

論文

육상교통 항법을 위한 네트워크기반 위성항법보정 시스템의 구성

손민혁*, 손은성*, 이은성*, 허문범*, 남기욱*

Configuration of Network Based GNSS Correction System for Land Transportation Navigation

Minhyuk Son*, Eunseong Son*, Eunsung Lee*, Moon-Beom Heo*, Gi-Wook Nam*

ABSTRACT

In this paper, a configuration procedure of a transportation infrastructure system for GNSS based very precise real-time positioning is proposed. This infrastructure system consists of several receiving station, a central station, and communication sub-systems. The required performance, design, implementation and verification of each sub-system are explained respectively. The required performance can be broken down into accuracy, integrity, stability, processing time. The design of the each sub-system is performed in accordance with the required performance and each sub-system is built with regard to the design. Lastly the implemented system is verified in comparison with the required performance.

Key Words : GNSS(위성항법시스템), Correction Information(보정정보), Integrity Information(무결성정보), Receiving Station(수신국), Central Station(중앙국)

1. 서 론

전 세계적으로 위성항법시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)은 육상, 해상, 항공 분야에서 사용자의 위치결정에 널리 이용되고 있다. 그러나 위성항법시스템을 단독으로 사용하는 경우 위치결정의 정확도는 m급의 오차를 수반하며 이를 극복하기 위하여 위성항법보정시스템이 필요하다.

위성항법보정시스템은 일반적으로 정밀위치의 수신국(또는 기준국)을 설치하여 수신국과 사용

자간의 상대측위를 수행하여 오차항을 계산하며 이를 보정정보로 제공하고 위성항법신호의 품질 감시를 수행하여 무결성정보를 제공하는 시스템이다. 대표적으로 항공에서 사용되는 GBAS (Ground Based Augmentation System) 및 SBAS (Satellite Based Augmentation System), 해상용으로 사용되는 MDGPS(Maritime Differential Global Positioning System), 육상의 측지측량용으로 사용되는 DGPS (Differential GPS), CDGPS (Carrier-phase DGPS) 등이 있다[1].

육상교통 사용자가 위성항법을 활용하여 위치결정을 수행하는 경우는 터널, 고가도로, 건물, 가로수 등에 의한 위성의 차폐가 빈번하게 발생되며 이에 따라 항법위성의 가시 환경이 항공, 해상환경에 비하여 열악하다. 따라서 육상교통 사용자를 위해서는 앞서 제시한 항공용, 해상용, 육상 측지측량용의 위성항법보정시스템과의 차별된 시스템 개발이 필요하다.

교통 선진국인 미국, 유럽, 일본 등에서는 육

2013년 11월 01일 접수 ~ 2013년 12월 18일 심사완료
논문심사일 (2013.11.08, 1차), (2013.12.11, 2차)

* 한국항공우주연구원 위성항법팀
연락처, E-mail : nhson@kari.re.kr
대전광역시 유성구 과학로 169-84

상교통 환경에서의 위성항법기반 보정시스템에 대한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 해외에서는 미국 교통성의 GPS RTK(Real-Time Kinematics) 기반의 차로구분 수준 위치결정 기술[2], 유럽 GMV의 위성항법활용 정밀위치결정[3], 일본의 QZSS(Quasi-Zenith Satellite System) 활용 육상교통 정밀위치결정[4] 등의 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 해양수산부의 해상용 위성항법보정시스템인 DGPS를 확장하여 육상교통 위치결정에 활용하는 연구[5], 국토교통부의 위성기반 위성항법보정시스템(SBAS)을 적용하는 연구[6]가 예정 중에 있다. 그러나 DGPS 및 SBAS는 항법위성의 코드정보를 기반으로 보정정보를 생성하므로 정밀위치 결정 성능의 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 육상교통 사용자를 위한 위성항법보정시스템의 개발을 위하여 환경에 따른 성능정의 및 성능정의에 따른 시스템의 목표 성능지표를 결정하였다. 이러한 지표를 기반으로 상위 시스템 및 각 하위 시스템에 대한 구조설계 및 설계를 기반으로 시스템을 구현하였다. 또한 실제 운용을 통하여 정확성, 무결성, 안정성, 실시간성으로 구분하여 구현 시스템을 검증하였다.

II. 성능, 구성, 시스템 정의

2.1 위치결정 성능정의

육상교통 사용자를 위한 위성항법보정시스템의 개발을 위해서는 성능정의가 우선되어야 한다. 차로구분수준의 위치결정 성능을 위하여 평균 차선평 3m의 절반인 1.5m를 차로구분의 위치결정오차 한계값(Alert Limit)으로 결정한다. 육상교통환경은 항공, 해상 등의 환경에 비하여 위성항법의 차폐가 빈번하게 발생되므로 도심을 포함한 위성항법 활용구간에서의 가용성은 90% 이상으로 결정한다. Fig 1은 이러한 목표 성능을 나타내고 있다.

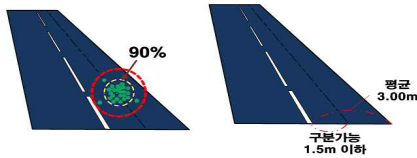


Fig 1. 기술개발 목표 성능정의

이러한 목표 성능은 Table 1과 같이 정리된다.

Table 1. 최상위 성능지표

종류	상세종류	성능지표
1	정확성	사용자 위치결정 정확도 50 cm 이하
2	무결성	사용자 위치 최대허용오차 1.5 m 이하
3	안정성	보정정보 생성 안정성 90 % 이상
4	실시간성	보정정보 실시간 제공성 1 Hz

2.2 구성정의

육상교통환경 위성항법보정시스템(이하, 인프라 시스템)은 보정정보가 수신되는 지역에서는 위치결정 오차한계값을 초과하지 않으며, 생성되는 보정정보는 불특정 다수가 동시에 사용하여야 한다. 또한 이러한 시스템 구축의 설치비용은 최소화 되도록 하여야 한다. 이러한 제약사항을 반영하여 3~5기의 위성항법, 기상, 영상, 상태 데이터를 수신하는 수신국을 일정 기선거리 간격으로 배치하여 네트워크를 구성하며 데이터를 취합하여 보정정보 및 무결성정보를 생성하는 중앙국 1기를 배치한다. 또한 균일한 정보제공을 위한 통신매체를 앞서 구성된 네트워크 내에 설치한다. 앞서 제시된 구성정의를 반영하여 최종 정의된 시스템의 구성은 Fig 2와 같다.

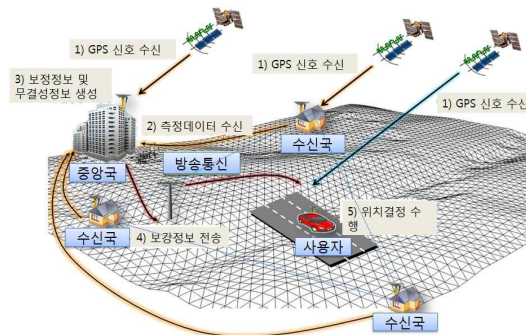


Fig 2. 인프라 시스템 구성정의

수신국은 위성항법 및 기타 데이터를 수신하여 중앙국으로 실시간 전달하며, 중앙국은 이러한 데이터를 취합하여 보정정보 및 무결성정보를 생성한다. 생성된 정보는 방송통신장치를 통하여 육상교통 사용자에게 전달되며 사용자는 이 정보를 활용하여 정밀 위치결정을 수행한다.

2.3 시스템 성능정의

시스템 성능정의는 2.1절과 2.2절에 걸쳐 제시된 정의를 고려하여 결정한다. Table 2는 성능지

표를 고려한 시스템 성능정의를 나타내고 있다.

Table 2. 성능지표 고려 시스템 성능정의

구분	종류	상위지표	구분	성능지표
1	정확성	50cm	중앙국	보정정보 잔차 10 cm 이하
			사용자	위치결정 정확도 50 cm 이하
2	무결성	1.5m	중앙국	1.5m 이하
			수신국	동작 안정성 90% 이상
3	안정성	90%	중앙국	동작 안정성 90% 이상
			수신국	100 ms 이하*
4	실시간성	1Hz	중앙국	300 ms 이하*
			통신	100 ms 이하*

* 1Hz 만족을 위하여 처리시간 500ms 이하

정확성은 사용자 위치결정 정확도 50cm를 고려하여 중앙국의 생성 보정정보 잔차(Residual)가 10cm 이하, 무결성은 사용자가 중앙국의 정보를 활용하여 위치결정을 하는 경우 1.5m를 초과하지 않아야 한다. 안정성은 보정정보 생성 안정성을 고려하여 각 시스템별 안정성을 90% 이상으로 결정하였다. 실시간성은 보강정보(보정정보, 무결성정보) 제공주기인 1Hz를 기준으로 각 시스템별 데이터의 크기, 기능을 고려하여 수신국 100ms 이하, 중앙국 300ms 이하, 통신 100ms 이하로 결정하였다.

III. 인프라 시스템 설계

3.1 시스템 전체 구조 설계

인프라 시스템의 구성도는 Fig 3과 같다.

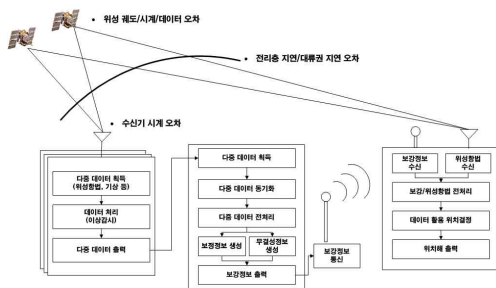


Fig 3. 인프라 시스템 알고리즘 구성도

인프라 시스템은 수신국, 중앙국으로 구성되며 그중 수신국은 위성항법 및 기상 등의 데이터를 획득하여 기본적인 품질모니터링 수행 후 중앙국으로 전송을 위한 데이터를 패키징하여 중앙국으로 전송한다. 중앙국은 다중 수신국 데이터 및 위치결정도움 데이터를 획득하여 동기화, 전처리 과정을 거쳐 보정정보 및 무결성정보를 계산하며,

계산된 정보를 프로토콜화하여 사용자에게 전달한다. 여기서 보정정보는 위성계도, 위성시계, 위성데이터 오차 및 수신기 시계오차 등이 최소화된 정보이며 전리층 및 대류권의 지연량이 포함된 정보이다.

3.2 수신국 시스템 구조설계

3.2.1 데이터 구조설계

수신국의 획득/출력 데이터는 위성항법, 기상, 영상, 상태로 구분된다. 위성항법은 측정 및 항법 데이터로 구분되며, 기상은 온도/습도/압력 데이터로 구분된다. 영상은 영상데이터로, 상태데이터는 HW/SW/기타 상태로 구분된다[7]. 수신국 데이터의 구성표는 Table 3과 같다.

Table 3. 수신국 데이터 구성표

구분	종류	크기 (byte)	획득/출력주기	
1	위성항법	측정데이터	$32 + 4 + \#obs * 44$	1 sec
	항법데이터	$36.6 * \#obs$	12.5 min	
2	기상	온도측정치	4	1 sec
		습도측정치	4	1 sec
		압력측정치	4	1 sec
3	영상	영상데이터	$90 \text{ kbyte} * 10$	6 sec
		HW상태	4	1 sec
4	상태	SW상태	4	1 sec
		기타상태	4	1 sec

위성항법데이터는 가용위성에 따라 크기가 가변되나 10개 위성으로 가정할 경우 측정데이터의 크기는 476byte, 항법데이터의 크기는 366byte (12.5분, 2~4시간 사용가능)이다. 기상데이터의 크기는 12byte, 영상데이터의 크기는 90kbyte(10분할, 1분)이며 상태데이터의 크기는 12byte이다.

3.2.2 수신국 시스템 구조설계

수신국 하드웨어는 외부획득장치(위성항법수신장치, 기상측정장치, 영상획득장치, 합체환경획득장치)와 내부처리장치(중앙처리장치, 네트워크장치)로 구분되어 설계된다. 하드웨어는 안정성 및 실시간성을 고려하여 산업용 사양 및 고성능으로 구성된다.

수신국 소프트웨어는 핵심모듈과 운용모듈로 구분되며 이중 핵심모듈은 외부획득장치의 데이터 획득을 위한 획득모듈, 획득데이터의 이상검출을 위한 처리모듈, 중앙국 데이터 전송을 위한 출력모듈로 구분된다. 운용모듈은 각 핵심모듈의 제어, 감시기능의 시스템제어모듈 및 시각표출모듈로 구분된다. 수신국 모듈의 구성은 Table 4와 같다.

Table 4. 수신국 소프트웨어 모듈 구성

분류	수신국	내용
핵심 모듈	획득모듈	위성항법, 기상, 영상, 환경
	처리모듈	프로토콜 패킹, 전송
	출력모듈	중앙국 TCP/IP제어
운용 모듈	시스템제어모듈	획득, 처리, 출력 모듈제어, 이상감시
	시각표출모듈	획득, 처리, 출력 과정에 대한 시각표출

앞서 정리한 모듈 구성을 반영하여 수신국을 데이터 흐름 구조로 표현하면 Fig 4와 같다.



Fig 4. 수신국 데이터 흐름 구조도

3.3 중앙국 시스템 구조설계

3.3.1 중앙국 소프트웨어 구조 설계

중앙국 소프트웨어는 다중 수신국, 정밀시계, 정밀궤도 등의 데이터를 실시간으로 획득하여 이를 동일시점으로 정렬하고 각 데이터의 이상 유무를 판단한 뒤 사용자를 위한 보정정보 및 무결성정보를 생성한다. 생성된 정보는 사용자를 위한 통신채로 전달된다. 이러한 일련의 과정들은 정확성, 안정성, 실시간성이 보장되도록 하여야 한다. 각 과정들은 모듈단위로 구분되어야 하며 이를 적절히 표출하여야 한다. 이러한 점을 고려한 중앙국 소프트웨어 구조도는 Fig 5와 같다.

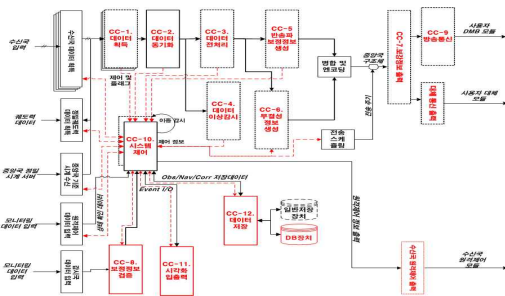


Fig 5. 중앙국 소프트웨어 구조도

중앙국 소프트웨어는 핵심모듈과 운용모듈로 구분된다. 핵심모듈은 각 데이터간의 유기적인 흐름을 고려하여 획득모듈, 동기화모듈, 전처리모듈(이상감시포함), 보정정보생성모듈, 무결성정보

생성모듈, 보강정보출력모듈을 순차적으로 수행하는 구조를 가진다. 정밀시계 데이터는 동기화모듈에 사용되며, 정밀궤도 데이터는 보정정보의 성능 향상 및 사용자의 궤도정보 이상을 감지한다.

운용모듈은 시스템제어모듈, 시각표출모듈, 저장모듈로 구성되며 이중 시스템제어모듈은 핵심모듈, 시각표출모듈, 저장모듈과 연결되어 상태감시 및 제어기능을 수행한다. 중앙국 모듈의 구성은 Table 5와 같다.

Table 5. 중앙국 소프트웨어 모듈 구성

구분	모듈구분	역할구분
핵심 모듈	획득모듈	수신국, 정밀시계/궤도 데이터 획득
	동기화모듈	정밀시계 활용 데이터정렬, 이상검출
	전처리모듈	가용위성판별/정렬, 품질감시
	보정정보생성모듈	주-부 차분 활용 보정정보 생성
	무결성정보생성모듈	위성항법/보정정보 신뢰도 정보생성
	보강정보출력모듈	보강정보 프로토콜의 패킹, 전송
운용 모듈	시스템 제어모듈	각 핵심 모듈의 상태감시, 제어(복원)
	시각표출모듈	획득, 연산 데이터의 시각화 표출
	저장모듈	획득, 연산, 처리 데이터 DB저장

3.3.2 중앙국 소프트웨어 상세구조 설계

중앙국의 각 모듈은 역할 및 기능 구분에 의하여 상세설계 된다.

1) 획득모듈 구조설계

획득모듈은 다중 수신국, 정밀시계서버, 정밀궤도서버, 감시국, 모니터링시스템과 연계되어 다중 데이터를 획득하는 기능을 가진다. 실시간 데이터 획득구조를 가지고 있으며, 각 획득매체와 양방향통신으로 구성되어 있다. 다중 데이터 획득모듈 구조는 Fig 6과 같다.

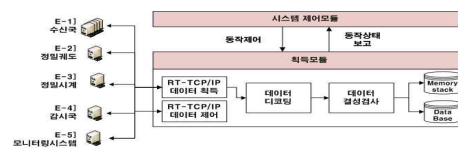


Fig 6. 다중 데이터 획득모듈 구조

획득모듈은 실시간 데이터 획득 및 제어, 프로토콜화된 데이터의 디코딩, 디코딩된 데이터의 결성검사, 저장소기록의 순으로 수행되며 각 단계는 시스템제어모듈에 의해 제어된다.

2) 동기화모듈 구조설계

고품질의 보정정보 및 무결성정보 생성은 동일시점의 데이터를 활용하여야 가능하다. 일반적으로 데이터의 지연이 발생되지 않는 경우는 위성항법데이터의 GPS시간을 기준으로 동기화 한다. 하지만 다중 수신국과 중앙국과의 기선거리가 멀어지는 경우 지연현상 발생이 빈번하게 나타난다. 이는 회선의 안정성과 관련되며 안정성이 저하되는 경우는 회선의 길이 및 네트워크 혼잡 등이 있다. 이러한 지연현상을 극복하기 위해서는 지연시간의 정밀 측정이 필요하며 이를 동기화모듈 구조에 반영하였다. 각 수신국 및 중앙국은 동일한 시계로 동기화되며, 처리 및 출력시점의 시계정보를 중앙국으로 전달한다. 전달된 시계정보를 활용하여 데이터 지연의 이상을 검출하도록 하며 시스템 제어모듈을 통하여 대응된다. 동기화모듈의 구조는 Fig 7과 같다.

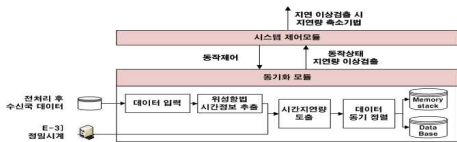


Fig 7. 다중 데이터 동기화모듈 구조

동기화 모듈은 아래와 같은 순서로 수행된다.

- 수신국 데이터 GPS시간 검색
- 지연량(처리지연량, 네트워크 지연량) 계산
- 정밀시계기준 수신국 GPS시간정렬
- 정밀시계기준 수신국 지연량 계산
- 지연량 이상검출 및 동기화 정렬

지연량 검출기법은 Fig 8과 같이 나타난다.

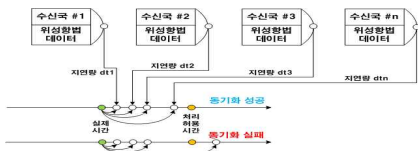


Fig 8. 다중 데이터 동기화 기법

데이터의 지연현상은 (식 1)에 의하여 검출된다.

$$\begin{aligned} TC_{ref} - TR_{ref_n} &> T_{Threshold} \\ TC_{ref} - TR_{ref_n} &\leq T_{Threshold} \end{aligned} \quad (1)$$

TC_{ref} 는 중앙국 정밀시계의 시계정보이며, TR_{ref_n} 은 각 수신국의 시계정보이다. (식 1)에 의

하여 이상이 검출되는 경우, 시스템제어모듈로 통보되며 시스템제어모듈은 수신국의 데이터를 중요도에 따라 분류하여 요청한다. 이러한 방법을 통하여 네트워크 혼잡을 감소하며 만약 감소되지 않는 경우 보조 통신망을 활용하여 정상적인 동작을 보장하도록 한다.

3) 전처리모듈 구조설계

보정정보생성을 위하여 가용되는 수신국 및 위성의 데이터를 정렬하고, 주-부 수신국 및 위성간 단일차분(Single Difference) 및 단일차분을 차분한 이중차분(Double Difference)의 연산을 수행한다. 또한 각 데이터에 대한 이상검출을 수행하며 이러한 결과를 보정정보생성모듈에 입력하기 위하여 메모리에 적재한다. 전처리모듈의 연산은 아래의 절차와 같다.

- 항법데이터 활용 위성 좌표계산
- 수신국 상태데이터 활용 가용 수신국 판별
- 수신국 항법데이터 활용 가용 위성 판별
- 가용데이터의 품질 검사를 통한 이상검출
- 위성 고도각을 활용하여 데이터 정렬
- 최종 가용데이터 정렬

항법 위성의 좌표계산은 항법메시지로부터 도출하며, 가용수신국 판별은 각 수신국의 상태플래그로 판별된다. 가용위성의 판별은 관측데이터 프로토콜의 위성식별코드(PRN) 단위로 판별된다.

품질감시는 3QM[8]의 신호품질감시(SQM, Signal Quality Monitoring), 데이터품질감시(DQM, Data QM), 측정치품질감시(MQM, Measurement QM)기법을 적용하였다. 수신국(R)의 각 위성(i) 단위로 이상을 검출하며 모든 수신국을 조합하여 중앙국의 최종 가용위성($Final_C$)을 산출한다. 판별식은 (식 2)와 같다.

$$Final_C^i = SQM_R^i \wedge DQM_R^i \wedge MQM_R^i \quad (2)$$

중앙국의 가용위성은 위성고도각(Elevation Angle)에 따라 정렬되며 가장 높은 위성을 주위성(Reference Satellite)으로 선정한다.

4) 보정정보생성모듈 구조설계

전처리모듈을 통하여 선별 및 정렬된 데이터는 연산과정을 통하여 코드 및 반송파의 보정정보를 생성한다. 이중 반송파의 보정정보 생성을 위해 초기 미지정수(Integer Ambiguity) 추정, 미지정수 계산, 미지정수 결정, 미지정수 검증의 일련의 과정이 추가된다[9]. 보정정보생성모듈의 구

조는 Fig 9와 같다.

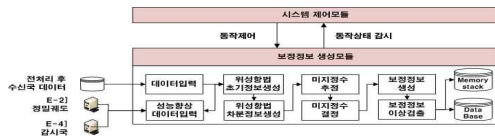


Fig 9. 보정정보생성모듈 구조

반송파 보정정보의 미지정수 결정 문제를 해결하기 위하여 이중차분을 수행하며 이중차분된 관측식은 (식 3)과 같다.

$$\Phi_{AM}^{ir} = R_{AM}^{ir} - I_{AM}^{ir} + T_{AM}^{ir} + \lambda N_{AM}^{ir} + \epsilon \quad (3)$$

여기서, Φ_{AM}^{ir} 는 M 은 주 수신국, A 는 부수신국, r 은 주위성, i 는 부위성군을 의미한다. 위성시계, 수신국시계오차를 제거하기 위하여 이중차분된 측정치 형태이다. R_{AM}^{ir} 는 수신국 위성항법 수신장치와 위성사이의 거리를 주-부 수신국, 주-부 위성간 이중차분한 값이며, λN_{AM}^{ir} 은 이중차분된 반송파의 미지정수이다. 미지정수 결정과정을 통하여 λN_{AM}^{ir} 을 결정하면 (식 4)와 같다.

$$\Phi_{AM}^{ir} - R_{AM}^{ir} = -I_{AM}^{ir} + T_{AM}^{ir} + \epsilon_{AM}^{ir} \quad (4)$$

여기서, ϵ_{AM}^{ir} 는 미지의 오차이며 이를 최소화 가정하면 이중차분된 보정정보가 도출되며, 사용자의 주 위성선정 문제를 해결하기 위하여 단일차분의 환원과정을 거치면 (식 5)와 같이 최종적인 보정정보가 도출된다.

$$\Delta CPC = -I_{AM}^i + T_{AM}^i \quad (5)$$

5) 무결성정보생성모듈 구조설계

무결성정보생성모듈은 위성항법데이터, 전처리 모듈의 이상검출결과, 보정정보생성모듈의 데이터를 활용하여 위치결정 신뢰도정보를 생성한다. 무결성정보생성모듈의 구조는 Fig 10과 같다.

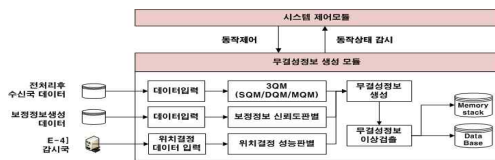


Fig 10. 무결성정보생성모듈 구조

각 수신국의 위성항법데이터에 대한 신호·데이터·측정치 및 생성 보정정보에 대한 품질감시, 정밀위치의 고정형 감시국을 활용한 위치신뢰도 판별하며 이러한 정보를 생성하여 보강정보 출력모듈로 전달한다.

6) 출력모듈 구조설계

출력모듈은 보강정보를 사용자에게 전송하기 위하여 정보를 통신매체로 전달하는 기능을 가진다. 보강정보 출력모듈의 구조는 Fig 11과 같다.

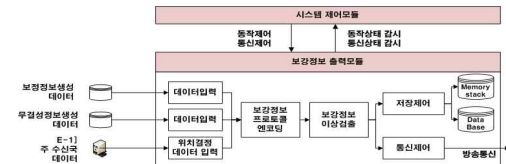


Fig 11. 보강정보 출력모듈 구조

출력모듈은 모든 과정은 시스템 제어모듈을 통하여 이루어 진다. 보강정보의 구성은 5개의 필드(0x01~0x05)로 구분되어 있으며, 주 수신국의 측정치, 주-부간 보정정보, 주-부간 무결성정보, 수신국 정밀좌표, 정밀항법정보로 구분된다. 보강정보 데이터는 Table 6과 같다.

Table 6. 보강정보 데이터 필드

분류	출력분류	주체	매개변수
0x01	관측정보	수신국	ID, 코드, 반송파, 상태
0x02	보정정보	보정정보생성모듈	CPC, ΔCPC
0x03	무결성정보	무결성정보생성모듈	CPC σ , $\Delta CPC \sigma$
0x04	정밀위치정보	각 수신국 정밀위치좌표	주 XYZ, 주-부 ΔXYZ
0x05	항법정보	궤도정보	주 S_{XYZ} , 주-부 ΔS_{XYZ}

보강정보 데이터는 사용자의 위치결정에 있어 코드, 반송파를 활용한 단일상대위치결정 및 네트워크상대결정이 가능한 구조이다. 관측정보(0x01) 및 정밀위치정보(0x04) 만을 활용하여 단일 상대위치결정을 수행할 수 있으며, 관측정보(0x01), 보정정보(0x02), 무결성정보(0x03), 정밀위치정보(0x04)를 사용하면 네트워크기반 상대위치결정이 수행가능하다. 항법정보(0x05)는 사용자 수신기의 항법정보의 오류검증에 사용된다.

3.3 통신시스템 구조 설계

인프라 시스템의 통신 구성은 다중 수신국-중앙국간의 통신과 생성된 보강정보의 전달을 위한 중앙국-사용자간의 통신으로 구분된다. 실시간 데이터 전송을 위하여 다중 수신국과 중앙국간의

통신은 고속 상용망을 활용하여 TCP/IP 통신으로 구성되며, 통신 이상의 경우 무선 상용망을 사용한다. 사용자의 보강정보 전송을 위해서 적절한 매체 선정이 필요하며 이러한 선정은 통신 방식, 이동 적용가능성, 통신반경, 사용자의 이용분담이 고려된다. 상세 사용자 전송 매체의 분석표는 Table 7과 같다.

Table 7. 사용자 전송 매체 비교

통신 매체	DSRC (Active, TTAS-KO)	Wibro (IEEE 802.16e)	WAVE (IEEE 802.11p)	3.5G (HSDPA)	LTE	T-DMB
통신 형태	양방향	양방향	양방향	양방향	양방향	단방향
주파수 (GHz)	5.8	2.3	5.8~5.9	2.0	800(MHz), 1.8	175~214 (MHz)
이동성 통신	고속	고속에 구성에	고속	중속에 구성에	고속	고속
반경(km)	100(m)	따름	~ 1	따름	따름	~180
사용자	기관	사용자	기관	사용자	사용자	기관
이용료	부담	부담	부담	부담	부담	부담

위 분석에 의거하여 다수의 육상교통 사용자에게 보강정보에 적합한 매체인 T-DMB 가 결정되었으며 이를 위하여 중앙국과 T-DMB 송출국은 상용 통신망으로 연결 하였다.

IV. 인프라 시스템 구현

4.1 테스트베드 구축

안성, 음성, 보은, 공주, 대전 5곳에 수신국을 구축하고, 보강정보를 생성하기 위한 중앙국을 대전에 구축하였다[10]. 네트워크 내 보강정보 송출을 위하여 충청권역의 DMB를 활용하였으며, 인프라 시스템의 보강정보를 검증하기 위하여 네트워크의 중앙인 오창 지역에 고정형 감시국을 설치하였다. 최종적으로 구성된 인프라 시스템의 구성은 Fig 12와 같다.



Fig 12. 인프라 시스템 테스트베드 구성

4.2 수신국 시스템 구현

수신국의 하드웨어는 Fig 13과 같이 합체부,

안테나부로 구분하여 구현되었으며 4.1절의 각 사이트 후보지에 구축되었다. 외부의 보안을 위하여 영상획득 장치를 설치하였다.

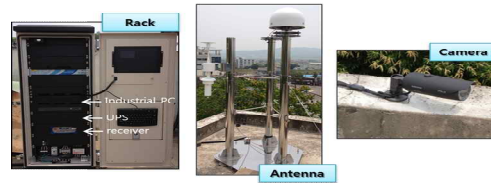


Fig 13. 수신국 하드웨어 외형

4.2.1 수신국 소프트웨어 구현

수신국 소프트웨어는 Window OS환경에서 Microsoft의 Visual Studio 2010을 활용하여 개발하였다. 3.2절의 설계에 따라 3개의 핵심모듈과 2개의 운용모듈로 구분되어 구현되었으며 데이터별, 기능별로 쓰레드를 구성하여 처리속도 및 안정성을 고려하였다. 수신국 소프트웨어의 함수 및 매개변수는 Table 8과 같다.

Table 8. 수신국 소프트웨어 함수 및 매개변수

분류	함수명	매개변수
획득	RS_INPUT	위성항법, 기상, 영상, 처리
처리	RS_PROCESSING	획득데이터
출력	RS_OUTPUT	수신국-중앙국 프로토콜
제어	RS_SYSCONTROL	상태, 제어정보
시각	RS_GUI	표출정보

4.2.2 수신국 소프트웨어 UI 구현

수신국 소프트웨어의 UI는 획득데이터 표출, 제어상태 표출, 설정으로 구분되며 Fig 14와 같다.



Fig 14. 수신국 UI

수신국 UI는 수신국 하드웨어의 상태 및 획득데이터(위성항법/기상/영상/상태)를 도식화하여 표출하며 중앙국에서 직접적인 원격제어가 가능하도록 구현되었다.

4.3 중앙국 시스템 구현

중앙국 하드웨어는 시스템의 안정성 향상을 위하여 이중화된 고성능 중앙처리시스템, DB저장시스템, 모니터링시스템, 디스플레이시스템으로 구분하여 구현하였으며 최종 구현된 중앙국의 하드웨어 외형은 Fig 15와 같다.



Fig 15. 중앙국 하드웨어 외형

4.3.1 중앙국 소프트웨어 구현

중앙국 소프트웨어는 다수 수신국의 데이터를 실시간으로 획득하기 위해 Interval Zero사의 RT-TCP/IP를 획득모듈에 독립적으로 적용하였으며 연산/처리는 Window OS, 소프트웨어의 개발은 Microsoft의 Visual Studio 2010을 활용하였다. 중앙국의 실시간 및 안정성을 고려하여 10개의 핵심, 운용 모듈단위의 다중 쓰레드를 적용하였으며 구조를 설계하였다. Fig 16은 구현된 중앙국 소프트웨어의 상태제어 구조도이다.

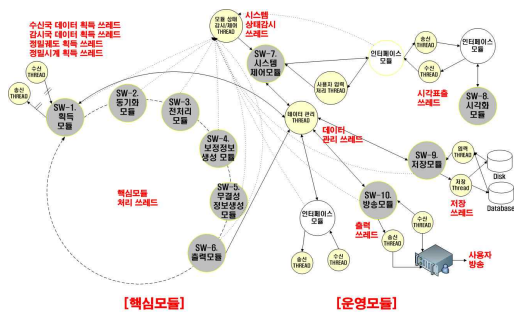


Fig 16. 중앙국 상태제어 구조도

중앙국 소프트웨어는 수신국, 감시국, 정밀제도, 정밀시계 데이터 획득을 각각의 쓰레드로 개별 구현하고 핵심모듈(동기화, 전처리, 보정정보, 무결성정보, 출력)은 순차적으로 진행되므로 통합 쓰레드로 구현되었다. 동작의 연속성 보장을 위하여 시스템제어모듈, 신속성을 고려하여 처리 부하가 높은 저장모듈, 시각화모듈, 방송모듈은 분리되어 구현하였다. 구현된 소프트웨어의 상세 함수 및 매개변수는 Table 9와 같다.

Table 9. 중앙국 소프트웨어 함수 및 매개변수

분류	함수명	매개변수
획득	CS_ACQ	수신국, 정밀시계, 정밀제도
동기화	CS_SYNC	위성항법, 시스템상태
전처리	CS_PREPROC	위성항법, 시스템상태
보정정보	CS_CORR	위성항법, 기상, 정밀제도
무결성	CS_INTEG	위성항법, 보정정보
출력(방송)	CS_OUT	보정정보 출력프로토콜
제어	CS_SYSCON	수신국/중앙국 모듈 상태, 제어 정보
시각	CS_VISUAL	수신국, 중앙국 표출정보
저장	CS_DB	원본데이터, 처리, 연산정보

4.3.2 중앙국 소프트웨어 UI 구현

최종 구현된 중앙국 소프트웨어의 UI는 각 핵심모듈의 처리결과를 표출하기 위한 주화면과 각 수신국의 데이터 및 상태를 감시하기 위한 부화면으로 구분된다. Fig 17은 중앙국 UI를 나타내고 있다.

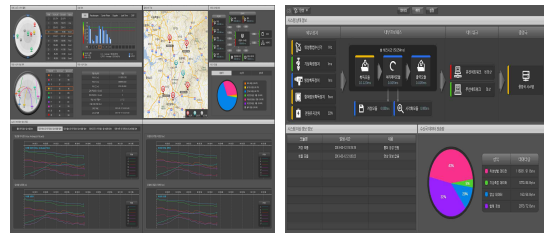


Fig 17. 중앙국 UI (좌:주화면, 우:부화면)

각 핵심모듈의 처리결과는 텍스트화, 시각화로 구분되어 표출되며, 수신국, 중앙국, 감시국의 모든 시스템의 상태감시 및 데이터가 표출 가능하다.

V. 성능검증

5.1 정확성 및 무결성 검증

인프라 시스템의 정확성은 생성된 보정정보의 잔차로 판별되며 무결성은 위치결정에서의 최대허용오차 초과유무의 빈도수로 판별된다. 정확성 및 무결성의 검증을 위하여 수신국 네트워크 내의 정밀위치를 알고 있는 오창 감시국(대전-오창 37.5km)에 인프라 시스템의 보정정보를 적용하였다. 정확성 검증을 위한 보정정보 잔차의 2DRMS[m]는 Fig 18과 같다.

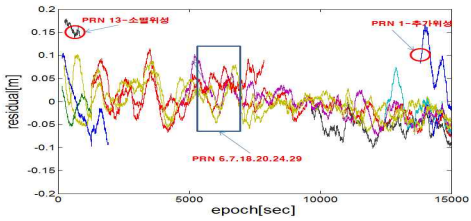


Fig 18. 보정정보 정확성 검증 결과

오차 감시국에 적용되는 보정정보 잔차는 소말위성 및 추가 위성을 제외하면 평균 8.2cm로 정확성 목표 성능 10cm 이내를 만족하는 결과를 나타냈다. 인프라 시스템에서 생성된 보정정보를 적용하여 오차 감시국의 위치를 추정한 결과는 Fig 19와 같다.

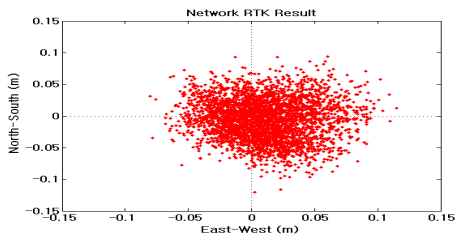


Fig 19. 위치결정 성능 검증 결과

정밀위치기준 위치결정오차(2DRMSE[m])는 평균 3.6cm의 결과를 나타내었으며 무결성 목표 성능인 최대허용오차 1.5m를 초과하는 결과는 나타나지 않았다.

5.2 실시간성 검증

5.2.1 수신국 처리지연시간 검증

수신국 시스템 소프트웨어의 각 모듈의 함수 진입점과 진출점에 시간획득 함수를 삽입한후 5차에 걸쳐 하루단위(24hr)의 연속운용을 통하여 수신국의 처리지연시간을 도출하였다. Table 10은 측정결과를 나타내고 있다.

Table 10. 수신국 처리지연시간 측정결과 [ms]

모듈별	안성	음성	공주	보은	대전	평균
획득	17.14	17.16	17.11	17.12	17.02	17.11
처리/연산	0.35	1.20	0.18	1.78	0.45	0.79
출력	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
총 지연량	17.56	18.43	17.36	18.97	17.54	17.97

수신국의 처리지연시간은 평균 17.97ms으로

설계 지연시간인 100ms이내를 만족하였다.

5.2.2 중앙국 처리지연시간 검증

중앙국 처리지연시간 검증은 중앙국에서 수신국 데이터를 획득하는 시점과 보강정보 출력하는 시점에 시간획득함수를 삽입한 후, 5차에 걸쳐 하루단위(24hr)의 연속운용을 통하여 중앙국 처리지연시간을 도출하였다. Table 11은 측정결과를 나타내고 있다.

Table 11. 중앙국 처리지연시간 측정결과 [ms]

모듈별	1차	2차	3차	4차	5차	평균
획득	28.03	29.07	30.71	30.02	29.15	29.40
동기화	182.67	176.59	173.71	181.26	172.32	177.31
전처리	12.38	11.59	13.21	12.91	12.83	12.58
보정정보	0.13	0.15	0.17	0.16	0.18	0.16
무결성	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
출력	0.02	0.04	0.03	0.04	0.07	0.04
총 지연량	223.24	217.47	217.85	224.42	214.58	219.51

중앙국의 처리지연시간은 평균 219.51ms로 설계 지연 시간인 300ms이내를 만족하였다.

5.2.3 네트워크 지연시간 검증

수신국, 중앙국의 시각정보를 정밀시계와 동기화한 후 수신국 출력시점, 중앙국 획득시점의 차이값으로 네트워크 지연시간을 도출하였으며 하루단위(24hr)로 5차에 걸쳐 수행하였다. Table 12는 측정결과를 나타내고 있다.

Table 12. 네트워크 지연시간 측정결과 [ms]

항목	안성	음성	공주	보은	대전	평균
평균	24.5	28.4	21.9	39.9	24.7	27.9
지연량						

각 수신국과 중앙국간의 네트워크 총 지연시간은 평균 27.9ms으로 설계 지연시간인 100ms이내를 만족하였다

5.3 시스템 안정성 검증

5.3.1 수신국 시스템 안정성 검증

수신국 시스템의 안정성은 5개소에 설치된 수신국에 대하여 7일 동안(168hr) 연속 운용하여 각 수신국별 고장시간(Fault)을 제외한 시간으로 도출하였다. 그 결과 총합 8회, 고장시간 16시간으로 안정성은 약 90%로 나타났으며 설계 안정성인 90%이상을 만족하였다. Table 13은 수신국 오류횟수 및 안정성 검증결과를 나타내고 있다.

Table 13. 수신국 오류횟수 및 안정성 결과

항목	안성	음성	공주	보은	대전	총합
오류횟수 (고장시간)	2 (4)	2 (4)	3 (6)	0	1 (2)	10회 90%

5.3.2 중앙국 시스템 안정성 검증

중앙국 시스템의 안정성은 중앙국 시스템을 7일 동안(168hr) 연속 운용하여 고장시간을 제외한 시간으로 도출하며 총합 8회, 고장시간은 15시간으로 안정성은 91%로 나타났으며 설계 안정성 90%이상을 만족하였다. Table 14는 중앙국 오류횟수 및 안정성 검증결과를 나타내고 있다.

Table 14. 중앙국 오류횟수 및 안정성 결과

항목	1차	2차	3차	4차	5차	6차	7차	총합
오류횟수 (고장시간)	4 (7)	3 (6)	1 (2)	0	0	0	0	8회/ 91%

VI. 결 론

육상교통에 적합한 위성항법기반의 인프라 시스템 구성을 위하여 5기의 수신국을 설계, 구축하였으며, 1개소의 중앙국을 설계 구축하였다. 최종 구축된 인프라 시스템을 정확성, 무결성, 실시간성, 안정성으로 구분하여 그 성능을 검증하였다. 보정정보의 정확성은 평균 8.2cm 이내였으며 오차 감시국을 활용한 위치결정 결과 최대허용오차를 초과하는 하지 않았다. 실시간성 검증결과 수신국 처리지연 평균 18ms 이내, 수신국-중앙국 통신지연 평균 27.9ms 이내, 중앙국 처리지연 평균 219.5ms 이내로 총 평균 311.3ms 이내의 결과를 보였으며 제시된 목표 성능 400ms 이내를 만족하였다. 또한 안정성 검증결과 수신국 90%, 중앙국 91%로 제시된 목표 성능 평균 90% 이상을 만족하였다.

추후 인프라 시스템의 지속적인 연속 운용을 통하여 각 시스템 및 모듈에 대한 성능향상 및 성능검증을 수행하고 이동 사용자를 대상으로 최종적인 인프라 시스템의 성능을 검증할 예정이다.

VII. 감사의 글

본 연구는 국토교통부 위성항법기반 교통인프라 기술개발의 연구비 지원(06교통핵심A3)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] C. Rizos "Network RTK research and implementation: A Geodetic Perspective," Journal of Global Positioning Systems, 1(2), pp. 144-150
- [2] Lane-Level Vehicle Positioning, US DOT, Federal Highway Administration, 2013.
- [3] GMV Homepage, <http://www.gmv.com>
- [4] Jun-ichi-Takiguchi, Expectations for Quasi-Zenith Satellite System in Mobile Mapping System & Platooning System, Mitsubishi Electronic Corporation Kamakura Works, 2012
- [5] 김혜인, 김지혜, 김군택, 박관동, 김두식, "지상파 DMB기반 DGPS 서비스 측위 정확도 평가", 한국항해항만학회지 Vol. 36, No. 6, 2012, pp.437~442
- [6] 윤호, 기창돈, 김도윤, "한국형 광역보정시스템 테스트베드 가용성 성능 분석", 한국항행학회, Vol. 15, No. 4, 2011, pp.510~516
- [7] 김규현, 손민혁, 이은성, 허문범, "다중 수신국 실시간 위성항법데이터 처리 성능향상을 위한 데이터 송·수신 설계", 한국항공운항학회지, Vol.20, No.4, 2012, pp.39~44
- [8] Mike Koenig, "Optimizing the Decision Rule of a GPS Integrity Monitoring System for Improved Availability", March, 2010
- [9] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E., "GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more", Springer-Verlag Wien New York, 2008.
- [10] 손민혁, 김규현, 이은성, 허문범, "정밀 위치결정 성능 최적화를 위한 위성항법 수신국 네트워크 구성", 한국항공운항학회지, Vol.20, No.4, 2012, pp.31~38