

2.1 GHz 대역 다중빔 이동위성통신 시스템과 이동통신 시스템간 주파수 공유

정남호*, 김희욱*, 오대섭*, 구분준* 정회원

Frequency Sharing between Multi-beam Mobile Satellite Communication System and Mobile Communication System in 2.1 GHz Band

Namho Jeong*, Hee Wook Kim*, Dae-Sub Oh*, and Bon-Jun Ku* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 2.1 GHz 대역 다중빔 이동위성통신 시스템과 이동통신 시스템간 간섭 시나리오를 분석하고, 두 시스템간 주파수 공유를 위한 간섭 평가 방법을 제시하였다. 최소결합손실 방법을 이용하여 이동통신 시스템으로부터 이동위성통신 시스템으로의 간섭 및 이동위성통신 시스템으로부터 이동통신 시스템으로의 간섭 분석을 수행하였으며, 분석 결과로부터 두 시스템간의 동일 주파수 공유를 위한 이격 거리를 도출하였다.

Key Words : radio interference; frequency sharing; mobile satellite communications; mobile communication;

ABSTRACT

In this paper, we presented interference scenarios and an evaluation methodology for the co-frequency radio interference between a multi-beam mobile satellite communication system and a mobile communication system in 2.1 GHz band. Radio interferences between these systems are calculated using a minimum coupling loss method and an assesment for minimum separation distances was conducted for coexistence of a mobile satellite system and a mobile system in the same geographical area.

I. 서 론

스마트폰과 태블릿 피씨로 대표되는 개인 휴대통신 시스템의 지속적인 이용 증가와 클라우드 컴퓨팅 등과 같은 신규 서비스 도입으로 인해 모바일 트래픽이 급격히 증가하고 있다. 이러한 증가 추세가 지속되면서 이동통신 업무용 광대역 주파수에 대한 수요가 제기됨에 따라 방송통신위원회에서는 2020년까지 600 MHz폭 이상의 이동통신용 주파수를 단계적으로 확보를 목표로 하는 '모바일 광개토 플랜'을 2012년 1월에 의결하였다. 이 계획의 일환으로 2013년까지 시장수요 및 국제 표준화 일정 등을 고려하여 170 MHz 대역폭을 확보하기 위해 700 MHz와 1.8 GHz 및 2.1 GHz 대역 등을 검토할 계획이다[1]. 이중 2.1 GHz 대역(상향 1,980-2,010 MHz, 하향 2,170-2,200 MHz)은 위성IMT용으로 국제 분배된 대역[2]으로써 미국과 유럽에서는 이미 위성IMT사업자를 선정, 상용

화하였으며, ITU(International Telecommunication Union), 3GPP(3rd Generation Partnership Project), ETSI(European Telecommunications Standards Institute) 등에서 관련 표준화가 진행되고 있다. 한편 이 주파수 대역은 지상IMT용으로도 분배되어 있어 이동업무로의 활용도 가능하여[2] 우리나라와 같이 인접대역(상향 1920-1980 MHz, 하향 2110-2170 MHz)에서 이미 지상IMT용으로 사용하고 있는 국가의 경우 이동업무로의 활용에 대한 관심도 높다. 이와 같이 2.1 GHz 대역 내에서 이동위성통신 시스템과 이동통신 시스템의 공존 가능성이 높아짐에 따라 두 시스템간 간섭 분석 및 주파수 공유연구의 필요성이 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이동위성통신 시스템과 이동통신 시스템간 주파수 간섭 평가를 위해 S-대역 IMT-Advanced 기반의 위성 시스템과 이동 시스템을 가정하고, 최소결합손실(Minimum coupling loss, MCL) 방법을 이용하여 간섭 분석을 수행한다. 또한 두

* 본 연구는 방송통신위원회의 방송통신기술개발사업 지원으로 수행하였음. [KCA-2012-08921-01302, 스펙트럼공학 및 밀리미터파대 전파자원 이용기술 개발]

*한국전자통신연구원 위성스마트통신연구팀(nhjeong@etri.re.kr, prince304@etri.re.kr, trap@etri.re.kr, bjoo@etri.re.kr), 교신저자 : 정남호
접수일자: 2012년 5월 21일, 수정완료일자: 2012년 6월 19일, 최종게재확정일자: 2012년 6월 25일

시스템 간 동일 채널 간섭 평가 결과를 분석하여 이동위성 시스템과 이동 시스템 간 주파수 공유를 위한 이격거리를 도출한다.

II. 간섭 평가 방법

두 무선통신 시스템간의 간섭 평가에는 최소결합손실과 몬테카를로의 두 가지 접근 방법이 사용되고 있다. 최소결합손실 방법은 주파수 공유의 기초 평가 또는 고정 링크와 육상 기지국의 경우와 같이 대체적으로 정적인 간섭 시나리오에 적합하며, 일부 시나리오에서 비관적인 결과가 도출될 수 있다. 반면 ECO(European Communications Office)의 SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool) 프로그램으로 대표되는 몬테카를로 방법은 보다 더 현실적인 결과를 제시하는 것으로 알려져 있으나, 계산이 복잡하고 모든 입력 파라미터들의 확률분포가 잘 알려진 경우에만 정확한 결과를 제공한다는 단점이 있다. 일반적으로 시스템의 보호를 우선시하는 이중 서비스 또는 이중 시스템간의 간섭 평가 및 보호를 위한 이격거리 계산에는 최소결합손실 방법을 사용한다.

1. 최소결합손실 방법

최소결합손실 방법은 송신기와 수신기 파라미터가 주어진 경우 이 시스템의 보호기준을 만족하는 최소 전파손실(이로부터 최소 이격거리 계산) 또는 최소 인접대역 분리(이로부터 최소 보호대역 계산)를 도출하는 방법이다. 피간섭원의 수신기 입력에서의 간섭 레벨은 간섭원의 출력 레벨, 안테나 이득 및 전송손실의 함수로써 식 (1)로 주어진다.

$$I[dBm] = P_t - L_t + G_t + G_r - L_r - L_b - FDR \quad (1)$$

여기서,

P_t : 간섭원 송신 전력 [dBm]

G_t : 간섭원 안테나의 수신기 방향 이득 [dBi]

G_r : 피간섭원 안테나의 간섭원 방향 이득 [dBi]

L_t : 간섭원 송신기 삽입 손실 [dB]

L_r : 피간섭원 수신기 삽입 손실 [dB]

L_b : 이격거리 d (km)에 의한 기본 전송손실 [dB]

이다. 수신기의 선택도 곡선에 의한 발생하는 간섭원의 불요 발사를 기각하는 정도를 의미하는 FDR (frequency dependent rejection)은 간섭신호의 전력 스펙트럼 밀도와 수신기의 주파수 응답 특성의 함수로 주어진다.

피간섭원의 보호를 위한 간섭신호 세기의 임계치를 I_{thr}

dBm이라고 가정할 경우, 피간섭원의 보호를 위해 요구되는 간섭원 송신기와 피간섭 수신기 사이의 최소결합손실은

$$MCL[dB] = P_t - L_t + G_t + G_r - L_r - I_{thr} \quad (2)$$

로 표현된다[3]. 이로부터 피간섭원의 보호를 위한 최소 이격거리 d_{min} 은

$$MCL[dB] = L_p(d_{min}) + L_{pm} - FDR \quad (3)$$

의 관계식을 만족하는 경로손실 L_p 에 해당하는 거리가 된다. 여기서, L_{pm} 은 간섭원과 피간섭원간 안테나 편파 불일치에 의한 손실을 의미한다.

3GPP 호환 시스템의 경우 FDR 은 인접채널간섭비(adjacent channel interference ratio, ACIR)로 규정되어 있으며, 인접채널간섭비는 인접채널 누설비(adjacent channel leakage ratio, ACLR)와 인접채널 선택도(adjacent channel selectivity, ACS)의 함수로 표현된다[3]. 그러나 인접채널간섭비는 기준 반송파 주파수 간격이 5, 10 또는 15 MHz인 경우에 대한 값만 주어지므로, 그 외의 경우에는 송신 스펙트럼 마스크 및 수신기 필터 특성으로부터 직접 계산해야 한다. 본 논문에서는 이동위성 시스템과 이동 시스템을 대역폭이 동일한 OFDM 기반의 IMT-Advanced 시스템을 가정하므로 FDR 및 인접채널간섭비는 0 dB가 된다.

2. 시스템 제원

다중빔 이동위성 시스템은 주로 L-대역과 S-대역에서 운용되고 있는 Iridium, Globalstar와 같은 비정지궤도위성 기반 시스템과 Inmarsat, Thuraya, ACeS, Solaris Mobile, ICO G1(현 PENDRILL), Skyterra(현 LightSquared), TerreStar, STICS 등 정지궤도위성 기반 시스템이 있다. 이중 TerreStar, ICO G1, Solaris Mobile과 STICS 시스템이 2.1 GHz 대역을 사용하고 있으며, 각 위성빔내 지상 가입자들에게 이동위성 서비스를 제공하기 위해 정지궤도 위성을 이용하여 지상의 셀룰라 시스템과 유사하게 다중 스팟빔을 구성하고 있다.

본 논문에서는 간섭 분석시 IMT-Advanced 위성 시스템 표준으로 ITU에서 검토되고 있는 OFDM-FDD 시스템 규격 [4], [5]을 이동위성 시스템의 제원을 사용한다. 위성 시스템은 동경 116°, 고도 35,784 km 상공에 위치한 정지궤도위성을 가정하였으며, 간섭 분석에 사용된 이동위성 시스템의 우주국과 지구국의 송수신 제원은 표 1과 같다. 위성 안테나의 빔폭은 0.15° (빔 반경 94 km)로 가정하였으며, 안테나 패턴은 그림 1 (a)와 같이 ITU-R 권고서 S.672-4 모델[6]을 적용하였다. 이동 시스템은 표 2에 정리한 바와 같이 IMT-Advanced 지상 시스템 중 도심-매크로셀 규격 [7]을

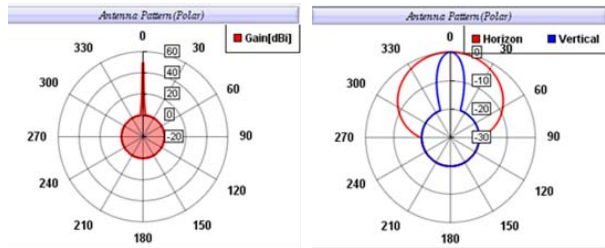
가정하였으며, 지구국의 안테나 패턴은 그림 1 (b)와 같다.

표 1. 이동위성 시스템 파라미터

| | 위성국 | 지구국 |
|------------|-----------------------------|----------|
| 송신출력 | 13.0 dBW | -6.0 dBW |
| 안테나 이득 | 49.7 dBi | 0.0 dBi |
| 안테나 패턴 | S.672-4 ($L_s = 30$ dB) | Omni. |
| 고도 | 37,784 km | 1.5 m |
| 잡음온도 | 450 K | 290 K |
| 채널 대역폭 | 5 MHz | 5 MHz |
| 보호기준 (I/N) | -12.2 dB | -12.2 dB |

표 2. 이동시스템 파라미터

| | 지구국 | 이동국 |
|------------|-----------|----------|
| 송신출력 | -1.46 dBW | -6.0 dBW |
| 안테나 이득 | 17.0 dBi | 0.0 dBi |
| 안테나 패턴 | M.2135 | Omni. |
| 고도 | 25 m | 1.5 m |
| 잡음지수 | 5.0 dB | 7.0 dB |
| 채널 대역폭 | 5 MHz | 5 MHz |
| 보호기준 (I/N) | -6.0 dB | -6.0 dB |



(a) 우주국 (b) 지구국

그림 1. 안테나 패턴

3. 경로 손실 모델

이중 시스템간 간섭 평가와 공유를 위한 이격거리 도출에 있어서 적절한 전파 모델의 선택 또한 매우 중요하다. 통상 위성 경로와 지상 경로에 대해 서로 다른 전파 모델들을 적용하며, 본 논문에서는 위성 경로에 대해서는 자유공간 손실 [8]과 ITU-R 권고서 P.676에 정의되어 있는 가스흡수 손실 [9]을 적용하였다. 지상 경로의 경우에는 전파환경과 서비스 종류 등에 따라 다양한 전파 모델들이 존재하나, 본 논문에서는 지상 시스템의 점대점 경로손실 예측 모델인 ITU-R 권고서 P.452-14 모델을 적용하였다[10].

Ⅲ. 이동위성 시스템과 이동 시스템간 간섭 분석

1. 이동위성 시스템으로부터 이동 시스템으로의 간섭

그림 2와 같이 우주국을 간섭원으로 가정할 경우 이동시스템으로의 간섭은 피간섭원이 이동국인 경우(A1)와 지구국인 경우(A2)의 두 가지 간섭 경로가 존재한다. 그림 3은 표 1과 표 2의 체원으로부터 식 (1)의 최소결합손실 계산식에 의해 계산된 위성빔 중심으로부터의 이격거리에 따른 이동통신 시스템 수신기 입력에서의 간섭신호대잡음비(I/N) 특성을 나타낸 것으로서 위성 안테나의 주빔 및 제1부엽 특성이 주된 영향을 주는 것을 알 수 있다.

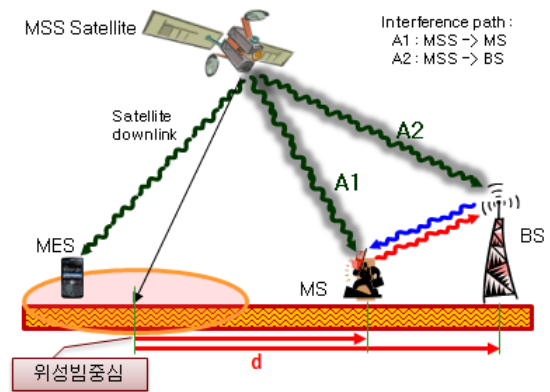


그림 2. 우주국으로부터 이동업무로의 간섭 시나리오

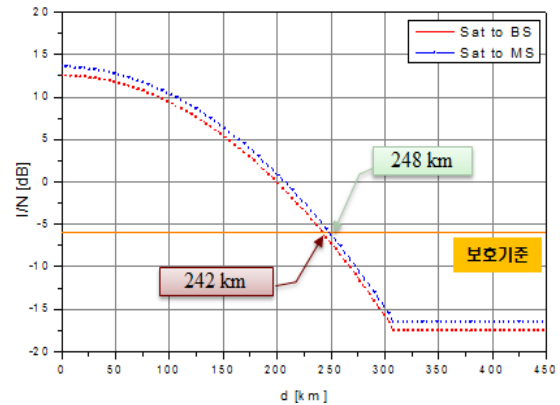


그림 3. 우주국으로부터 이동시스템으로의 간섭 특성

지구국으로부터 이동시스템으로의 간섭은 그림 4에 나타난 바와 같이 피간섭원이 지구국인 경우(B1)와 이동국인 경우(B2)의 두 가지로 나눌 수 있다. 지상 경로에 대한 전파 모델로 사용된 ITU-R 권고서 P.452 모델은 육상 경로와 해상 경로에 대해 다른 전파 손실 특성을 나타내며, 간섭 분석 시 시간율은 1 %를 적용하였다.

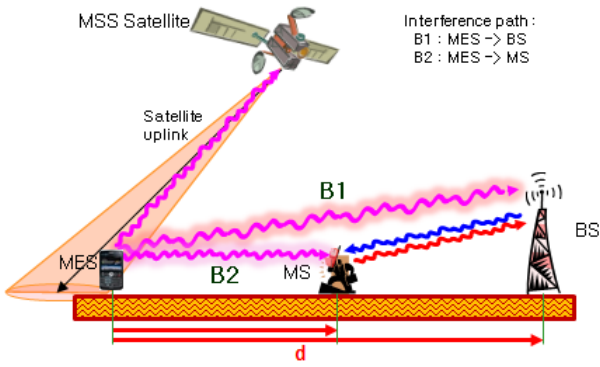


그림 4. 지구국으로부터 이동업무로의 간섭 시나리오

그림 5와 그림 6은 지구국으로부터 기지국과 이동국으로의 간섭 분석 결과를 보여주는 것으로 피간섭원이 이동국인 경우 보다 기지국인 경우 더 먼 이격거리가 필요한 것으로 나타났으며, 해상경로의 경우가 육상경로의 경우 보다 더 높은 간섭 신호가 수신됨을 알 수 있다.

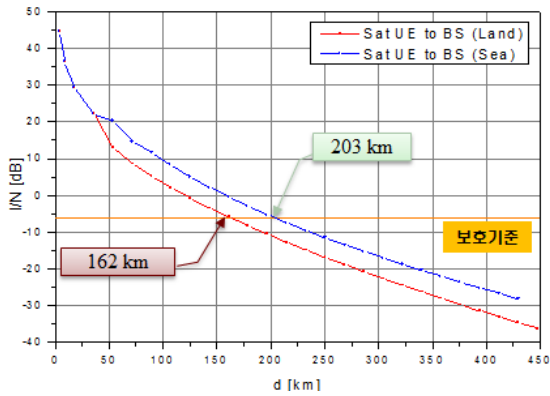


그림 5. 지구국으로부터 기지국으로의 간섭 특성

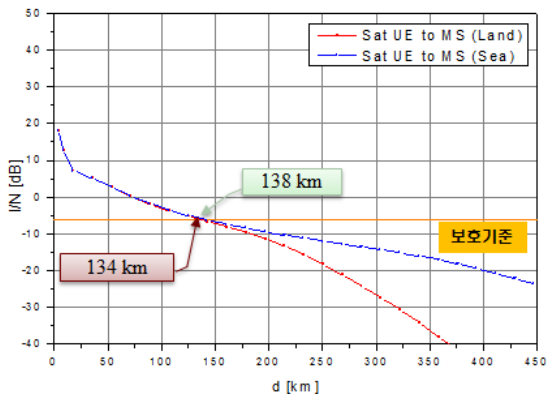


그림 6. 지구국으로부터 이동국으로의 간섭 특성

2. 이동 시스템으로부터 이동위성 시스템으로의 간섭

이동시스템으로부터 우주국으로의 간섭은 그림 7에 나타낸 바와 같이 간섭원이 기지국인 경우(C1)와 이동국인 경우(D1)가 존재한다. 그림 8은 이동 시스템의 간섭원이 하나인 경우에 대한 우주국으로의 간섭 특성을 나타낸 것으로 기지

국과 이동국에 의한 간섭이 유사한 것으로 나타났다. 이동업무로부터 우주국으로의 간섭은 그 특성상 다중 간섭원에 대한 영향이 고려되어야 하며, 임의의 이격거리에서 허용가능한 최대 간섭원의 수는 그림 9로부터 계산할 수 있다.

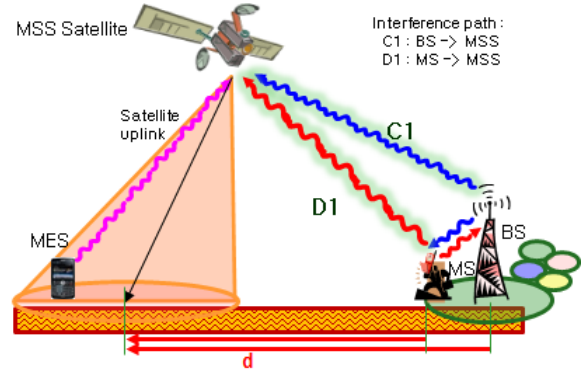


그림 7. 이동업무로부터 우주국으로의 간섭 시나리오

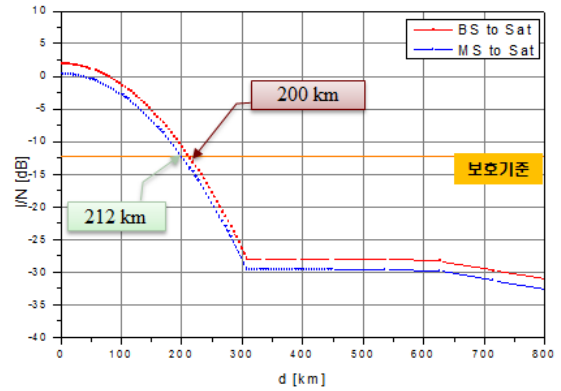


그림 8. 이동업무로부터 우주국으로의 간섭 특성

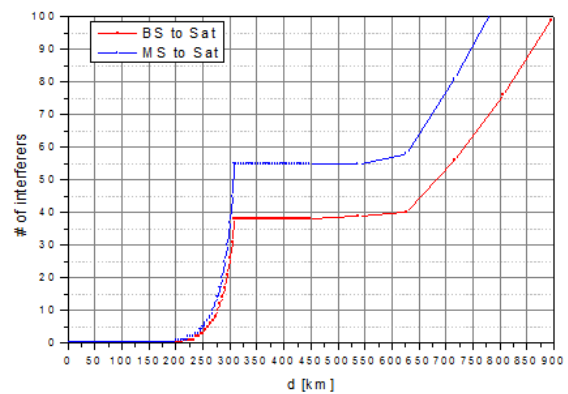


그림 9. 이격거리에 따른 최대 허용간섭원수

마찬가지로 이동시스템으로부터 지구국으로의 간섭은 그림 10에 나타나 있는 바와 같이 간섭원이 기지국인 경우(C2)와 이동국인 경우(D2)가 존재한다.

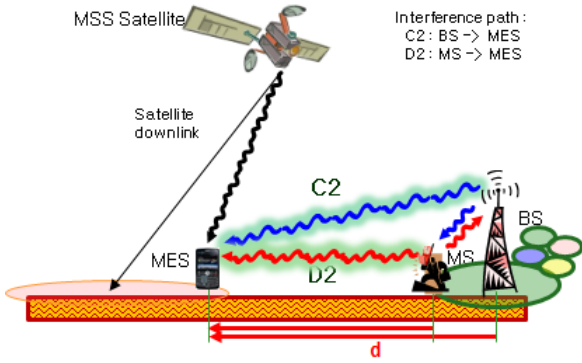


그림 10. 이동업무로부터 지구국으로의 간섭 시나리오

육상경로와 해상경로에 대한 지구국으로부터 지구국으로의 간섭 분석 결과는 그림 11과 같으며, 간섭원이 이동국인 경우에 대한 분석 결과는 그림 12에 나타나 있다. 지구국으로부터 위성업무로의 간섭과 동일하게 육상경로 보다 해상 경로를 통한 전파 간섭이 높은 것으로 나타났다.

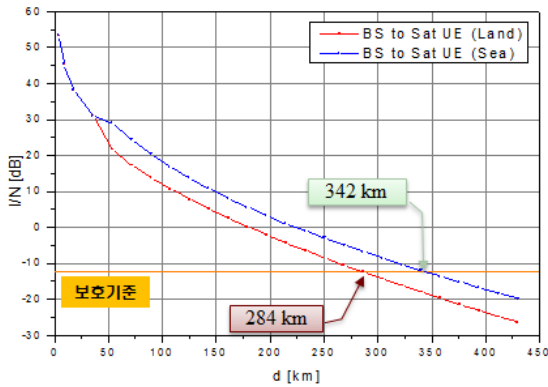


그림 11. 지구국으로부터 지구국으로의 간섭 특성

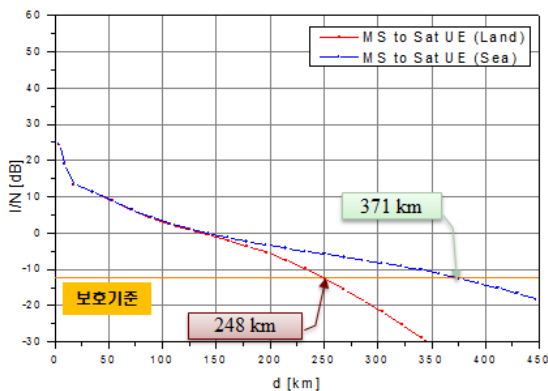


그림 12. 이동국으로부터 지구국으로의 간섭 특성

3. 간섭 평가 결과 분석

최소결합손실 방법과 시스템 제원을 이용하여 분석된 2.1 GHz 대역 이동위성업무와 이동업무의 주파수 공유를 위한 이격거리 계산 결과를 정리하면 표 3과 같다.

표 3. 간섭 경로별 소요 이격거리

| 간섭 경로 | 이격 거리 | 비 고 |
|-----------|----------------|---------------------|
| MSS -> BS | 242 km | |
| MSS -> MS | 248 km | |
| MES -> BS | 162/203 km | 육상/해상 경로 |
| MES -> MS | 134/138 km | 육상/해상 경로 |
| BS -> MSS | 212/277/900 km | 1/10/100 interferer |
| MS -> MSS | 200/268/770 km | 1/10/100 interferer |
| BS -> MES | 284/342 km | 육상/해상 경로 |
| MS -> MES | 248/371 km | 육상/해상 경로 |

지구국, 이동국으로부터 우주국으로의 간섭은 위성 경로의 가시거리 특성상 지상의 다중 간섭원을 고려할 경우 간섭원의 수에 비례하여 누적 간섭량이 증가하며, 위성 링크를 통한 간섭은 위성 안테나의 주빔 및 제1부엽 특성이 주된 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 지구국과 지구국 및 이동국 간의 지상 링크를 통한 간섭은 해상 경로가 지상 경로보다 더 높은 간섭 신호 특성을 보였으며, 전파경로와 송수신 고도에 따라 간섭량이 달라지는 것으로 나타났다. 단일 간섭원을 가정할 경우 이동 시스템(지구국과 이동국)으로부터 이동위성 시스템의 지구국으로의 간섭이 가장 심한 것으로 나타났으며, 다중 간섭원을 적용할 경우에는 이동 시스템으로부터 우주국으로의 간섭이 가장 높은 것으로 나타났다.

VI. 결론

본 논문에서는 2.1 GHz 대역 이동위성통신 시스템과 이동통신 시스템간의 주파수 간섭 시나리오를 검토하고, 동일 주파수에 대한 간섭 평가를 수행하였다. 최소결합손실 방법을 이용한 이동위성 업무와 이동 업무의 동일 주파수 공유를 위한 이격 거리의 계산 결과, 이동 시스템에 의한 간섭이 이동위성 시스템에 의한 간섭보다 크고, 특히 이동 시스템의 다중 간섭원에 의한 우주국으로의 누적 간섭이 가장 심각한 것으로 나타났다. 따라서 두 시스템간의 주파수 공유 및 양립 연구를 위해서는 다수의 이동 시스템으로부터 발생하는 우주국으로의 누적 간섭이 가장 중요한 항목이며, 보다 정확하고 현실적인 평가 방법에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] “모바일 광개토 플랜”, 방송통신위원회 보도자료, 2012.
- [2] Radio Regulations, edition of 2008, International Telecommunication Union.
- [3] International Telecommunication Union, Report ITU-R

M.2041, "Sharing and adjacent band compatibility in the 2.5 GHz band between the terrestrial and satellite components of IMT-2000", Geneva, 2003.

- [4] International Telecommunication Union, Doc. 4B/200 Annex 5, "Working document towards a preliminary draft new Recommendation ITU-R M[IMT-ADVANCED-SAT]", Geneva, 2011.
- [5] International Telecommunication Union, Doc. 4B/200 Annex 9, "Working document - Preliminary self-evaluation of candidate satellite radio transmission technology for IMT-Advanced, "SAT-OFDM"", Geneva, 2011.
- [6] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R S.672-4, "Satellite antenna radiation pattern for use as a design objective in the fixed-satellite service employing geostationary satellites", Geneva, 1997.
- [7] International Telecommunication Union, Report ITU-R M.2135-1, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced", Geneva, 2009.
- [8] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R P.525 - 2, "Calculation of free-space attenuation", Geneva, 1994.
- [9] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R P.676 - 8, "Attenuation by atmospheric gases", Geneva, 2009.
- [10] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R P.452 - 14, "Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1 GHz", Geneva, 2009.

저자

정 남 호 (Namho Jeong)

정회원



- 1999년 2월 : 충남대학교 전파공학과 공학사
- 2001년 2월 : 충남대학교 전파공학과 공학석사
- 2001년 3월~현재 : 충남대학교 전파공학과 박사과정

- 2004년 3월~2007년 8월 : (주)빅텍 기술연구소 선임연구원
- 2007년 8월~2009년 12월, 2011년 5월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> : 전자파 전파, 전자파 간섭, 위성통신, 이동통신

김 희 욱 (Hee Wook Kim)

정회원



- 2001년 8월 : 고려대학교 전기전자전파 공학부 공학사
- 2004년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 공학석사
- 2004년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> : 위성통신, OFDM, 동기, MIMO

오 대 섭(Dae-Sub Oh)

정회원



- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 1998년 3월~2000년 7월 : LG정보통신 주임연구원

- 2000년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원

<관심분야> : 위성통신, 전파통신, 디지털통신공학

구 본 준(Bon-Jun Ku)

정회원



- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
- 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학박사

- 1995년~1997년 : 한국타이어 중앙연구소 연구원

- 1999년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 위성스마트통신연구팀장/선임연구원

<관심분야> : 위성통신, HAPS, 주파수공유, 위성안테나