論文95-32A-10-8

B-ISDN용 광위성 통신 업링크의 앙각에 따른 송신안테나 최적설계에 관한 연구

(The optimum design of optical transmitting antenna versus elevation angle on the optical satellite communication up-link for B-ISDN)

韓 宗 碩 *, 李 準 九 **, 鄭 鎭 豪 ***, 金 映 權 ****

(Jong Seok Han, June goo Lee, Jean Hou Jeong, and Yung Kwon Kim)

요 약

본 논문에서는 차세대 통신중 중요한 부분이 될 광위성 통신에서 맑은 날씨의 교란, 흡수에 의한 영향이 정지궤도위성과 지구국간의 광위성통신 업링크(up-link)에 미치는 영향을 고찰하였다. 업링크 통신의 경우 교란대기의 주된 효과인 빔 편향은 포인팅 손실을 발생시켜 광수신 전력을 약화시키며, 이러한 포인팅 손실은 송신안테나의 직경과 직접적인 관계를 갖고 있다. 시뮬레이션 결과, 포인팅 손실과 공간전파 손실은 반비례의 성향을 나타내며 이 상관관계로부터 안테나 직경이 갑자기 증가하는 피크치를 보이는 지역이 발생하며 이 지역에서는 송신안테나의 효율적인 설계가 불가능하다. 이때 위성 광통신 시스템에 부호화 이득을 첨가하면 부호화 이득의 증가에 따라 피크치가 앙각이 낮은 지역으로 이동하면서 피크치의 폭도 작아짐을 알 수 있었다. 또한 부호화 이득과 전송율을 관련시켜 안테나 설계시 전송율이 클수록 큰 부호화 이득이 필요함을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, atmospheric turbulence and absorption under clear weather condition, which affect the optical satellite up-link communication between geo-satellites and earth station, were studied. In case of the up-link communication, the received optical power is weakened by pointing loss caused by beam tilt which is the main effect of turbulent atmosphere. This pointing loss directly has relation to the diameter of optical transmitting antenna. From the inverse proportion of the pointing and spaced loss, it is the regions where the diameter of transmitting antenna increases abruptly and the efficient design of transmitting antenna is impossible. In case of using channel coding, it was shown that the peak value of diameter moved to the lower regions of elevation angle with increasing the coding gain and its width was also decreased. In case of considering both coding gain and transmission rate on the design of transmitting antenna, it was known that more coding gain was necessary as transmission rate was increased.

* 學生會員, **** 正會員, 建國大學校 電子工學科
(Graduate School of Kon-Kuk Univ. Department of Electronic Engineering)
** 學生會員, 那宇 精密(株)
(NOW PRECISION CO., LTD.)
*** 正會員, 湖西大學校 電子工學科
(Ho-Seo Univ. Department of Electronic Engineering)
接受日字:1994年9月16日, 수정완료일:1995年10月9日

I. 서 론

오늘날 무선통신 시스템은 초고주파를 사용하는데 주파수 사용의 면허가 필요하다는 점과 현재 남아 있는 주파수 대역이 넓지 못하다는 커다란 문제를 갖고 있다. 그러나 광통신 시스템은 넓은 대역폭을 가짐으로 해서 고속의 정보전송을 요구하는 통신, 특히 음성뿐 아니라 화상, 고속의 데이타 전송이 요구되는 위성을 이용한 국제간 광대역 ISDN에 적합하다. 본 논문에서는 맑은 날씨에서 발생하는 교란이 광위성 업링크 통신에 미치는 영향을 주로 다루었다. 업링크 통신의 경우 교란대기의 주된 효과인 빔 편향은 포인팅 손실을 발생하여 광수신 전력을 약화시키며, 이러한 포인팅 손실은 송신안테나의 직경과 직접적인 관계를 갖고 있다.

본 논문에서는 광위성 업링크(up-link) 통신시 대기교란에 의한 효과를 보상하기위해 송신안테나의 직경을 설계하였다. 광통신 시스템에서 안테나로서 사용되는 렌즈(telescope)는 크기에 있어서 초고주파 안테나에 비해 훨씬 작으며, 특히 광카세그레인 안테나는 무게, 전력손실, 가격면에서 다른 광안테나에 비해 장점을 갖고 있다. 또한 안테나 효율면에서도 높은 장점을 갖고 있다[1]. 따라서 본 논문에서는 차세대 통신중 중요한 부분이 될 광위성 통신의 업링크에서 맑은 날씨의 교란, 흡수에 의한 영향을 보상하며, 광헤테로다인 수신시 10^{-7} 이하의 비트오류율(BER)을 만족하도록 광카세그레인 송신안테나 직경을 앙각에 따라 설계하였다. 광원으로는 1W의 반도체 레이저를 사용하고 변조방식으로는 2진 FSK 변조방식을 사용했으며, 광헤테로다인 수신시, 위성의 광 카세그레인 수신안테나의 직경을 25cm로 했을때 정보 전송율과 부호화 이득이 광카세그레인 송신안테나 설계에 미치는 영향을 살펴보았으며, 또한 정보 전송율에 따른 최적의 송신안테나 설계에 필요한 부호화 이득을 구하였다.

II. 광카세그레인 안테나를 이용한 광위성통신링크 방정식

링크 성능과 수신단에서 신호여유(signal margin)을 예측하기위해 사용되는 링크방정식은 흔히 대수형태(logarithmic form)를 취하며 다음과 같이 나타낸다[1].

$$P_R(dB) = 10\log(P_T)+10\log(T_T)+10\log(G_T)-10\log(S_L) + 10\log(T_A)+10\log(P_E)+10\log(G_R)+10\log(T_R)+M \quad (1)$$

여기서, G_T는 송신 안테나 이득, P_T는 레이저의 출력 전력 (W), S_L는 공간전파 손실 T_A는 대기 전송도 (<1), G_R는 수신 안테나 이득, P_E는 포인팅 손실 (Pointing loss) (<1)

P_R는 수신 전력(W), T_T는 송신 시스템의 안테나 부주사 효율(<1), M은 이득여유(dB) T_R은 수신 시스템의 안테나 부주사 효율(<1) 이다.

광 카세그레인 안테나로부터 나오는 빔의 원거리 장(far-field)에서 송신안테나 이득은 다음과 같이 나타낸다[1][2].

$$\cdot\, G_T = \frac{4\pi A_T}{\lambda^2} \times g_T(\alpha, \beta, \gamma, X) \quad (2)$$

여기서, $g_T(\alpha, \beta, \gamma, X)$ 는 광카세그레인 송신 안테나의 전송효율 인자 이고, A_T는 송신 안테나 면적, λ는 광원의 파장이다.

이때, 광 카세그레인 송신 안테나의 전송효율 인자는 다음과 같다[1][2].

$$g_T(\alpha, \beta, \gamma, X) = \left\{2a^2\int_{\gamma^2}^{1}\exp(j\beta u)J_0[\,X(u)^{1/2}]\,du\right\} \quad (3)$$

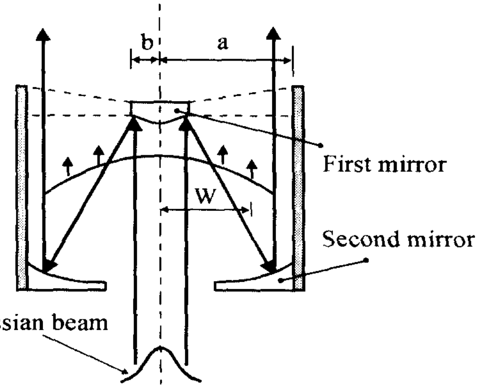

그림 1. 광카세그레인 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of optical cassegrain telescope.

여기서, α(truncation ratio) = a(첫번째 렌즈의 반경)/w(빔폭)

$$\beta = (ka^2/2)[\,(1/r) + (1/R)]$$

$$\gamma\,(\text{abscuration ratio}) = \frac{b(\text{두번째 렌즈의 반경})}{a(\text{첫번째 렌즈의 반경})} \ll 1$$

$X = ka\sin\theta_1$, R = 파두반경

가우시안 에너지 분포를 갖고 입사하는 빔에 대한 축상(on-axis)에서의 송신 안테나 효율인자 g_T는 인자 X를 0으로 놓으면 얻어지며, 원거리 장에서 빔은 가우시안 분포를 취하고 평면파를 형성하기 때문에 β를 0으로 놓으면, g_T는 다음과 같이 나타낸다[2].

$$g_T(\alpha,0,\gamma,0) = \frac{2[\exp(-\alpha^2) - \exp(-\gamma^2\alpha^2)]^2}{\alpha^2} \quad (4)$$

α와 γ와의 관계는 2차섭동이론(Second order pertubation theory)에 의해 주어진 γ의 값에 대한 최적의 α값을 구할수 있으며 다음과 같이 나타낸다[12].

$$\alpha \approx 1.12 - 1.30\gamma^2 + 2.12\gamma^4 \quad (5)$$

광카세그레인 수신안테나 이득 G_R은 다음과 같다[11][13].

$$G_R = \left(\frac{4\pi A_R}{\lambda^2}\right)(1-\gamma^2)\,\eta_R \quad (6)$$

여기서, A_R은 수신 안테나 면적이고 η_R은 수신기의 정합효율이다.

안테나 이론에 따르면, 공간 손실에 해당하는 기본적인 공간 전파 손실 S_L은 다음과 같이 나타낸다[13][15].

$$S_L = \left(\frac{4\pi L}{\lambda}\right)^2 \quad (7)$$

여기서, L은 전송거리이다.

그림 2에서 수신기는 장거리 전송된 빔폭내에 포함되어야 하며, 포인팅 에러(ϕ_e) 발생시 송신기는 포인팅 에러를 보상하기 위해 빔폭을 $\pm\phi_e$로 증가시키기 때문에 수신기는 수신전력의 감소를 갖는다. 이러한 포인팅 에러의 보상을 위한 수신전력의 감소를 포인팅 손실이라 하며 다음식과 같이 나타낸다[6].

$$P_E = \frac{P_r}{P_{rb}} = \left(\frac{\phi_b}{\phi_b + 2\phi_e}\right)^2 = \left(\frac{1}{1 + (2\phi_e/\phi_b)}\right)^2 \quad (8)$$

여기서, P_r은 포인팅 에러 발생시 수신전력이며 P_{rb}는 포인팅 에러가 없을시 수신전력이다.

Ⅲ. 대기효과를 고려한 광 위성 업링크 통신 모델링

1. 광통신에 영향을 미치는 대기효과

그림 3은 흡수와 산란으로 인한 대기의 전송도로서 파장과 밀접한 관계를 가지고 있다. 업링크 통신시 빔은 대기에 의해 흡수와 산란외에 교란(turbulence)의 영향을 받으며 교란대기하에서 광헤테로다인 수신기의 SNR 변화에 대한 앙상블 평균은 다음과 같이 나타낸다[9].

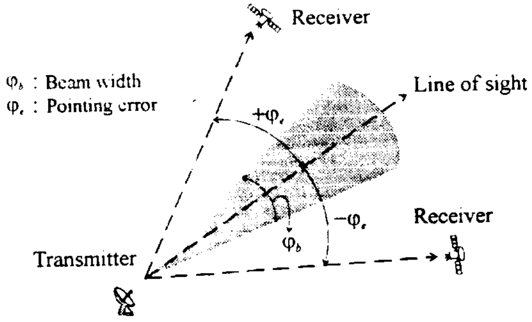

그림 2. 전송 시스템에서 빔폭과 포인팅 에러
Fig. 2. Beamwidths and pointing errors in transmitting systems.

$$\overline{SNR} = \beta_0 A_R \Psi(D/r_0) \quad (9)$$

여기서, $\Psi(D/r_0)$는 교란대기에 의한 공간 가간섭 저하이며 β_0는 단위면적당 신호대 잡음비로서 다음과 같이 표현된다.

$$\beta_0 = \frac{\eta P_s T_s}{h\nu A_R} \quad (10)$$

여기서, η는 광수신 소자의 양자효율, P_s는 송신 전력, T_s는 신호의 전송주기, h는 플랑크 상수, ν는 광원의 주파수이다.

업링크 통신시 교란대기에 의해 위상의 왜곡을 겪은 빔은 장거리 전송후 넓게 퍼지게 되고 수신 개구는 왜곡을 겪은 위상면에 비해 아주 작기 때문에 수신된 빔은 평면파로 간주하여 $\Psi(D/r_0)$를 무시할 수 있다. 따라서 업링크 통신시 광헤테로다인 수신기의 신호대 잡음비(SNR)는 헤테로다인 효율이 1이라고 가정할 때 다음과 같이 나타난다.

$$SNR = \frac{\eta P_s T_s}{h\nu} \quad (11)$$

광위성 업링크 통신과 같이 빔이 먼거리를 전파하기 전에 교란대기를 통과하는 경우, 빔은 빔폭보다 큰 비균질 공기군을 통과하기 때문에 송신기와 수신기 사이의 시정선(line of sight)에서 벗어나 그림 4와 같은

포인팅에러를 갖는다. 이때, 포인팅 에러는 실효치(root mean squre)의 형태로 표시되며, 다음과 같이 나타낸다[7][8].

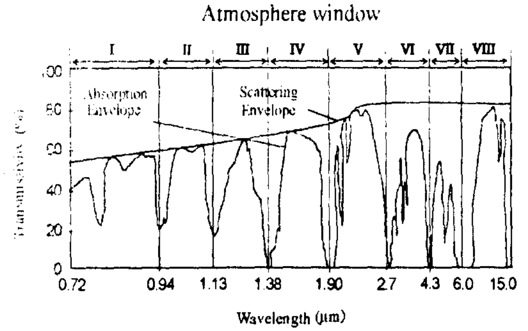

그림 3. 흡수와 산란으로 인한 대기 전송도
Fig. 3. Atmosphere transmissivity by absorption and scattering.

$$\phi_e = \frac{\sigma_\theta}{\sqrt{2}} \tag{12}$$

여기서, σ_θ는 포인팅 에러의 순시치이다.

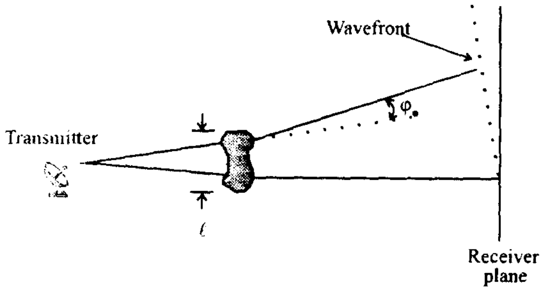

그림 4. 교란대기에 의한 빔의 포인팅에러
Fig. 4. Pointing error of beam due to atmospheric turbulence.

이러한 포인팅 에러를 보상하기위해 빔폭을 증가시켜야만 하며, 이로 인한 수신전력의 감소는 필연적이다. 업링크 통신의 경우, 대기에 의한 포인팅 에러는 전형적으로 ±1 ~ ±15μrad의 값을 갖으며, 극심한 경우 50μrad정도의 값을 갖는다[6].

2. 대기효과를 고려한 업링크 모델링

본 논문에서는 맑은 날씨하에서 광위성통신 링크를 모델링하므로 광신호는 산란보다는 교란의 영향을 크게 받는다.

광위성 업링크 통신에 사용되는 링크방정식은 그림 5와 같이 앙각(i)에 의존하며 (5)식에 의해 다음과 같이 나타난다.

$$P_R = \frac{P_T\, T_T\, G_T(i)\, P_E(i)\, G_R\, T_R\, M}{S_L(i)} \tag{13}$$

여기서 P_R은 수신기 성능의 임계값을 유지하기 위해 필요한 수신전력으로 앙각에 의존하지 않는다. 이러한 값으로 수신전력을 고정시켰을때, 앙각에 따른 $P_E(i)$, $S_L(i)$의 변화를 보상하기 위해 필요한 송신안테나의 직경 $D_T(i)$를 구할 수 있다.

광신호를 2진 FSK로 변조시키고 앙각에 따른 비트 오류확률(BER)을 상수로 고정시키면, 비트당 수신전력 P_R은 다음과 같이 나타난다.

$$P_R = \frac{-2h\nu[\log_e(2P_b)]}{\eta T_s} \tag{14}$$

여기서, P_b는 비트 오류 확률이다.

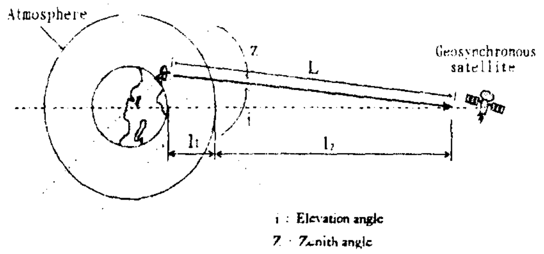

그림 5. 앙각에 따른 광위성 업링크 통신
Fig. 5. Optical satellite up-link communication as elevation angle.

앙각의 변화는 빔이 통과하는 대기채널의 길이를 변화시키며, (13)식에서 대기채널의 길이에 의존하는 항은 $P_E(i)$와 $S_L(i)$가 있다.

업링크 통신시 교란대기에 의한 포인팅에러의 순시치는 앙각에 따른 횡방향 위상 가간섭 길이의 변화에 의존하며 다음과 같이 나타낸다[7].

$$\sigma_\theta(i) = \frac{\lambda}{2r_0(i)} \tag{15}$$

여기서, r_0는 앙각에 따른 대기의 위상 가간섭 길이로 다음과 같이 나타낸다[7].

$$r_0(i) = \left[\, 0.423(\sec^2(90^0-i))\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2\int_0^\infty C_n^2(h)\,dh \,\right]^{-\frac{3}{5}} \tag{16}$$

여기서, $\int_0^\infty C_n^2(h)\,dh = 6.657 \times 10^{-13}$ 이고, C_n^2은 대기의 굴절율 구조상수, h는 고도이다.

이러한 순시 포인팅에러는 확률변수이므로 실효치의

형태를 취하면, (12)식과 (15)식에 의해 다음과 같이 나타낸다.

$$\phi_e(i) = \frac{\lambda}{2\sqrt{2}\, r_0(i)} \tag{17}$$

그러므로 (17)식을 (8)식에 대입하면 앙각에 따른 포인팅 손실 $P_E(i)$을 구할 수 있다[5][7].

$$P_E(i) = \left\{ \frac{1}{1 + [\ 2\phi_e(i) / \phi_b\ ]} \right\}^2 \tag{18}$$

여기서, ϕ_b (빔폭) = $1.27 \times \lambda / D$(송신 안테나의 직경)이다.

그림 3으로 부터 광원의 파장이 1.4 ~ 1.6μm 사이에서 흡수와 산란으로 인한 대기의 전송도는 0.6 이상이다. 따라서 대기의 전송도 0.6을 고려하면 그림 5에서 거리 l_1에서의 공간전파손실은 10/6 × S_L로 증가하며, 이것이 만족되기 위해서는 l_1은 $l_1\sqrt{10/6}$으로 변형되어야 한다[9].

$$S_L(i) = \left[\ \frac{4\pi}{\lambda}\left(\sqrt{\frac{10}{6}}\, l_1 + l_2\right)\sec(90^\circ - i)\ \right]^2 \tag{19}$$

본 논문에서 링크방정식은 앙각에 따른 송신안테나(telescope)의 직경을 구하기위해 사용되었으므로 위의 (13)식은 다음과 같이 나타낸다.

$$G_T(i) P_E(i) = \frac{P_R\, S_L(i)}{P_T\, G_R\, T_T\, T_R\, M} \tag{20}$$

그러므로 광위성 업링크 통신에서, 변조방식을 FSK로 하고 앙각에 따른 BER를 고정시켰을때, 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 유지하기 위한 수신전력에 필요한 송신안테나의 앙각에 따른 직경은 (2)식과 (18)식을 (20)식에 대입하여 구할 수 있다.

$$D(i) = \pm \frac{1.27\,\lambda A^{1/2}}{0.635\,\lambda - 2\phi_e(i) A^{1/2}} \tag{21}$$

여기서, $A = \dfrac{\lambda^2 P_R\, S_L(i)}{4\pi^2\, g_T(\alpha, 0, \gamma, 0)\ P_T\, G_R\, T_T\, T_R\, M}$

Ⅳ. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과고찰

1. 앙각에 따른 송신안테나 설계.

광 위성통신 시스템에서 광원의 파장으로는 광대역 종합정보 통신망과의 연계를 위해 1.55μm를 선택하였으며, 이 파장대는 그림 3으로부터 대기의 흡수와 산란에 의한 영향을 줄일 수 있다. η=0.9, T_s= 10^{-10} [sec]의 값을 (14)식에 대입하면 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 만족하기 위해 필요한 수신전력 P_R은 4.4 × 10^{-8} [W]이다.

광위성 업링크 통신시 대기교란에 의해 발생하는 포인팅 에러는 (16)식을 (17)식에 대입하면 다음과 같이 구해진다.

$$\phi_e(i) = \frac{0.08 \times 10^7}{\left[\ 0.423(\sec^2(90^0 - i))\left(\frac{2\pi}{1.55 \times 10^{-13}}\right)^2 \right]^{-3/5}} \tag{22}$$

시뮬레이션 결과는 그림 6에 나타나 있으며, 앙각이 증가할수록 포인팅 에러가 감소함을 알 수 있다. 이러한 포인팅 에러는 송신안테나의 직경과 역관계를 갖고 있으므로, 포인팅 에러를 보상하기위해 저위도 지역의 직경보다는 고위도 지역에서 송신안테나의 직경이 작아야 한다.

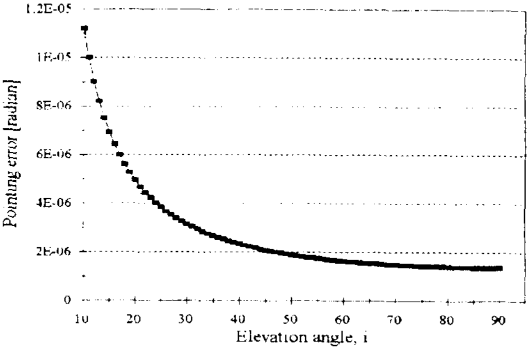

그림 6. 앙각에 따른 포인팅에러
Fig. 6. Pointing error vs. elevation angle.

광위성 통신시 발생하는 빔의 공간전파손실은 1.55μm 파장에 대해서 (19)식으로부터 다음식과 같이 구해진다.

$$S_L(i) = \left[\ \frac{4\pi}{1.55 \times 10^{-6}}\left(\sqrt{\frac{10}{6}}\, l_1 + l_2\right)\sec(90^\circ - i)\ \right]^2 \tag{23}$$

정지궤도위성은 지구로부터 약 35792 [Km] 떨어져 있으며, 대기권의 길이는 지상으로부터 약 20 [Km]이다. 그러므로 l_1=20 [Km], l_2=35772 [Km]를 (23)식에 대입하면 공간전파손실 $S_L(i)$을 구할 수 있으며 시뮬레이션 결과는 그림 7에 나타나 있다.

본 논문에서는 위성의 광 카세그레인 수신 안테나의 직경을 25cm로 가정하였고, 광 헤테로다인 수신기에 입사하는 빔의 형태와 국부발진기에서 나오는 빔의 형

태가 일치한다고 가정하면 정합효율 η_R은 1이 된다. 그러므로 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 만족하기 위해 수신전력을 고정했을때 앙각에 따른 전송 안테나의 설계는 (21)식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

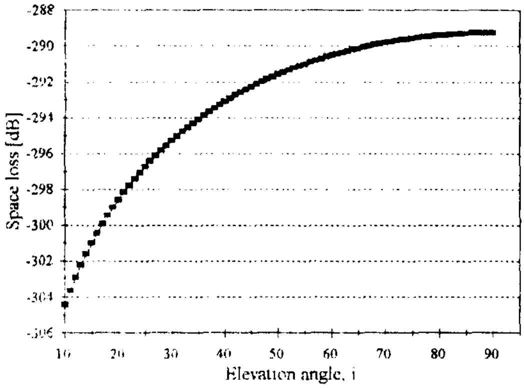

그림 7. 앙각에 따른 공간전파손실
Fig. 7. Space loss vs. elevation angle.

$$D(i) = \pm \frac{1.27\times1.55\times10^{-6}A^{1/2}}{0.635\times1.55\times10^{-6} - 2\psi_e(i)A^{1/2}} \qquad (24)$$

$$A = \frac{(1.55\times10^{-6})^2\ 4.4\times10^{-9}}{4\pi^2\ g_T(\alpha,0,\gamma,0)\ 10^{B/10}}$$

$$B(dB) = G_R(dB) + T_T(dB) + T_R(dB) - S_L(i)(dB) + M(dB)$$

여기서, 위성의 수신 안테나의 직경이 25cm이므로 (6)식으로 부터 G_R = 115.5(dB) 이고 송,수신 안테나의 부주사 효율 T_T , T_R 은 전형적인 값 0.5 (-3dB)로, 마진 M 도 -3dB로 가정하였다[11].

그림 8에서 광위성 업링크 통신에 사용되는 송신안테나의 직경은 앙각에 따라 갑자기 증가하여 피크치를 갖는 특성곡선을 나타낸다. 앙각이 29° ~ 41° 인 지역에서 광위성 업링크 통신이 효율적으로 이루어지기 위해서는 이러한 피크치를 제거해야 하며, 이러한 피크치는 앙각에 따라 포인팅에러와 공간전파손실이 서로 반비례하는 경향 때문에 발생한다.

2. 부호화 이득이 송신안테나 설계에 미치는 영향

(24)식에서 B항은 링크방정식의 일부로서, 링크계산의 증가 요인은 수신 안테나이득 G_R처럼 양의 데시벨 값이 되고, 감소 요인은 부주사 효율처럼 음의 데시벨 값이 된다. 부호화 이득 (G_c)은 링크방정식 계산에서 증가요인이 되므로 (24)식에 부호화 이득을 첨가하면 앙각에 따른 송신 안테나의 직경은 다음과 같이 구해지며, 이때 B항은 B′항으로 바뀌게 된다.

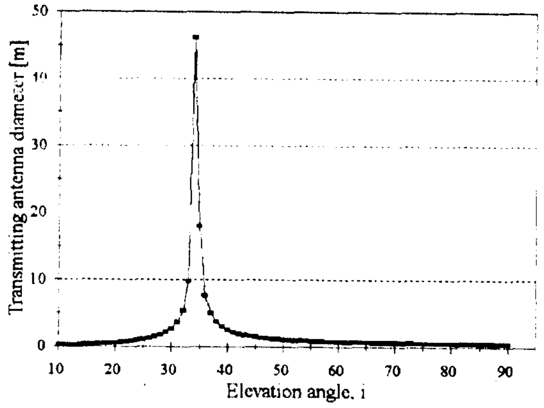

그림 8. 앙각에 따른 송신 안테나의 직경
Fig. 8. Diameter of transmitting antenna vs. elevation angle.

$$D(i) = \pm \frac{3.84\times10^{-7}\ (A')^{-1/2}}{0.98\times10^{-6} - (3.9\ \times\ 10^{-11})\ (A')^{-1/2}\psi_e(i)} \qquad (25)$$

$$A' = 10^{B'/10}$$

$$B'(dB) = G_R(dB) + T_T(dB) + T_R(dB) - S_L(i)(dB) + M(dB) + G_c(dB)$$

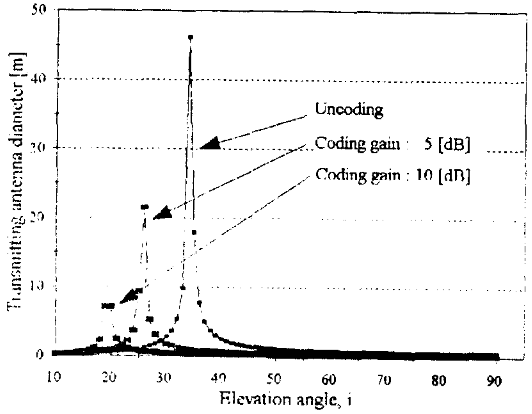

그림 9. 부호화 이득의 유무(有無)시 앙각에 따른 송신안테나의 직경
Fig. 9. Diameter of the transmitting antenna depending on coding gain vs. elevation angle.

그림 9은 부호화 이득의 유무(有無)시 앙각에 따른 송신안테나의 직경을 나타내며, 앙각에 따른 송신안테나의 직경은 부호화 이득이 높을수록 안테나 직경이 1m를 초과하는 비효율적인 설계값을 나타내는 앙각의

범위는 적어지며, 최대값도 작아짐을 알 수 있다.

그림 10는 이러한 부호화 이득과 비효율적인 안테나 설계값을 나타내는 앙각의 범위와의 관계를 나타낸다. 부호화 이득이 24dB 이상의 값을 갖을때, 비효율적인 안테나 설계값을 갖는 앙각은 존재하지 않는다.

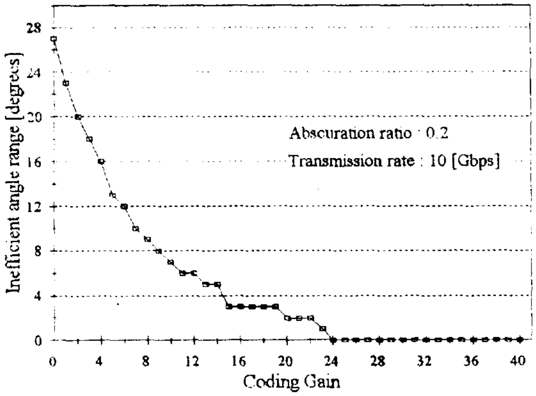

그림 10. 부호화 이득과 비효율적인 안테나 설계값을 갖는 앙각의 범위

Fig. 10. Relation of coding gain and range of elevation angle having inefficient antenna design value.

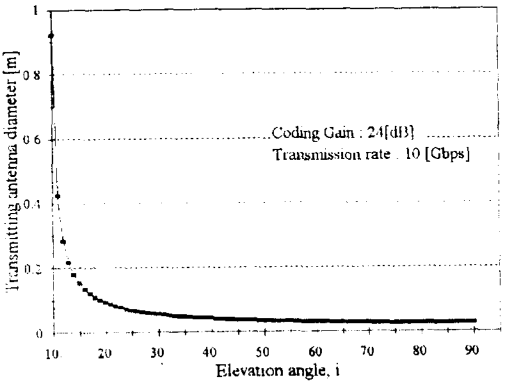

그림 11. 부호화 이득이 24 [dB] 일때 앙각에 따른 송신안테나의 직경

Fig. 11. Diameter of transmitting antenna vs. elevation angle when the coding gain is 24 [dB].

그림 11는 24dB의 부호화 이득을 갖을 때, 앙각에 따른 송신안테나의 직경을 나타낸다. 송신안테나의 직경은 앙각에 따라 지수함수적인 특성곡선을 따르고 송신안테나의 최대직경은 1m를 초과하지 않으며, 이 설계값은 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 만족시키는 송신안테나 직경을 나타낸다.

3. 전송율이 송신안테나 설계에 미치는 영향.

본 절에서는 부호화 이득을 갖지 않는 경우, 전송율이 송신안테나 설계에 미치는 영향에 대해서 살펴본다.

(14)식에서 전송율의 값을 변화시키면 수신전력 P_R은 다음과 같이 나타난다.

$$P_R(t_r) = -2h\nu\eta^{-1}[\log_e(2P_b)]\, t_r \qquad (26)$$

여기서, $t_r = 1 / T_s$ 는 전송율(transmission rate)이다.

그림 12은 t_r이 10 [Gbps], 1 [Gbps], 100 [Mbps] 일때의 시뮬레이션 결과를 나타내며, 전송율의 값이 작을수록 비효율적인 안테나 설계값을 나타내는 앙각의 범위는 작아짐을 알 수 있다.

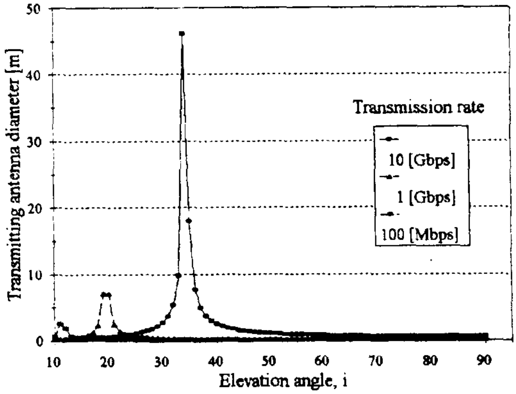

그림 12. 전송율의 변화시 앙각에 따른 송신안테나 직경

Fig. 12. Diameter of transmitting antenna vs. elevation angle when the transmission rate is varied.

그림 13은 전송율과 비효율적인 안테나 설계값을 나타내는 앙각의 범위와의 관계를 나타낸다. 전송율이 40Mbps 보다 작아질때, 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 만족하는 앙각에 따른 송신안테나의 직경은 앙각이 10° ~ 90° 의 모든 지역에서 효율적인 설계값을 갖는다.

그림 14은 부호화 이득을 갖지 않고, 전송율의 값을 40Mbps로 했을때 송신안테나의 앙각에 따른 직경을 나타낸다. 송신안테나의 직경은 앙각에 따라 지수함수적인 특성곡선을 따르고 송신안테나의 최대값은 1m를 초과하지 않으며, 이 설계값은 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 만족시키는 송신안테나 직경을 나타낸다.

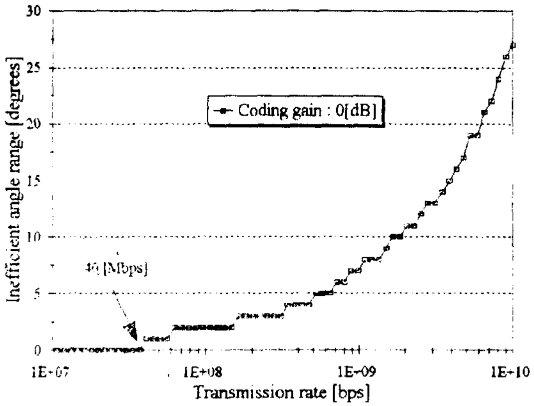

그림 13. 전송율과 비효율적인 송신안테나 설계값을 갖는 앙각의 범위와의 관계

Fig. 13. The relation of transmission rate and elevation angle range having design value of inefficienct transmitting antenna.

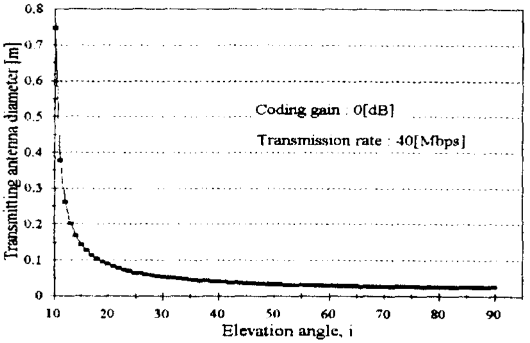

그림 14. 전송율이 40 [Mbps] 일때 앙각에 따른 송신안테나의 직경

Fig. 14. Diameter of transmitting antenna as elevation angle when the transmission rate is 40 [Mbps] .

4. 전송율에 따른 안테나 최적 설계를 위한 부호화 이득

본 절에서는 전송율에 따라 수신기에서 시스템 성능의 임계값을 만족시키는 송신안테나의 최적 설계값을 갖기위해 필요한 부호화 이득을 결정한다. 그림 15에서 전송율이 높을수록 비효율적인 안테나 설계값을 나타내는 앙각의 범위를 제거하기 위한 부호화 이득값이 증가함을 알 수 있다. 그러므로 앙각에 따른 송신안테나의 최적 설계 시, 부호화 이득과 전송율은 트레이드 오프(trade-off) 관계를 갖고 있음을 알 수 있다.

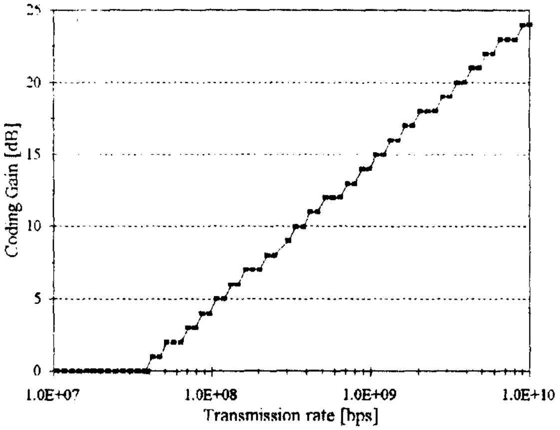

그림 15. 전송율에 따른 안테나 최적 설계를 위한 부호화 이득

Fig. 15. Coding gain for the antenna optimum design vs. the transmission rate.

V. 결 론

업링크에서 대기효과는 포인팅에러에 가장 큰 영향을 미치며 앙각이 감소함에 따라 포인팅에러는 증가하며 이를 보상하기 위해 송신안테나 직경은 감소해야 한다. 그러나 앙각이 감소함에 따라 공간전파손실도 증가하며 이를 보상하기 위해 송신안테나 직경은 증가해야 한다. 이 상관관계로부터 앙각이 감소할수록 안테나 직경이 증가하다가 큰 피크치를 보이고 다시 감소하는 형태를 나타낸다. 앙각이 29° ~ 41° 인 지역에서는 직경이 1m이상으로 갑자기 증가하는 피크치를 보이기 때문에, 이 지역에서는 송신안테나의 직경은 비효율적인 설계값을 나타내며, 나머지 지역에서는 1m 이내의 효율적인 설계값을 나타낸다. 이때 위성 광통신 시스템에 오류 정정을 위한 채널부호화를 사용하면 부호화 이득이 증가함에 따라 피크치의 위치가 앙각이 낮은 지역으로 이동하면서 그 폭도 작아짐을 알 수 있었으며, 24dB의 부호화 이득을 얻는다면 앙각이 10° ~ 90° 인 지역에서 지구국의 송신안테나를 1m 이내로 설계할 수 있다. 또한 부호화 이득을 갖지않고 40 Mbps 이하의 전송율을 갖을때도 앙각이 10° ~ 90° 인 지역에서 피크치가 발생하지 않고 직경 1m 이내로 송신안테나를 설계할 수 있음을 확인했다. 그리고 부호화 이득과 전송율을 관련시켜 전송율에 따른 안테나 최적 설계를 위한 부호화 이득을 그림 15에 나타냈으

며 전송율이 증가할수록 더 큰 부호화 이득이 필요함을 알 수 있었다.

본 논문의 설계값은 위성을 이용한 국제간 종합정보통신망(BISDN)에서 업링크시 위성의 안테나 직경을 0.25m로 고정시켰을 때 교란대기효과를 극복할 수 있도록 앙각에 따른 지구국 송신안테나 설계의 최적화를 위한 데이타로 사용될 것이다.

참 고 문 헌

[1] Morris Katzman, *"Laser Satellite Communication"*, Prentice - Hall, 1987.

[2] Bernard J. Klein and John J. Degnan, "Optical Antenna Gain. 1 : Transmitting Antennas" ,applid Opt., Vol.13 , No.9 , September 1974.

[3] John J. Degnan and Bernard J.Klein ," Optical Antenna Gain. 2 : Receiving Antennas", Applied Opt., Vol.13, No.10 , October 1974.

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

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

[6] Robert M. GAGLIARDI, SHERMAN KARP, *"Optical Communications"*, John Wiley & Sons, 1976.

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

[8] J.I.Davis, "Consideration of Atmospheric Turbulence in Laser Systems Design", Applied Opt. Vol.5, No.1, January 1966.

[9] 한 종석, 정 진호, 김 영권 "교란대기하에서 광위성 통신링크의 앙각에 따른 광헤테로다인 수신기의 최적설계에 관한 연구", 대한전자공학회지 vol.30 A pp.28-39, 4월, 1993

저 자 소 개

韓 宗 碩(學生會員) 第 30卷 第 4號 參照
현재 건국대학교 전자공학과 박사과정 재학중

鄭 鎭 豪(正會員) 第 30卷 第 4號 參照
현재 호서대학교 전자공학과 부교수

李 準 九(學生會員)
1970年 10月 17日生. 1991年 2月 부천공업전문대 전자과 졸업. 1993年 2月 국립 서울산업대 전자과 졸업(공학사). 1995年 2月 건국대학교 일반대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1995年 1月 ~ 현재 나우정밀 근무중. 주관심 분야는 광통신 및 위성통신

金 映 權(正會員) 第 25卷 第 12號 參照
현재 건국대학교 전자공학과 교수