

# 성층권 비행선의 위치 변화에 따른 지구국 안테나의 EIRP 및 G/T 분석

구본준<sup>o</sup>, 안도섭, 백동철, 박광량  
한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 위성통신시스템연구부  
Tel:(042)860-5719 Fax:(042)860-6949

## Analysis of EIRP and G/T due to Position Variation of Stratospheric Airship

Bon-Jun Kuo, Do-Seob Ahn, Dong-Cheol Baek, Kwang-Ryang Park  
Satellite Communications System Department  
ETRI-Radio & Broadcasting Technology Laboratory  
E-mail:bjkoo@etri.re.kr

### Abstract

The researches about the stratospheric communication system are on process in USA, Japan, Europe and etc. The Airship is expected to be fixed at its position in stratosphere but perhaps its position is changed slightly because of wind in stratosphere. If earth station antenna has high gain without tracking function, even though the airship location has a little variation, degradation of antenna gain is occurred because of narrow beamwidth. In this paper, EIRP and G/T variation of the ground system due to the position variation of airship are examined.

### I. 서론

최근 위성분야에서 한정된 궤도 및 주파수 자원 해소와 더불어 점차 수요가 증대되고 있는 개인 초고속 멀티미디어 이동 통신 등의 차세대 서비스 제공을 위해 미국, 일본, 유럽 등 몇몇 선진국을 중심으로 통신 중계기를 탑재한 비행선을 성층권에 채공시켜 새로운 무선통신 인프라로 활용하는 방안이 활발히 추진되고 있다<sup>[1,2,6]</sup>. 이러한 성층권 무선중계 시스템은 해발 약

20에서 50km 인 대류권과 중간권 사이의 성층권에 무선 중계기를 탑재한 비행선을 배치하여 각종 무선통신 서비스를 제공하는 것을 목적으로 한다. 성층권 영역은 비교적 기상조건이 안정되어 있고, 항공 관제 위쪽에 위치하며 위성에 비해 근거리의 장점을 활용하여 필요할 경우 비행선을 이착륙시킴으로써 유지 보수할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 성층권 비행선은 헬륨 가스로 채워진 비행선으로 성층권에서 바람 등의 영향에 대해 프로펠러를 사용하여 자세 및 위치를 유지하게 되며, 비행선과 중계기 동작에 요구되는 전력은 낮에는 비행선 표면에 장착된 태양 전지, 밤에는 연료전지에 의해 공급된다. 성층권 무선중계용 주파수는 47.9~48.2/47.2~47.5GHz로 상하향 각각 300MHz 대역폭이 ITU(International Telecommunication Union)에 의해 분배되었고, 또한 IMT-2000대역 및 Ka대역의 주파수 사용도 현재 ITU에서 논의 중에 있다.

본 논문에서는 성층권에 채공할 비행선의 위치 변화에 따른 지구국 안테나(혹은 사용자 터미널)의 EIRP 및 G/T 변화를 검토하였다. 우선 기본가정을 통하여 지구국 안테나의 위치와 비행선의 위치에 따른 안테나의 지향오차를 계산하고, 원형개구면안테나와 패치배열안테나의 2 종류의 지구국 안테나(혹은 사용자 터미널)에 대해서 지향오차각도에 따른 이득 변화량을 알아보았다. 최종적으로 이득 변화량으로 부터 지구국 안테나(혹은 사용자 터미널)의 EIRP 및 G/T 변화량을 구하였다.

## II. 본 론

### 1. 기본 가정

그림 1은 비행선과 지구국 안테나의 위치에 따른 좌표계를 나타낸다. 그림 1(a)에서 대문자  $H$ 는 비행선 고도를 나타내고, 소문자  $h$ 는 지구국 위치에서 비행선과 지구중심간의 직선상에 수직으로 만나는 지점  $(0,0,0)$ 으로부터 비행선까지의 높이를 나타낸다. 또한  $\theta$ 는 비행선과 지구국을 연결하는 직선  $L$ 과 지구국 위치에서의 접선이 이루는 각(양각)을 나타내며,  $\theta'$ 는 비행선과 지구국간을 연결하는 직선  $L$ 과 지구국에서 점  $(0,0,0)$ 을 연결하는 직선  $d$ 사이의 각을 나타낸다. 여기에서  $h$  및  $\theta'$ 는 지구곡률을 고려하기 위해 사용되었다. 그림 1(a)와 같이 성층권 비행선은 해발 약 20.6km 상공에서  $\pm 1\text{km}$ 의 station keeping 범위를 갖고, 그 범위는 한 번의 길이가 2km인 정육면체 내부라고 가정한다. 그리고 지구국 혹은 단말기 고도는 0km로 가정한다. 지구국 혹은 단말 안테나는 비행선의 기준 위치를 지향하도록 고정된 것으로 설정하며, 여기에서 기준위치란 station keeping 범위내의 한가운데 지점인 좌표  $(0,0,h)$ 지점을 일컫는다. 비행선에 탑재된 안테나는 비행선이  $\pm 1\text{km}$ 의 station keeping 범위 안에서 움직일 때 항상 지구국 혹은 단말기 위치를 지향한다고 가정한다. 지구국 혹은 단말기의 위치는 비행선의 기준위치에 대한 양각과 방위각으로 표현될 수 있으며 비행선의 위치이동이 가장 큰 지점 8개(A-H)를 대상으로 지구국 혹은 단말 안테나의 지향오차각도를 추출하여 G/T 및 EIRP변화량을 계산하였다. 여기에서 양각은 그림 1(a)에서의  $\theta$ 를 말하며, 방위각은 XY면이 지표면이라 할 때, X축에서 지구국 위치까지의 각을 이른다. 이상의 가정을 정리하면 다음과 같다.

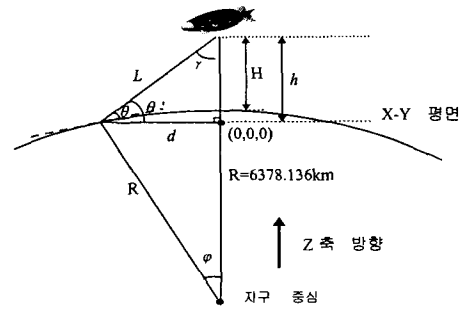
- 1) 비행선 고도  $H$  : 20.6km
- 2) 비행선 station keeping 범위 :  $\pm 1\text{km}$
- 3) 지구국 혹은 단말 안테나 고도 : 0km
- 4) 그림 1(b)의 3차원 좌표계에서  $(0,0,h)$ 를 비행선의 기준위치로 설정
- 5) 지구국 혹은 단말 안테나는 비행선의 기준위치  $(0,0,h)$ 를 지향하도록 고정됨.
- 6) 비행선에 탑재된 안테나는 비행선이  $\pm 1\text{km}$ 의 station keeping 범위 안에서 움직일 때 항상 지구국 혹은 단말기 위치를 지향한다
- 7) 지구국/단말 안테나는 공기층을 갖는 다층기판 구조의 패치배열 안테나와 원형개구면안테나를 사용
- 8) 비행선의 위치이동이 가장 큰 지점인 정육면체의 8개 모서리 지점의 좌표 : A지점  $(1,1,h+1)$ , B지점  $(1,1,h-1)$ , C지점  $(1,-1,h+1)$ , D지점  $(1,-1,h-1)$ , E지점

$(-1,-1,h+1)$ , F지점  $(-1,-1,h-1)$ , G지점  $(-1,1,h+1)$ , H지점  $(-1,1,h-1)$

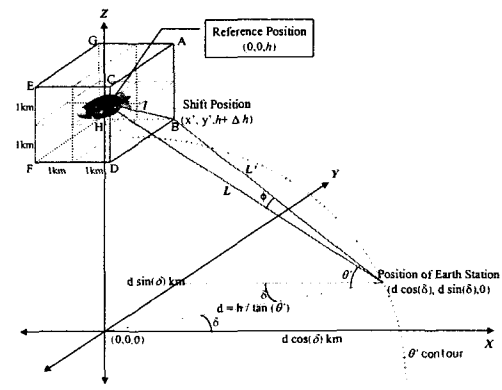
9) 지구국 혹은 단말 안테나의 위치는 기준위치  $(0,0,h)$ 인 비행선에 대한 양각과 방위각으로 표현

10) 비행선의 위치 이동이 가장 큰 지점 8개를 대상으로 지구국 혹은 단말 안테나의 지향오차각도를 계산하여 EIRP 및 G/T 변화량 계산

11) 지구곡률을 고려하며, 지구 반지름은 모든 지역에서 동일 가정



(a)



(b)

그림 1. 비행선과 지구국 안테나 위치에 따른 좌표계  
Figure 1. Coordinates of a platform and earth station

### 2. 지구국에서의 지향오차 계산

그림 1은 기본 가정으로부터 성층권 비행선과 지구국 간의 안테나 지향오차를 구하기 위한 좌표계를 나타낸다.  $L$ 은 지구의 곡률을 고려한 지구국과 비행선 기준위치  $(0,0,h)$ 간 거리이며 지구 반경  $R$ 과 비행선 높이  $H$ , 양각  $\theta$ 의 함수로 표현할 수 있다.  $\phi$ 는 지구중심에서 비행선과 지구국 위치간의 각도이고,  $\gamma$ 는 비행선에서 지구중심과 지구국간의 각도를 나타낸다. 또한 지구국과 좌표가  $(x',y',h+\Delta h)$ 로 변경된 비행선 위치 사이의 거리  $L'$ 은 지구국의 방위각  $\delta$ 와 양각  $\theta$ 로

표현 가능하다.  $d$  및  $h$ 는 각각 원점  $(0,0,0)$ 에서 지구국 위치까지의 거리 및 비행선까지의 거리를 의미한다. 그리고  $l$ 은 비행선의 기준위치  $(0,0,h)$ 와 변경 위치  $(x',y',h+\Delta h)$ 간 거리이다. 이로부터 지향오차각도  $\phi$ 를 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\phi = \cos^{-1} \left( \frac{L^2 + (L')^2 - l^2}{2LL'} \right) \quad (1)$$

3. 지구국 혹은 단말 안테나

지구국 혹은 단말 안테나는 기본가정으로부터 패치 배열 안테나와 원형개구면 안테나의 2종류에 대해 고려하였다.

1) 패치배열안테나

단일 패치안테나의 구조는 접지면 위에 유전율  $\epsilon_r$ 이 2.5인 유전체층과 그 윗 쪽에 0.5mm의 공기층을 가지고 제일 상부에 유전율  $\epsilon_r$ 이 2.5인 유전체층이 있는 형태이다. 공기층의 윗 면은 패치가, 아랫면은 피드선이 있는 구조로 그림 2와 같은 형태를 가진다. 그림 3은 그림 2의 단일 패치로 이루어진 4 x 4 배열 안테나를 나타낸다<sup>[3,4]</sup>.

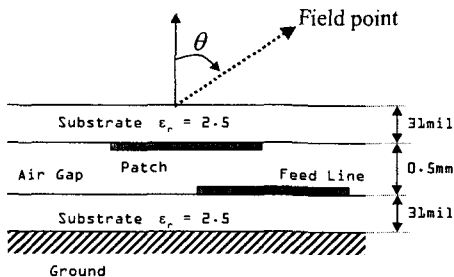


그림 2. 단일패치안테나 구조  
Figure 2. Geometry of single patch antenna

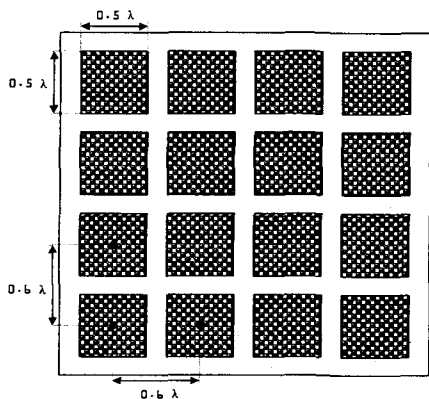


그림 3. 4 x 4 패치배열 안테나 구성  
Figure 3. Geometry of 4 x 4 patch array antenna

2) 원형개구면 안테나

마이크로파 및 밀리미터파 안테나로 널리 이용되어 지는 것으로 그림 4에서 보듯이 구성이 쉽고 개구면 상에 존재할 수 있는 모든 모드의 전개 표현식이 closed form으로 구할 수 있다는 특징이 있다. 원형개구면 안테나의 복사패턴을 계산하기 위해서 페데스탈 (pedestal)상에 파라볼릭 테이퍼를 가지는 경우 ( $n=2, C=0.15$ )에 대해서 고려하였다<sup>[5]</sup>.

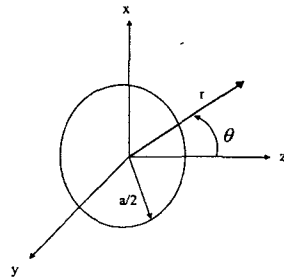


그림 4. 원형개구면안테나의 복사 좌표계  
Figure 4. Coordinates of a circular aperture antenna

III. 지향오차에 따른 안테나 이득 변화

그림 1로부터 비행선의 변경위치인 A지점에서 H지점까지 8개 지점에 대해서 지구국의 양각 및 방위각을 0.1° 단위로 지향오차각도를 계산한 결과 비행선이 F 지점에 있고 지구국의 위치가 양각 74.6도, 방위각 45도에 있을 시 최대 지향오차각도인 4.48도를 가짐을 확인하였다.

1) 최대 오차각에 대한 패치배열안테나의 이득변화

여러 패치배열에 대한 최대이득 및 반전력 빙폭, 최대 지향 오차 각도에 따른 안테나의 이득 변화를 표 1에 나타내었다. 얻어진 안테나의 이득은 빔 중심점에서의 안테나 이득을 0dBi로 정규화 했을 때, 중심으로부터의 편차각도에 대한 안테나의 상대적 이득이다.

표 1. 패치배열 안테나의 이득 변화량  
Table 1. Gain variation for patch array antennas

형태	단일	4 x 4	8 x 8	16 x 16
element 수	1	16	64	256
최대 이득[dBi]	6	18	24	30.5
반전력 빙폭	114°	21°	10.6°	5.3°
이득변화 @ θ = 4.48° [dB]	-0.002	-0.5	-2.1	-10.5

2) 최대 오차각에 대한 원형개구면 안테나의 이득변화

표 2는 원형개구면 안테나의 직경별로 이득 및 반전

력 빔폭과 최대 지향 오차 각도인 4.48도에 대해 이득 변화를 나타낸 것으로 패치배열안테나인 경우와 비슷한 결과를 얻을 수 있다.

3) G/T(Gain/noise Temperature) 및 EIRP(Equivalent Isotropic Radiated Power) 변화량

G/T는 수신안테나의 이득과 수신잡음온도, EIRP는 송신전력과 송신 손실 및 송신 안테나 이득으로 표현 가능하므로 지구국 혹은 단말 안테나의 EIRP 및 G/T 변화량은 송수신 안테나의 지향오차각도에 의한 이득 변화량으로부터 구할 수 있다. 즉,

$$G/T [dB] = [\text{수신안테나 이득}] - [\text{수신잡음온도}] \quad (2)$$

$$EIRP [dBW] = [\text{송신전력}] - [\text{송신손실}] + [\text{송신안테나 이득}] \quad (3)$$

이므로, 수신잡음온도 및 송신전력, 송신손실이 모든 경우에 동일하다고 가정하면 패치배열안테나 및 원형개구면안테나에 대한 G/T와 EIRP의 변화량은 안테나 이득 변화량으로부터 구할 수 있으며, 표 3에 그 결과를 나타내었다. 표 3의 G/T 및 EIRP변화량은 비행선과 지구국 안테나간의 최대지향오차각도인 4.48°에 대한 변화량을 나타낸다.

표 2. 원형개구면 안테나의 이득 변화량  
Table 2. Gain variation for circular aperture antennas

안테나 직경 [λ]	5	10	15	20
이득 [dBi]	22	27.7	31.3	33.8
반전력 빔폭	14.5°	7.2°	4.8°	3.6°
이득 변화 @ θ = 4.48° [dB]	-1.1	-4.7	-11.6	-25.4

표 3. G/T 및 EIRP변화량  
Table 3. Variation of G/T and EIRP

안테나 종류	이득 [dBi]	반전력 빔폭	G/T 및 EIRP변화량 [dB]
<b>패치배열안테나</b>			
4x4 배열안테나	18	21°	-0.5
8x8 배열안테나	24	10.6°	-2.1
16x16 배열안테나	30.5	5.3°	-10.5
<b>원형개구면안테나</b>			
직경 5 λ	22	14.5°	-1.1
직경 10 λ	27.7	7.2°	-4.7
직경 15 λ	31.3	4.8°	-11.6
직경 20 λ	33.8	3.6°	-25.4

IV. 결론

성층권 비행선 station keeping 범위에서의 지구국 혹은 단말 안테나 최대 지향 오차 각도는 양각 74.6도, 방위각 45도 위치에 지구국 혹은 단말이 고정되어 있는 경우 약 4.48도였다. G/T는 수신안테나의 이득과 수신잡음온도, EIRP는 송신전력과 송신 손실 및 송신 안테나 이득으로 표현 가능하므로 지구국 혹은 단말 안테나의 EIRP 및 G/T변화량은 송수신 안테나의 지향오차각도에 의한 이득 변화량으로 부터 구할 수 있다. 저이득 안테나(20dB 이하)에 대해서는 4.48도 지향 오차에 대한 안테나 이득 저하량이 매우 작아 무시할 수 있으며, 고이득 안테나(20dB 이상)에 대해서는 안테나 이득 저하량이 비교적 크기 때문에 링크 마진이 적은 경우 기계적 트래킹 장치 또는 위상배열안테나 구현이 필요하다. 고이득 안테나를 사용할 때에도 휴대용 또는 semi-fixed인 경우에는 call set-up시 안테나 지향 각도를 설정하며, 또한 비행선의 위치가 순간적으로 이동되지 않기 때문에 통신 중의 품질저하는 거의 없을 것으로 사료된다. 지구국 안테나 혹은 단말 안테나로 고려되어진 패치배열 안테나는 이동체에 쉽게 장착될 수 있는 구조이고, 위상배열시스템도 설계 가능한 형태로 원형개구면 형태의 안테나보다 이동통신용으로 유리하며, 원형개구면 형태의 안테나는 피드 시스템 및 안테나 구성상 공간을 많이 차지하여 이동체에 설치가 용이치 않은 반면 구조가 간단하여 지상 고정 통신용 안테나로 적합하다고 보여진다.

참고 문헌

- [1] M. Piccinni, "Skystation stratospheric telecommunication system. Payload Description," Third Ka-band Utilization Conference, Sept., pp. 15-18, Sorrento, Italy
- [2] Y. Hase, R. Miura and S. Ohmori, "A novel broadband all-wireless access network using stratospheric platform," AIAA, 1998
- [3] I. J. Bahl and P. Bhartia, *Microstrip Antennas*
- [4] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*
- [5] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*
- [6] Seong-Pal Lee, "R&D status of stratospheric communication system in Korea," The first Stratospheric Platform Systems Workshop 1999, pp. 61-67, YRP., Japan