

論文

정밀항법 시스템 설계 및 알고리즘 검증

정성균*, 김태희*, 이재은*, 이상욱*

Design and Algorithm Verification
of Precision Navigation System

Seongkyun Jeong*, Taehee Kim*, Jae-Eun Lee*, and Sanguk Lee*

ABSTRACT

As GNSS(Global Navigation Satellite System) is used in various filed, many countries establish GNSS system independently. But GNSS system has the limitation of accuracy and stability in stand-alone mode, because this system has error elements which are ionospheric delay, tropospheric delay, orbit ephemeris error, satellite clock error, and etc. For overcome of accuracy limitation, the DGPS(Differential GPS) and RTK(Real-Time Kinematic) systems are proposed. These systems perform relative positioning using the reference and user receivers. ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute) is developing precision navigation system in point of extension of GNSS usage. The precision navigation system is for providing the precision navigation solution to common users. If this technology is developed, GNSS system can be used in the fields which require precision positioning and control. In this paper, we introduce the precision navigation system and perform design and algorithm verification.

Key Words : GNSS(위성항법 시스템), Precision Navigation(정밀항법), RTK, Reference Station(기준국)

1. 서 론

위성항법 시스템이 사회 전반에 다양하게 사용됨에 따라 세계 여러 나라가 위성항법 시스템을 독자적으로 갖추고 있다. 여러 분야에서 위성항법 시스템이 사용되고 있지만 측위 정밀도에 한계가 있어 아직 위성항법 시스템의 사용범위를 확장하는 데에는 문제가 있다. 위성항법 시스템의 정밀도가 향상되고 신뢰도가 높아진다면 보다 다양하고 유용한 곳에서 위성항법 시스템이 사용될 것이다. 하지만 위성항법 시스템은 이온층 오차, 대류층 오차, 위성 궤도 오차 등 다양한 오차

요인이 존재하므로 시스템의 성능을 향상시키는 데에는 한계가 있다. 일반적으로 단일 수신기의 측위 정밀도는 수평 5m, 수직 10m(95%) 정도로 알려져 있다. 이러한 낮은 정밀도를 극복하기 위하여 기존의 연구에서는 DGPS(Differential GPS)와 RTK(Real Time Kinematics) 시스템이 제안되었다. DGPS 시스템은 기준국과 사용자의 수신기로 나누어져 있으며 기준국은 정확한 좌표를 바탕으로 수신기의 의사거리 보정량과 변화율 보정량을 방송하며 사용자 수신기는 이 보정 정보를 수신하여 자신의 위치 계산에 보정 파라미터로 사용한다. 이러한 DGPS 시스템을 이용한다면 항법시스템의 위치정밀도를 수평 1m, 수직 2m(95%) 수준으로 향상시킬 수 있다. 보다 정밀한 측위를 위해서 RTK 시스템이 사용된다. RTK 시스템 역시 2개의 수신기를 이용하지만 측정치의 반송파 정보를 이용한다는 점에서 DGPS와

2012년 12월 31일 접수 ~ 2013년 03월 15일 심사완료
논문심사일 (2013.01.04, 1차), (2013.03.13, 2차)

* 한국전자통신연구원 위성항법연구소

연락처, E-mail : skjeong387@etri.re.kr

대전광역시 유성구 가성로 218

다르다. RTK 시스템에서는 반송파 정보를 사용할 때 발생하는 모호정수 문제를 해결함으로써 보다 정밀한 측위가 가능하다. RTK 시스템은 기준국에서 측정한 코드 측정치, 반송파 측정치와 사용자 수신기에서 측정한 코드 측정치, 반송파 측정치를 동시에 이용하여 보다 정밀한 측위가 가능하며 측위 정밀도는 cm 이하 수준까지 가능하다. 이렇듯 RTK 시스템은 정밀 측위가 가능하지만 두 수신기 사이의 거리인 기저선의 길이나 반송파 측정치의 신뢰성에 따라서 측위 성능이 크게 변화하는 단점을 가지고 있다. 시스템의 복잡도와 신뢰도의 단점이 존재함에도 불구하고 위성항법 시스템을 보다 보편적이고 다양하게 사용하기 위해서는 측위 정밀도를 향상시킨 시스템의 개발이 필요하다.

한국전자통신연구원에서는 이러한 경향을 반영하여 RTK 시스템 기술을 기반으로 하는 정밀항법 시스템의 설계를 추진하였다. 이러한 시스템이 개발된다면 정밀한 항법 서비스를 보다 보편적으로 사용할 수 있으며 고도의 항법 성능을 요구하는 분야에 위성항법 시스템을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 한국전자통신연구원에서 개발을 추진 중인 정밀항법 시스템의 설계 내용을 기술하였다. 또한 정밀항법 알고리즘을 제시하여 구현 가능성을 확인 하였다[1][2].

II. 정밀항법 시스템의 개요

정밀항법 시스템은 위성항법 사용자에게 향상된 위치정확성을 제공하기 위한 것으로 GPS(Global Positioning System), 갈릴레오, QZSS(Quasi Zenith Satellite System)에서 수신되는 항법 신호를 처리하고 위성항법 보정정보를 생성 배포하며 사용자 단말기에서 향상된 위치정보를 계산하는 시스템이다. 향상된 위치 정보를 제공하기 위해 정밀항법 시스템은 기준국 데이터 처리장치, 정밀항법 단말기로 구성된다. 기준국 데이터 처리장치는 위성항법 신호를 수집하는 장치로 기준국으로부터 항법데이터를 수집하고 처리하여 사용자에게 제공하는 보정정보를 생성하고 이를 사용자에게 전달하는 장치이다. 정밀항법 단말기는 수신된 보정정보와 항법위성으로부터 수신한 정보를 바탕으로 정밀항법해를 계산하는 장치이다. Fig.1은 한국전자통신연구원에서 개발하고자 하는 정밀항법 시스템의 개념도를 보여 주고 있다.



Fig.1 정밀항법 시스템 개념도

정밀항법 시스템의 목적은 다원화 항법신호를 활용하여 향상된 위치정보를 제공하는데 있다. 다원화(GPS, 갈릴레오, QZSS) 항법시스템에서 제공하는 신호를 연동 처리하는 기술을 개발하고 정밀한 위치정보를 제공하며 무선단말에 정밀위치정보를 제공하여 위치 서비스의 이용 범위를 확대하고 신뢰도를 향상시키기 위함이다. 정밀항법 시스템은 안정적인 위치 정보 제공을 기반으로 정밀 제어, 자동화 등의 응용 범위를 확대할 수 있다.

정밀항법 시스템은 위성항법 신호와 보정정보를 이용하여 사용자에게 정밀한 위치해를 제공하는 시스템으로 Fig.2와 같은 시스템 구조를 갖는다. 기준국 데이터 처리장치는 기준국 수신기, 기준국 데이터 수집 모듈, 기준국 데이터 처리 모듈, 데이터 저장 모듈, 보정정보 생성 모듈, 기준국 데이터 분석 모듈, 프레임 생성 모듈, 보정정보 송신 모듈로 구성된다. 정밀항법 단말기는 사용자 수신기, 항법신호수신 모듈, 보정정보 수신 모듈, 정밀 데이터 병합 처리 모듈, 정밀항법해 계산 모듈로 구성된다. 다원화 항법신호 처리 기술은 GPS, 갈릴레오, QZSS 신호를 처리하는 기술을 포함한다.

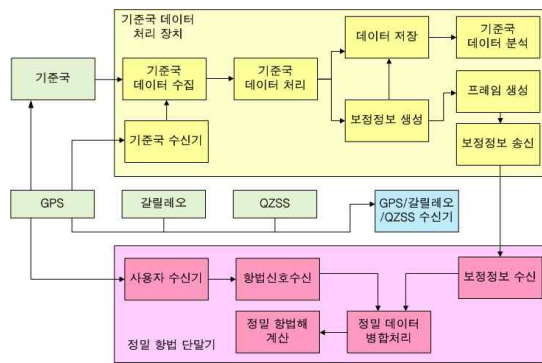


Fig.2 정밀항법 시스템 기능 블록도

Fig.3은 정밀항법 시스템의 내/외부 인터페이스를 나타낸 것이다. 정밀항법 시스템의 외부 인터페이스는 기존 기준국 시스템으로부터 RINEX(Receiver Independent Exchange Format) 데이터 포맷의 항법메시지 및 측정데이터를 수신하고 GPS/갈릴레오/QZSS 항법위성으로부터 항법신호를 수신한다. 내부 인터페이스는 기준국용 수신기로부터 처리된 항법데이터(항법메시지, 측정데이터)를 기준국 데이터 처리장치에서 수신하여 정밀항법 단말기에서 사용할 수 있는 보정데이터를 생성하여 전송한다. 정밀항법 단말기는 정밀항법 단말용 수신기로부터 항법데이터(항법메시지, 측정데이터)를 수신하여 기준국 데이터 처리장치로부터 수신한 보정데이터를 이용하여 정밀항법해를 생성한다.

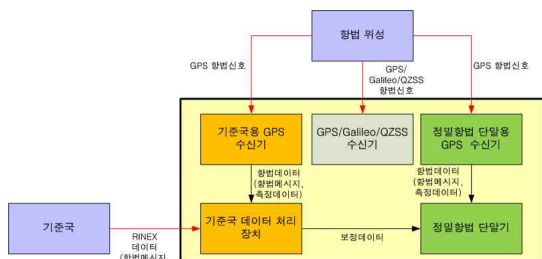


Fig.3 정밀항법 시스템 내외부 인터페이스

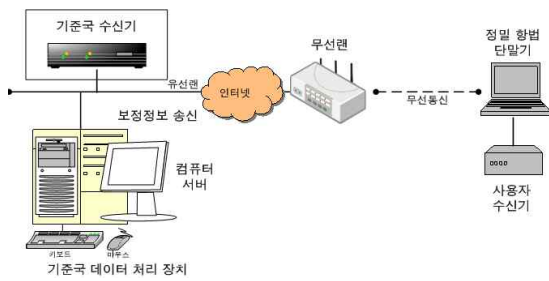


Fig.4 정밀항법 시스템 하드웨어 구성도

Fig.4는 실제 구현할 정밀항법 시스템의 하드웨어 구성을 보여주고 있다. 정밀항법 시스템은 기준국 데이터 처리 장치에 컴퓨터 서버가 존재하며 무선랜을 통하여 보정정보를 송신한다. 정밀항법 단말기는 보정정보와 위성항법 신호를 이용하여 정밀항법해를 계산해 낸다. 하드웨어는 기준국 수신기, 기준국 데이터 처리 장치(컴퓨터 서버), 무선랜 장비, 정밀항법 단말기(노트북 컴퓨터), 사용자 수신기로 구성되며 이들 하드웨어

에 기준국 데이터 처리 프로그램, 보정정보 송신 프로그램, 정밀항법 프로그램 등의 소프트웨어가 설치된다. 기준국 데이터 처리 프로그램과 보정정보 송신 프로그램은 컴퓨터 서버에 설치되며 정밀항법 프로그램은 노트북 컴퓨터에 설치된다.

정밀항법 시스템은 기준국용 수신기를 이용하여 정해진 좌표에 대한 측정값을 이용하여 일정 거리에 있는 사용자에게 정밀항법해를 계산할 수 있는 보정정보를 생성한다. 이렇게 생성된 보정데이터를 사용자가 사용하기 위해서는 정밀항법 서비스를 위한 등록 절차가 선행되어야 하며 등록이 완료된 후 사용자가 서비스 제공 요구를 하였을 때 보정정보를 사용자에게 제공할 수 있다. 사용자는 이렇게 수신한 보정정보와 정밀항법 단말기용 수신기에서 수신한 측정데이터를 이용하여 정밀항법해를 계산하여 사용자에게 제공하게 된다. 정밀항법 시스템의 운용은 다음과 같이 크게 서비스 접속 기능, 보정정보 생성 기능, 정밀항법해 계산 기능의 3가지로 분류할 수 있다. Fig.5는 정밀항법해 계산 기능의 운용개념을 예시적으로 보여주고 있다.

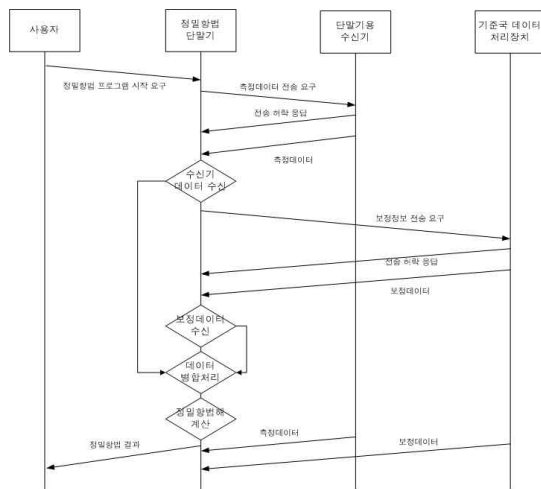


Fig.5 정밀항법해 계산 운용개념(예)

III. 정밀항법 시스템 설계

정밀항법 시스템은 기준국 데이터를 이용하여 사용자에게 정밀항법을 제공하는 기능을 수행한다. 기준국 데이터 처리 장치는 기준국 데이터 수집 기능, 기준국 데이터 처리 및 분석 기능, 보정정보 생성 및 송신 기능, 데이터 저장 기능 등이 있으며 정밀항법 단말기는 보정정보 수신 기

능, 항법신호 수신 기능, 정밀 데이터 병합처리 기능, 정밀항법해 계산 기능이 있다. 정밀항법 시스템은 이러한 기능을 구현하기 위하여 설계되었다.

3.1 기준국 데이터 처리 장치 설계

정밀항법 시스템의 기준국 수신기는 위성항법 신호를 수신하여 정밀한 측정치(의사거리, 반송파 위상)를 생성하는 장치이다. 기준국 수신기는 보정정보 생성을 위한 측정치와 정밀한 절대적 안테나의 위치를 제공한다. 정밀항법 시스템에서는 기준국 수신기를 기존 상용제품을 선택하여 활용할 예정이다. 기준국 수신기의 안테나 위치는 정밀하게 측량을 수행하여 정확한 위치를 파악 되어야 한다.

기준국 데이터 수집 기능은 기준국 수신기로부터 측정데이터 및 항법해결과(기준국 좌표)에 대한 정보를 수신하는 것으로 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 기존에 설치된 상시 기준국으로부터 RINEX 형태의 데이터를 수집하는 경우와 자체 기준국용 수신기를 이용하여 측정데이터 및 항법데이터를 수집하는 경우이다. Fig.6은 기준국 데이터 수집 모듈의 구성도를 보여주고 있다.



Fig.6 기준국 데이터 수집 모듈 구성

기준국 데이터 처리는 기준국용 수신기 및 상용 기준국으로부터 수신한 데이터를 보정정보를 생성하기 위한 변수형태로 변환해주는 기능을 수행한다. 기준국용 수신기 또는 상용 기준국으로부터 전송되는 기준국 데이터를 수신하여 기준국용 수신기 데이터처리 및 상용 기준국 데이터 처리를 통하여 보정정보 생성을 위한 기준국 처리 데이터를 생성한다.

정밀항법 시스템의 기준국 데이터 처리장치에서는 데이터 분석을 위하여 항법데이터 및 보정데이터를 저장하는 기능을 갖는다. 기준국 데이터 처리장치에서는 기준국용 수신기에서 수신한 항법해(기준국 좌표, 궤도데이터) 및 측정데이터(의사거리)를 저장한다. 또한 기준국 데이터 처리

장치에서 생성한 보정데이터를 일정한 주기로 저장한다. 데이터 저장은 윈도우 NTFS(NT File System) 파일 시스템을 따르며 년/월/일 폴더를 생성하여 수신데이터 및 보정데이터를 저장한다.

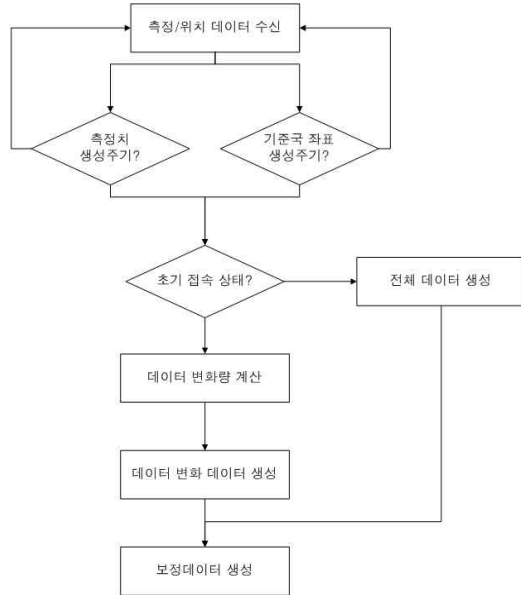


Fig.7 보정정보 생성 시나리오

정밀항법 시스템의 기준국 데이터 처리 장치는 수신기에서 받은 측정데이터를 이용하여 반송파 위상 측정데이터, 의사거리 측정데이터를 생성하고 기준국 좌표를 이용하여 기준국 정보 메시지를 생성하고 이러한 데이터들을 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services) 포맷으로 생성한다. 보정정보 생성 기능은 기준국 수신기로부터 수집된 측정데이터(의사거리, 반송파 위상) 및 기준국 위치 좌표 정보를 이용하여 보정데이터를 생성하는 것이다. 보정정보 생성 포맷의 기준은 RTCM 3.0 혹은 CMR(Compact Measurement Record)의 형식을 따른다. 해당 포맷에서는 측정치 기반의 RTK 서비스를 제공할 수 있다[3]. 본 시스템에서는 기준국 데이터 처리장치에서 정밀항법 단말기로 보정데이터를 전송함에 있어 초기 접속 시에는 측정데이터 및 보정데이터를 RTCM 3.0 또는 CMR에서 제공하는 메시지를 이용하여 전체 데이터를 전송한다. 그러나 그 이후에는 보정데이터의 변화량만 전송함으로써 전송대역을 효율적으로 사용할 수 있으며 많은 가입자 수용이 가능하다. 이와 같은 메시지 전송이 가능한 이유는 본 시스템이 불특정 다수를 위한 정밀항법 서비스가 아

니라 정밀항법 서비스를 가입한 사용자에게 한하여 정밀항법 서비스를 수행함으로써 서비스 요청이 있는 사용자를 타겟으로 보정데이터를 전송할 수 있다. Fig.7은 보정정보를 생성하는 시나리오를 나타낸다.

기준국 데이터 분석은 기준국 데이터 처리장치에서 기준국용 수신기에서 수신한 항법데이터와 사용자 단말로 전송할 보정정보를 분석하기 위한 기능이다. 기준국 데이터 분석은 크게 기준국용 수신기 데이터 분석 및 보정정보 분석 두 가지로 나누어진다.

프레임 생성은 기준국 데이터 처리 장치에서 생성된 보정정보를 정밀항법 단말기로 전송하기 위한 포맷으로 설정하기 위한 기능이다. 측정치 전송은 최대 1초 간격으로 의사거리 측정치 및 반송파 위상 측정치를 전송한다. 기준국 좌표 정보는 최대 1분 간격으로 전송한다. 프레임은 보정정보의 나열을 의미하며 Fig.8과 같은 구조를 갖는다.

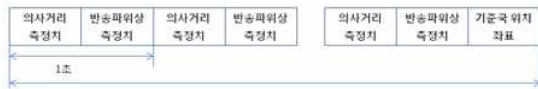


Fig.8 프레임 구조

보정정보 송신은 기준국 데이터 처리장치에서 보정정보 프레임을 사용자 단말로 전송하기 위한 기능이다. 정밀항법 시스템의 기준국 데이터 처리장치는 생성된 프레임 정보를 사용자 단말로 전송하기 위하여 인터넷 망을 이용한다. 따라서 생성된 프레임을 인터넷으로 전송하기 위한 TCP/IP 포맷으로 만들고 물리적 링크를 통하여 전송한다.

3.2 정밀항법 단말기 설계

정밀항법 시스템의 사용자 수신기는 위성항법 신호를 수신하여 사용자의 위치 및 측정데이터를 생성하는 기능을 수행한다.

정밀항법 시스템의 사용자 단말에서 항법신호 수신은 사용자 수신기로부터 항법신호 처리 결과 데이터를 수신하여 정밀항법해를 생성하기 위한 사용자 측정데이터, 사용자 위치, 사용자 오차공분산 데이터를 생성한다. 사용자 항법수신기로부터 출력되는 데이터를 케이블을 통하여 수신한다. 수신 주기는 사용자가 설정할 수 있으며 최소 1pps까지 지원 가능해야 한다. 항법 신호수신시 Watchdog 타이머를 이용하여 설정된 시간간

격으로 데이터가 수신되지 않을 경우 로그를 생성하고 사용자에게 현재 수신 상태를 알려준다. 수신된 항법처리 결과 데이터를 이용하여 정밀항법해 생성을 위한 사용자 수신기 위치 정보, 측정데이터, 사용자 공분산행렬을 생성하여 정밀데이터 처리로 전송한다. 수신된 데이터는 수신기 제조사에서 정의한 ICD(Interface Control Document)를 따르며 해당 데이터의 포맷을 이용하여 위치, 측정데이터를 생성한다.

정밀항법 시스템의 보정정보 수신은 기준국 데이터 처리장치로부터 생성된 보정정보를 사용자 단말에서 수신하기 위한 기능이다. 보정정보의 수신은 무선랜 AP를 통하여 수신한다. 보정정보 수신 모듈은 기준국으로부터 기준국 코드 정보 및 기준국 반송파 정보를 수신한다. 따라서 해당 정보 수신을 위해 기준국 서버에 접근 가능한 응용프로그램을 구성하도록 한다. 기준국 서버에 접근 가능한 응용프로그램의 주요 기능은 첫째, 기준국 서버와의 통신망 연결을 설정할 수 있어야 한다. 둘째, 인증 절차를 통해서 설정된 통신망 연결을 통해서 일정 주기의 지속적인 형태로 서버에서 제공되는 보정 정보를 수신한다. 물리적으로 통신망은 무선랜을 사용한다. Fig.9는 보정정보 수신모듈의 동작 순서도 이다.

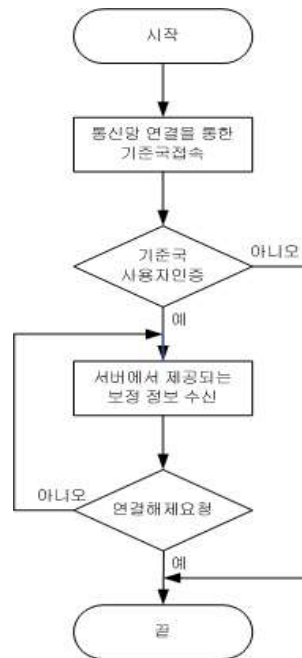


Fig.9 보정정보 수신 모듈 동작 순서도

정밀 데이터 병합 처리 모듈은 사용자 수신기

의 항법 정보와 기준국으로부터 수신한 보정 정보를 이용하여 정밀항법해를 계산할 수 있도록 데이터를 처리하는 모듈이다. 정밀 데이터 병합 처리 모듈은 기준국 데이터와 사용자 데이터를 비교하여 데이터를 오더링하고 위성위치 등의 데이터를 계산하여 정밀항법해를 계산하기 위한 선행 작업을 수행한다. 또한 정밀 데이터 병합 처리 모듈은 측정치차분, 시스템 행렬, 오차 공분산 행렬을 계산하여 정밀항법해를 계산하기 위한 데이터를 생성해 낸다. Fig.10은 정밀 데이터 병합 처리 모듈의 구성도를 보여주고 있다.

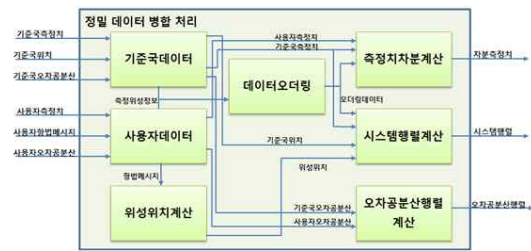


Fig.10 정밀 데이터 병합 처리 모듈 구성

정밀항법해 계산 모듈은 정밀 항법데이터를 이용하여 기준국 수신기로부터의 상대측위를 결정하는 모듈이다. 정밀한 항법해를 계산하기 위하여 반송파 정보를 사용하며 기준국 수신기와 사용자 수신기의 측정치에 대한 차분을 통하여 모호정수 문제를 해결한 다음, 두 수신기 간의 상대위치를 정밀하게 계산해 낸다. 정밀항법해 계산 모듈은 사용자의 위치를 구하기 위해 실수해 결정, 미지정수 결정, 고정해 결정의 3 단계의 과정을 거친다. 첫 번째 단계는 미지정수와 공분산 정보의 실수해를 추정하고, 두 번째 단계에서는 미지정수를 검색하고 결정된 후 세 번째 단계에서 고정해를 구한다. 실수해 결정 단계에서는 미지정수의 정수 조건을 무시하고 실수 미지정수와 공분산 정보를 계산한다. 미지정수 결정 단계에서는 실수 미지정수와 공분산 정보로부터 정수 미지정수를 결정하는 데는 LAMBDA(Least squares AMBiguity Decorrelation Adjustment) 기법을 이용한다. 최종적으로 고정해 결정 단계에서는 결정된 미지정수를 이용하여 사용자의 최종 상대위치를 결정한다.

정밀항법 시스템의 정밀항법 알고리즘은 코드와 반송파 측정치의 이중차분을 이용하여 검증하였다. 정밀항법해 계산단계를 거쳐 결정된 모호정수를 이용하여 정밀항법 시스템은 정밀한 상대

측위 값을 계산하게 된다. Fig.11은 모호정수 결정과정을 거쳐서 계산된 정밀항법해의 결과를 보여주고 있다. 설계 단계에서의 알고리즘 검증을 위하여 0m 기저선 데이터를 이용하였으며 데이터는 한국전자통신연구원에 설치한 기준국 데이터를 이용하였다[1][4].

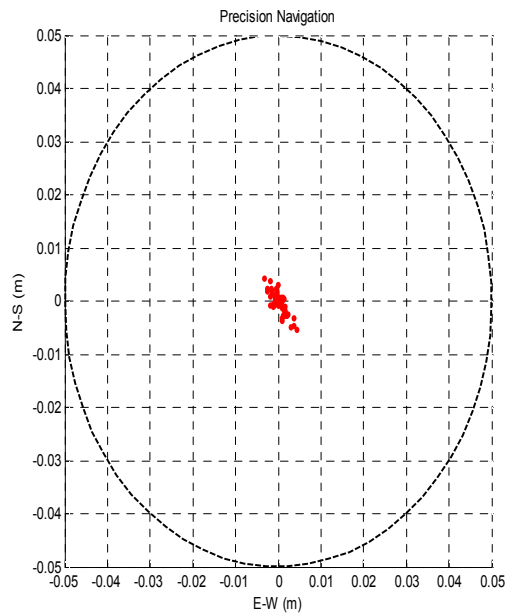


Fig.11 0m 기저선의 정밀 항법해(0m 기저선)

표 1은 계산된 정밀항법해의 오차 성능을 보여주고 있다. 0m 기저선에서의 mm 단위의 오차 특성을 보이는 것을 확인하였다.

Table 1 정밀항법해 오차(0m 기저선)

	동-서(m)	남-북(m)	수직(m)
평균	-0.00038	-0.00011	-0.00005
RMS	0.0024	0.0012	0.0007

IV. 결 론

한국전자통신연구원에서는 위성항법 시스템의 응용범위를 확대하기 위하여 정밀항법 시스템을 개발 중에 있다. RTK 방법을 기반으로 정밀항법 시스템의 설계를 수행하였다. 정밀항법 시스템이 구현될 경우 현재의 위성항법 시스템의 위치 정밀도를 향상시켜 정밀 기계 제어, 향상된 위치

기반 서비스, 측지 측량 수신기 등에 활용할 수 있으며 본 논문에서는 이에 대한 구현 가능성을 확인하는데 의미가 있다. 향후 단말기간 기저선 확장에 대한 연구와 개인 단말에서의 실시간 모호정수 해결 연구가 진행된다면 위성항법 시스템의 활용범위를 획기적으로 확대시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] S. Jeong, T. Kim, J. Lee, S. Lee, and J. Lee, "Design Analysis of Precision Navigation System", 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems, Jeju, 2012, pp. 2079-2082.
- [2] I. Joo, C. Sin, S. Lee, and J. Kim, "GPS L5 Acquisition Schemes for Fast Code Detection and Improved Doppler Accuracy," ETRI Journal, Vol.32, No.1, pp. 142-144, Feb., 2010.
- [3] RTCM Standard 10403.1 for Differential GNSS Services-Version 3," RTCM Special Committee No. 104, RTCM paper 177-2006-SC104-STD, 2006.
- [4] L. Baroni and H. K. Kuga, "Position Estimation of Static and Kinematic GPS Receivers Using Code and Phase Measurement," 7th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications, 2008.