

또한, 광위성통신 다운링크 시스템 수신기의 SNR은 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$\bar{\beta} \gg 1$ 일때

$$\rho_c \approx N \cdot \frac{\left[\sqrt{(1+\bar{\beta})}\left(1-\frac{(1+2\bar{\beta})}{8(1+\bar{\beta})^2}\right)-\frac{\sqrt{\pi}}{2}\right]^2}{1-\frac{\pi}{4}+\frac{(1+2\bar{\beta})}{4(1+\bar{\beta})}} \tag{12}$$

따라서, 광신호를 2-FSK 변조하고 수신기의 조합수가 N개일 때 광헤테로다인 수신기의 신호 대 잡음비에 따른 비트에러율은 다음과 같다[10].

$$Bit\ Error\ Rate = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - erf\left(\sqrt{\frac{\rho_c}{2}}\right)\right) \tag{13}$$

여기서, $erf(x)$: 에러 함수 $erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-y^2} dy$

Ⅲ. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 및 고찰

1. 광위성통신 다운링크 수신안테나의 앙각에 따른 설계값

광위성통신 다운링크 지구국 수신안테나 시스템을 설계하기 위해서는 정지궤도위성에서 송신하는 광신호의 여러 가지 인자들을 분석해야만 한다.

먼저, 송신단의 광신호 출력과 그 신호가 지구의 어떤 지역에서 수신하는가 하는 앙각문제, 또한 광신호가 지구국 수신기에 수신되었을 때의 수신전력등을 살펴보고, 광신호 정보 전송율에 알맞는 비트 오류율을 기존 통신시스템의 비트 오류율에 맞추어 앙각에 따라 최적의 수신기를 설계해야 한다.

본 논문에서는 하루중 고도에 따라 변화하는 굴절율 구조상수를 낮과 밤으로 구분해서 얻은 평균값을 나타낸 그림〈2〉로써 앙각에 따른 광신호의 위상가간섭길이를 구하기로 한다.

여기서, $\int_0^\infty C_n^2(h)dh$가 낮에는 6.657×10^{-13} 의 평균값을 가지며, 밤에는 2.357×10^{-13}의 평균값을 갖는다. 이중 광위성통신 시스템의 설계값을 얻기 위해 굴절률 구조상수의 값을 낮과 밤으로 구분하여 분석하지 않고 그의 임계값인 낮의 평균값만을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

앙각에 따른 광신호의 위상 가간섭 길이를 구하기 위하여 낮의 평균값인 6.657×10^{-13} 을 이용하고, 광신호의 파장으로는 그림〈1〉에 나타난 대기의 전송도도 우수하고 차세대 정보통신망인 B-ISDN망과의 접속을 고려한 1.55μm를 사용한다.

따라서, 낮시간대의 앙각에 따른 광신호의 위상 가간섭 길이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_i = \left[\ 0.423 \cdot \sec^2(90-i) \cdot \left(\frac{2\pi}{1.55 \times 10^{-6}}\right)^2 \cdot 6.657 \times 10^{-13}\right]^{-0.6} \tag{14}$$

여기서, i : 앙각

광위성통신 다운링크에서 지구국에서 광신호를 수신했을 때, 앙각에 따른 수신전력 P_R을 구하기 위해서는 다음과 같은 설계조건을 설정하였다.

표 1. 광위성통신 다운링크의 설계조건
Table 1. Design Condition of Down-Link.

링크 / 설계 조건	다운 링크 (Down Link)
송신 레이저의 전력(PT)	1 [W] 반도체 레이저
광위성통신 송신 안테나 면적	0.07065 [m^2] , 지름 0.3 [m]
포인팅 에러(LPE)	0.941874
지구국 수신 안테나 면적	$\frac{\pi \times (위상가간섭길이)^2}{4}$
시스템 마진(M)	3 [dB]

위의 조건과 식(14)에서 구한 광신호의 위상가간섭 길이를 식(10)에 대입하여 앙각에 따른 수신전력 P_R을 다음과 같이 나타낸다.

$$P_R = 1 \times \frac{(0.07065 \times 0.75) \times 0.941874 \times \left(\frac{\pi \times r_i^2}{4} \times 0.75\right) \times 0.5}{(1.55 \times 10^{-6})^2 \times \left[\left(\sqrt{\frac{10}{6}} \times 20 + 35772\right) \times \sec(90^\circ - i) \times 10^3\right]^2} \quad (15)$$

또한, 지구국 수신안테나에 입사된 광신호는 빔분할기를 거쳐 광신호의 위상가간섭 길이와 동일한 렌즈직경 D를 갖는 광수신소자 배열로 전달되고, 그 뒷단의 증폭기를 지나 포락선 복조기 배열로 전달된다. 이때, 포락선 복조기 배열에서 출력된 각각의 복조기의 평균 SNR $\overline{\beta}$는 식(11)에 의해 나타낼 수 있는데, 여기서 광검출기의 양자화효율 η는 0.9 , 플랑크 상수 h는 6.625×10^{-34} [J/K], 광원의 주파수 ν는 $C/\lambda = 3 \times 10^8 / 1.55 \times 10^{-6} = 1.935484 \times 10^{14}$ [Hz], 전송신호의 주기 T_S는 10^{-10} [sec]로 본 식에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

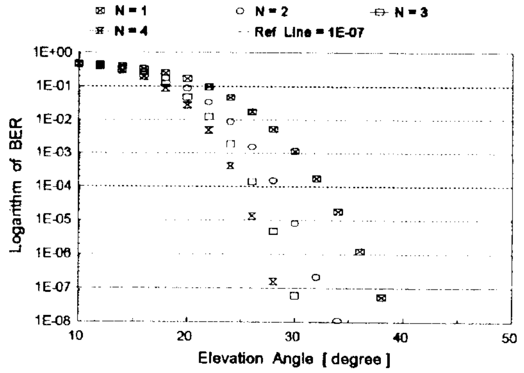
$$\overline{\beta} = \frac{0.445 \times 0.9 \times 1 \times 10^{-10}}{6.625 \times 10^{-34} \times 1.935484 \times 10^{14}} \cdot P_R \quad (16)$$

식(16)은 대기 교란에 대해, 앙각에 따라 불규칙한 단일 수신기의 복조기 SNR의 평균을 나타낸다.

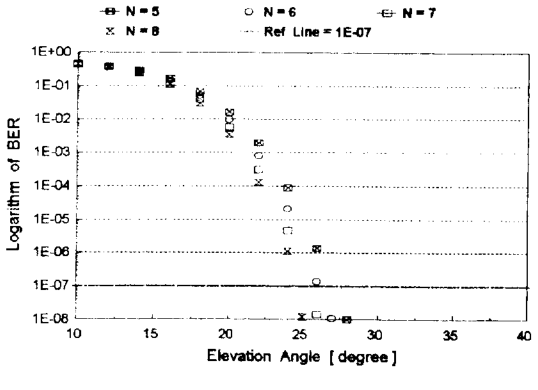
광헤테로다인 수신기에서 포락선 복조기 배열의 각 출력은 원하는 신호를 얻기 위하여 다음 단의 비가간섭적으로 신호를 각각 합하는 조합기로 전달되는데, 이 조합기의 출력 SNR ρ_c는 식(16)에서 각 인자를 대입하여 얻은 복조기의 평균 SNR $\overline{\beta}$를 식(12)에 대입하므로써 얻을 수 있다.

2. 광위성통신 다운링크 수신안테나의 앙각에 따른 최적 설계

앙각에 따른 지구국 수신안테나를 설계하기 위해서는 각 앙각에 알맞는 비트에러율(Bit Error Rate)을 구해야만 한다. 본 논문에서는 일반 디지탈 통신에서 통신에 영향이 없는 것으로 알려진 10^{-7}이하의 비트오류율로 수신안테나를 설계하였다.



(a)



(b)

그림 6. 광수신소자의 배열수에 따른 BER
a: N : 1~4 b: N : 5~8

Fig. 6. BER as Array Number of Optical Detector.
a: N : 1~4 b: N : 5~8(b)

정지궤도위성에서 광신호를 송신하고 이것을 지구국 수신안테나에서 수신하여 최종적으로 조합기에서 조합되어 신호성분이 출력된다. 이 조합기의 신호출력 SNR을 이용하여 식(13)와 같이 BER을 구한다.

조합기 출력 SNR을 이용하여 BER을 나타내면 그림〈6〉과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 각 조합갯수에 대하여 BER 10^{-7}을 만족하는 점을 구하기 위하여 10^{-7}의 기준선을 이용하였다. 조합갯수(N)가 1일 때는 약 38° 이상의 앙각지역을 포함하고 조합갯수(N)가 2일 때는 약 33° 이상, 조합갯수(N)가 3일 때는 약 30° 이상, 조합갯수(N)가 4일 때는 약 29° 이상, 조합갯수(N)가 5일 때는 약 28° 이상 , 조합갯수(N)가 6일 때는 약 27° 이상, 조합갯수(N)가 7일 때는 약 26° 이상, 조합갯수(N)가 8일 때는 약 25° 이상의 앙각 지역을 통신 가능 지역으로 포함한다.

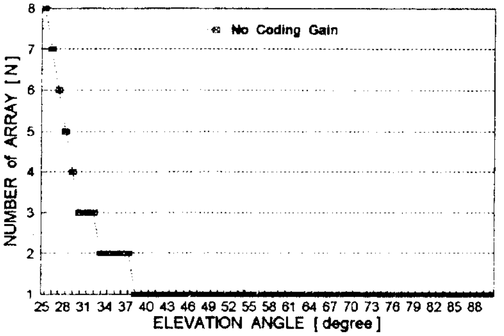


그림 7. 앙각에 따른 광수신소자의 배열수
Fig. 7. Array Number of Optical Detector as Elevation Angle.

그림〈6〉의 광수신소자의 배열수에 따른 비트에러율을 분석하여 앙각에 따른 광수신소자의 배열 수를 그림〈7〉에 나타내었다. 여기서는 앙각이 25° ~ 90° 인 지역을 1 ~ 8개의 광수신소자의 배열로 광통신을 수행하며, 각각 배열의 갯수가 1개일 때는 38° ~ 90° 인 지역까지 약 53° 정도의 앙각범위가 통신가능 지역으로 나타나며, 배열의 갯수가 2개일 때는 33° ~ 37° 까지 약 5° 정도, 배열의 갯수가 3개일 때는 30° ~ 32° 까지 약 3° 정도, 그 이상의 배열 수에 대해서는 배열의 갯수가 1개 증가할 때마다 약 1° 정도의 앙각 증가를 보이며, 통신가능 앙각범위도 약 1° 로 나타난다.

또한 앙각이 25° 이하인 지역에 대해서는 앙각이 1° 정도 감소할 때마다 배열의 갯수가 지수함수적으로 증가하는 것으로 나타났다.

3. 부호화 이득에의한 광위성통신 다운링크 수신 안테나의 개선

부호이득(Coding Gain)은 채널부호를 사용하는 경우에 채널부호를 사용하지 않는 경우보다 송신안테나에서 송신전력을 얼마나 줄일 수 있는가를 나타내는 것으로서 주어진 BER에서 부호이득 G는 다음 수식으로 표현된다.

$$G = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{without\ FEC} - \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{with\ FEC} \quad [\ dB\ ] \tag{17}$$

FEC : Forward error correcting code

여기서, $(E_b/N_0)_{without\ FEC}$ [dB]는 주어진 BER을 얻기 위해 채널부호를 사용하지 않았을 경우에 요구되는 (E_b/N_0)이며, $(E_b/N_0)_{with\ FEC}$ [dB]는 채널부호를 사용하였을 경우에 요구되는 (E_b/N_0)이다. 따라서 채널부호를 사용하였을 경우 G [dB]만큼 송신안테나에서 출력을 줄여서 보낼 수 있게 되며, 수신안테나의 견지에서는 부호이득 G만큼 각 앙각지역에서의 수신소자 배열 수를 줄일 수 있다

다음은 광 채널에서 발생하는 잡음의 영향을 보상하기 위하여 송신단에서 마이크로 웨이브 위성통신에서 사용하는 랜덤에러(Randon Error) 정정율이 뛰어난 (2,1,7)콘벌루션 코드를 사용하고, 수신단에서는 트레이스 백 깊이(trace-back depth)가 48인 8-레벨 연성판정 Viterbi 알로리즘을 사용하였을 경우, BER가 10^{-7}일 때 부호이득을 나타낸 도표이다[10].

표 2. BER가 10^{-7}일 때 부호이득
Table 2. Coding Gain for BER 10^{-7}.

광수신소자의 갯수		N = 1	N = 2	N = 3
조합기 출력 SNR (BER = 10^{-7})	비코드화	14.55	14.55	14.55
	코 드 화	9.50	9.75	9.90
부 호 이 득 G [dB]		5.05	4.80	4.65

표 [2] 에서 나타난 것처럼 BER 10^{-7}에 대한 비코드화된 조합기 출력 SNR은 수신소자 배열수가 증가하여도 동일하며, 코드화된 조합기 출력 SNR은 수신소자 배열수가 증가함따라에 미약하게 증가한다. 그러나 부호이득 G는 수신소자 배열수가 증가함에 따라 감소하는데 1개일 때 5.05 [dB], 2개일 때 4.80 [dB], 3개일 때 4.65 [dB]로 서서히 감소하는 것으로 나타난다.

그림〈8〉는 부호이득이 없는 경우의 앙각에 따른 광수신소자 배열수와 부호이득이 있는 경우의 광수신소자 배열수를 비교하여 나타낸 것이다. 앙각에 따른 수신소자 배열수는 30° ~ 90° 인 지역에서는 1개, 27° ~ 29° 인 지역에서는 2개, 25° ~ 26° 인 지역에

서는 3개를 배열하면 되므로 그림<8>에 나타난 것처럼 부호이득이 없는 경우보다 각 앙각에 대하여 대략 5개에서 1개까지의 광수신소자 배열 수를 줄일 수 있는 것으로 나타난다.

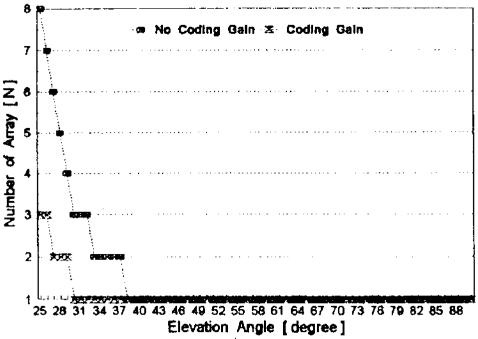


그림 8. 부호이득의 유·무에 따른 광수신소자의 배열수

Fig. 8. Array Number of Optical Detector as Existence and Absence of Coding Gain.

Ⅳ. 결 론

미래의 정보통신 사회가 열리고 있는 현재의 시점에서 기존의 통신 시스템은 거의 용량의 한계 상태를 보이고 있고 이러한 점을 극복하기 위하여 기존의 통신 시스템에 용량을 증가시키기 위한 여러 가지 연구를 진행중이며 실용화한 것도 있다. 그러나 미래의 정보통신은 기존과는 다른 통신 시스템을 필요로할 것이라 사료되며, 그 대안으로 정보전송 대역폭이 넓은 무선광통신의 대두가 필연적이라 하겠다.

본 논문에서는 대기교란상태에서 지상지구국과 정지궤도상의 위성과 무선광통신 시스템을 구축하기 위한 지구국의 수신 안테나를 설계하였다. 현재로선 맑은 대기를 통신채널로 가정하고 안테나를 설계하였지만 앞으로 연구를 더욱 진행시켜 흐린 날씨에서도 무선 광통신이 수행되도록 해야만 한다. 본 광위성통신 다운링크 시스템에서 광원으로는 1 [W] 반도체 레이저를 가정하였고, 2진 FSK 변조방식으로 10 Gbps의 정보전송률로 통신을 할 때 앙각에 따라 광수신소자의 배열의 갯수를 증가시키면서 비트 에러율이 10^{-7}이하가 되도록 광헤테로다인 수신 안테나의 수신소자 배열수를 부호화 이득이 없는 일반적인 경우와 부호화이득이 있는 경우로 나누어 비교, 분석하였다.

동일한 수신소자 배열 수에서 비트에러율은 앙각이 증가할수록 감소하며, 비트에러율이 10^{-7}인 점에서는 수신소자 배열수가 증가할수록 앙각이 감소하였다. 부호화 이득이 없는 일반적인 광위성통신 시스템에서는 앙각이 25° 인 지역으로 한정하여 수신소자 배열의 수를 설계하였는데, 앙각이 38° ~ 90° 인 지역에서는 1개, 33° ~ 37° 인 지역에서는 2개, 30° ~ 32° 인 지역에서는 3개, 그 밖에 앙각이 1° 감소할 때마다 수신소자 배열의 수가 1개씩 증가하여 25° 인 지역에서는 8개의 수신소자 배열수로 수신안테나를 설계하였다. 또한 부호화 이득이 있는 경우 수신소자 배열수가 증가함에 따라 부호 이득은 감소하는데 1개일 때 5.05 [dB], 2개일 때 4.80 [dB], 3개일 때 4.65 [dB]로 나타났다. 이때 앙각에 따른 수신소자 배열수는 30° ~ 90° 인 지역에서는 1개, 27° ~ 29° 인 지역에서는 2개, 25° ~ 26° 인 지역에서는 3개를 배열하면 통신이 가능한 비트에러율을 만족시킨다. 그러므로 앙각이 감소할 수록 부호화 이득에 의하여 수신소자의 배열 수를 더욱 많이 감소시킬 수 있다.

이와 같이 본 논문의 설계 값은 대기 교란 상태의 위성을 이용한 국제간 B-ISDN시스템에서 지구국의 앙각에 따른 광헤테로다인 수신기 최적 설계 데이터로 제안될 것이며, 본 논문 이후의 연구에서는 광위성통신이 어떠한 대기 상태에서도 수행되기 위하여 업링크와 흐린 날씨에 대해서도 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

[1] V. I. Tartarski, "Wave Propagation in a Turbulent Medium", McGraw-Hill, 1961.

[2] K. A. Winick, "Atmospheric Turbulence-Induced Signal Fades on Optical Heterodyne Communication Links", Appl. Opt., vol. 25, pp.1817-1825, June 1986

[3] J. W. Strohbehn, "Laser Beam Propagation in the Atmosphere", Springer-Verlag NewYork Heidelberg Berlin, 1978.

[4] CHIEN-CHUNG CHEN, "Performance Analysis of Noncoherently Combined Large Aperture Optical Heterodyne Receiver", IEEE Trans. comm.,vol. 38, pp.1013-1021, July 1990.

[5] WILLIAM K. PRATT, "LASER COMMUNICATION SYSTEMS", JOHN WILEY & SONS, 1969.

[6] D. L. Fried, "Anisoplanatism in Adaptive Optics", *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. 72, p.

52, Jan. 1982.

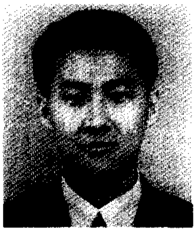
[7] John Gowar, "Optical Communication Systems", Prentice-Hall, 1984.

[8] R. Gagliardi and S. Karp, Optical Communications, New York : Wiley, 1975.

[9] 김영권,한종석,"교란대기하에서 광위성통신링크의 앙각에 따른 광헤테로다인 수신기의 최적설계에 관한 연구", 대한전자공학회지 vol. 30A pp.28-39, 4월. 1993.

[10] 김영권,홍영주, " 2진 FSK 시스템에서 구속장이 7인 (2,1) Viterbi 복호기를 갖는 광헤테로다인 수신기의 성능 분석", 1993년도 추계종합학술대회 논문집, vol 16, number 2 pp.787-791, 11월. 1993년.

저 자 소 개



李 相 奎(學生會員) 1968年 9月 11日 生. 1993年 2月 건국대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1995年 2月 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1994年 12月 ~ (주) 신세기통신 운용부 근무중. 주관심 분야는 위성통신, 이동통신 및 안테나 등임.

鄭 鎭 豪(正會員) 제 30권 4호 참조
현재 호서대학교 전자공학과 부교수

韓 宗 碩(學生會員) 제 30권 4호 참조
현재 건국대학교 전자공학과 박사과정 재학중

金 英 權(正會員) 제 25권 12호 참조
현재 건국대학교 전자공학과 교수