

# MAAST를 이용한 항공용 한국위성보강항법시스템 요구사항 분석

## Assessment of K-SBAS performance using MAAST

심주영, 주정민\*, 남기욱(한국항공우주연구원),

이형근(한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부), 허문범(한국항공우주연구원)

### 1. 서 론

위성항법시스템(GNSS; *Global Navigation Satellite System*)은 항법위성들로부터 제공되는 거리와 시각 신호 정보를 바탕으로 사용자의 위치 및 속도를 제공하는 시스템이다. 대표적인 시스템은 미국의 GPS이며 오늘날 사회의 경제와 문화 그리고 군사 전략 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다. 더 나아가 위성항법시스템을 항공용으로 활용하기 위한 개발을 하고 있다. 이와 관련하여 국제민간항공기구(ICAO; *International Civil Aviation Organization*)에서는 차세대 발전 계획과 함께 요구조건 등의 관련 규정을 제시하였다. 위성항법시스템만으로는 항공용 요구조건을 만족할 수 없으므로 위성항법보강시스템을 추가로 구성하여 성능을 만족시키는 형태로 개발되고 있다. 보강시스템은 여러 형태가 있지만, 위성으로부터 보강신호를 받는 형태를 SBAS (*Satellite Based Augmentation System*)라고 한다. 대표적인 시스템으로는 미국의 WAAS (*Wide-Area Augmentation System*)를 들 수 있다[1].

국제민간항공기구에서 제시한 항법성능 요구조건은 정확성(Accuracy), 무결성(Integrity), 연속성(Continuity), 가용성(Availability)이다[2]. 정확성은 위치 추정 정확도와 관련된 사항이며, 무결성은 시스템에 대한 신뢰성 대하여 것으로 경보에 관한 조건이다. 연속성은 임무에 대한 연속적인 시스템 기능 수행에 대한 조건이며, 가용성은 항법시스템 이용 관련하여 확률로 나타낸다.

성능의 급은 *En-route*, *En-route Terminal*, *NPA* (*Non-precision approach*), *APV-I* (*Approach operations with vertical guidance*), *APV-II*, *CAT-I* (*Category I precision approach*)으로 나뉘어져 있으며, 여기서 CAT-I이 제일 높은 성능을 요구한다. 가용성 성능의 기준은 수평과 수직의 오차 한계를 나타내는 PL(*Protection Level*)로 정의된다. *APV-I*의 경고값은 HPL 40m, VPL 50m이며, *APV-II*의 경고값은 HPL 40m, VPL 20m이다.

이 때의 가용성 요구치는 0.99~0.999999이다[2].

WAAS에서는 *APV-I*에 해당하는 LPV 를 성능 보고서에서 제시하고 있다[3].

본 논문에서는 우리나라에 SBAS를 적용하였을 경우에 *APV-I*과 한 단계 높은 *APV-II*에 대해 시뮬레이션하고 그 결과로부터 한국의 SBAS에서 요구되는 성능을 도출한다. 성능을 분석하기 위해 사용한 툴은 스탠포드 대학에서 WAAS의 가용성 분석을 위해 개발한 MAAST (*Matlab Availability Algorithm Simulation Tool*)이다. 이 프로그램은 오픈소스로 공개되어 있으며 프로그램 수정도 가능하다[4].

### 2. 한국 SBAS의 요구사항 분석

#### 2.1 MAAST 구성

MAAST는 입력 부분, 시뮬레이션 부분 그리고 출력 부분으로 나뉘어 있다. 입력 부분은 GUI 형태로 구성되어 있으며, 조정 패널을 통해 알고리즘 관련 입력 값과 시뮬레이션 환경 설정에 필요한 값을 입력 받는다. GUI는 항목별로 버튼 혹은 값을 선택하거나 입력하게 구성되어 있으며, 항목 관련 설정은 사용자가 프로그램의 관련 부분 수정을 통하여 가능하다. 시뮬레이션 부분은 보정정보를 생성 알고리즘이 적용되는 MS(*Master Station*) 처리 부분과 이를 적용하는 사용자 처리 부분 그리고 결과값 출력을 위한 출력 처리 부분으로 구성된다. 출력 부분은 시뮬레이션 부분의 출력 처리를 거쳐 저장된 값을 이용하여 해당 그래프를 출력한다. 그림 1은 MAAST의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다[4].

#### 2.2 시뮬레이터 설정

설정에는 알고리즘 설정 부분과 시뮬레이션 환경 설정 부분을 나뉜다. 알고리즘 설정 부분에서는 GPS의 UDRE(*User Differential Range Error*),

GEO 위성의 UDRE, 전리층 지연값 관련 GIVE (Grid Ionosphere Vertical Error)와 IGP (Ionospheric Grid Point) 그리고 기준국과 수신기의 CNMP (code noise and multipath error)를 설정할 수 있다. 환경 설정 부분에서는 설정된 기준국의 선택, 사용자 지역과 계산되는 지역의 간격 설정, 위성 궤도 데이터 선택과 시뮬레이션 시간 설정, GEO 위성 선택 그리고 성능 모드의 선택 부분으로 구성된다.

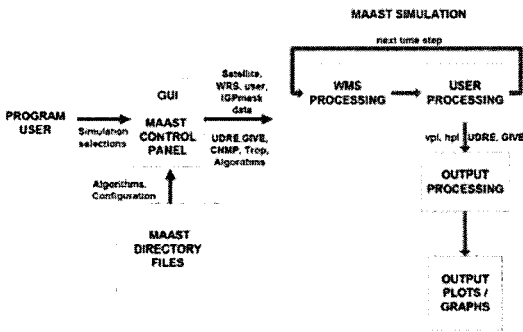


그림 1. MAAST의 블록 다이어그램

UDRE는 주위의 잡음과 다중경로로 인한 의사 거리 보정오차로 *one sigma* 예측값이다. 공개되는 틀에는 GPS 위성과 정지궤도 위성 GEO 관련 UDRE-GPS와 UDRE-GEO가 상수로 설정하는 부분만 구현되어 있다. 본 논문에서는 APV급 성능에 대한 요구사항을 분석하는 것이므로 GPS 최소 UDRE인 2.25m 그리고 GEO의 UDRE는 7.5m로 설정하였다[5] [6].

GIVE는 전리층 수직 지연값이 제공되는 격자점에서의 오차량을 나타내며 제공되는 틀에서는 상수 설정이 가능하다. 기본적으로 값을 WAAS IOC 최소값인 3m으로 설정하였다[5]. MAAST에서 대류층 지연 오차 부분은 기상 정보 없이 사용이 가능한 WAAS MOPS (Minimum Operational Performance Standards)에 정의되어 있는 알고리즘이 적용된다.

IGP Mask는 기본적으로 5도 단위의 위도, 경도의 바둑판과 같은 배열에 전리층 지연값이 제공되는 영역으로 GIVE 값이 제공되는 부분이기도 하다. 사용자는 IGP의 수직 전리층 지연값을 이용하여 전리층 오차 성분 제거에 사용한다. IGP Mask는 위성 궤적과 기준국 배치를 고려하여 설정하였다. 위성 궤적은 경사각을 가지고 궤적 운동을 하므로 특성상 기준국 위 부분에 반달 모양으로 전리층 지연값이 측정되지 않는다. 기준국 배치와 관련해서는 측정되는 위성 데이터

이용 고도각(Mask Elevation Angle)에 따라 범위가 결정되며, 전리층 평균 고도가 이에 영향을 미친다. 이용 고도각을 10도로 설정하고 평균 고도를 WAAS MOPS에 정의된 350km를 가정하여 설정한 IGP Mask는 그림 2의 세모로 표시된 부분들이다.

CNMP는 코드의 노이즈와 다중경로 오차 관련 부분이다. 기본 설정으로 CNMP-WRS는 WIPP CNMP ADD에 정의되어 있는 식, CNMP-USR은 LAAS Airborne Accuracy Description의 ADD-A가 작성되어 있으며, 이를 그대로 이용하였다.

MAAST에서는 앞서 살펴본 UDRE와 GIVE 그리고 CNMP의 알고리즘 해당 부분에서 추후 실제와 같은 상황에 어느 정도 성능이 나오는지에 대한 분석이 필요할 경우, 해당 부분의 알고리즘 추가는 선택 버튼에 링크되는 프로그램 파일 작성으로 가능하다. 또한 해당 항목의 변경도 가능하다.

위성 위치 계산을 위한 값은 WAAS MOPS의 표준 *almanac* 또는 YUMA format으로 제공되는 *almanac*으로 설정이 가능하다. 설정은 YUMA format의 *almanac*을 사용하였으며, 해당 파일은 U.S. Coast Guard Navigation Center 홈페이지에서 다운이 가능하다[7].

GEO 위성은 MSAS의 위성 MTSAT-1(PRN: 135, 위도: 135.0도)과 MTSAT-2(PRN: 136, 위도: 140.0도)로 선택하여 설정하였다.

기준국은 대한민국 외곽에 위치한 공항 위치와 울릉도로 설정하였다. 표 1은 설정된 기준국의 위치를 나타낸 것이며, 해당 위치는 그림 2의 동그라미 점으로 나타나 있다.

사용자 영역은 대한민국의 공역으로 설정하였으며, 그림 2에 표시되어 있다.

시뮬레이션에 사용된 설정값을 정리하면, UDRE-GPS 2.25m, UDRE-GEO 7.5m, GIVE 3m, 대한민국 공역의 사용자 영역, 2개의 MSAS GEO 위성이다. 이 외에 사용자 영역에서 측정 공간은 위도 0.5, 경도 0.5도 간격으로 설정하고 시간은 하루 시간에 해당하는 0~86400초에 5분(300초) 간격으로 설정하였다. 사용자는 단일 주파수 사용으로 설정하였다.

기준국 이름	위도(degrees)	경도(degrees)
인천	37.4625 N	126.4392 E
양양	38.0614 N	128.6692 E
김해	35.1806 N	128.9381 E
목포	34.7589 N	126.3811 E
제주	33.5139 N	126.5298 E
울릉도	37.5000 N	130.8500 E

표 1. 기준국 설정 위치

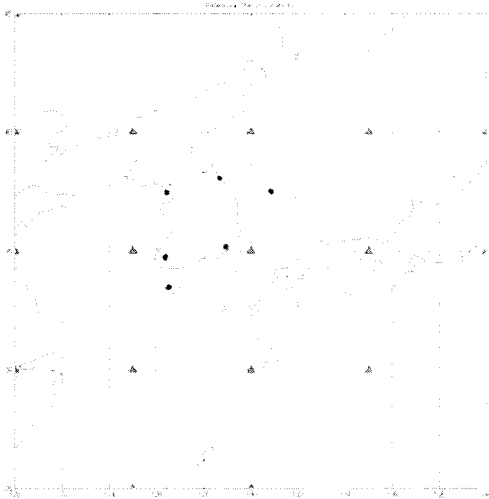


그림 2. MAAST 설정

### 2.3 시뮬레이션 결과

그림 3과 4는 APV-I (HPL: 40m, VPL: 50m)에 대한 결과값이다. 그림 3은 가용성 성능을 나타낸 것이며, 설정한 영역의 95% 성능을 나타내는 부분이 92.91%로 측정되었으며, 비슷하게 99% 이상의 영역을 보인다. 그림 4는 수직축 오차 한계에 대한 결과값으로 VPL을 나타낸 것이다. APV-I, APV-II, CAT-I에서의 HPL은 40m로 기본적으로 성능에 만족하는 값을 나타냄으로 생략하였다. 그림 3에서의 결과는 대부분의 영역에서 VPL이 40m 이하의 성능을 보인다. 이는 APV-I에서는 만족하는 성능이나 VPL이 20m인 APV-II의 성능에는 만족하지 못하는 성능이다.

그림 5는 같은 설정에 APV-II의 가용성 결과를 나타낸 것이다. 설정한 영역의 가용성 성능은 50% 정도로 나타났다. 이에 대한 결과는 앞서 APV-I의 설정에서 VPL 결과로부터 예상한 바와 같다. 이에 대하여 전리층 지연값의 보정과 관련된 GIVE 값을 설정 최소값인 0.3m로 설정하여

결과를 살펴보았다. 가용성과 VPL에 대한 결과는 그림 6과 7에 나타나 있다. 가용성 결과에서 95%에 대한 영역은 57.2%를 나타내고 있으며 대한민국과 일본 사이의 일부 영역을 제외하고는 99%를 만족하는 영역이 없다. VPL 결과에서는 15~25m(95%)의 성능을 보인다. 가장 영향이 큰 전리층 지연 보정에 대한 값을 최소로 주었음에도 APV-II 성능에 미치지 못하는 결과를 얻을 수 있다. 현재 설정에 대한 국내 기준국의 SBAS의 구축에서 APV-II의 성능을 보이기에는 무리가 있어 보이며, 좀 더 넓은 범위의 기준국 배치가 필요할 것으로 보인다. 좀 더 넓은 범위의 기준국 설치에 넓어진 IGP Mask 영역을 의미한다.

### 3. 결론

국내에 배치된 기준국에 현 최소 오차량의 설정에 대하여 APV-I 성능은 만족하는 요구치인 것을 확인하였다. 그러나 APV-II에 대해서는 요구치의 성능을 높임에도 불구하고 성능에 대해 만족하지 않는다. 이에 대하여 기준국 배치에 따른 분석 등이 추가적으로 필요할 것으로 보인다.

### 참고문헌

- 1) <http://www.faa.gov>
- 2) "Aeronautical Telecommunications," ICAO, Annex 10
- 3) "Wide-Area Augmentation System performance analysis report," October 2007, FAA
- 4) <http://waas.stanford.edu/~www/maast/maast.html>
- 5) "Modernizing WAAS," ION GNSS 17th International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach, CA, Sept. 2004, pp.21-24
- 6) "Treatment of Biased Error Distributions in SBAS," GNSS2004, Dec. 2004
- 7) <http://www.navcen.uscg.gov>

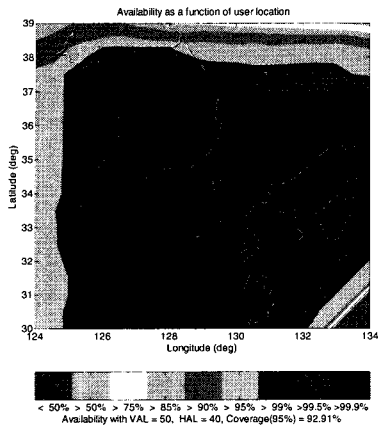


그림 3. APV-I의 가용성 성능(기본 설정)

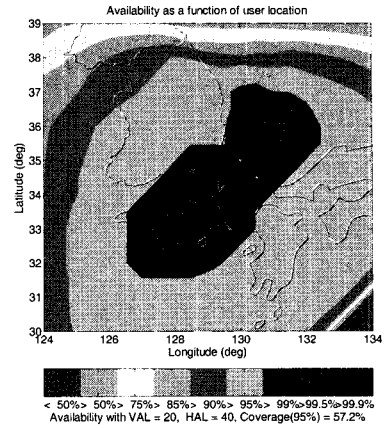


그림 6. APV-II의 가용성 성능(수정 설정)

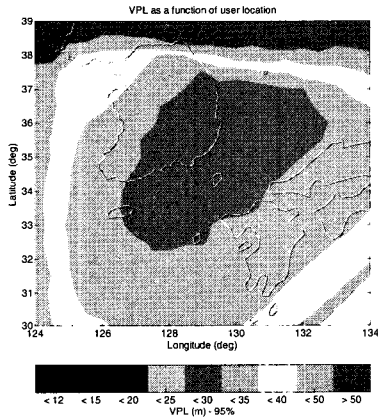


그림 4. APV-I의 VPL(기본 설정)

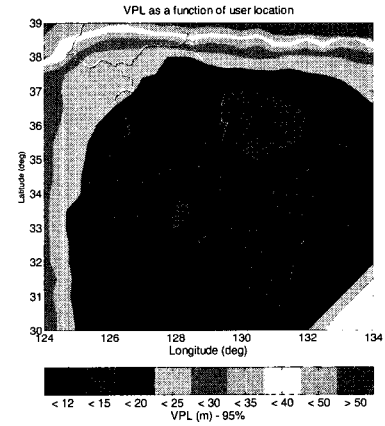


그림 7. APV-II의 VPL(수정 설정)

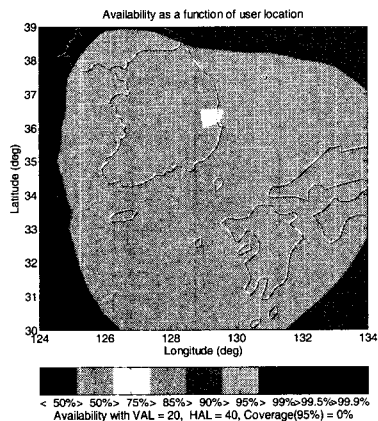


그림 5. APV-II의 가용성 성능(기본 설정)