천리안 위성을 위한 위성 지상국 후보지 전파 환경 측정 및 간섭 연구

A Study of Radio-Wave Interference on Location Selection of Satellite Ground Stations

양재수 · 배상수* · 황유민** · 김진영**

Jae Soo Yang · Sang Soo Bae* · Yu Min Hwang** · Jin Young Kim**

요 약

본 논문에서는 위성의 지상국 위치를 선정함에 있어 전파 간섭을 피하고, 사용자의 위성활용도를 극대화하기 위한 지상국 위치 선정 전파 간섭 연구이다. 위성 지상국의 위치 선정을 위해 부지 확보가 용이하고, 평가지표의 평가항목별로 평가가 가능하다고 판단되는 지상국 후보지에 대해 전파 환경을 조사하고, 측정 결과를 제시하였으며, 10명의 전문가의 적합성 판단을 통해 후보지의 적합성에 대해 검토하였다. 향후 다른 후보지들의 측정 결과와 비교를 통해 최적의 지상국 위치를 선정할 수 있도록 하였다. 또한, 위성 지상국을 구축하고 있는 세계적 추세에 맞추어, 우리나라의 위성 지상국 위치 선정을 위한 정량적인 평가기준이 될 수 있다.

Abstract

In this paper, evaluation indices of the location selection of satellite ground station is proposed to maximize satellite applications. The evaluation index has been developed based on radio-wave environmental conditions to avoid the radio interference to perform the missions of ocean observation satellite. The radio interference investigation was generated based on professionals of satellite control/operation, calibration/validation, applications. And evaluation index was applied to a candidate site of ground station. In the future, this result may be able to compare with the results of other candidate sites for the best location selection of 'marine mission-oriented ground stations'. According to recent trends of mission-oriented ground stations, the results can be used for location selection of 'marine mission-oriented ground station' as reference.

Key words: Ground Station, Radio-Wave Interference, Marine Mission-Oriented Ground Stations, Satellite Communication

I. 서 론

일반적인 위성 지상국 위치 선정 절차는 먼저 최우선

적으로 국내의 전파환경을 고려하는데, 후보지를 기준으로 국내 마이크로파(microwave)망과의 상호 주파수 공유를 위한 현재 및 미래의 주파수 이용 조건을 고려하여 전

「본 연구는 한국해양과학기술원의 해양위성센터 운영 사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음.」

단국대학교 전자전기공학부(Department of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University)

*한국해양과학기술원 해양위성센터(Ocean Satellite Center, Korea Ocean Research Development Institute)

**광운대학교 전자융합공학부(Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University)

· Manuscript received April 28, 2014 ; Revised August 4, 2014 ; Accepted August 28, 2014. (ID No. 20140428-039)

· Corresponding Author: Jin-Young Kim(e-mail: jinyoung@kw.ac.kr)

파 간섭 계산을 시행하게 된다. 또한, 국내의 경우, 위성 지상국의 위치 선정 시 전파 월경과 관련된 품질 분석 등이 필요하며, 위성방향으로 항공로가 인접되는 경우에 통신 링크에 간섭들이 발생하기 때문에 항공로의 유무 등을 파악하게 된다^{[11]~[15]}.

일반적인 위성 지상국은 위성의 물리적인 운영(관제, 부관제, 임무수행, 수신 등)을 안정적으로 수행하는 것이 주요 임무이므로, 지상국의 위치 선정에 있어서 위성과의 통신 안정성을 가장 중요한 조건으로 간주하고 있다. 하지만, 해양 임무를 수행하는 지상국은 위성의 물리적인 운영을 수행하면서, 동시에 정확한 위성 자료를 생산하기 위한 검·보정, 위성 자료 처리, 저장, 배포 서비스까지 수행하여 사용자들이 편리하게 해양 위성 자료를 활용하도록 지원하는 것이 주요 임무이다. 그러므로 ‘해양 임무 지향형 지상국’의 가장 효과적인 지상국의 위치는 위성 통신에 영향이 없으면서, 현장 관측 자료를 쉽게 획득하고, 위성 자료를 제공하는데 어려움이 없는 장소이어야 한다^{[16]~[18]}.

본 논문에서는 해양임무를 수행하는 위성 지상국의 위치 선정을 위해 후보지를 선정하고, 위성통신 전파 환경 특성을 측정하기 위한 방법 제시와 후보지에서의 전파 환경 측정, 그리고 그 측정 결과를 분석하여 10명의 전문가의 평가를 통해 위성 기지국 위치 선정에 위한 후보지의 적합성에 대해 검토한다.

II. 전파환경 조사

위성통신을 위해 가장 중요한 전파 간섭 분석은 동일/인접 주파수 대역을 사용하는 무선 통신시스템의 현황을 파악하는 것에서부터 시작된다. 대상 위성으로 선정된 천리안 해양 관측 위성은 L-Band와 S-Band를 사용하고, NOAA 위성은 L-Band 주파수를 사용하며, MODIS-Aqua, MODIS-Terra, NPP 위성은 모두 X-Band 주파수를 사용한다. 그리고 위성 지상국의 위치 선정에 위해 부지 확보가 용이하고, 평가지표의 평가항목별로 평가가 가능하다고 판단되는 부산시 동구 지역 부근 후보지 A를 선정하였다. 또한, 후보지 선정과 함께 해양 임무 지향형 위성 지상국이 사용하게 될 위성을 선정하여 측정할 주파수를 확정

하였다. 위성의 사용주파수를 모를 경우, 측정해야 하는 주파수의 범위가 매우 넓어 정상적인 전파 환경을 측정하기가 매우 어렵기 때문이다.

2-1 측정 개요

후보지 A 지역에서 대상위성들의 송수신 주파수를 고려하여 1.5~1.8 GHz(L-Band), 2~2.5 GHz(S-Band), 7.5~8.5 GHz(X-Band)의 측정 주파수 대역을 선정하였다. 일부 방해 신호는 불규칙한 시간에 유입될 수 있기 때문에, 약 5일 동안 장시간 측정하여 극히 짧은 시간에 유입되는 신호도 측정할 수 있도록 하였다. 측정에 사용된 장비는 표 1과 같다. 측정은 영상 22℃의 맑은 날씨에 이루어졌으며, 부산전파관리소와 위성전파감시센터에 의뢰하여 이루어졌다.

2-2 측정 방법

측정 안테나의 방향은 아래와 같다.

- 360° 전 방위(45° 간격으로 8회 측정, HL-040)
- 정지 궤도 위성(동경 128.2° 3회 측정, AC008, DA180)

표 1. 전파 간섭 측정 시 사용 장비 및 사양

Table 1. Equipments and specifications for electronic interference measurement.

장비	사양
전계강도측정기	Rohde & Schwarz, ESU-26 : 20 Hz ~ 26.5 GHz
Log-Periodic ANT	Rohde & Schwarz, HL-040 : 400 MHz ~ 3.6 GHz
Microwave Directional ANT	Rohde & Schwarz, AC008 : 1 ~ 18 GHz
위성측정	위성전파감시센터 전파감시차량
스펙트럼분석기	Agilent, E4440A : 3 Hz ~ 26.5 GHz
위성추적시스템	GigaSat, DA-180 : 1.45 ~ 21.2 GHz
수신안테나	1.8M 파라볼라 안테나
피더(feeder) L대역	1.45 ~ 1.8 GHz, 필터 적용
피더(feeder) S대역	2.17 ~ 2.655 GHz, 필터 적용

- 극궤도 위성(정남, 1회 측정, AC008)

후보지 A에서 360° 전 방위를 45° 간격으로 지향하여 8회(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)에 걸쳐 주변 전파 환경을 측정하고, 정지 궤도 위성에 대한 수신 환경을 2회 측정, 그리고 S밴드 및 극궤도 위성에 대한 전파 환경을 1회씩 측정하여 3일 동안 총 12회 측정하였으며, 정지궤도 위성에 대한 수신 환경은 AC008 안테나 등의 장비 성능 한계로 인해 위성전파감시센터의 전파 감시 차량을 이용하여 측정하였다.

후보지에서 전파 감시 차량을 이용하여 L 및 S 대역에 대한 주변 전파 환경을 360° 전 방위를 90° 간격으로 지향하여 4회(0°, 90°, 180°, 270°) 측정하고, NOAA 위성 수신 환경을 2회 측정하였다. 정지 궤도 위성에 대해 DA-180 위성 추적 시스템을 이용해 오전, 오후 2회 측정하였으며, 측정대상 주파수 대역에 대하여 Peak MAX Hold로 수신 전계 강도를 dB μ Vm/m, dBm 단위로 측정하여 기록하였다.

2.3 간섭 허용 레벨

간섭 계산은 계산에 적용되는 수신기의 간섭 허용 레벨을 알아야 한다. 일반적으로 사양에서 제시하고 있는 값을 정하고, 없는 경우에는 계산식을 이용하여 계산하거나 유사 시스템과 비교하여 설정하는 방법이 있다. 동일 주파수에 대한 신호 대 간섭비(C/I: Carrier to Interference) 목표 값과 인접 채널 간섭에 대한 목표 값이 주어지고, C/I 목표 값을 설정하기 위해 복조기의 신호 대 잡음비(S/N: Signal to Noise) 값을 알면 C/I 값을 알 수 있다. 추가로 식 (1-a), (1-b)에 대해 파라미터 a는 평균 경로 손실 계수로서 설치장소에 따라 자유공간일 때 2, Open plan building일 때 2.2, Semi open building에서 3.3, Closed office에서 4.5의 값을 가진다.

$$C/I_{OBJ} = S/N(C/N) + \text{Fade Margin} + a, \quad (1-a)$$

$$C/I_{OBJ} = C/I + \text{Fade Margin} + a. \quad (1-b)$$

2.4 신호 대 간섭비 계산

신호 대 간섭비 계산 방법은 희망신호 세력과 간섭신

호 전력비를 계산한 다음, 이를 신호 대 간섭비 목표 값과 비교하여 간섭된 값이 크면 간섭 우려가 없다고 판정한다.

$$C/I_{OBJ} \leq 10\text{Log}(R_C/R_I), \quad (2)$$

여기서 R_C 는 희망신호의 수신된 전력(μ W), R_I 는 간섭 신호의 수신된 전력(μ W)이다.

$$RCL_C = P_{TD} + G_{TD} + G_{RD} - F_{SLD} - L_{WGTD} - L_{WGRI} - L_{OTHER}, \quad (3)$$

수신 캐리어 신호 레벨 RCL_C (Received Carrier Level)의 아래첨자 C는 희망신호 반송파, I를 간섭신호 반송파라고 할 때, RCL_C 는 수신 레벨 계산과 유사한 방법으로 계산된다. 여기서 P_{TD} 는 송신 출력 레벨, G_{TD} 는 송신 안테나 이득, G_{RD} 는 수신안테나 이득, F_{SLD} 는 자유공간 손실, L_{WGTD} 는 송신기 케이블 손실, L_{WGRI} 는 수신기 케이블 손실, L_{OTHER} 는 기타 손실값이다.

$$RCL_I = P_{TI} + G_{TI} + G_{RD} - F_{SLI} - L_{WGTI} - L_{WGRI} - L_{OTHER}, \quad (4)$$

여기서 P_{TI} 는 간섭국의 송신 출력 레벨, G_{TI} 는 간섭국 송신 안테나 이득, G_{RD} 는 간섭국과 희망국 안테나의 편이 이득, F_{SLI} 는 자유공간 전파 손실, L_{WGTI} 는 간섭국 안테나 케이블 손실값이다. 식 (3), 식 (4)에서 자유공간 전파 손실은 설치 여유율, 경년 변화 여유율, 온도 변화 여유율, 전파경로의 페이딩 여유율 등을 감안한다.

III. 측정 결과

그림 1, 2에서 위성지상국 적합성 평가를 위해 주변 전파 수신 환경을 조사하였으나, 측정 장비인 LP ANT(HL-040)으로는 전 방향(0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)에서 특이 신호가 수신되지 않았다.

그림 3에서 S-Band(2~2.5 GHz) 주변 환경 측정은 이동통신, 와이브로 및 도서통신용 M/W 대역으로 신호가 상시 출현하였다.

측정 이후 중앙전파관리소에 확인한 결과, 2,110~

그림 1. L-Band 안테나 지향각에 따른 주변 전파 감시(0도, 45도, 90도, 135도)

Fig. 1. Monitoring of radio waves according to L-Band antenna angle of beam spread(0°, 45°, 90°, 135°).

그림 2. L-Band 안테나 지향각에 따른 주변 전파 감시(180도, 225도, 270도, 315도)

Fig. 2. Monitoring of radio waves according to L-Band antenna angle of beam spread(180°, 225°, 270°, 315°).

그림 3. S-Band 주변 주파수 감시(2~2.5 GHz)
Fig. 3. Frequency monitoring nearby S-Band(2~2.5 GHz).

그림 4. X-Band 주변 주파수 감시(7.5~8.5 GHz)
Fig. 4. Frequency monitoring nearby X-Band(7.5~8.5 GHz).

2,170 MHz 대역은 이동통신, 2,300~2,400 MHz 대역은 휴대인터넷(WiBro)용 주파수 대역, 2,400~2,500 MHz 대역에서 도서통신용 M/W 주파수로 사용되고 있음을 알 수 있었다.

그림 4에서 MODIS(Aqua&Terra), NPP 등 X-밴드 극궤도 위성 수신 주파수의 주변 환경 측정은 국간 중계용(M/W) 신호가 간헐적으로 출현하였다.

그림 5에서 천리안 해양 관측 위성(L-Band) 수신 환경은 방송중계용 주파수 및 1,695.4 MHz(5M20G1D) 점유대역 폭 내에 이상신호가 출현하였다. 1,700~1,710 MHz는 FM 방송 중계용(M/W) 주파수 대역이 사용되었으며, 1,698 MHz 신호가 -146.7 dBm 세기로 약 1시간 정도 간격으

그림 5. 천리안 위성 수신 주파수 감시(L-Band)
Fig. 5. Monitoring of frequency received by Chollian satellite(L-Band).

그림 6. 천리안 위성 수신 대역 내 이상 신호(M1)
Fig. 6. Abnormal signals in Chollian satellite Band(M1).

로 간헐적으로 출현하였다.

그림 6에서는 1,695.9 MHz 신호가 -146.6 dBm으로 수신되어 평상시 정상 신호와 구분되지 않으나, 양각의 변화를 주는 경우에는 구분되었다.

그림 7에서는 극궤도 위성인 NOAA의 위성신호 L-band에서 FM 방송 중계용 주파수 외에 특이신호는 출현하지 않았다. 1,700~1,710 MHz는 FM 방송 중계용(M/W) 주파수 대역으로 1,702.7 MHz 신호가 -105.3 dBm 세기로 강하게 유입되었으며, 비정지 위성으로 추정되는 신호가 극히 짧게 포착되었다.

IV. 적합성 평가 결과 및 검토

본 내용은 위성 지상국 위치 선정에서 전체 총점 1,000 점 중 전파간섭(주파수)에 대한 총점 240점으로 설문참여자 대부분이 가장 중요하다고 선택한 전파 간섭이 174 점을 받았다. 표 2의 배정된 점수를 분석한 결과, 전문가

그림 7. NOAA 위성 수신주파수 감시(1.67~1.71 GHz)
Fig. 7. NOAA satellite frequency monitoring results(1.67~1.71 GHz).

표 2. 후보지 <A>의 전파 환경 조건(350점) 지상국 적합성 평가 결과

Table 2. Suitable test results for proposed site <A>.

배점	평가위원									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
240	C	D	C	B	C	A	B	B	B	B

표 3. 지표별 획득점수 계산식

Table 3. Obtained score formula for each indicator.

등급	가중치 (W)	계 산 식
A(매우 우수)	5	$S_t = \frac{S_i}{5} \times W$ <p>(S_t : 지표별 획득점수, S_i : 지표별 총 배점)</p>
B(우수)	4	
C(보통)	3	
D(미흡)	2	
E(매우 미흡)	1	

들은 지상국으로서의 임무 수행을 편리하게 할 수 있기를 원하면서도, 전파 환경 조건에 대한 배점을 높은 점수를 준 것으로 보아 위성과의 통신을 우선시 하고 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

위성 개발 초기, 위성 지상국 운영은 위성의 관제 및 운영을 목적으로 이루어졌다. 하지만 임무에 따라 위성의 종류가 다양해지고, 사용자들의 요구사항이 증가하면서 위성 지상국은 사용자 중심의 위성 임무 수행을 목적으로 운영되고 있다. 우리나라의 경우, 2010년 우리나라 최초의 정지궤도 지구 관측 위성인 천리안 위성이 발사되면서 각 탑재체(해양, 기상)별 임무에 따라 ‘임무 지향형 지상국’이 구축되어 운영되고 있다.

해양 관측 위성은 바다의 색이나 해수면의 온도 등을 바탕으로 해양 환경의 변화를 관측하는 위성으로, 정확한 위성 자료를 생산하기 위해 지속적으로 현장 관측 자료와 위성 자료의 비교 및 분석을 통해 검·보정을 수행해야 한다. 또한, 위성의 활용도를 극대화하기 위해서는 선박 및 부이 등을 이용한 지속적인 현장 관측 자료를 확보해야 하므로, 바다와의 접근성은 해양 위성 사용자의 입장에서 위성의 임무를 수행하기 위한 지상국의 필요한 입지조건이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 해양 관측 위성의 임무 수행을 위해 위성과의 직접 통신이 가능해야 한다는 전제하에 후보지 <A> 지역에 대한 현장 조사를 수행하였고, 현장 조사 결과를 바탕으로 평가위원회를 구성하여 후보지 분석 및 평가를 실시하였다. 평가위원회의 지상국 적합성 평가를 바탕으로 분석한 결과, 후보지 <A> 지역은 전파 환경 조건 중 전파간섭(주파수) 분야에서 총점 240점 중 174점으로 양 호한 조건을 가지고 있음을 알 수 있다. 본 결과물인 후 보지에 대한 적합 여부는 상대적인 것이므로 향후 다른 후보지들의 측정 결과와 비교를 통해 최적의 지상국 위치를 선정할 시 참조할 수 있는 자료이며, 위성 지상국을 구축하고 있는 세계적 추세에 맞추어, 우리나라의 위성 지상국 위치 선정을 위한 정량적인 평가 기준이 될 수 있다.

References

- [1] 정대원, "위성지상국 운영과 차세대 발전방향", 대한전자공학회지, 37(12), p. 90, 2010년.
- [2] 국토해양부, 해양위성센터 구축 사업 최종 보고서, 안산, 2010년.
- [3] 양찬수, 배상수, 한희정, 안유환, 유주형, 한태현, 유홍룡, "정지궤도 해색탐재체(GOCI) 데이터의 수신·처리 시스템과 배포서비스", 대한원격탐사학회지, 26(2), p. 263, 2010년.
- [4] 송배규, "위성통신시스템의 위성지구국 설계시 전파간섭분석 방안 연구", 세종대학교 정보통신대학원, 미간행 석사학위논문, 2005년.
- [5] 이병선, 이호진, 김재명, 정선중, "태양간섭에 의한 위성통신 지구국 통신장애 예측", 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, 14(2), pp. 9-13, 1991년.
- [6] 배상수, 한희정, 유주형, "천리안 해양관측위성(GOCI) 자료 수신에 영향을 미치는 요인 분석 및 대응 방안", 2012 한국통신학회 추계 마이크로파 및 전파전파학회 논문집, 1(1), p. 90, 2012년.
- [7] 이해선, 위성통신이론 및 시스템, 복두출판사, 서울, 2007년.
- [8] 서석배, 임현수, 안상일, "정지궤도 해색탐재체(GOCI) 전처리시스템", 대한원격탐사학회지, 26(2), pp. 167-173, 2010년.
- [9] 오동근, 여지숙, 최성열, "외국학술지지원센터(FRIC) 평가지표 개발에 관한 연구", 한국도서관·정보학회지, 43(2), pp. 99-116, 2012년.
- [10] 박덕중, 구인회, 안상일, "COMS 사용자 데이터의 스펙트럼 분석", 대한원격탐사학회 2006년도 춘계학술대회 논문집, 1(1), pp. 386-389, 2006년.
- [11] 부산전파관리소장, 전파환경 측정신청에 대한 결과알림 공문(전파업무1과-1273), 부산전파관리소, 부산, 2012년.

양 재 수

1981년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)
 1985년 8월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 1월: 미 NJIT 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1991년 7월: 서울대학교 MBA 수료

1981년 3월~1981년 12월: MIC 통신사무관
 1982년 1월~2006년 1월: KT(한국통신)
 2006년 3월~2011년 10월: 광운대학교 산학협력전담 교수
 2007년 2월~2011년 10월: 경기도 정보화특별보좌관
 2011년 11월~단국대학교 전자전기공학부 부교수
 [주 관심분야] 정보과학기술융합, 방송통신융합기술, RFID/IP-USN, 방송통신정책 및 정보화전략 등

배 상 수

2007년 3월: 한양대학교 전자컴퓨터공학부 (공학사)
 2013년 8월: 단국대학교 정보통신학과 (공학석사)
 2007년 7월~현재: 한국해양과학기술원 해양위성센터 연구원
 [주 관심분야] 위성통신, 무선통신, R&D 기획

황 유 민

2012년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학
사)
2012년 3월~현재: 광운대학교 전파공학과 석박사통합과정
[주 관심분야] 가시광통신, LBS, 재난통신, 5G 이동통신

김 진 영

1998년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학
박사)
2001년 2월: SK텔레콤 네트워크연구소 책임
연구원
2001년 3월~현재: 광운대학교 전자융합
공학과 교수
[주 관심분야] 디지털통신, 가시광통신,
UWB, 부호화, 인지무선통신, 5G 이동통신 등