

L-대역 무선항행위성업무와 이동업무간 인접대역 간섭 평가

정남호*, 오대섭*, 구본준* 정회원

Interference Assessment between Radio-Navigation Satellite Service and Mobile Communication Service in Adjacent L-Band

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

요 약

무선통신 시스템 간의 주파수 간섭은 시스템의 성능을 감소시키거나 운용을 제한할 수 있으므로 신규 시스템의 도입 이전에 기존 시스템들과의 주파수 양립성 평가가 반드시 수행되어야 한다. 본 논문에서는 1.6 GHz 대역 무선항행위성업무 시스템의 인접대역에서 신규 이동통신업무 시스템을 운용하기 위한 양립성 평가 알고리즘을 제시하였으며, 동일 지역 내에서 운용되는 이동통신업무 시스템과 무선항행위성업무 시스템 상호 간의 최소결합손실 (Minimum Coupling Loss; MCL) 분석 결과로부터 두 시스템 간의 주파수 공유를 위한 조건을 도출하였다.

Key Words : radio interference; frequency sharing; RNSS; mobile communication; spectrum management;

ABSTRACT

Since radio interference can degrade the performance of systems or limit the system operation, an accurate assessment of radio interference with the existing systems should be conducted prior to the operation of a new system. In this paper, we present an evaluation methodology for the radio interference between radio-navigation satellite service (RNSS) systems and mobile communication service (MS) system. Radio interferences from RNSS systems into MS system using minimum coupling loss (MCL) method are simulated and vice-versa, and the frequency sharing condition between two systems are derived in a same geographical area.

I. 서 론

최근 데이터 폭발이라 불릴 만큼 급증하고 있는 이동통신용 데이터 트래픽의 증가에 대처하기 위해 미래 광대역 이동통신용 주파수에 대한 소요 예측과 주파수 스펙트럼의 확보와 관련된 연구가 세계 주요국에서 활발히 진행되고 있다. 미국, 영국, 일본 그리고 호주의 경우 현재 이용 중인 약 400 MHz 대역폭의 이동통신용 주파수에 340-750 MHz 대역폭의 주파수를 추가로 확보하기 위한 계획을 추진하고 있으며[1], 국내에서도 향후 10년간 1 GHz 대역폭 이상의 이동통신용 주파수를 추가 발굴 및 확보하기 위한 중장기 계획인 ‘모바일 광개토 플랜 2.0’을 준비 중에 있다. 이동통신업무 (Mobile communication Service; MS)용 추가 주파수로 검토되고 있는 후보 주파수 대역들 중 L-대역은 전파 손실 특성이 다른 대역에 비해 우수하여 휴대용 및 이동 단말의 적용에 용이한 것으로 알려져

있으며, 이중 1,215-1,350 MHz, 1,559-1,626.5 MHz 대역은 GPS, GLONASS, Galileo, Beidou로 대표되는 무선항행위성업무(Radio-Navigation Satellite Service; RNSS)인 전역위성항법시스템 (Global Navigation Satellite Service; GNSS)에 의해 활발히 이용되고 있다. 본 논문에서는 신규 MS용 주파수의 할당 및 지정 이전에 이미 운용 중에 있는 RNSS 시스템들과 양립성을 검토하기 위해서 1.6 GHz 주파수 대역에서 RNSS 시스템들과 인접한 MS 시스템 간의 최소결합손실 평가 방법을 제시하고, 간섭 시뮬레이션 결과를 분석하고자 한다.

II. 간섭 시나리오와 분석 방법

1. 간섭 시나리오

※ 본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신-방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행하였음.

*한국전자통신연구원 위성휴대방송통신연구실(nhjeong@etri.re.kr, trap@etri.re.kr, bjoo@etri.re.kr), 교신저자 : 정남호
접수일자 : 2013년 10월 31일, 수정완료일자 : 2013년 12월 10일, 최종 게재확정일자 : 2013년 12월 11일

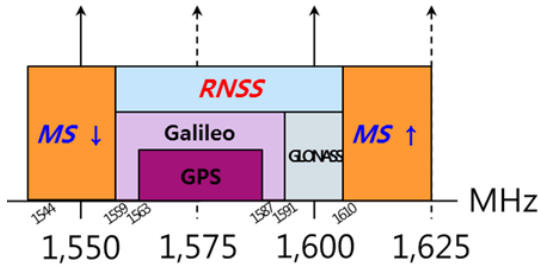


그림 1. 1.6 GHz 대역 주파수 이용 시나리오

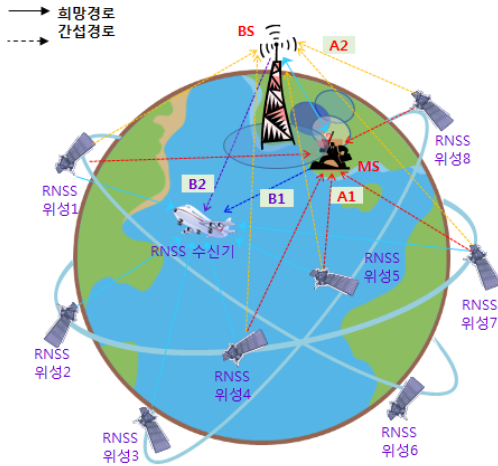


그림 2. RNSS와 MS간 간섭 경로

그림 1에서 나타낸 바와 같이 1,559-1,610 MHz 대역은 무선항행위성업무에 분배되어 GPS, GLONASS, Galileo 등 다양한 등 GNSS 시스템들이 운용 중이다. 1.6 GHz 대역 RNSS 시스템과 이동통신 시스템간 주파수 양립성 평가를 위해 본 논문에서는 RNSS 시스템의 인접 대역인 1,544-1,559 MHz와 1,610-1,625 MHz 대역을 3GPP E-UTRA 기반의 MS 시스템이 사용하는 것으로 가정하였다. 그림 2에 도시한 바와 같이 RNSS 시스템에는 하향링크만 존재하므로 MS 시스템과 RNSS 시스템 간의 간섭에는 다음과 같이 4가지 경로가 존재하게 된다.

- 1) A1: RNSS 위성으로부터 MS 하향링크로의 간섭
- 2) A2: RNSS 위성으로부터 MS 상향링크로의 간섭
- 3) B1: MS 상향링크로부터 RNSS 수신기로의 간섭
- 4) B2: MS 하향링크로부터 RNSS 수신기로의 간섭

주파수 간섭량 분석에 자주 활용되는 최소결합손실 기법은 송신기와 수신기 파라미터가 주어진 경우 이 시스템의 보호기준을 만족하는 최소 전파손실 (이로부터 최소 이격거리 계산)을 계산하거나 최소 보호대역을 도출하는 방법이다. 피간섭원의 수신기 입력에서의 간섭 레벨은 간섭원의 출력 레벨, 안테나 이득 및 전파 손실 등의 함수로써 다음의 식 (1)로 주어진다.

$$I = P_t - L_t + G_t - L_p + G_r - L_r - FDR \quad (1)$$

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_p : 이격거리 d (km)에 의한 경로 손실 (dB)

이며, FDR (frequency dependent rejection) 파라미터는 수신기 필터의 선택도 곡선에 의해 제거되는 송신기의 불요발사 (unwanted emission) 스펙트럼 측정값으로써 방사 마스크와 필터 특성으로부터 다음의 식으로 주어진다[2].

$$FDR = 10 \log \frac{\int_0^\infty P(f)df}{\int_0^\infty P(f)|H(f + \Delta f)|^2 df} \quad (2)$$

여기서,

$P(f)$: 간섭원의 전력 스펙트럼 밀도

$H(f)$: 수신기 필터의 주파수 응답

Δf : 간섭원과 수신기 사이 주파수 편차

이다.

다중 간섭원으로부터의 누적 간섭량은 간섭원에서 피간섭원으로 각각 입력되는 간섭신호들의 합으로 계산된다. 통상 다중 간섭원에 의한 누적 간섭량은 동일 주파수를 사용하는 간섭원에 의한 동일채널간섭과 상이한 주파수의 간섭원에 의해 발생하는 인접채널간섭으로 구분되나, 본 논문에서는 인접채널간섭만을 고려하여 계산한다.

2. 시스템 제원

그림 3은 L1 대역 (1,559-1,610 MHz)에서 운용 중인 GPS의 C/A, P, M, L1C 코드, Galileo의 OS, PRS 코드, GLONASS의 SA, HA 등 다양한 형태의 RNSS 신호들에 대한 전력스펙트럼밀도를 나타낸 것이다[3]. 그림 3에서 볼 수 있듯이 1.6 GHz 대역에서 중첩되어 사용되고 있는 RNSS 신호들 중 Galileo PRS (Public Regulated Service) 신호와 GLONASS HA (High Accuracy) 신호가 각각 MS 시스템의 1,544-1,559 MHz 대역과 1,610-1,625 MHz 대역에 인접하여 사용되고 있으므로 간섭의 영향이 가장 클 것이 예상되므로 본 논문에서는 간섭 시나리오 중 A1와 B2의 경우는 Galileo PRS 신호를 RNSS 시스템으로 가정하였으며, A2와 B1의 경우에는 GLONASS HA 신호를 적용하였다.

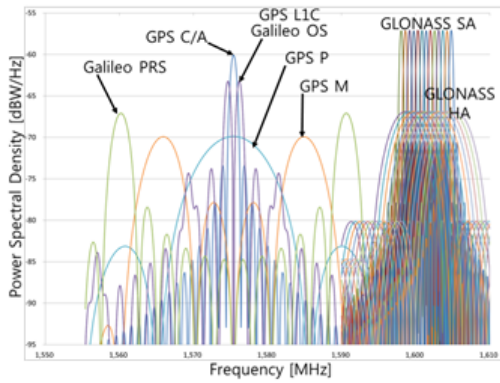


그림 3. 1.6 GHz 대역 RNSS 신호 특성

표 1은 간접 분석에 사용되는 RNSS 시스템인 Galileo PRS 신호와 GLONASS HA 신호의 시스템 제원을 정리한 것이다[3]. 시뮬레이션에 사용된 RNSS 위성과 수신기의 안테나 이득 패턴은 그림 4와 같다[4],[5]. 인접대역 간섭 특성을 반영하기 위한 *FDR* 계산에 요구되는 RNSS 시스템의 수신 필터 특성은 항공용 수신기에 대한 ICAO 표준에서 추출된 값을 적용한다[6].

표 1. RNSS 시스템 제원

| | Galileo PRS | GLONASS HA |
|------------|-------------|--------------|
| 위성 수 | 27 | 24 |
| 궤도면 | 3 | 3 |
| 경사도 | 56° | 64.8° |
| 고도 | 23,222 km | 19,100 km |
| 다중접속 | CDMA | FDMA |
| 주파수 | 1.57542 GHz | 1.605375 GHz |
| 송신 출력 | 15.592 dBW | 16.04 dBW |
| 송신안테나 이득 | 17.6 dBi | 17.6 dBi |
| 수신안테나 이득 | 4.4 dBi | 4.4 dBi |
| 잡음 온도 | 513 K | 400 K |
| 보호기준 (I/N) | -16.0 dB | -16.0 dB |

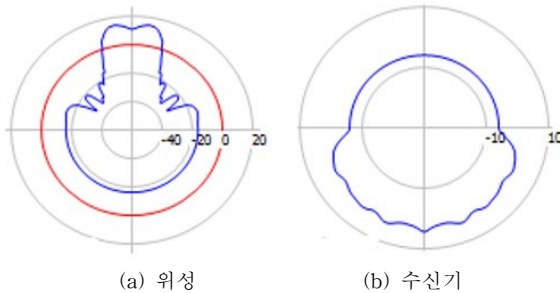


그림 4. GNSS 시스템 안테나 패턴

RNSS와의 공유 연구를 위해 사용된 MS 시스템은 3GPP의 E-UTRA 표준 중 FDD 기반의 이동무선

인터페이스 규격을 사용하는 것으로 가정하였다. MS 시스템의 채널 대역폭은 5 MHz를 적용하였으며, 간섭량 예측 시 사용된 MS 시스템의 무선 제원은 표 2와 같다[7], [8]. 방사 마스크와 필터 특성 또한 E-UTRA 규격상의 인접채널 누설비 (adjacent channel leakage ratio)와 인접채널 선택도 (adjacent channel selectivity) 파라미터로부터 계산하였다.

표 2. MS 시스템 제원

| | 기지국 | 사용자 단말 |
|------------|------------|------------|
| 중심 주파수 | 1556.5 MHz | 1612.5 MHz |
| 채널 대역폭 | 5.0 MHz | 5.0 MHz |
| 송신 출력 | 2.0 dBW | -9.0 dBW |
| 안테나 이득 | 15.0 dBi | 0.0 dBi |
| 잡음지수 | 5 dB | 9 dB |
| 안테나 높이 | 30/45 m | 1.5 m |
| 보호기준 (I/N) | -6.0 dB | -6.0 dB |

MS 시스템은 그림 5에 나타나 있는 바와 같이 3 sector 안테나로 구성되는 이동통신 셀로 구성하였으며, 지상 셀들의 주파수 재사용지수는 3/1을 적용하였다. 기지국 안테나는 ITU-R 권고서 M.2135 권고서 모델 ($A_m=20$, $\theta_{3dB}=70^\circ$)을 사용하였으며[9], 사용자 단말 (User Equipment; UE)의 안테나 특성은 전방향성 패턴을 가정하였다. 간섭량 계산에 사용된 MS 시스템의 기지국과 UE의 안테나 패턴 특성은 그림 6과 같다.

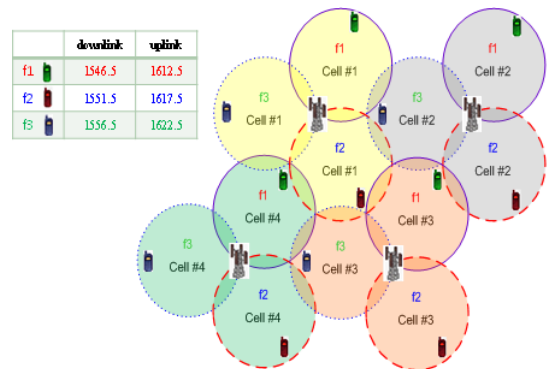


그림 5. MS 주파수 셀 배치

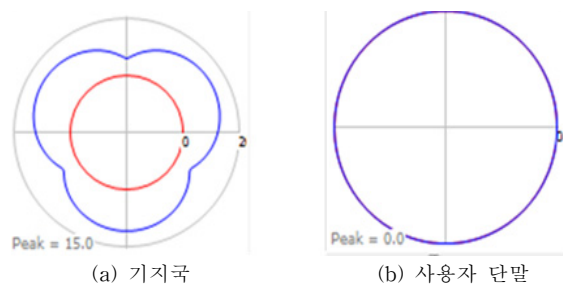


그림 6. MS 시스템 안테나 패턴

Ⅲ. 시뮬레이션 결과 분석

1. RNSS 위성으로부터 MS로의 간섭

RNSS 위성으로부터 MS 하향링크로의 간섭 평가를 위해 27개 Galileo 위성 PRS 신호들로부터 MS UE에 입력되는 간섭 신호세기를 계산하였으며, 위성링크의 경로 손실 모델은 자유공간 손실과 ITU-R의 가스흡수 손실 모델을 사용하였다[10]. MS UE가 RNSS 주파수 대역에 가장 인접한 1556.5 MHz를 중심 주파수로 사용할 때 간섭 레벨이 가장 높은 것으로 나타났으며, 반송파대간섭비 (C/I)에 대한 최악의 간섭은 MS UE가 셀의 외각 (셀 경계)에 위치할 때로 나타났다. 이는 MS 기지국의 안테나 패턴 및 송수신간 이격거리에 대한 전파손실 특성으로 인해 셀 외각에서의 반송파 수신 레벨이 가장 낮기 때문이다.

비정지궤도 Galileo 위성들의 이동 특성으로 인하여 MS UE로의 누적 간섭량은 위성군의 시간에 따른 상대적 위치에 따라 다르게 나타나게 된다. 간섭 신호의 시간에 대한 변화 특성을 분석하기 위해 Galileo 위성의 유사궤도 반복주기인 약 10일의 기간에 대한 MS 하향링크로의 간섭신호대잡음비 (I/N) 특성을 그림 7에 도시하였다. 그림 7의 I/N 예측 결과에서 볼 수 있듯이 RNSS 위성으로부터 MS 하향링크로의 간섭은 이동업무 UE에 대한 보호기준인 $I/N = -6.0$ dB를 초과하지 않으므로 유해간섭을 일으키지 않음을 알 수 있다.

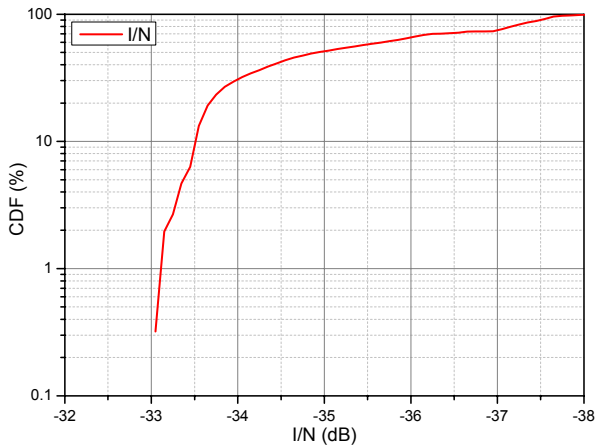


그림 7. RNSS 위성으로부터 MS 하향링크로의 간섭

RNSS 위성으로부터 MS 상향링크로의 간섭 시뮬레이션 시에는 GLONASS HA 신호 14개 주파수 채널을 모두 적용하여 분석하였다. C/I 측면에서 최악의 간섭은 MS 하향링크로의 간섭과 마찬가지로 MS 기지국의 중심 주파수가 f_1 (1,612.5 MHz)이고, UE가 셀 외각에 위치하는 경우로 계산되었다. 그림 8의 I/N 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 RNSS 위성으로부터 MS 상향링크로의 간섭 또한 MS BS의 보호기준 $I/N = -6.0$ dB를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

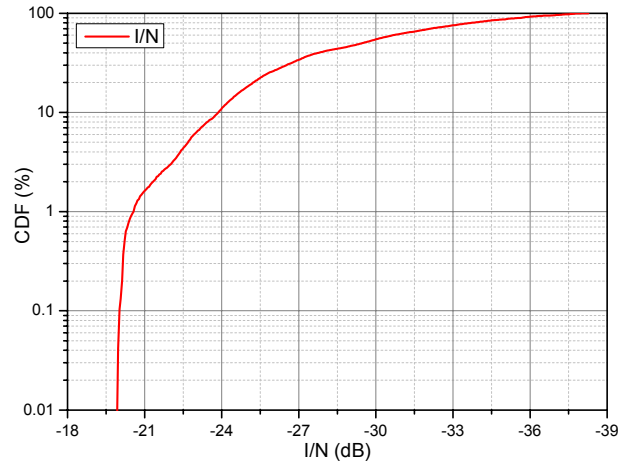
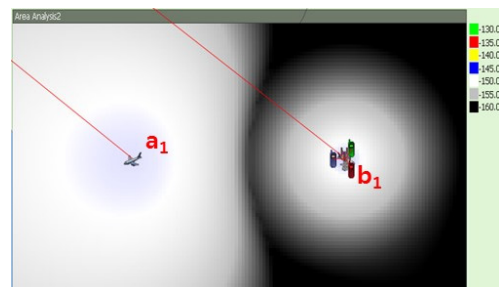


그림 8. RNSS 위성으로부터 MS 상향링크로의 간섭

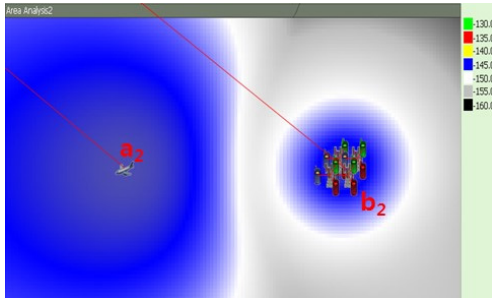
2. MS로부터 RNSS 수신기로의 간섭 분석

MS 시스템으로부터 RNSS 시스템으로의 간섭 시뮬레이션 시 RNSS 수신기는 통상적인 항공기의 비행 고도인 10 km에 위치한 것으로 가정하였다. 전파환경별 간섭 분석 시 도심환경의 경우 기지국 안테나 높이와 셀간 거리를 각각 30 m와 1 km로 가정하였으며, 개활지 환경에서는 각각 45 m 및 4.5 km로 두었다. 전파 모델은 도심 환경의 경우 Hata 모델을 적용하였으며[11], 개활지 환경의 경우에는 자유공간 손실 모델을 적용하였다. 전파환경에 따른 간섭량 예측 결과, MS 하향링크로부터 RNSS 수신기로의 간섭과 MS 상향링크로부터 RNSS 수신기로의 간섭 모두 도심보다 개활지 환경에서 더 높은 것으로 분석되었다.

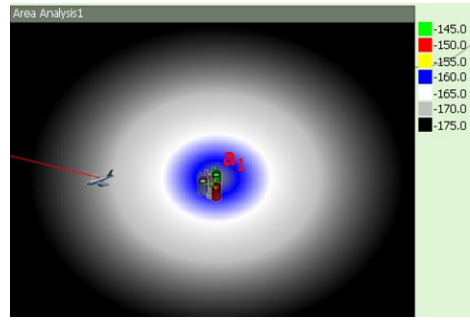
그림 9는 RNSS 수신기 위치에 따른 개활지 환경에서의 간섭량 예측 결과를 보여주는 것으로써 MS의 셀 수가 늘어남에 따라 RNSS 수신기로 입력되는 MS 기지국으로부터의 간섭 레벨도 증가함을 알 수 있다. 가장 높은 신호의 간섭은 지상셀이 61개인 경우, 기지국 안테나의 이득 최대 방향에 항공기가 위치하는 지점에서 -131.7 dBW로 나타났으며, 이 결과는 기지국 안테나의 수평 방향 이득이 수직 방향으로의 이득 보다 크기 때문인 것으로 분석되었다.



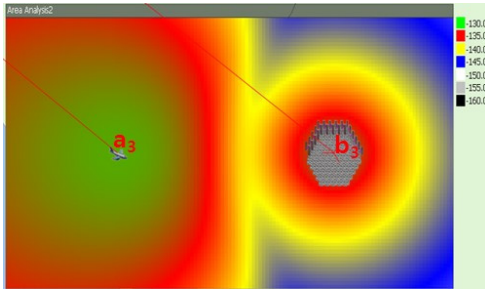
(a) 단일 지상셀



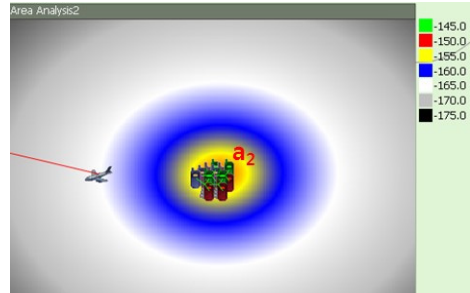
(b) 다중 지상셀 (4개)



(a) 단일 지상셀



(c) 다중 지상셀 (5 tier, 61개)



(b) 다중 지상셀 (4개)

그림 9. MS 하향링크로부터 RNSS 수신기로의 간섭

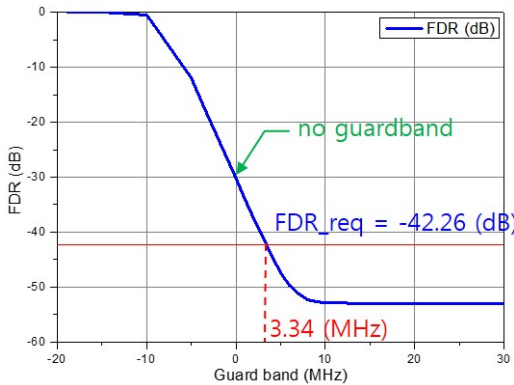
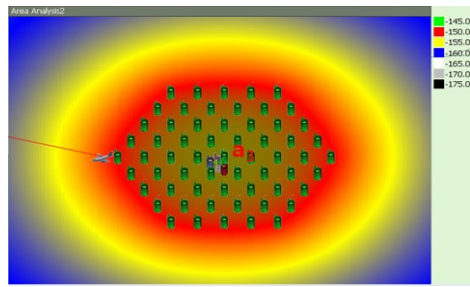


그림 10. MS 하향링크와 RNSS 수신기 간 FDR

RNSS 수신기의 보호기준을 만족하기 위해 11.9 dB 이상의 추가적인 감쇠 (즉, 42.26 dB의 FDR)가 요구되므로, MS 기지국의 방사 특성과 Galileo 수신기의 필터 특성으로부터 계산된 그림 10의 FDR 계산 결과에 나타나 있듯이 보호기준을 만족시키기 위해서는 약 3.34 MHz의 보호대역이 필요한 것을 알 수 있다.

MS 상향링크로부터 GLONASS 수신기로의 간섭은 그림 11에 도시된 바와 같이 하향링크의 경우와 마찬가지로 간섭원 수가 늘어남에 따라 최대 간섭신호 세기도 증가하는 것으로 나타났다. MS 상향링크로부터 RNSS 수신기로의 최대 간섭신호세기는 UE들의 중심부분에서 -147.5 dBW로 나타났으며, 이는 $I/N = -18.4$ dB에 해당하는 값으로 RNSS 시스템의 보호기준을 초과하지 않으므로 본 논문에서 가정된 분석 조건에서는 간섭이 발생하지 않는 것을 의미한다.



(c) 다중 지상셀 (5 tier, 61개)

그림 11. MS 상향링크로부터 RNSS 수신기로의 간섭

MS 하향링크로부터의 간섭에 비해 MS 상향링크로부터의 간섭량이 적게 나타나는 것은 RNSS 시스템과 MS 시스템의 출력, 안테나 이득 및 패턴, 방사 및 필터 마스크 특성 등 무선 제원 차이에 의한 것이다. 그중에서도 GLONASS 시스템에 지정된 총 21개 채널들 중에서 현재 사용 중인 6번 채널 주파수까지만 적용하였기 때문에 동일한 보호대역의 적용 시에도 GLONASS 시스템과 MS 상향링크 사이의 주파수 이격이 MS 하향링크 간섭의 경우보다 커지면서 FDR 값이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 L-대역 무선헤행위성 업무와 이동업무간 간섭 시나리오를 분석하고 간섭량 평가 방법을 제시하였다. 간섭 평가 시 1.6 GHz 대역의 주파수 배치와 같은 운용 환경을 반영하여 실제적인 간섭 환경에 대해 간섭량을 예측하였으며, RNSS 시스템의 글로벌 운용 특성으로 인해

지리적 이격에 의한 주파수 공유는 불가능하므로 주파수 이격을 통한 두 시스템 간의 양립성 평가를 수행하였다. RNSS 시스템과 MS 시스템의 양립을 위한 시스템의 보호기준으로는 국제표준화 전문기구인 ITU에서 권고하고 있는 I/N 보호기준을 적용하였으며, 인접대역 간섭 및 다중 간섭원에 의한 영향을 분석하였다. RNSS 위성으로부터 MS 시스템으로의 간섭은 MS의 기지국과 UE 모두에 대해 추가적인 보호대역 없이 운용이 가능한 것으로 분석되었으나, MS 시스템으로부터 RNSS 수신기로의 간섭의 경우는 기지국 신호로부터 RNSS 시스템의 보호를 위해서 추가적인 보호 대역이 필요한 것으로 나타났다. 본 논문에서 간섭 평가 결과는 MS 단일 간섭원에 의한 간섭은 출력, 안테나 이득, 가시거리 경로 등 최악의 경우에 대한 분석 결과로 볼 수 있으나, 다중 간섭원의 경우에는 이동통신 시스템의 커버리지, 활성화 정도 등에 따라 누적 간섭량에서 차이가 발생할 수 있으므로 보다 다양하고, 구체적인 지상의 이동통신망 운용 시나리오에 대한 추가적인 분석을 통해 공유 조건을 도출해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 김기원, 송승이, “주요국 모바일 브로드밴드용 주파수 확보 전략 비교·분석 및 시사점”, 방송통신전파저널, 통권 44호, pp. 16-30, 한국방통신전파진흥원, 2011.

[2] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R SM.337-6 “Frequency and distance separations”, Geneva, 2008.

[3] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R M.1903 “Characteristics and protection criteria for receiving earth stations in the radionavigation-satellite service (space-to-Earth) and receivers in the aeronautical radionavigation service operating in the band 1 559-1 610 MHz”, Geneva, 2012.

[4] G. G. Maxwell-Cox and M. S. Smith, “Full-Wave Modelling of the Antennas for the Galileo Satellite”, Proc. of EuCAP 2007, Edinburgh UK, pp.1-4, Nov. 2007.

[5] W. Liu et al., “Assessment and analysis of radio frequency compatibility among several global navigation satellite systems”, IET Radar Sonar Navig., vol.5, no.2, pp. 128-136, 2011.

[6] ICAO, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I, Radio Navigation Aids (sixth edition, amendment 84)

[7] 3GPP Technical Specification 36.104 v10.4.0, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 10), Sep. 2011.

[8] 3GPP Technical Specification 36.101 v10.4.0, Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved

Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (Release 10), Sep. 2011.

[9] International Telecommunication Union, Report ITU-R M.2135-1 “Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced”, Geneva, 2009.

[10] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R P.676-8 “Attenuation by atmospheric gases”, Geneva, 2009.

[11] M. Hata, “Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services”, IEEE Trans. VT, vol. 29, pp. 317 - 325, 1980.

저자

정 남 호(Namho Jeong)



정희원
 · 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

오 대 섭(Dae-Sub Oh)



정희원
 · 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)



정희원
 · 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 · 1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학석사
 · 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 공학박사
 · 1995년~1997년 : 한국타이어 중앙연구소 연구원
 · 1999년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 위성휴대방송통신구실장/책임연구원
 <관심분야> : 위성통신, HAPS, 주파수공유, 위성안테나