

# GPS 중계기 후처리 장비(TPS) 개발 및 시험평가

(The Design and Test/Evaluation of GPS Translator Processing System)

강 설 목\*  
Kang, Seol-Muk\*

이 상 정\*\*  
Lee, Sang-Jeong\*\*

## ABSTRACT

Compared with generic GPS receiver, post-processing software GPS receiver has many advantages for high dynamic vehicle tracking. It has the advantage of the application of various tracking algorithms and aiding schemes. The post-processing system observes the carrier phase measurement data from the recorded GPS signals, detects and isolates the cycle slip. The observed carrier phase data and the raw data of the reference station are processed by carrier phase DGPS scheme. And the integer ambiguity resolution algorithm is used for resolving single frequency carrier phase ambiguity. The results of static and real flight test are presented and show that the proposed GPS translator processing system satisfies submeter accuracy.

주요기술용어 : GPS(Global Positioning System), Translator(중계기), TPS(중계기 후처리장비)

## 1. 서 론

미사일의 표적(목표물)에 대한 명중오차 측정방법으로 광학식, 음향방식, 레이더 방식, 전자파 방식 등이 있으며, 최근 들어 GPS 중계기를 이용한 방식이 사용되고 있다. 광학식은 운용지역이 제한되고 많은 데이터를 처리해야 되며 음향방식은 충격파를 검출하므로 발사체가 초음속이어야 하며, 레이더 방식은 시스

템이 방대하고, 전자파 방식은 부피가 작고 해석이 용이하나 조우시 방향을 알지 못하는 단점이 있다. GPS 중계기는 미사일 및 표적 각각의 3차원 위치를 구하므로 명중오차뿐만 아니라 조우방향까지 알 수 있는 장점과 레이더 추적시스템보다 복잡하지 않고, 비싸지도 않으며, 더 정확한 위치 추적 시스템이다<sup>[1]</sup>. 모든 데이터 처리 시스템이 지상에 있기 때문에 더욱 복잡한 처리를 할 수가 있으므로, 일반 GPS 수신기보다 정밀한 위치 정확도를 제공한다. GPS 중계기 기술을 높은 가속도와 저크를 갖고 움직이는 비행체인 미사일의 정확한 위치를 얻기 위하여 적용하고, 지상에서

\* 국방과학연구소 연구원

\*\* 충남대학교 전자공학과 교수

고성능 컴퓨터로 다양한 후처리 기법을 사용하여, 상황에 따라 바꿀 수 있는 여러 가지 신호 추적루프가 가능하여 반송파 위상 측정치를 사용하는 CDGPS 기법으로 명중오차 30cm 이내의 정밀도로 위치를 계산할 수 있게 개발하였다.

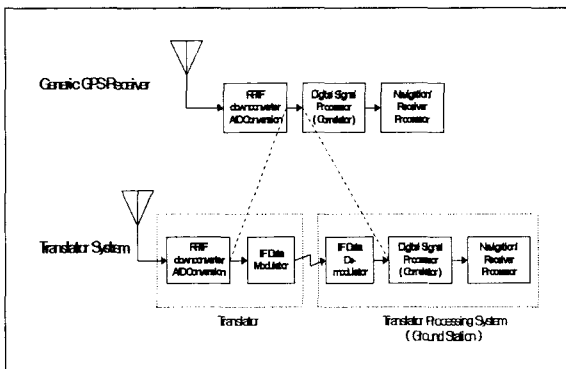
## 2. GPS 중계기 시스템

GPS 중계기 시스템은 비행체가 수신한 GPS 데이터를 S-band로 변환하여 지상으로 송신하는 중계기 부분과 이를 지상에서 처리하는 지상처리장비(TPS)로 나눌 수 있다.

### 2.1 GPS 중계기

그림 1과 같이 미사일에 장착된 GPS 중계기는 GPS 신호를 받는 일반적인 GPS 수신기의 전반부와 같다<sup>[2]</sup>.

GPS 중계기는 GPS L-band 신호를 받아 지상에 있는 후처리장비(TPS : Translator Processing System)에 보내기 위해 S-Band 신호로 변환한다. 지상 장비는 S-band로 Up-conversion되어 전송된



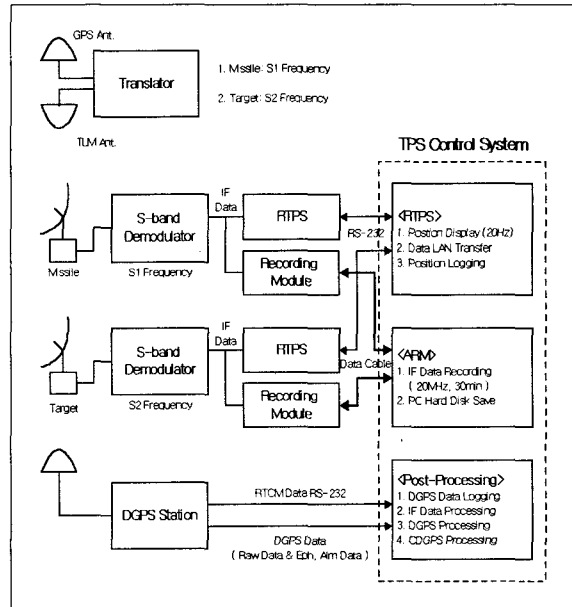
[그림 1] GPS 수신기와 중계기의 비교

GPS 신호를 받아 후처리를 위해 저장하는 동시에 실시간 처리하여 상용수신기 정확도로 미사일의 3차원 위치를 표시하고 후처리를 통해 정확한 위치 계산을 하게 된다.

미사일에 탑재된 GPS 중계기는 소형, 경량화된 구조가 요구되며 미사일에 GPS 신호를 처리하기에는 부적절하고 실시간으로 수십 cm의 정확도를 만족시킬 수 없다.

### 2.2 지상 후처리시스템(TPS)

지상 측정 장비인 TPS는 미사일에 탑재된 GPS 중계기에서 전송되는 S-Band 신호를 복조하는 S-Band 복조기, 복조된 GPS 신호를 저장하는 저장 모듈인 ARM(Advanced Recording Module), 수신된 GPS 신호를 실시간으로 처리하는 RTPS(Real-Time Translator Processing System), DGPS 측정치 정보를 출력하는 DGPS 기준국과 저장된 GPS 신호를 처

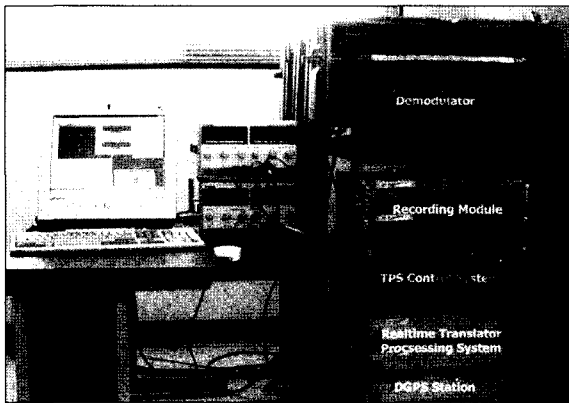


[그림 2] 지상 후처리 장비 구성도

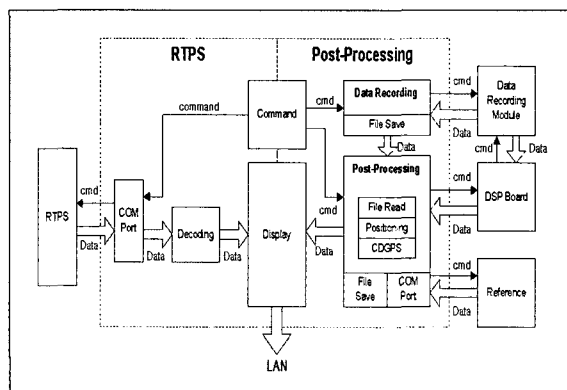
리하는 후처리 모듈로 구성되며, 이를 그림 2에 나타내었다.

### 3. 시스템 설계

미사일 시험평가시 GPS 중계기를 미사일에 장착하면 전 비행과정의 위치와 속도를 정확히 구할 수 있다. 또한, 미사일의 표적이 이동하는 경우 표적기에 미사일과 동일한 GPS 중계기를 장착하여 위치를 측정하면 미사일이 표적에 명중시 혹은 최근접시 조우



[그림 3] 지상 후처리 장비 실물사진



[그림 4] 지상 후처리 장비 블록도

각도와 명중오차(상대거리)를 정확하게 구할 수 있다. GPS 중계기에서 전송하는 S-Band 신호를 처리하기 위하여 사용되는 지상 후처리 장비는 S-Band BPSK 복조기, ARM, RTPS, 기준국 수신기 및 후처리 컴퓨터로 구성된다. 그림 3에 지상 후처리 장비 실물형상을 그림 4에 지상 후처리 장비 블록도를 나타내었다.

#### 3.1 실시간 처리 시스템(RTPS) 설계

미사일이 비행하는 동안 실시간으로 미사일의 위치를 추적하고 탑재된 GPS 중계기의 동작 상태를 확인하기 위한 목적으로 설계가 되었다. 실시간으로 처리가 되므로 정밀 위치 추적을 수행할 수는 없지만, 현장에서 실시간 위치 확인과 동작 상태를 확인할 수 있다는 장점이 있다. 반송파 측정치를 사용하지 않고, 고기동 항체의 추적능력 향상을 위하여 반송파 추적 루프로 FLL을 사용한다.

#### 3.2 후처리 시스템 설계

지상 저장시스템인 ARM은 미사일이 비행하는 동안 BPSK 복조기에서 복조한 GPS 중계기의 GPS 신호를 DRAM에 저장하고, 시험 후 후처리 컴퓨터의 하드디스크에 전송하여 저장하도록 설계되었다. GPS 중계기의 GPS 신호 샘플 클럭 정보를 복원하기 위하여 20MHz로 오버 샘플하여 저장하고 후처리하도록 설계하였다.

후처리 시스템은 샘플된 GPS 신호를 가지고 처리하는 소프트웨어 수신기이기 때문에, 일반 GPS 수신기의 기본적인 기능인 DSP 상관기, 적분기, 추적 루프 필터 및 항법 필터를 이용하여 미사일의 3차원 위치정보를 계산하도록 구현하는 것으로 후처리 시스템의 설계가 시작되었다<sup>[2]</sup>.

후처리 컴퓨터는 저장된 GPS 신호를 사용하여 후

처리하기 때문에 실시간에서 구현 불가능한 다양한 방법들을 적용할 수 가 있다. 고기동 항법에 대한 고려로서 한번 후처리한 데이터의 가속도 정보를 사용하여 반송파 추적 루프에 적용할 수 있도록 설계가 되었다. 또한, ARM은 동시에 두 개의 GPS 신호를 저장할 수 있도록 설계가 되었다. 이 방법은 같은 GPS 중계기(미사일 혹은 표적기)에서 전송되는 S-Band 신호를 수신안테나를 두 개 사용하여 수신안테나로부터 ARM까지의 인터페이스 되는 Path상의 S-Band BPSK 복조기등의 오동작이나 혹은 수신 데이터의 특성에 따라 후처리 동안 선택적으로 사용할 수 있게 하여 S-Band 링크상의 오차율을 줄일 수 있도록 했다.

### 3.3 고기동 항법에 대한 설계

후처리 시스템은 반송파 측정치의 필요와 고기동 항법에 대한 고려로 반송파 추적 루프<sup>[3]</sup>에 FLL과 PLL을 같이 사용하는 필터<sup>[4]</sup>와 한번 후처리된 가속도 정보를 이용하는 방법을 사용한다.

### 3.4 CDGPS 후처리에 대한 설계

후처리 시스템에서는 다양한 기법을 적용할 수 있다는 점을 이용하여 ARCE[5], LAMBDA Method 등 여러 가지 CDGPS 알고리즘을 선택 또는 혼합할 수 있도록 하였다. 또한, 후처리 결과 측정치를 RINEX2 파일로 저장을 하여 상용 CDGPS 알고리즘 툴들을 사용할 수 있도록 하였다.

## 4. 기능 및 성능 평가

GPS 중계기 시스템의 성능 평가를 위해 정적시험,

측지점에 고정된 표적과 이동하는 표적에 대한 비행 시험을 통해 정확도를 확인하였다. GPS 중계기 시스템에 대한 기능 및 성능검증으로 측지점을 천천히 이동하는 정적시험을 통해 CDGPS 위치 정확도를 확인하였고, 실 사격시험으로 표적이 측지점에 고정된 경우와 표적이 움직이는 경우에 대한 시험을 수행하여 그 성능을 입증하였다.

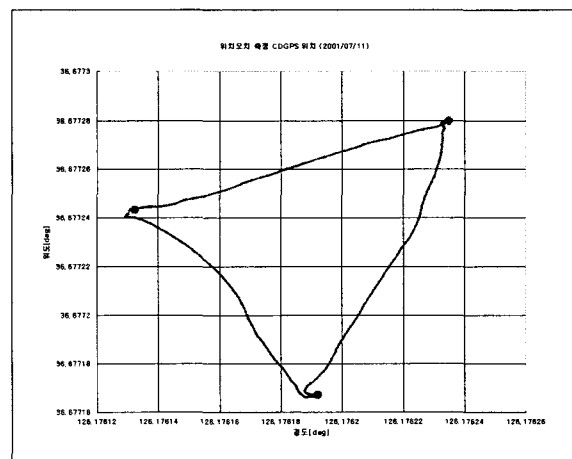
### 4.1 정적시험(CDGPS 오차 측정 실험)

GPS 중계기 시스템 데이터에 대한 CDGPS의 성능인 정확도를 확인하기 위하여 GPS 중계기를 3개의 측지점을 차례로 이동하며 실험한 결과를 그림 5에 나타내었다.

3개의 측지점에 대하여 10cm 이하의 위치 오차를 검증할 수 있었다.

### 4.2 비행시험(고정표적 경우)

고기동 회전하는 미사일에 GPS 중계기를 탑재하고 표적인 지상의 고정된 측지점을 향하여 미사일이 비행하게 되며, 이때 미사일의 비행궤적과 표적에 대한

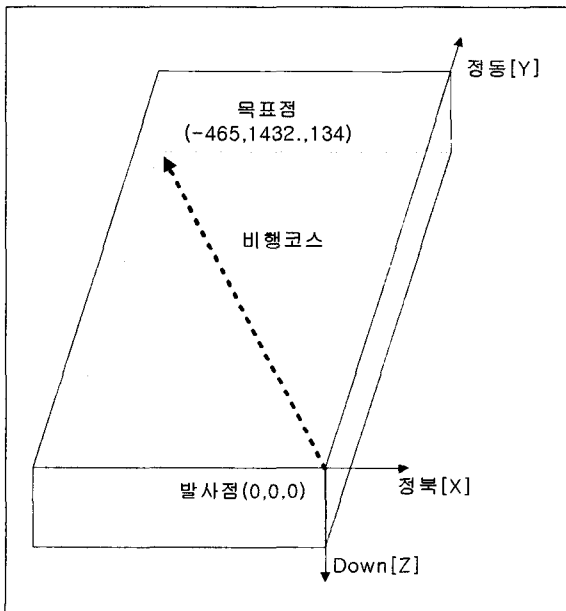


[그림 5] CDGPS 위치 오차 측정 실험

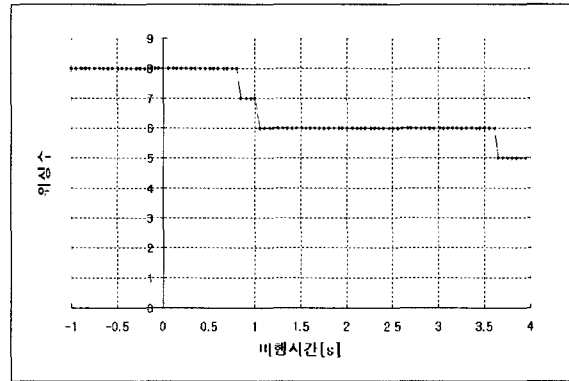
명중 오차를 측정함으로써 그 성능을 확인할 수 있다.

CDGPS를 이용하여 위치를 측정시 사이클 슬립이 생기면 추적이 계속되더라도 bias가 발생하여 잘못된 위치를 얻을 수 밖에 없다. 특히, 큰 저크가 있는 고기동 미사일의 경우 더욱이 중요하다. 이를 확인하기 위하여 측지점에 대하여 얼마의 오차가 존재하는지 즉, 사이클 슬립이 발생했는지를 확인할 수 있다. 미사일의 경우가 확인되면 이보다 극히 작은 저크와 저기동 표적의 경우는 별로 문제가 되지 않는다. 미사일의 경우 L-band 수신안테나의 성능이 상용 patch형의 안테나보다 이득이 작으므로 신호를 놓쳐 사이클 슬립이 발생할 확률이 크다. 이를 확인하기 위한 구성을 그림 6과 같이 하여 시험하였다.

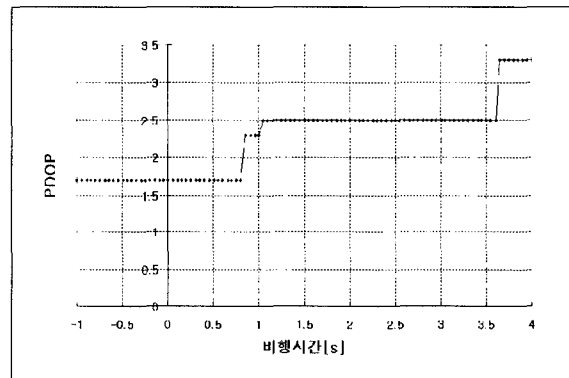
비행시간은 3.836초 이며 추적 위성수는 그림 7과 같이 발사 전 8개에서 발사 후는 6개까지 감소하였으며, PDOP은 그림 8에서와 같이 1.7에서 2.5까지 증가하였다.



[그림 6] 지상시험 구성도

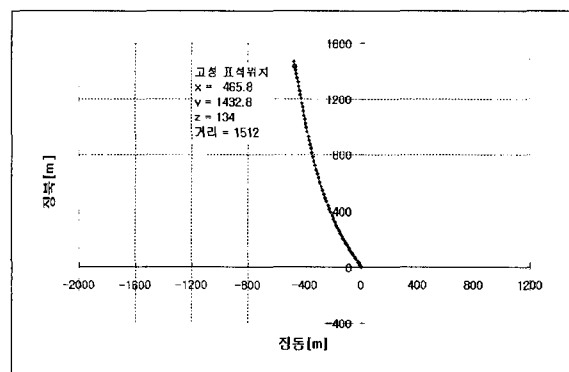


[그림 7] 추적 위성수

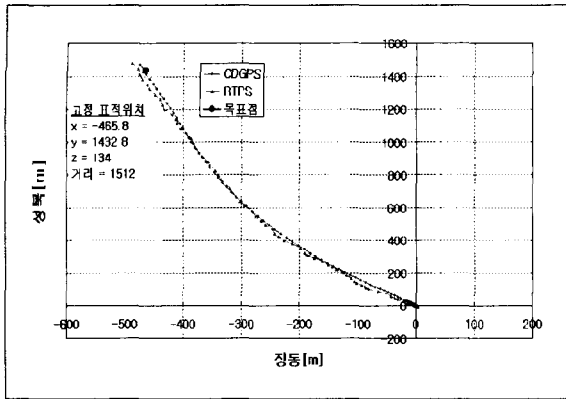


[그림 8] PDOP

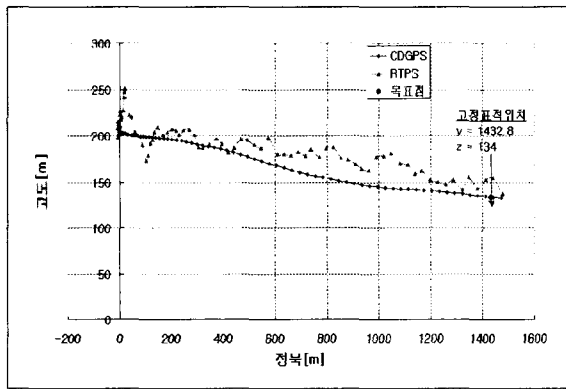
전체 비행궤적은 그림 9와 같으며 전 비행구간 잘 추적하였다.



[그림 9] 비행궤적



[그림 10] 수평축 RTPS와 CDGPS 비교



[그림 11] 고도축 RTPS와 CDGPS 비교

CDGPS와 RTPS에 대한 결과로서 수평축은 그림 10에 고도축은 그림 11에 나타내었다. RTPS의 경우 수평축은 약 10m, 고도축은 약 25m정도로 일반 수신기의 정확도를 보였다.

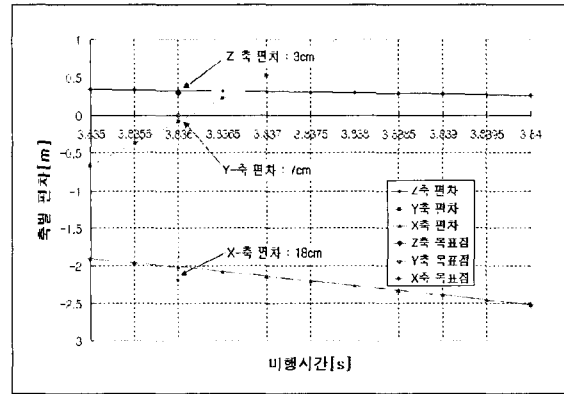
CDGPS에 대한 결과를 목표점(측지점)과 실제로 미사일이 최근접점을 통과(명중오차)시 목표점 위치에 대한 오차를 보면, X축 오차 18cm, Y축의 경우 7cm 및 Z축으로는 3cm의 오차로서 그림 12에 나타냈다.

전체오차는 19.54 cm 로서 사이클 슬립은 없었다고 판단할 만하다. 미사일의 명중오차는 최근접시 CDGPS 결과가 19.54cm의 오차를 가지고 측정되었

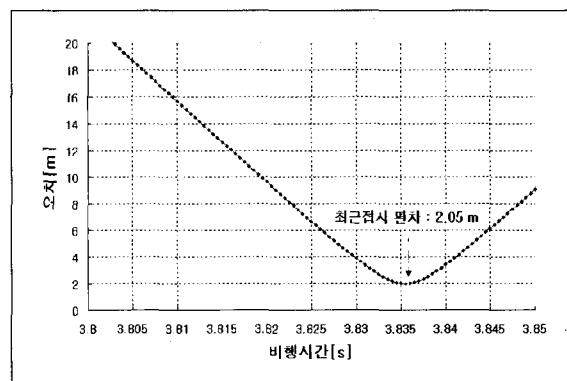
으며 30cm 이내인 설계기준을 만족한다. 이를 그림 12 및 그림 13에 나타내었다.

일반적인 경우 고도축(Z축) 오차가 크데 실험결과 는 오히려 X축이 큰 오차를 나타낸다. 이는 지상국의 기준점(측지점)과 목표점을 정확히 측정하지 않은 결과로 판단된다. 기준점을 정확히 측정하지 않고 중계기를 이용하여 측정한 결과 때문으로 생각되며, 만약 기준점 및 목표점을 정확히 측정한다면 이 오차는 상당히 줄어들 것으로 생각된다.

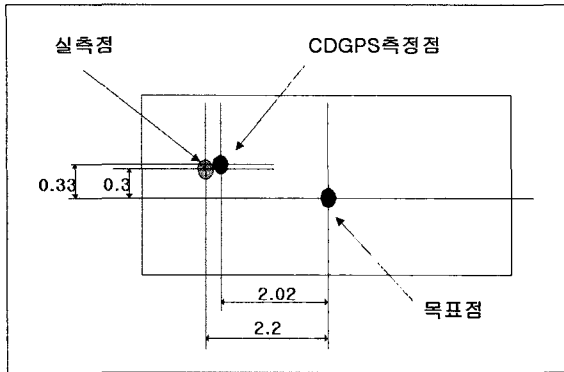
이를 토대로 이후의 이동표적에 대한 비행시험시 미사일 특성은 거의 같으므로 사이클 슬립은 발생하



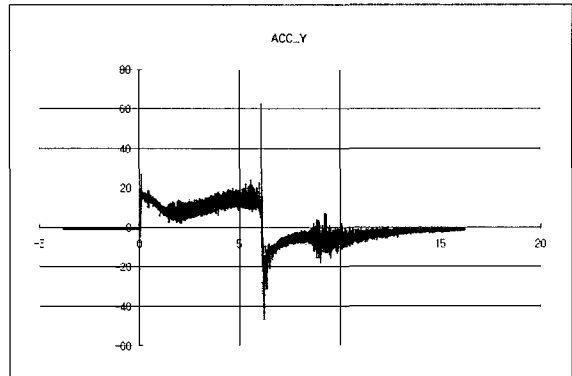
[그림 12] 목표점에 최근접시 측별 편차



[그림 13] 목표점에 최근접시 전체 편차



[그림 14] 최근접시 실측치와 CDGPS 편차

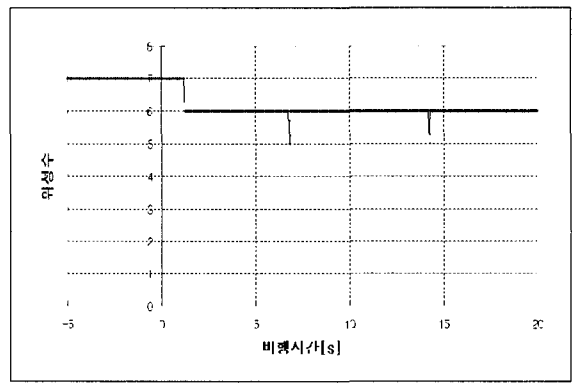


[그림 16] 미사일의 Y축 가속도

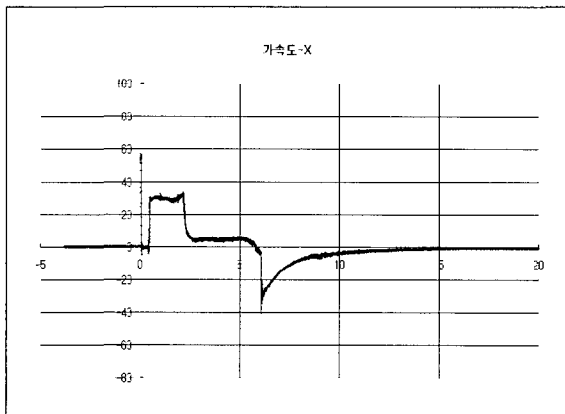
지 않을 것이며, 이동표적은 미사일보다 기동, 속도, 가속도 등에서 유리하므로 명중오차 30cm 이내는 만족할 것이다.

#### 4.3 비행시험(이동표적 경우)

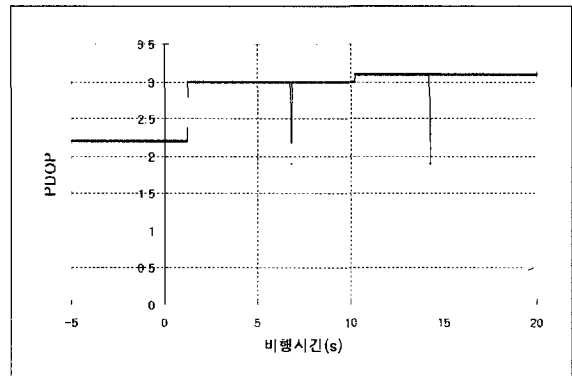
실제 비행시험에 GPS 증계기를 장착하여 시험했다. 미사일이 받는 가속도를 X축(미사일 진행방향)과 Y축(미사일 측면방향)에 대하여 각각 그림 15와 그림 16에 나타내었다. 발사시 X축으로 약 60g 그 이후 30g로 기동하고 있으며 이는 대부분의 시험환경에 따라 거의 변하지 않는다. Y축으로는 비행상황에 따라



[그림 17] 추적 위상수



[그림 15] 미사일의 X축 가속도



[그림 18] PDOP

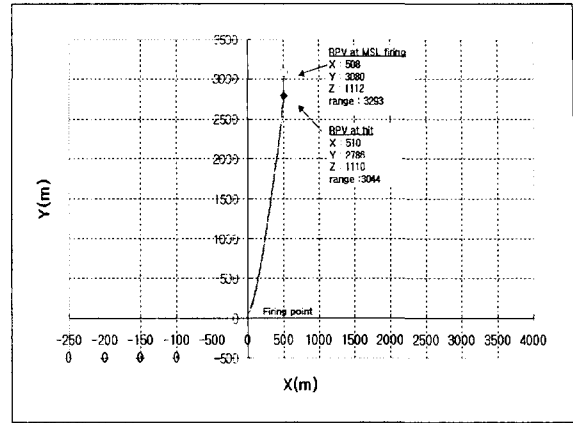
다르겠지만 이 실험 데이터에서는 20g 이상 기동함을 알 수 있다.

추적위성수는 그림 17과 같이 발사전 7개에서 발사 후는 6개까지 감소하였으며 이때, PDOP은 그림 18에서와 같이 2에서 3까지 증가하였다. Sign(I-채널)에 대한 값은 그림 19에 나타내었다.

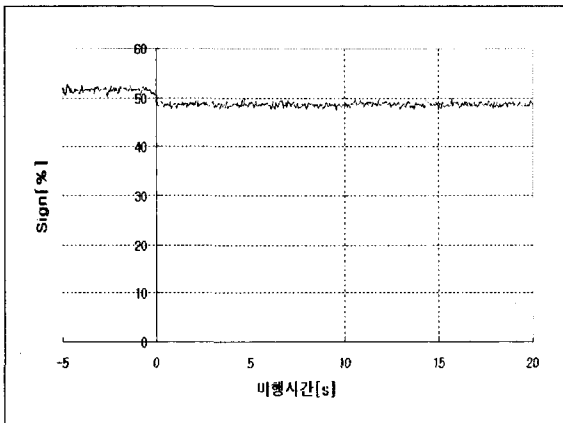
전체 비행궤적은 그림 20와 같으며 전 비행구간에 대해 미사일과 표적기 모두 잘 추적하였다.

위도 및 경도를 발사좌표계로 변환하여 그림 21에 나타내었다.

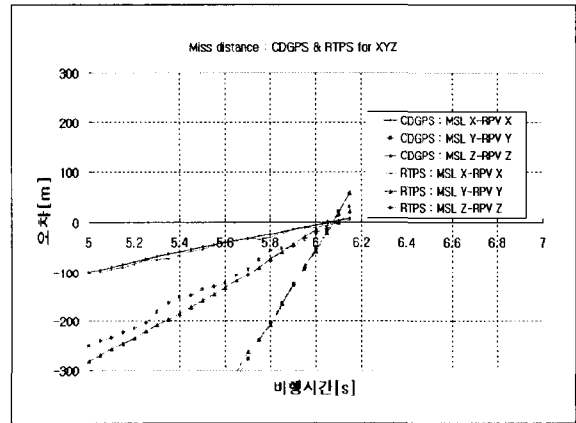
CDGPS와 RTPS에 대한 결과로서 수평축에 대하여 그림 22에 나타내었다. RTPS의 경우 일반 수신



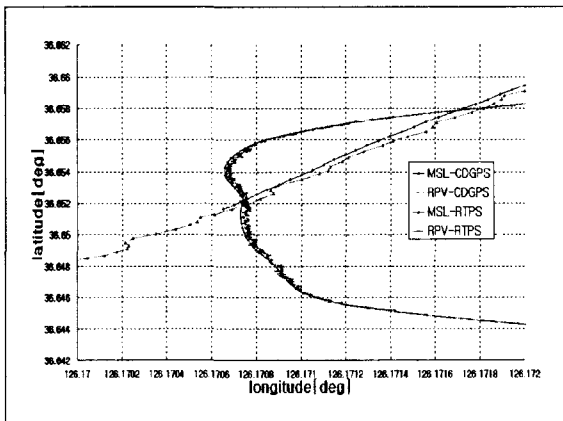
[그림 21] 비행시험-발사좌표계



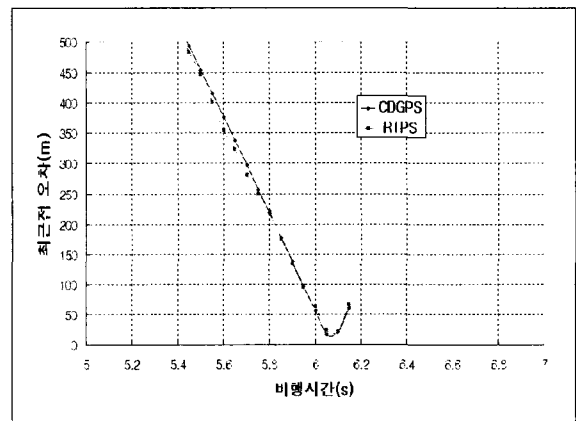
[그림 19] Sign(I-채널) 값



[그림 22] CDGPS와 RTPS 편차



[그림 20] 비행시험 장면



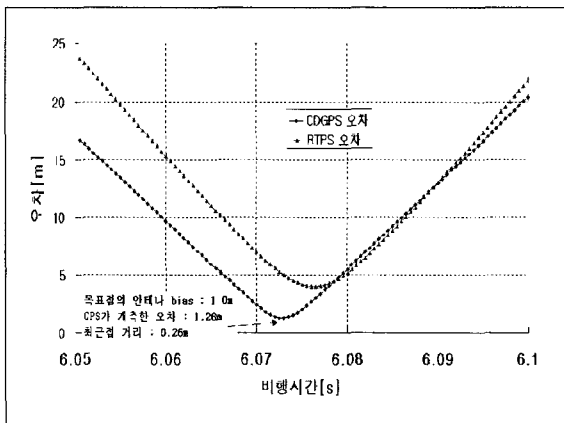
[그림 23] 목표물 최근접시 편차



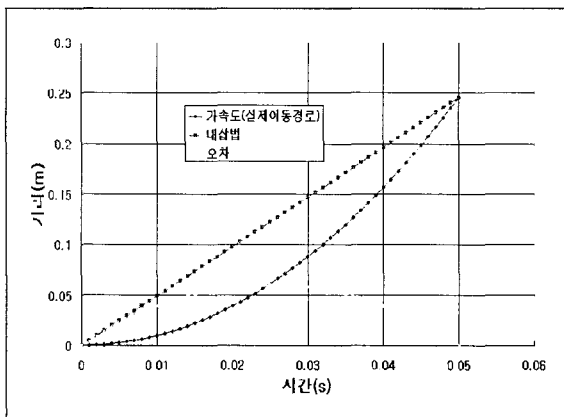
기의 정확도를 보였다.

목표물 최근접시 RTPS 및 CDGPS에 대한 편차를 그림 23에 나타내었으며, 위치 측정 data rate이 20 Hz 이므로 이를 내삽법으로 나타내면 그림 24과 같다.

Data rate를 20Hz로 할 때 50ms 주기마다 위치를 구하게 되고 그 사이값은 내삽법으로 구하더라도 미사일이 20g로 기동한다고 가정을 해도 최악의 경우 약 6cm의 오차를 유발할 수 있다. 이를 그림 25 나타내었다.



[그림 24] 목표물 최근접시 편차



[그림 25] 목표물 최근접시 편차

명중오차는 26cm로 계산되었으며, 이 값은 전자과 방식의 오차가 1ft 인 MDI(miss-distance indicator) CMDI-118가 측정한 명중오차 19cm와 비교할 때 정확하다는 것을 알 수 있으며 30cm 이내인 설계기준을 만족한다.

그림 26는 비행시험 장면이다.



[그림 26] 미사일 비행시험 장면

## 5. 결 론

본 논문에서는 고 기동, 충격, 진동, 회전 등 환경의 영향을 많이 받으며 정확한 위치측정이 요구되는 소형 RAM의 시험평가 장비로 GPS 중계기 시스템을 개발하였으며, 기능 및 성능 확인을 위해 정적시험, 고정표적과 이동표적에 대한 실 비행시험으로 성능을 확인하였다. 비행시험을 통하여 미사일이 표적에 조우시 명중 위치 오차가 30cm 이내의 정확도를 만족함을 보였다.

추후의 실험으로는 고기동 시뮬레이션을 통한 추적 루프 특성의 점검이 필요하고, GPS 중계기에서 전송되는 GPS 신호의 잡음특성에 직·간접적으로 영향을 주는 S-Band 링크에 대한 오차율 검증과 오차율

최소화에 중점을 둔 연구가 필요하다. 또한, 원거리 CDGPS 알고리즘에 대한 성능 분석과 향상이 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] T. Thompson, J. M. Dougherty and T. M. Hattox, "Application of GPS to Two-Centimeter Test Missile Intercept Measurements," Proceeding of the Institute of Navigation 53th Annual Meeting, pp.119~130, 1997.
- [2] Bradford W. Parkinson and James J. Spilker Jr., *Global Positioning System: Theory and Applications*, AIAA, Inc., 1996.
- [3] Elliott D. Kaplan., editor, *Understanding GPS : Principles and Applications*, Chapter 5, Phillip Ward, author, "Satellite Signal Acquisition and Tracking," pp.119~208, Artech House Publishers, Boston, MA, 1996.
- [4] Phillip W. Ward. "Performance Comparisons Between FLL, PLL and a Novel FLL-Assisted-PLL Carrier Tracking Loop Under RF Interference Conditions," ION 98, pp.783~795, 1998.
- [5] 박찬식, "GPS 반송파 위상신호를 이용한 자세결정," 공학박사 학위 논문, 서울대학교 전기공학부, 1997.