

## MLAT 지상 위치정확도 시험에 대한 성능 분석

# Performance analysis for Ground Position Accuracy Test of MLAT

구본수<sup>1\*</sup> · 장재원<sup>1</sup> · 김우리엘<sup>2</sup> · 김태식<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국항공우주연구원 항공전자연구팀

<sup>2</sup>(주)디지털로그

Bon-soo Koo<sup>1\*</sup> · Jae-won Jang<sup>1</sup> · Woo-riul Kim<sup>2</sup> · Tae-sik Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>\*Department of Avionics Research, Korea Aero Research Institute, Daejeon, 34133, Korea

<sup>2</sup>Research Center, DigitLog, Gyeonggi-do, 43181, Korea

### [요 약]

GPS 안전성에 대한 문제가 제기 되면서 ADS-B 대안 기술로 다변측정감시(MLAT; multilateration)시스템이 각광 받고 있다. MLAT는 항공기에 탑재된 트랜스폰더에서 송출되는 Mode A,C,S는 물론 1090ES(ADS-B) 신호를 지상의 여러 개의 수신기로 수신하여 항공기를 탐지하고 위치를 계산하며, GPS를 이용하는 ADS-B 수준의 위치 정밀도를 갖고 있으면서도 ADS-B와 달리 독립적으로 표적 위치를 계산 할 수 있다. 전 세계적인 환경변화에 따라 우리나라에서도 공항지역 이동차량 및 항공기 감시용으로 지역다변측정(LAM; local area multilateration)감시 시스템 개발 하고 있다. LAM시스템에 대한 지상 필드 시험을 태안 비행장에서 진행하고 있다. 본 논문에서는 태안 비행장에서 필드 시험 중인 MLAT의 위치 정확도를 확인하기 위하여, 지상에서 고정된 타겟과 움직이는 타겟에 대하여 MLAT 트랜스폰더와 RTK Rover를 설치하여 MLAT의 위치 정보와 RTK의 위치정보를 확인하여, RTK에서 보정된 위치 정보와 MLAT에서 계산되어진 위치정보를 비교하여 성능을 분석 하였다.

### [Abstract]

As a GPS stability problem arises, MLAT system is spotlighted as an alternative technology of ADS-B. MLAT system has a high position accuracy as much as ADS-B. Also, MLAT receives the mode A,C,S, and 1090ES(ADS-B) signals from the mounted aircraft transponder. MLAT receives signals from several receiver units and calculates aircraft positions. MLAT has ADS-B level positioning accuracy using GPS and can calculate the position information with objects independently. According to global environment changes, Local area multilateration(LAM) surveillance system is under development for moving vehicles and aircraft detection in airport. These are still under testing in Tae-an Airfield. In the paper, we analyzed the performance by comparing the calculated position data from MLAT to RTK. In order to confirm the position accuracy of MLAT and the deviation of position data between fixed target and moving target on the ground during the field test in Tae-an Airfield.

**Key words** : Global positioning system, Multilateration, Automatic dependence surveillance-broadcast, Real-time-kinematic, Field test.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.4.325>



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 4 August 2016; Revised 10 August 2017  
Accepted (Publication) 28 August 2017 (30 August 2017)

\*Corresponding Author; Bon-soo Koo

Tel: +82-42-860-2894

E-mail: bonsoo@kari.re.kr

### I. 서 론

GPS 안정성에 대한 문제가 제기되면서 ADS-B 대안 기술로 다변측정감시(MLAT; multilateration) 시스템이 각광 받고 있다. MLAT는 항공기에 탑재된 트랜스폰더에서 송출되는 Mode A,C,S는 물론 1090ES(ADS-B) 신호를 지상의 여러 개의 수신기로 수신하여 항공기를 탐지하고 위치를 계산하는 장비이다 [1].

항공기에서 보낸 신호와 수신기에 도착하는 신호의 신호 도착 시간차(TDOA)를 바탕으로 거리를 계산한다. 이와 같이 계산은 항공기와 수신기간의 시각동기가 보장되지 않은 상태에서도 항공기의 위치계산을 가능하게 한다. MLAT는 ADS-B 수준의 위치 정밀도를 갖고 있으면서도 ADS-B와 달리 독립적으로 표적위치를 계산 할 수 있고, SSR에 비해 표적위치 갱신주기가 짧고 설치/유지비용도 적게 소요되어 미래의 주 감시 장비로 자리매김할 것이 확실시 된다[1]. 전 세계적인 환경변화에 따라 우리나라에서도 국토교통부의 지원하에 “항공용 다변측정감시시스템 개발”과제를 추진하여, 현재 공항지역 이동차량 및 항공기 감시용으로 지역다변측정(LAM; local area multilateration)감시 시스템 개발을 하여, 한서대 태안 비행장에서 필드 시험 중에 있다[1].

국내에서 개발할 MLAT 시스템의 개념 및 구성은 그림 1과 같다. MLAT는 항공기의 트랜스폰더 자료를 수신하고 지역시간(local time)을 측정하는 수신기(RU), 수신기로부터 전송한 시각이 표기된 자료에서 TDOA를 추정하여 위치를 계산하고 표적을 식별 추정하는 중앙처리장치(CPS), 트랜스폰더 신호를 유도하는 질문기(ITX), 시각동기를 위한 기준 트랜스폰더(RMT), 시스템을 감시하고 통제하는 통제감시장치(CMS), 데이터 및 시스템 상태를 저장하고 재상하기 위한 저장재생기(RRU) 및 외부 사용자에게 자료를 전송하는(EIU)로 구성된다.

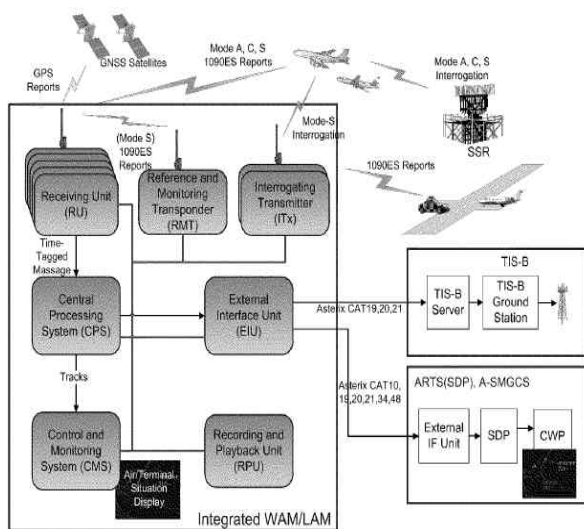


그림 1. MLAT System 구성.  
Fig. 1. MLAT System configuration.

본 논문에서는 MLAT의 성능을 분석하고 위치 정확도를 확인하기 위하여 필드 시험을 수행 하였다. 지상에서 고정된 타겟과 움직이는 타겟에 대하여 각각의 위치정보 편차를 확인하기 위해, RTK에서 보정된 위치 정보와 MLAT에서 계산 되어진 위치정보를 비교하였다. RTK의 위치정보는 Zigbee를 이용하여 통신하였고, MLAT의 위치정보는 EIU에서 나오는 위치 정보를 확인 하였다.

### II. MLAT Field Test

항행시설 장비에 대한 평가 시험은 다른 개발 장비와는 다르게 운용성 테스트(OA; operational assurance)를 통한 최종 성능 평가가 주요한 시험 대상이다. 그러므로 항행시설 장비에 대한 운용성 테스트는 실제 운용중인 공항이나 항공기 이동이 빈번한 항공로 상에서 각종 시험이 이루어져야 하는 어려움이 있다.

이에 본 논문에서 SDA(system design and analysis) 및 OA 기능점검과 같은 개발 초기부터 측정되고, 시스템 개선에 반영되어야 하는 기본 기능 구현 시험 등을 비교적 입, 출입도 자유롭고, 공역 사용 허가도 유리한 충남 태안에 위치한 한서대학교 태안비행장을 기준으로 MLAT 성능을 측정 하였다.

#### 2-1 시험공항 내 안테나 설치 구성

LAM 필드 시험에 적용할 수신기의 수는 6개로 제한하여 시험을 진행하였다. 필드 시험의 효율적인 운용을 위해서는 비행 시험을 포함하는 필드 시험 전에 최적의 수신기 배치 위치를 결정해야 한다. 최적의 수신기 배치 위치를 결정하기 위해서는 수신기 배치에 따른 LAM 시스템의 정확도뿐만 아니라 한서대 태안 비행장내 영역 및 주변에 수신기를 배치할 수 있는 물리적, 법률적 요건도 함께 고려하여야 한다. LAM 시스템의 정확도 측면에서는 DOP(dilution of precision)를 향상시켜야 한다. DOP는 다변측정감시시스템의 경우 수신기의 배치와 관련이 있으며 이를 향상시키기 위해서는 균등하게 수신기를 펼쳐서 배치하는 것이 바람직하다. 하지만, 활주로 주변의 건물과 전원 및 신호 인터페이스 등의 물리적 측면도 함께 고려하여야만 한다. 또한, 활주로 외부에 설치할 경우 법률적 허가 사항도 필요시 고려해야 한다. 한서대 태안 비행장에서 필드 시험을 수행하기 위한 수신기의 배치 위치 설정 시 고려하여야 할 사항을 정리하면 아래와 같다.

- 설치 가능 위치 내에서의 정확도 요구도 만족 여부
- 물리적 설치 가능 여부
- 전원 공급 가능 여부
- 신호 인터페이스 설치 가능 여부
- 사유지 및 공유시설 사용 시 법적 허가 관련

본 논문에서는 고려사항들에 대해 병렬적으로 검토하는 방

안 대신 우선적으로 정확도 요구도와 물리적 설치 가능지역에 대한 사항을 검토하여 수신기 배치 위치에 대한 안을 제시하고 각각의 제시된 안에 대한 전원 공급 가능 여부, 신호 인터페이스 설치 가능 여부, 그리고 법적 허가 관련한 사항에 대해 검토하여 최적의 수신기 배치 위치를 선정하였다.

표 1. 수신기 배치 좌표.

Table 1. Receiver Coordinate.

RU(Receiver Unit)	Latitude	Longitude	Altimeter(m)
1	36.5931195994426	126.299962354436	15
2	36.5948526677545	126.293813504781	30
3	36.5950801922309	126.296093050232	6
4	36.5994393825794	126.292986521126	6
5	36.592025758432	126.293835047810	20
6	36.5963644261516	126.292525633726	18

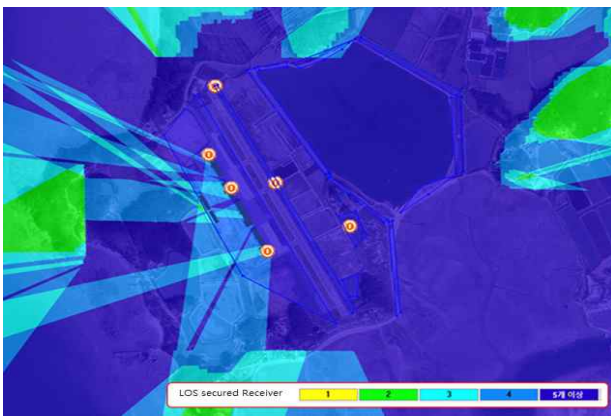


그림 2. 수신기 배치에 대한 LOS 분석 결과.  
Fig. 2. LOS analysis test for RU arrangement.

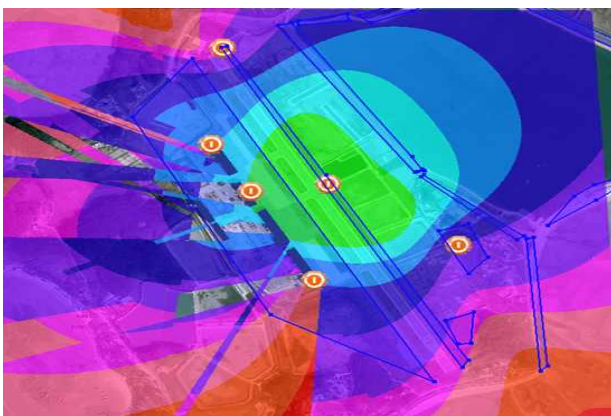


그림 3. 수신기 배치에 대한 TDOA 정확도 분석 결과.  
Fig. 3. TDOA accuracy analysis result for RU arrangement.

표 2. 수신기 TDOA 결과.

Table 2. RU TDOA result.

TDOA Accuracy(Runway : 1.2 Km)			
2 m		5 m	
Coverage(km)	Runway coverage	Coverage(km)	Runway coverage
0.47	39.2	1.02	85.0

위에서 사전 선정한 물리적 수신기 설치 가능 영역 내에 6개의 LAM 수신기를 설치하였다. 설치한 수신기들에 대한 LOS와 TDOA는 수신기 배치틀을 이용하여 시뮬레이션 해보았다.

LOS의 경우 활주로 영역 내에서 수신기가 5대 이상이고, TDOA에 경우 녹색 부분이 정확도가 2m 이내 영역이다.

### 2-2 지상 시험

#### 1) 지상 시험 하드웨어

지상시험은 지상이동체를 사용하여 MLAT 시스템에서 계측된 위치정보의 정확도를 확인했다. 이를 위하여 RTK를 사용하여 정밀 측위한 위치 정보와 MLAT 시스템에서 계측된 위치 정보를 실시간으로 비교하여 시험을 수행하였다. 지상시험 하드웨어 구성은 그림 4와 같다.

본 논문에서는 MLAT의 성능을 분석하고 위치 정확도를 확인하기 위하여 필드 시험을 수행 하였다. 지상에서 고정된 타겟과 움직이는 타겟에 대하여 각각의 위치정보 편차를 확인하기 위해, RTK에서 보정된 위치 정보와 MLAT에서 계산 되어진 위치정보를 비교하였다. RTK의 위치정보는 Zigbee를 이용하여 통신하였고, MLAT의 위치정보는 EIU에서 나오는 위치 정보를 확인 하였다.

상 시험은 RTK에서 측위된 위치정보와 MLAT에서 계측된 위치 정보를 실시간으로 비교하여 위치 정확도 결과를 출력한다. 이를 위하여 RTK 기준국에서 무선 송수신기를 정밀 위치 측위를 위한 보정 정보를 RTK 탑재국으로 송신하게 되고,

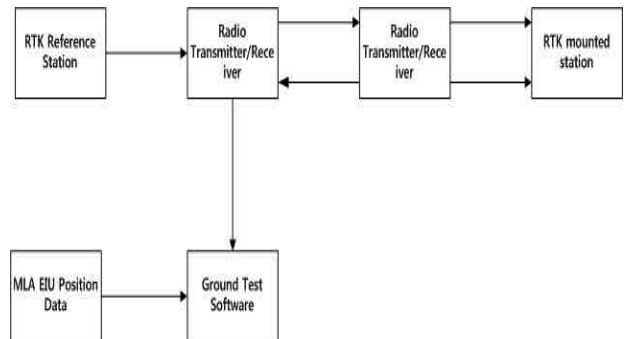


그림 4. 지상 시험 하드웨어 구성.  
Fig. 4. Ground test H/W configuration.

RTK 탑재국에서는 무선 송수신기에서 수신한 보정정보를 바탕으로 정밀한 위치를 측위하게 된다. 측위한 위치정보는 다시 무선 송수신기를 통해 전송하게 된다. RTK 기준국 측의 무선 송수신기에서 이 위치정보를 수신하여 지상 이동시험 S/W로 전달하게 된다.

지상시험은 표 3과 같이 하드웨어를 활용하여 MLAT에서 계측된 위치 정보에 대한 위치 정확도를 확인할 목적으로 수행되었다.

표 3. 지상시험 하드웨어 구성.

Table 3. Ground test H/W configuration.



RTK Reference station	
Function	Calculation of position compensation information for precise positioning
Component	GPS Antenna, Receiver, Cable
	
RadioTransmitter/Receiver	
Function	RTK Reference position Calibration information Receiver/Transmitter
Component	Transmitter/Receiver, Antenna
	



그림 5. 지상 중계기.  
Fig. 5. Ground repeater.



그림 6. 지상 탑재 장치.  
Fig. 6. Ground mounted device.

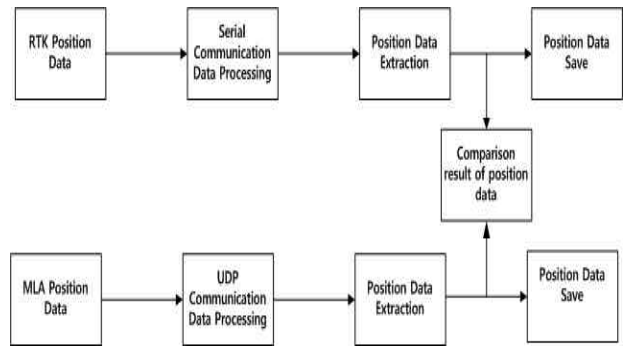


그림 7. 지상 시험 S/W 구성.  
Fig. 7. Ground test S/W configuration.

2) 지상 시험 S/W 처리 데이터

지상시험 S/W에서는 위치정확도 확인을 위하여 크게 MLAT 데이터, RTK 데이터, ADS-B 데이터의 3종류 데이터를 처리하게 된다.

MLAT 데이터는 ASTERIX CAT-20 Message이다. 이 데이터는 MLAT EIU에서 UDP 통신을 통해 데이터가 수신된다.

RTK 데이터는 RTK 수신기에서 제공하는 여러 데이터 중에서 위치 정보에 특화된 'BESTPOS' 명령을 사용하게 된다. 'BESTPOS' 명령을 통해 MLAT 위치 정보와 비교하기 위한 RTK 위치 정보를 추출하게 된다. 'BESTPOS' 명령의 구성은 그림 10과 같다.

CAT = 020	LEN	FSPEC	Items of the first record	FSPEC	Items of the last record
-----------	-----	-------	---------------------------	-------	--------------------------

그림 8. ASTERIX CAT-20 Message 구조 [2].  
Fig. 8. ASTERIX CAT-20 message structure [2].

FRN	Data Item	Information	Length in Octets
1	I020/010	Data Source Identifier	2
2	I020/020	Target Report Descriptor	1+
3	I020/140	Time of Day	3
4	I020/041	Position in WGS-84 Coordinates	8
5	I020/042	Position in Cartesian Coordinates	6
6	I020/161	Track Number	2
7	I020/170	Track Status	1+
FX	-	Field Extension Indicator	-
8	I020/070	Mode-3/A Code in Octal Representation	2
9	I020/202	Calculated Track Velocity in Cartesian Coord.	4
10	I020/090	Flight Level in Binary Representation	2
11	I020/100	Mode-C Code	4
12	I020/220	Target Address	3
13	I020/245	Target Identification	7
14	I020/110	Measured Height (Cartesian Coordinates)	2
FX	-	Field Extension Indicator	-
15	I020/105	Geometric Height (WGS-84)	2
16	I020/210	Calculated Acceleration	2
17	I020/300	Vehicle Fleet Identification	1
18	I020/310	Pre-programmed Message	1
19	I020/500	Position Accuracy	1+n
20	I020/400	Contributing Devices	1+1+
21	I020/250	Mode S MB Data	1+8n
FX	-	Field Extension Indicator	-
22	I020/230	Comms/ACAS Capability and Flight Status	2
23	I020/260	ACAS Resolution Advisory Report	7
24	I020/030	Warning/Error Conditions	1+
25	I020/055	Mode-1 Code in Octal Representation	1
26	I020/050	Mode-2 Code in Octal Representation	2
27	RE	Reserved Expansion Field	-
28	SP	Special Purpose Field	-
FX	-	Field Extension Indicator	-

그림 9. ASTERIX CAT-20 데이터 (MLAT 데이터) [2].  
Fig. 9. ASTERIX CAT-20 Data (MLAT Data) [2].

Field #	Field type	Data Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	BESTPOS header	Log header		H	0
2	sol stat	Solution status, see Table 47 on Page 233	Enum	4	H
3	pos type	Position type, see Table 46 on Page 232	Enum	4	H+4
4	lat	Latitude	Double	8	H+8
5	lon	Longitude	Double	8	H+16
6	hgt	Height above mean sea level	Double	8	H+24
7	undulation	Undulation - the relationship between the geoid and the ellipsoid (m) of the chosen datum <sup>a</sup>	Float	4	H+32
8	datum id#	Datum ID number (see Chapter 2, Table 21, Datum Transformation Parameters on Page 94)	Enum	4	H+36
9	lat σ	Latitude standard deviation	Float	4	H+40
10	lon σ	Longitude standard deviation	Float	4	H+44
11	hgt σ	Height standard deviation	Float	4	H+48
12	stn id	Base station ID	Char[4]	4	H+52
13	diff_age	Differential age in seconds	Float	4	H+56
14	sol_age	Solution age in seconds	Float	4	H+60
15	#SVs	Number of satellite vehicles tracked	Uchar	1	H+64
16	#solnSVs	Number of satellite vehicles used in solution	Uchar	1	H+65
17	#obs	Number of single and multi frequency observations in solution	Uchar	1	H+66
18	#multi	Number of multi frequency observations in solution	Uchar	1	H+67
19	Reserved		Uchar	1	H+68
20	ext sol stat	Extended solution status (see Table 49, Extended Solution Status on Page 234)	Hex	1	H+69
21	Reserved		Hex	1	H+70
22	sig mask	Signals used mask - if 0, signals used in solution are unknown (see Table 48 on Page 234)	Hex	1	H+71
23	xxxx	32-bit CRC (ASCII and Binary only)	Hex	1	H+72
24	[CR][LF]	Sentence terminator (ASCII only)	-	-	-

그림 10. RTK 수신기 BESTPOS 명령 구성.  
Fig. 10. RTK Receiver BESTPOS command configuration.

### III. 시험 결과

지상시험은 MLAT의 위치정확도를 높이기 위해 수행되었다. 시험은 활주로에서 시험항공기 대신 지상이동체를 사용하여 시험을 수행하였다. 지상이동체는 트랜스폰더와 RTK 수신기를 고정된 이동 가능한 친구를 사용하여 시험을 수행하였다.

RTK는 Novatel사의 Flexpak 6를 이용하였다. RTK는 RTK

Ground Station, RTK Rover로 구성되어 있고, RTK Ground Station에서 나오는 보정 정보와 RTK Rover에서 나오는 보정된 위치정보의 통신은 Zigbee를 이용하여 데이터를 송수신 하였다. Zigbee의 통신거리가 짧은 것을 감안하여 라우터 역할로 중간에 Zigbee를 2개를 더 사용하여 구성하였다. 타겟의 보정된 위치 정보는 Zigbee를 통하여 받았고, MLAT 위치 정보는 EIU에서 나오는 데이터를 ethernet으로 받아서 DAS를 통해 비교 하였다.

### 3-1 정적 시험 수행결과

정적 시험은 활주로에 지상이동체를 위치시키고 데이터를 수집했다. 정적 시험의 수행 결과는 다음과 같다.

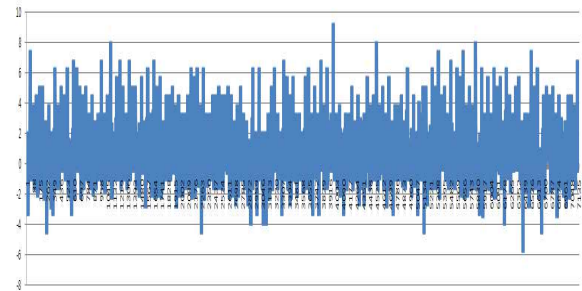


그림 11. 정적 시험 수행 결과 1회차 (위도 오차).  
Fig. 11. Static Test result- 1 (Latitude error).

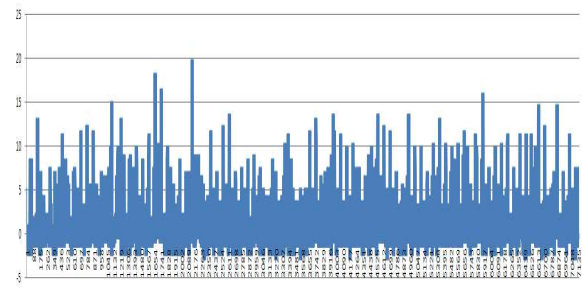


그림 12. 정적 시험 수행 결과 1회차 (경도 오차).  
Fig. 12. Static Test result- 1 (Longitude error).

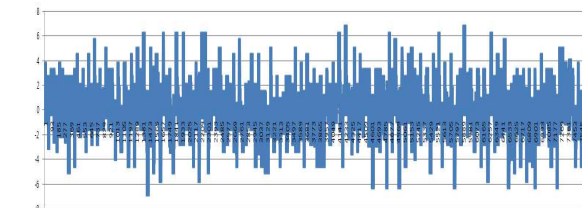


그림 13. 정적 시험 수행 결과 2회차 (위도 오차).  
Fig. 13. Static Test result- 2 (Latitude error).

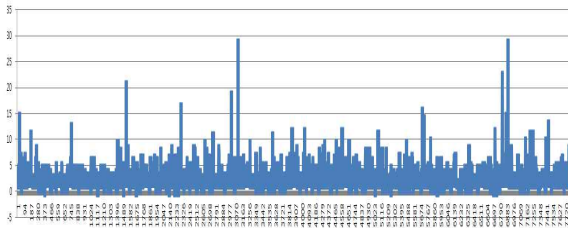


그림 14. 정적 시험 수행 결과 2회차 (경도 오차).  
Fig. 14. Static Test result- 2 (Longitude error).

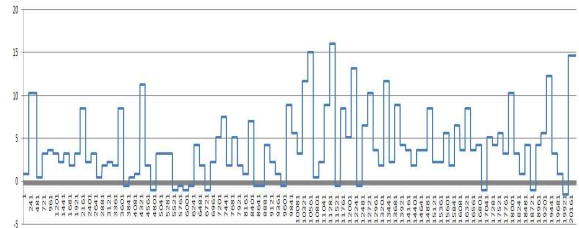


그림 18. 동적 시험 수행 결과 2회차 (경도 오차).  
Fig. 18. Dynamic Test result- 2 (Longitude error).

### 3-2 동적 시험 수행결과

동적 시험은 활주로에서 지상이동체를 이동시키는 상태에서 데이터를 수집했다. 동적 시험 수행 결과는 다음과 같다.

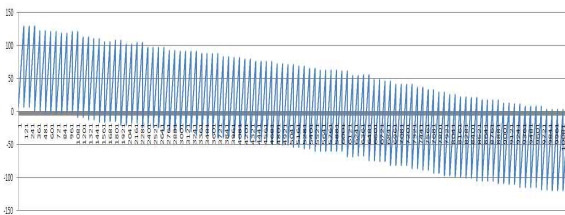


그림 15. 동적 시험 수행 결과 1회차 (위도 오차).  
Fig. 15. Dynamic Test result- 1 (Latitude error).

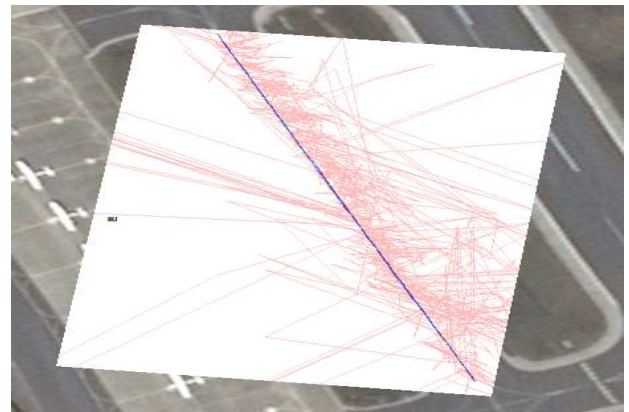


그림 19. 동적 시험 수행 결과.  
Fig. 19. Dynamic Test Result.

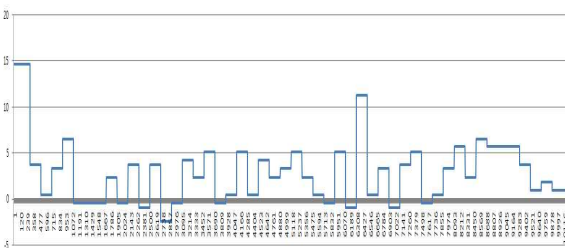


그림 16. 동적 시험 수행 결과 1회차 (경도 오차).  
Fig. 16. Dynamic Test result- 1 (Longitude error).

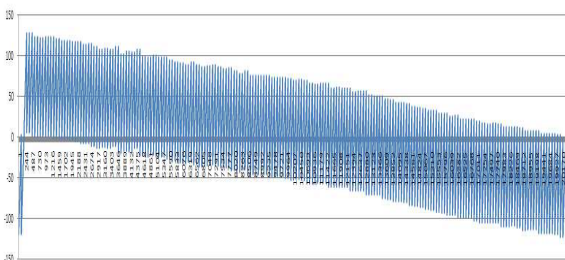


그림 17. 동적 시험 수행 결과 2회차 (위도 오차).  
Fig. 17. Dynamic Test result- 2 (Latitude error).

현재 6개의 수신기로 동적 실험을 한 결과 MLAT 위치정보가 많이 발산하는 것을 확인 하였다. 위치 정보가 튀는 이유는 멀티패스의 영향과 아직은 알고리즘을 적용 안하였기 때문에 튀는 값이 많은 것으로 확인 된다. 추후 진행될 실험은 멀티패스의 영향을 줄이기 위하여 수신기 안테나 높이를 올리고, 수신기를 2개정도 더 설치하여 멀티패스에 대한 영향을 줄인 상태에서 2D, RAIM, 갈만 필터 등의 알고리즘을 적용하여 시험을 진행할 예정이다.

### IV. 결 론

공항용 다변측정감시 시스템의 기능 및 성능을 분석하기 위하여 최종적으로 실제 활주로에서 비행시험을 수행하여야 한다. 본 논문에서는 한서대 태안비행장을 시험 공항으로 가정하고 시험 환경 분석 및 지상시험을 수행하여 각 시스템들의 운용 조건을 만족하는지를 판단하여 성능을 분석 하였다. 현재 지상 시험 데이터 분석 시 멀티패스의 영향으로 위치 값이 튀는 현상이 발생되지만 추후 수신기의 개수, 알고리즘 개선, 안테나의 높이를 조정하여 시험을 진행하여 다변측정감시 시스템 성능 분석을 수행 할 것이다.

## Acknowledgments

본 연구는 국토교통부의 항공안전기술 개발사업 “항공용 다변측정 감시시스템 개발” 과제의 지원에 의하여 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

- [1] T. S. Kim, J. W. Jang, S. H. Kim, and S. Y. Kang, “Multilateration system domestic development status,” *The Korean Institute of Communication and Information Science*, Vol. 40, No. 11, pp. 36~43, Sep. 2013.
- [2] EUROCONTROL, “Specification for surveillance data exchange ASTERIX part 14 category 20 Multilateration target reports,” Vol 1.9, Mar.2015.

## References



### 구 본 수 (Bon-Soo Koo)

2016년 2월 : 한서대학교 항공시스템학과 (공학 석사)  
2016년 1월 : ~ 현재 : 한국항공우주연구원 연구원  
※관심분야 : 항공전자, 항공감시시스템



### 장 재 원 (Jae-won Jang)

2003년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
2003년 4월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 선임연구원  
※관심분야 : 항공기 체계, 항공감시시스템, GPS



### 김 우리얼 (Woo-Ri-Ui Kim)

2016년 2월 : 한서대학교 항공시스템학과 (공학 석사)  
2016년 6월 : ~ 현재 : (주)디지트로그 시험연구센터 주임연구원  
※관심분야 : 항공전자, 위성항법



### 김 태 식 (Tae-Sik Kim)

1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
1991년 3월 ~ 2001년 2월 : 국방과학연구소 선임연구원  
2001년 3월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 책임 연구원  
※관심분야 : 항공전자, 광대역 데이터 전송 시스템, 레이더 신호처리