

비행시험을 위한 SBAS수신기 간섭 요구사항 분석

Analysis of interference requirements in SBAS receiver for Flight Test

신현성¹ · 홍교영^{2*} · 한지애³ · 홍운기³

¹한서대학교 대학원 항공시스템공학과

²한서대학교 항공전자공학과

³한국항공우주연구원 SBAS 기술팀

Hyun-Sung Shin¹ · Gyo-Young Hong^{2*} · Ji Ae Han³ · Woon Ki Hong³

¹Department of Aviation system Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 31962, Korea

²Department of Avionics, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 31962, Korea

³SBAS Technology Development Team, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

[요 약]

최근 항공교통량이 폭발적으로 증가됨에 따라 항공로 수용력 증대를 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 기존 VOR/DME장비를 기준으로 설정된 항공로 상 분리간격의 한계를 보완하기 위하여 인공위성을 활용하는 GNSS가 고려되고 있다. 또한 GNSS 오차를 보정할 수 있는 시스템인 SBAS를 이용하여 더욱 더 정확한 위치정보를 얻으려 노력하고 있다. ICAO에서는 2025년까지 SBAS 도입을 권고하고 있고 우리나라 또한 2014년부터 한국형 SBAS인 KASS개발에 착수하였다. 이에 KASS 개발에 따른 노력으로, 적절한 수신기 설계가 요구되어 본 논문에서는 측정항목에 대한 간섭임계값 및 위성 수신 안테나의 양각에 따른 수신 안테나 이득을 분석하였다.

[Abstract]

Recently, as the air traffic volume has been explosively increased, various studies are being conducted to increase the air passenger capacity. In order to compensate the limitation of the separation distance on the aerodrome established on the basis of existing VOR / DME equipment, GNSS utilizing satellite is considered. In addition, we are trying to obtain more precise location information by using SBAS, a system that can correct GNSS error. ICAO recommends introducing SBAS until 2025, and Korea has also started to develop KASS, a Korean SBAS since 2014. Therefore, in this paper, we analyze the interference threshold for the measurement items and the receiving antenna gain according to the elevation angle of the satellite receiving antenna.

Key word : Flight Test, GNSS, Interference Threshold, KASS, SBAS.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.6.585>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 5 December 2017; Revised 7 December 2017

Accepted (Publication) 19 December 2017 (30 December 2017)

*Corresponding Author, Gyo-young Hong

Tel: +82-41-671-6232

E-mail: kiathgy@hanseo.ac.kr

I. 서론

항공교통여객의 큰 증가에 따라 항공기 수요가 증가되어 항공로 상의 수용력 증대를 위한 다양한 연구가 진행되어 오고 있다. GNSS(global navigation satellite system)은 GNSS 수신기를 사용하는 사용자가 지구에 어디서든 시각 정보와 위치 정보를 획득할 수 있다. 그렇기 때문에 기존 항공로의 기준으로 사용되어 오던 VOR/DME(VHF omnidirectional radio range / distance measuring equipment)의 한계점을 보완하여 항공 수용력을 증대시킨다[1]. 또한 항공분야 뿐만 아니라 차량용 내비게이션, 스마트폰, 정밀 농업 및 측량 등 다양한 분야에서 사용이 되어 오고 있다. 이렇듯, GNSS는 광범위하게 다양한 분야에서 필수적으로 사용 되는 인프라가 되었다[2]. 이러한 GNSS의 장점으로 인하여 세계 각국은 독자적인 GNSS를 구축하기 위하여 연구를 진행하고 있다. 대표적인 GNSS는 미국 GPS(global positioning system), 러시아의 GLONASS(global navigation satellite system) 유럽의 Galileo, 중국의 BeiDou, 일본의 QZSS(Quasi-zenithj satellite system), 인도의 IRNSS(Indian regional navigational satellite system)등이 있다[1].

그러나 이러한 GNSS를 독립적으로 사용하는 것은 오차에 따른 한계점이 존재한다. 대표적인 오차들로는 전리층 오차, 대류층 오차, 기하학적오차로 인한 DOP(dilution of precision), Multipath, 잡음 등이 존재한다. 그렇기 때문에 GNSS를 보정할 수 있는 시스템이 요구된다. 이에 SBAS(satellite based augmentation system)가 고려되어 지고 있다. 이러한 SBAS는 GNSS시스템의 오차를 보정하여 매우 높은 무결성(integrity) 및 정확성(Accuracy)을 지닌 정보를 사용자들에게 제공하게 된다. 국제민간항공기구인 ICAO(international civilian aviation organization)에선 2025년까지 SBAS 도입을 권고하고 있다[1]. 이에 우리나라 또한 2014년부터 한국형 SBAS인 KASS(Korea augmentation satellite system)개발이 진행되어 오고 있다. 이륙 및 착륙 단계에서 SBAS를 사용하기 위해 요구되어지는 ICAO SARPs(standards and recommended practices)의 APV(approach procedures with vertical guidance) - I급 이상의 서비스제공이 가능하여야 한다. 그리하여 우리나라는 2022년 까지 APV- I급 SoL(Safety of life)의 서비스제공을 목표로 개발 중이다. 표 1. 에서 ICAO가 정의한 착륙 및 접근절차에 대한 서비스 레벨을 정리하였고, 표 2.를 통하여 우리나라 KASS의 목표인 APV- I 급의 수평 / 수직정확도(16m/20m), 무결성, 연속성, 가용성 등의 구체적인 파라미터를 정리하였다[1][2].

본 논문에서는 한국형 SBAS인 KASS에 적합한 수신기설계 시, 간섭은 치명적인 오차를 만들어낼 수 있는 중요한 문제이기 때문에 간섭에 대한 요구사항을 분석하고자 한다. 이러한 요구 사항은 ICAO DOC 8071, Annex 10 활용하여 간섭 요구사항 및 안테나 이득을 분석하고자 한다.

표 1. ICAO가 정의한 서비스 레벨별 정확성 및 무결성 요구조건.[2]
Table 1. ICAO defined service level accuracy and integrity requirements.[2]

| Service level | Accuracy | | Integrity | | |
|---------------|------------|----------|-----------|------------|--|
| | Horizontal | vertical | HAL | VAL | Risk |
| NPA | 220m | N/A | 556 m | N/A | $1 \times 10^{-7}/h$ |
| APV- I | 16m | 20m | 40 m | 50m | $1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach |
| LPV200 | 16m | 4m | 40 m | 35m | $1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach (any 150s) |
| APV- II | 16m | 8m | 40 m | 20m | $1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach |
| CAT- I | 16m | 6m to 4m | 40 m | 15m to 10m | $1 - 2 \times 10^{-7}$ per approach |

표 2. APV- I급 성능 요구사항.[2]
Table 2. APV- I performance requirements.[2]

| Parameter | Performance Requirements |
|---------------------------|---|
| accuracy horizontal (95%) | 16.0 m (52 ft) |
| accuracy vertical (95%) | 20 m (66 ft) |
| integrity | $1 - 2 \times 10^{-7}/\text{approach}$ |
| time-to-alert | 10 sec |
| continuity | $1 - 8 \times 10^{-6}/\text{in any 15 sec}$ |
| availability | 0.99 ~ 0.99999 |

II. SBAS 개요

2-1 국외 SBAS 현황

1) 미국의 WAAS

FAA(federal aviation administration)에서 1990년대 중반부터 WAAS(wide area augmentation system)의 연구 및 개발이 진행되어 왔다. 북미 전역 육상 및 해상에서 항공기의 정밀접근 최저성능을 유지하도록 개발되어 오고 있다. WAAS는 GPS의 데이터를 수집하는 기준국(WRS ; wide area reference station)과 WRS의 데이터의 보정정보를 생성하는 중앙처리국(WMS ; wide area master station), WAAS 시스템을 감시하는 지상감시국(GES : ground earth station), 보정정보를 지상에 전송하는 지구정지궤도위성 Anik FIR과 Galaxy 15, 인마셋4F3 등으로 구성되어 있다. 2013년까지 LPV-200의 성능을 제공하였고, 2028년까지 이중중과수를 이용하여 시스템을 운용할 계획이다[3].

2) 유럽 EGNOS

EGNOS(European geostationary navigation overlay service)는 1995년도 유럽우주청(ESA; European space agency)을 주관으로 개발을 착수하였다. 첫 시험방송은 2003년에 실시하였고, 2006년에는 북부 아프리카까지 서비스 영역을 확대하였다. 그 후, 2011년부터 유럽과 북부아프리카 지역에 SoL서비스를 제공하기 시작하였다. EGNOS에서 제공되고 있는 서비스레벨은 APV- I 급이다. WAAS와 유사하게 GPS의 데이터 수집 및 무결성을 감시하는 기준국(RIMS; ranging integrity & monitoring station)과 위성 통신국(NLES; navigation land earth station), 통합운영국, 기준국으로부터 받은 데이터를 이용하여 오차제거를 위한 보정정보를 생성하는 중앙처리국(MCC; mission control center)으로 구성되어 있다. 위성은 정지궤도 위성으로 인마셋 3F2위성과 인마셋4F2위성, ARTEMIS위성이 사용되고 있다[3].

3) 일본 MSAS

MSAS(MTSAT satellite augmentation system)는 일본의 국토교통성에서 구축 및 운용 중인 위성기반 보정시스템이다. GPS의 항법보정정보를 제공하는 시스템으로 의사거리 신호를 제공하고 GPS위성의 클럭 및 위성궤도력에 대한 정보를 제공한다. 1993년에 GNSS 관련 연구를 시작하여 1995년 MTSAT개발을 착수하였다. 2007년부터 MSAS의 초기운용을 시작하여 비정밀접근(NPA; non precision approach)서비스를 시작하였다[3].

4) 인도 GAGAN

GAGAN은 2004년 기술검증 시스템 개발을 착수하였으며 2007년 인마셋 4F1임착을 통하여 구축을 완료하였다. 2009년에는 GAGAN의 완전운영단계 개발에 착수하여 2011년 GSAT-8위성 및 2012년 GSAT-10위성을 각각 발사하였고, 위성의 커버리지는 그림 1.과 같다. 지상 시스템으로는 기준국(INRES ; Indian reference station)과 중앙제어국(INMCC; Indian master control center), 위성 통신국(INLUS; Indian land uplink station)등이 있다[3].

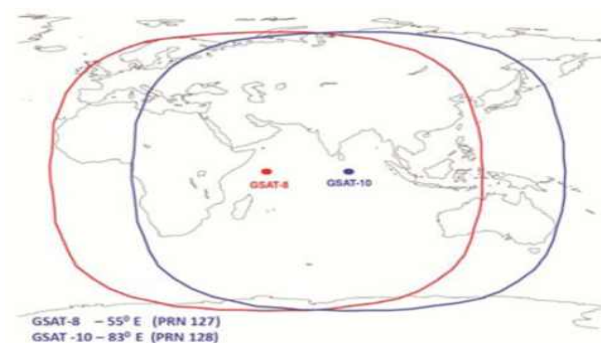


그림 1. GSAT-8/10의 위성 커버리지.[3]

Fig. 1. Satellite coverage of GSAT-8/10.[3]

5) 러시아 SDCM

러시아는 GLONASS(global navigation satellite system)의 차등보정정보 및 시스템 성능 열화분석, 위성의 무결성 감시 등을 제공하는 SDCM(system of differential correction and monitoring)을 개발하고 있다. 지상 시스템으로는 기준국(RS ; reference station), SDCM 중앙센터, 정지궤도 위성으로 구성되어 있고, 위치 정확도는 수평으로 1~1.5 m, 수직으로 2~3 m를 각각 실시간으로 보정한다[3].

2-2 SBAS 운영개념

SBAS는 정지궤도위성을 활용하여 GNSS의 신호를 보정할 수 있는 보정정보를 생성하여 사용자에게 제공하는 시스템이다. SBAS에서 생성되는 보정정보는 위치오차를 보정할 수 있는 정보와 무결성 및 신뢰성 정보로 구성된다. 보정정보 생성의 순서는 기준국들이 수신한 신호를 통신을 통하여 중앙처리국으로 전송되고 중앙처리국에서 신호의 오차보정정보를 생성하게 된다. 위성통신국을 활용하여 위성탑재체에 전달되고 위성탑재체에선 송신된 보정정보를 활용하여 항공기의 위치결정을 하게 된다. 그림 2.를 통하여 SBAS의 전반적인 운영개념을 확인할 수 있다[4].

III. 수신기 주파수 간섭분석

3-1 비행시험 시 SBAS 간섭분석 절차

SBAS 수신기는 주파수 간섭이 발생하였을 시, 잘못된 정보를 제공해서는 안 된다. 지나친 간섭은 무결성보다 연속성과가 용성에 영향을 미치게 된다. 간섭이 의심될 경우, 추가적인 조사가 반드시 시행되어야 하며 추가 데이터를 기록하여야 한다. 최종접근 구간의 간섭평가는 1차 FAS(Final Approach Segment) 사다리꼴의 좌우 측 모서리선을 따라서 비행을 수행한다. FAS 측 선상의 접근 GPA(gilpath angle) 아래에서 1차 FAS 사다리꼴 모서리를 따를 때 완전한 Fly up표시가 확실하게 제공되어야 한다. 일부 지역에서는 간섭환경의 비행시험 전 시 운행 조사가 요구되고, 간섭이 의심되는 지역은 지리학적 범위를 따라 스펙트럼분석 조사를 해야만 한다. 수평 수직 보호레벨, 위성 궤도 및 DOP 신호 대 잡음 밀도 등과 같은 GNSS/SBAS의 파라미터들은 추가조사를 돕기 위하여 반드시 문서화되어야 한다[5].

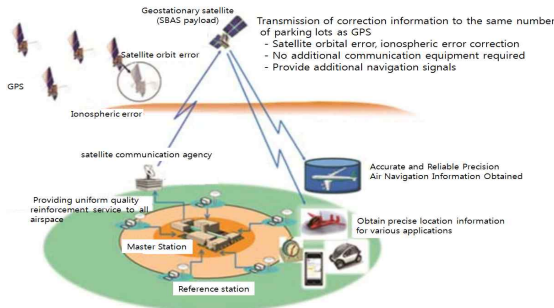


그림 2. SBAS 운영개념.[1][4]
 Fig. 2. SBAS operational concept.[1][4]

3-2 CW(Continue Wave)간섭임계값

1) GPS와 SBAS 수신기

GPS/SBAS 수신기에 대한 표 3.은 정밀접근 단계에서 Satcom의 장착 유무에 따른 간섭임계값을 간섭신호의 주파수 범위에 따라 분석한 것이고, 그림 3.은 표3.의 내용을 가지적으로 볼 수 있게 나타낸 그래프이다. 표 3.와 그림 3.에 명시되어 있는 간섭 임계값과 대등한 수준의 CW간섭신호에 대하여 성능 목표를 만족하여야한다[6].

2) GLONASS 수신기

GLONASS 수신기에 대한 표 4.는 정밀접근 단계에서 Satcom의 장착 유무에 따른 간섭임계값을 간섭신호의 주파수 범위에 따라 분석한 것이고, 그림 4.는 표 4.의 내용을 가지적으로 볼 수 있게 나타낸 그래프이다. 표 4.와 그림 4.에 명시되어 있는 간섭 임계값과 대등한 수준의 CW간섭신호에 대하여 성능 목표를 만족하여야한다[6].

표 3. GPS / SBAS 수신기의 CW간섭에 대한 임계값.[6]
 Table 3. Threshold for CW interference of GPS / SBAS receiver.[6]

| Frequency range f_i of interference signal (MHz) | interference threshold |
|--|---|
| $f_i \leq 1315$ | -4.5 dBW |
| $1315 < f_i \leq 1525$ | -4.5 dBW ~ -42 dBW Linearly decreasing |
| $1525 < f_i \leq 1565.42$ | -42 dBW ~ -150.5 dBW Linearly decreasing |
| $1565.42 < f_i \leq 1585.42$ | -150.5 dBW |
| $1585.42 < f_i \leq 1610$ | -150.5 dBW ~ -60 dBW Linearly increasing |
| $1610 < f_i \leq 1618$ | -60 dBW ~ -42 dBW* |
| $1618 < f_i \leq 1618$ | Linearly increasing |
| $1618 < f_i \leq 2000$ | -42 dBW ~ -8.5 dBW* |
| $1610 < f_i \leq 1626.5$ | Linearly increasing |
| $1610 < f_i \leq 1626.5$ | -60 dBW ~ -22 dBW** |
| $1626.5 < f_i \leq 2000$ | Linearly increasing |
| $1626.5 < f_i \leq 2000$ | -22 dBW ~ -8.5 dBW** |
| $1626.5 < f_i \leq 2000$ | Linearly increasing |
| $f_i > 2000$ | -8.5 dBW |

*Applies to aircraft installations where there are no on-board satellite communications.
 **Applies to aircraft installations where there is on-board satellite communications.

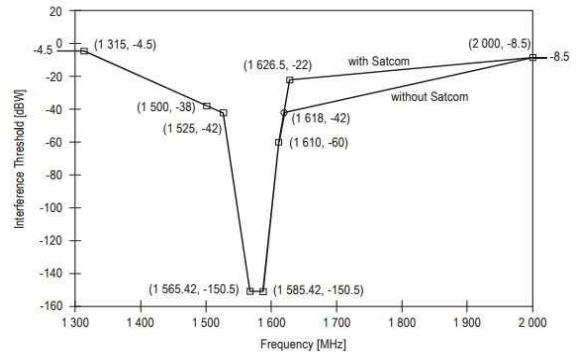


그림 3. 정밀접근단계 GPS / SBAS 수신기 간섭 주파수 대 간섭 임계값.[6]
 Fig. 3. CW interference thresholds for GPS/SBAS receivers used for precision approach.[6]

표 4. GLONASS 수신기의 CW간섭에 대한 임계값.[6]
 Table 4. Threshold for CW interference of GLONASS receiver.[6]

| Frequency range f_i of interference signal (MHz) | interference threshold |
|--|---|
| $f_i \leq 1315$ | -4.5 dBW |
| $1315 < f_i \leq 1562.15625$ | -4.5 dBW ~ -42 dBW Linearly decreasing |
| $1562.15625 < f_i \leq 1583.65625$ | -42 dBW ~ -80 dBW Linearly decreasing |
| $1583.65625 < f_i \leq 1592.9525$ | -80 dBW ~ -149 dBW Linearly decreasing |
| $1592.9525 < f_i \leq 1609.36$ | -149 dBW |
| $1609.36 < f_i \leq 1613.65625$ | -149 dBW ~ -80 dBW Linearly increasing |
| $1613.65625 < f_i \leq 1635.15625$ | -80 dBW ~ -42 dBW* |
| $1635.15625 < f_i \leq 1613.65625$ | Linearly increasing |
| $1613.65625 < f_i \leq 1626.15625$ | -80 dBW ~ -22 dBW** |
| $1626.15625 < f_i \leq 1635.15625$ | Linearly increasing |
| $1635.15625 < f_i \leq 2000$ | -42 dBW ~ -8.5 dBW* |
| $1626.15625 < f_i \leq 2000$ | Linearly increasing |
| $1626.15625 < f_i \leq 2000$ | -22 dBW ~ -8.5 dBW** |
| $1626.15625 < f_i \leq 2000$ | Linearly increasing |
| $f_i > 2000$ | -8.5 dBW |

*Applies to aircraft installations where there are no on-board satellite communications.
 **Applies to aircraft installations where there is on-board satellite communications.

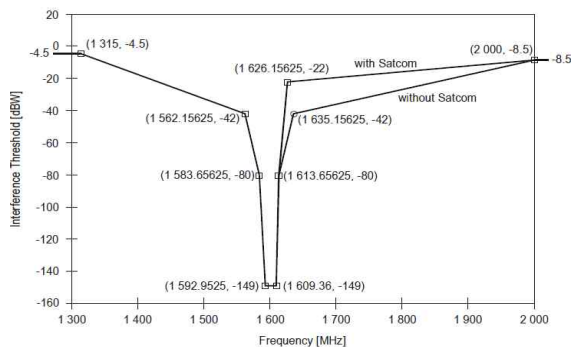


그림 4. 정밀접근단계 GLONASS 수신기 간섭 주파수 대 간섭 임계값.[6]
 Fig. 4. CW interference thresholds for GLONASS receivers used for precision approach.[6]

3-3 대역폭을 갖는 간섭 임계값

1) GPS와 SBAS 수신기

정밀 접근단계 및 위성통신이 장착되어 있는 항공기에서 사용하는 GPS와 SBAS 수신기는 $1575.42 \text{ Mhz} \pm Bw_i/2$ 의 주파수 범위 내에 존재하는 간섭 신호 및 잡음은 표 5.와 그림 5.에 제시된 간섭 임계값과 동일한 안테나 포트의 전압레벨, 안테나 포트에서 -164.5dBW의 요구되어 지는 신호 레벨 성능요소들을 만족하여야 한다. 표 5.와 그림 5.는 간섭 대역폭에 따른 간섭임계값을 분석한 것으로, 정밀접근 및 위성통신장비 사용 시에 비하여 비정밀 접근 시에는 정밀접근 시보다 3 dB가 낮게 임계값이 정의되고, Terminal area와 en-route 상에서는 정밀 접근 시보다 6dB가 낮게 정의된다[6].

(1) 간섭대역폭에 대한 주파수 범위 대 간섭임계값

- 표 6.과 표 7.은 정밀접근단계 및 위성통신이 장착되어 있는 항공기에서 사용되는 GPS와 SBAS 수신기를 기준으로 한다. 간섭대역폭에 따른 간섭임계값을 분석하여 주파수 범위에 대한 간섭 임계값으로 나타내었다. $1575.42 \text{ Mhz} \pm Bw_i/2$ 을 이용하여 각각의 대역폭을 적용 후, 주파수범위에 대하여 재구성하였다. 그림 6.을 통하여 표 6.과 표 7.의 주파수범위에 따른 간섭임계값을 가시적으로 나타내었고, 주파수 범위가 증가하면 간섭임계값이 증가하여 Y자형태의 모습이 되는 것을 확인하였다. 그렇기 때문에 주파수 범위가 증가한다는 것은 대역폭이 증가한다는 것으로, 요구되어지는 안테나 포트의 전압레벨이 높아지게 된다는 결과를 도출해낼 수 있다.

2) GLONASS 수신기

정밀 접근단계 및 위성통신이 장착되어 있는 항공기에서 사용하는 GLONASS 수신기는 $f_k \pm Bw_i/2$ 의 주파수범위 내에 존재하는 간섭 신호 및 잡음은 표 8.과 그림 7.에 제시된 간섭 임계값과 동일한 안테나 포트의 전압레벨, 안테나 포트에서 -165.5dBW의 요구되어 지는 신호 레벨 성능요소들을 만족하여야 한다. 여기서 f_k 란 GLONASS 채널의 중심 주파수를 의미하며 $1602\text{Mhz} + k \times 0.6525\text{Mhz}$ 이다. k는 -7 ~ +13로 정의되어 있다. 표 8.과 그림 7.은 간섭 대역폭에 따른 간섭임계값을 분석한 것으로, 정밀접근 및 위성통신장비 사용 시에 비하여 비정밀 접근 시에는 3dB가 낮게 정의되고, Terminal area와 en-route 상에서 또한 정밀 접근 시보다 6dB가 낮게 정의된다[6].

표 5. GPS / SBAS 수신기의 간섭 대역폭에 대한 임계값.[6]
Table 5. Threshold for interference bandwidth of GPS / SBAS receiver.[6]

| Interference bandwidth | Interference threshold |
|--|---|
| $0 \text{ Hz} < B_{wi} \leq 700 \text{ Hz}$ | - 150.5 dBW |
| $700 \text{ Hz} < B_{wi} \leq 10 \text{ kHz}$ | - 150.5 + 6log ₁₀ (BW/700)dBW |
| $10 \text{ kHz} < B_{wi} \leq 100 \text{ kHz}$ | - 143.5 + 3log ₁₀ (BW/10000)dBW |
| $100 \text{ kHz} < B_{wi} \leq 1 \text{ MHz}$ | - 140.5 dBW |
| $1 \text{ MHz} < B_{wi} \leq 20 \text{ MHz}$ | - 140.5 ~ - 127.5 dBW* Linearly increasing |
| $20 \text{ MHz} < B_{wi} \leq 30 \text{ MHz}$ | - 127.5 ~ - 121.1 dBW* Linearly increasing |
| $30 \text{ MHz} < B_{wi} \leq 40 \text{ MHz}$ | - 127.1 ~ - 119.5 dBW* Linearly increasing |
| $40 \text{ MHz} < B_{wi}$ | - 119.5 dBW |

*The interference threshold is not to exceed -140.5 dBW/MHz in the frequency range 1575.42 ± 10MHz.

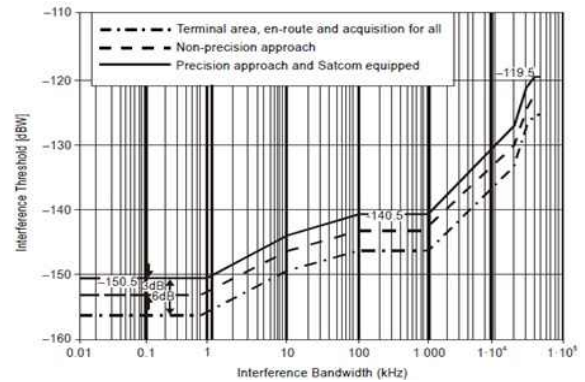


그림 5. GPS / SBAS 수신기의 대역폭 대 간섭 임계값.[6]
Fig. 5. Interference thresholds versus bandwidth for GPS and SBAS receivers.[6]

표 6. GPS/SBAS 수신기 간섭대역폭에 대한 주파수범위 대 간섭 임계값($f + Bw_i/2$).

Table 6. Frequency Range Interference Threshold for GPS / SBAS Receiver Interference Bandwidth($f + Bw_i/2$).

| Frequency range(Mhz) | Interference threshold |
|--------------------------------|--|
| $1575.43 < f \leq 1575.43035$ | -150.5dBW |
| $1575.43035 < f \leq 1575.435$ | -150.5dBW ~ -143.57059dBW Linearly increasing |
| $1575.435 < f \leq 1575.48$ | -143.57059dBW ~ -140.5dBW Linearly increasing |
| $1575.48 < f \leq 1576.43$ | -140.5dBW |
| $1576.43 < f \leq 1595.43$ | -140.5dBW ~ -127.5dBW Linearly increasing |
| $1595.43 < f \leq 1605.43$ | -127.5dBW ~ -121.1dBW Linearly increasing |
| $1605.43 < f \leq 1615.43$ | -121.1dBW ~ -119.5dBW Linearly increasing |
| $1615.43 < f$ | -119.5dBW |

표 7. GPS/SBAS 수신기 간섭대역폭에 대한 주파수범위 대 간섭 임계값($f-Bw_i/2$).

Table 7. Frequency Range Interference Threshold for GPS / SBAS Receiver Interference Bandwidth($f-Bw_i/2$).

| Frequency range(Mhz) | Interference threshold |
|---------------------------|--|
| 1575.43 < f ≤ 1547.42965 | -150.5dBW |
| 1547.42965 < f ≤ 1575.425 | -150.5dBW ~ -143.57059dBW Linearly increasing |
| 1575.425 < f ≤ 1575.38 | -143.57059dBW ~ -140.5dBW Linearly increasing |
| 1575.38 < f ≤ 1574.43 | -140.5dBW |
| 1574.43 < f ≤ 1555.43 | -140.5dBW ~ -127.5dBW Linearly increasing |
| 1555.43 < f ≤ 1545.43 | -127.5dBW ~ -121.1dBW Linearly increasing |
| 1545.43 < f ≤ 1535.43 | -121.1dBW ~ -119.5dBW Linearly increasing |
| 1535.43 < f | -119.5dBW |

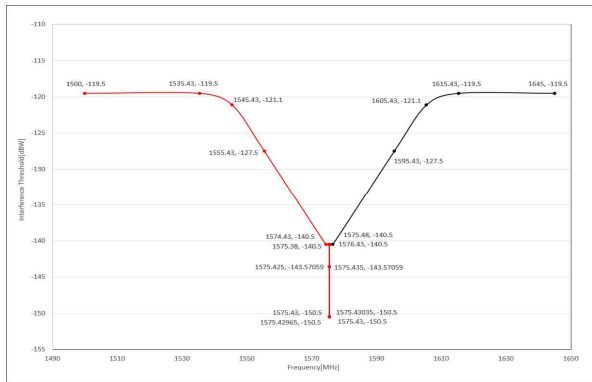


그림 6. GPS/SBAS 수신기 간섭대역폭에 대한 주파수범위 대 간섭 임계값($f \pm Bw_i/2$).

Fig. 6. Frequency Range Interference Threshold for GPS / SBAS Receiver Interference Bandwidth($f \pm Bw_i/2$).

표 8. GLONASS 수신기의 간섭 대역폭에 대한 간섭 임계값[6].
Table 8. Interference thresholds versus bandwidth for GLONASS receivers[6].

| Interference bandwidth | Interference threshold |
|---------------------------------|--|
| $0 Hz < B_{w_i} \leq 1 kHz$ | -149 dBW |
| $1 kHz < B_{w_i} \leq 10 kHz$ | -149dBW ~ -143dBW Linearly increasing |
| $10 kHz < B_{w_i} \leq 0.5 MHz$ | -143dBW |
| $0.5 MHz < B_{w_i} \leq 10 MHz$ | -143dBW ~ -130dBW Linearly increasing |
| $10 MHz < B_{w_i}$ | -130dBW |

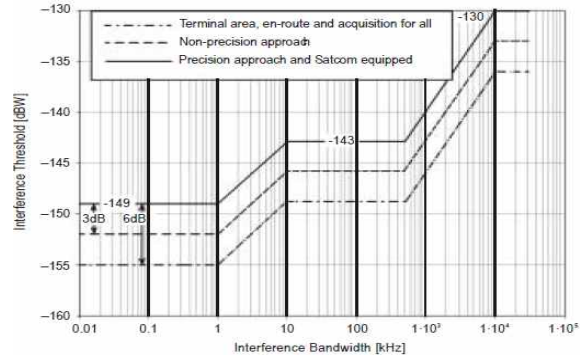


그림 7. GLONASS 수신기의 간섭대역폭 대 간섭 임계값.[6]
Fig. 7. Interference thresholds versus Interference bandwidth for GLONASS.[6]

3-4 펄스 간섭 임계값

펄스 간섭은 정상적인 운항 중에 발생하는 간섭 환경으로 정의하고 있다. 표 9.는 GPS/SBAS 및 GLONASS의 주파수 범위, 펄스간섭에 따른 간섭임계값, 펄스 간격, 펄스 듀티사이클을 분석한 표이다. 표 9.에 따른 특성을 갖는 펄스로 된 간섭 신호를 수신할 때, GPS/SBAS 수신기와 GLONASS 수신기는 간섭 임계값에 대한 안테나 성능 요구조건을 만족하여야 한다[6].

3-5 GNSS 항공기 위성 수신기 안테나

GNSS 안테나는 수평 비행 중인 항공기의 수평면을 기준으로 방위각이 0~360도 전 방향에서 수신 가능해야하며, 상대적인 양각은 0~90도의 신호를 수신하여야 한다. 표 10.은 양각의 각도에 따른 최소 안테나 이득을 정의하였다. 안테나 이득은 최소한 표 10.에 정의되어 있는 양각보다 작아야 하고, 최대 안테나 이득은 5도 이상의 양각에 대해 최대+7dBic를 초과하여선 안 된다[6].

표 9. 펄스간섭에 대한 간섭임계값.[6]

Table 9. Interference thresholds for pulsed interference.[6]

| | GPS / SBAS | GLONASS |
|---|------------------|-------------------------|
| Frequency range | 1575.42 ± 10 MHz | 1592.9525 ~ 1609.36 MHz |
| Interference threshold (Pulse peak power) | 0dBW | 0dBW |
| Pulse width | ≤ 125μs, ≤ 1 ms* | ≤ 1 ms |
| Pulse duty cycle | ≤ 10% | ≤ 10% |

*Applies to GPS receivers without SBAS.

표 10. 최소 안테나 이득.[6]

Table 10. Minimum antenna gain.[6]

| Elevation angle degrees | Minimum gain(dBic) |
|-------------------------|--------------------|
| 0 | -7.5 |
| 5 | -4.5 |
| 10 | -3 |
| 15 to 90 | -2 |

IV. 결 론

본 논문에서는 비행시험을 위한 한국형 SBAS인 KASS의 수신기 설계 시 고려되어야 하는 신호 수신기 간섭분석 사항을 ICAO Doc 8071 Vol II, Annex 10에 정의되어 있는 SBAS간섭 분석절차 및 간섭임계값을 분석하였다. GPS/SBAS와 GLONASS의 CW 간섭임계값을 이용하여 항공기 정밀접근단계에서 위성통신이 탑재되어 있는 항공기 수신기가 위성통신이 탑재되어 있지 않은 항공기의 수신기 보다 더 높은 간섭임계값을 요구한다는 것을 확인하였다. 대역폭 간섭임계값을 이용하여 비정밀접근단계 및 En-route, Terminal area에서 정밀접근 단계에 비하여 각각 3 db, 6 db의 안테나 성능 요구조건이 낮게 정의되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 GPS/SBAS 수신기의 대역폭 간섭을 주파수 범위에 따라 간섭임계값을 나타내기 위하여 $1575.42 \text{ Mhz} \pm Bw_i/2$ 을 이용하여 주파수범위에 따른 간섭 임계값을 도출해냈고, 이것을 가시적으로 확인할 수 있게 그래프를 구성하였다. 정상적인 운항 중에 발생가능성이 있는 펄스 간섭의 주파수 범위, 간섭임계값, 펄스폭, 펄스 듀티사이클의 파라미터값을 확인하였고, 수신기 양각을 기준으로 0~90도까지의 최소 안테나 이득에 대하여 확인하였다.

향후 국내 KASS개발에 따라 비행시험 시 간섭임계값과 안테나 이득 등이 고려되어 수신기 설계가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

Acknowledgments

본 연구는 국토교통부 항공안전기술개발사업의 연구비지원(17ATRP-A087571-04)에 의해 수행 되었습니다.

References

- [1] B. S. Koo, E. S. Lee, G. W. Nam, J. M. Kang, J. H. Cho, and G.Y. Hong, "Considerations on in-flight validation for KASS," *The Korea Navigation Institute*, Vol.19, No.3, pp.175-181, 2015.
- [2] C. S. Lim, Proposal of Changes of L1 SBAS Message and Performance Verification for Multi-Constellation SBAS, Master's degree, Sejong University, Seoul, 2017. 2.
- [3] B. W. Hwang, G. W. Nam, Y. H. Jo, W. G. Oh, J. Y. Kang, H. T. Park, and S. H. Jo, SBAS for aviation established operation system research, Korea navigation institute, Ministry of land, Infrastructure and transport, pp.292, 2013. 12.
- [4] C. S. Shin, J. H. Kim, and J. Y. Ann, "Technical development trends of satellite based augmentation system," *Electronics and telecommunications trends*, Vol. 29, No. 3, pp. 74-85, 2014.
- [5] International civil aviation organization, "Manual on testing of radio navigation aids," ICAO Doc.8071 Volume II , 2007.
- [6] International civil aviation organization, Annex10 to convention on international civil aviation: aeronautical telecommunications, ICAO Annex 10 Sixth edition, 2006.



신 현 성 (Hyun-sung Shin)

2017년 9월 : 한서대학교 항공전자학과 (공학사)

2017 9월 ~ 현재 : 한서대학교 대학원 항공기 시스템학과

※ 관심분야 : 항공기 시스템, 비행시험



홍 교 영 (Gyo-Young Hong)

1993년 3월 ~ 2001년 : 대한항공 항공기술연구소 선임 연구원

2001년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수

※ 관심분야 : 비행시험, 항공통신, 항공기 시스템



한 지 애 (Ji-Ae Han)

2006년 2월 : 충북대학교 천문우주학과 석사
2010년 6월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 SBAS 기술팀
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, NOTAM, 시각비교



홍 운 기 (Woon-Ki Hong)

2010년 2월 : 광운대학교 제어계측공학과 석사
2011년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원
※ 관심분야 : GNSS, SBAS, 통합 관제, M&C