

DGPS 보정 신호 실시간 장거리 전송 방안

조익성* · 임재홍**

한국해양대학교 대학원 박사과정*, 한국해양대학교 전자통신공학과 부교수**

Realtime Long-Distance Transmission Method of DGPS Error Correction Signal

Ik-Sung Cho* and Jae-Hong Yim**

Dept. of Electronics & Communication Eng.*, Korea Maritime University**

Abstract : GPS is one of today's most widely used surveying techniques. But, users can't acquire an enough accuracy in applications of the navigation or geodesy by the GPS positioning technique because of the effects of the ionosphere and troposphere. The solution of these restrictions is the DGPS technique that is to eliminate the common errors and can achieve a high accuracy. Although of sufficient density for good DGPS, accuracy of positioning is just not dense enough to provide complete coverage for real-time positioning, because distances between base and rover is short.

In this paper, we suggest Realtime Long-Distance Transmission Method of DGPS Error Correction Signal, which consist of TCP, UDP and IP, which allows a user to increase the distance at which the rover receiver is located from the base, due to radio modem.

Key Words : GPS, DGPS, TCP/IP, Error Correction Signal

요약 : GPS(Global Positioning System)를 이용한 측위는 현재 가장 널리 쓰이는 측위 기법이다. 그러나 GPS 위치 측정시 일반 사용자는 전리층과 대류권의 영향으로 인해 항법이나 측위 등의 응용분야에서 만족할 만한 정확도를 얻을 수 없다. DGPS(Differential Global Positioning System)는 이러한 제약들을 해결할 수 있는 방법으로써, 이는 공통 오차를 제거하여 높은 정확도를 얻을 수 있다. 하지만 DGPS를 사용한 경우에도 정밀 측위에 있어서는 기준점으로부터의 거리 제한과 실시간 데이터 처리가 힘든 문제점을 내재하고 있다. 따라서 본 논문에서는 장기선 DGPS를 위한 실시간 보정신호 전송방법에 관하여 논한다. 이는 데이터 전송거리가 제한되는 종래의 무선 모뎀 방법에서의 문제를 해결하기 위하여 TCP와 UDP 또는 IP 프로토콜로 구성되는 TCP/IP 프로토콜 스택을 이용함으로서 어느 곳이나 RTK-GPS 위치 정보 데이터의 전송을 가능하게 한다.

1. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 현재까지 개발된 전파에 기반을 둔 항법 체계 중 가장 정확한 정보를 제공하고 있다. 현재 실제로 많은 응용분야에 있어서도 기준에 사용되었던 방법들에 비해 높은 정확도의 3차원 좌표를 얻을 수 있는 장점을 갖고 있다.

그러나 이러한 응용 분야에서 일반 사용자가 10-30 meter 이상의 정밀도로 위치를 결정하는 것은 현실적으로 불가능한데 이것은 수신기가 결정하는 위성까지의 거리자료에 여러 가지 오차 요인이 복합적으로 영향을 미치기 때문이다. 수신기와 안테나의 특성이나 지역적인 특성에 따른 오차, 신호전달 과정에서의 지연에 의한 오차, 특히 미국방성에서 고의로 민간 GPS 이용의 정밀도를 저하시키기 위한 SA(Selective Availability)가 시행중 일 때는 이보다 더욱 정밀도가 떨어지게 되는데, 이는 단독으로 작동되는 수신기가 자신이 계산하고 있는 위치 정보가 틀린지 맞는지를 판단할 수 있는 방법이 없기 때문이다(최현기 외, 1995). 물론, 2000년 5월 1일 백악관에서 미국의 GPS 오차 중 민간 부분에 의도적으로 포함시켰던 SA를 제거하기로 결정함에 따라 군에서 사용하는 것과 같은 보다 정밀한 위치 정보를 수신할 수 있게되어 전반적으로 위치 정확도가 향상되었지만 GPS 수신기의 종류와 전리층에 의한 영향에 따라 향상도는 달라지게 된다(고광섭, 2000; Wubena et al., 1996). 따라서 정밀한 좌표를 원하는 응용 분야에서 단일 GPS로는 큰 오차로 인하여 충분한 정확도를 얻을 수 없으므로, 위치 결정의 오차를 극소화 시킬 수 있는 DGPS(Differential Global Positioning System)의 사용은 필연적이라 할 수 있다. 하지만 DGPS를 이용한 경우에도 무선 모뎀의 사용으로 인한 기준국과 이동국 사이의 오차 보정을 위한 데이터 전송거리가 10km 정도로 제한되며 전파 장애물이 있을 경우 더욱 전송거리가 제한된다. 따라서 본 논문에서는 전송거리의 제한

없이 인터넷의 사용이 가능한 곳이면 어느 곳이나 실시간 오차 보정 데이터의 전송을 가능하게 함으로써 기준국과 이동국간의 데이터 전송거리의 제한을 제거하며, 기준국 역할의 서버를 설치하여 여러 GPS 단말기로부터의 위치 정보를 다양한 데이터 형식으로 제공하여 운수업체나 건설업의 측량 및 지도제작 업체 등의 서비스 가입업체들이 위치결정의 기준이 되는 기준국의 위치 정보를 어느 곳에서나 정확히 수신하여 정밀 측위를 가능하게 하는 것을 목적으로 한다.

본 논문에서는 DGPS(Differential Global Positioning System) 보정 신호 실시간 장거리 전송을 위하여 기존의 실시간 이동 측위 기법과 그 문제점을 고찰하고, 이를 토대로 기존 RTK의 문제점을 해결하기 위한 TCP/IP를 이용한 RTK-GPS의 구성, 기준국 수신기로부터 보정 신호를 자동 획득하여 이동국으로 실시간 전송할 수 있는 데이터 전송 시스템의 구현 등, DGPS 보정 신호 실시간 장거리 전송 방안에 관하여 논한다. 또한 제안한 방법대로 4개 지역에 기준국을 설치하고, 이동국에서 위치 데이터를 실시간으로 측정하여 실제 위치와의 오차율을 통한 타당성을 확인한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 실시간 이동 측위 기법(RTK)에 대하여 논하고, 3장에서는 DGPS 보정 신호 실시간 장거리 전송 방안에 대하여, 4장에서는 실험 결과 및 고찰에 대하여, 마지막으로 5장에서는 결론을 서술한다.

2. 실시간 이동 측위 기법(RTK)

1) RTK의 기본원리

상대 측위의 경우 2대 이상의 GPS 단말기가 요구되는데, 이 중 적어도 1대는 위치가 정확하게 알려진 고정된 장소에 설치되어 위성으로부터 전송된 위치와 정확하게 알려져 있는 위치와의 오차를 측정하며, 이러한 오차 정보가 이동하는 GPS 단말기에 전송되어 오차 보정이 이루어지게 함으

로써 정확한 측위를 가능하게 하며, 이러한 방법을 DGPS라 한다.

DGPS 방법에는 후처리 상대 측위 기법과 실시간으로 오차를 보정하는 실시간 이동 측위 기법이 있는데, RTK 경우 현재는 위치 데이터 전송을 위하여 무선 모뎀을 사용하고 있다(M. Zhodzishsky et al., 1997).

GPS의 신호체계상 반송파에 의한 위치결정 방법이 코드에 의한 위치결정보다 정밀도면에서 큰 이득을 주지만, 반송파에 의한 단독 측위 기법 역시 후처리 상대 측위 기법보다는 정밀도가 떨어지는 단점을 가지고 있다. 광범위한 관측점의 정밀 좌표들을 빠른 시간 내에 획득하기 위해서는 이동 측량을 수행하는 동시에 후처리 자료 처리 기법이 갖는 정밀도에 근접한 결과를 산출할 수 있는 방법이 요구된다. 이러한 목적을 위해 개발된 것이 고정밀 이동측위 기법인 RTK로서, 기본개념은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 무선 모뎀을 이용하여 실시간으로 이동국으로 전송함으로써 수 cm의 정밀도를 유지하는 관측치를 얻을 수 있게 하는 것이다(Kozlov and Tkachenko, 1997). 즉 오차 보정을 위해 기준국에서 전송되는 데이터가 반송파 수신자료라는 것을 제외하고는 후처리 상대 측위 기법의 개념과 거의 유사하다. 다만 RTK가 각 위성에 대한 반송파 측

정치를 지속적으로 제공하여야 하고, 정보의 전송 장애로 발생할 수 있는 오차의 한계가 후처리 상대 측위 기법보다 상대적으로 크기 때문에 보다 안정적이고 신속한 정보전달 통신 시스템이 요구된다. 현재 GPS를 응용하는 여러 분야에서 후처리 상대 측위 기법과 RTK가 주로 사용되고 있으며, GIS나 측량, 항법등 모든 응용분야가 RTK에 초점을 맞추어 실용화되고 있다(Isomura and Hidetoshi, 1996).

2) RTK의 구성

RTK의 경우 고정된 위치에서 오차를 계측하는 GPS 단말기를 기준국(base station)이라 하고 이동 측량을 수행하는 단말기를 이동국(rover station)이라 한다. Fig. 1은 GPS 단말기에 무선 모뎀을 이용하여 기준국과 이동국 사이의 오차 보정 데이터를 전송하는 RTK의 전체적인 시스템 구성도로써, GPS 단말기 및 무선 모뎀을 포함하는 기준국과 무선 모뎀, GPS 단말기 및 측위 프로그램을 내장한 노트북/핸드 PC에 해당하는 컴퓨터를 포함하는 이동국으로 구성된다(Javad, 2000; Alfred Leick, 1995).

그림 1에서 보는 바와 같이, 기준국은 위성으로부터 수신된 데이터와 정확하게 알고 있는 위치 데이터를 GPS 단말기에서 계산하여 무선 모뎀을

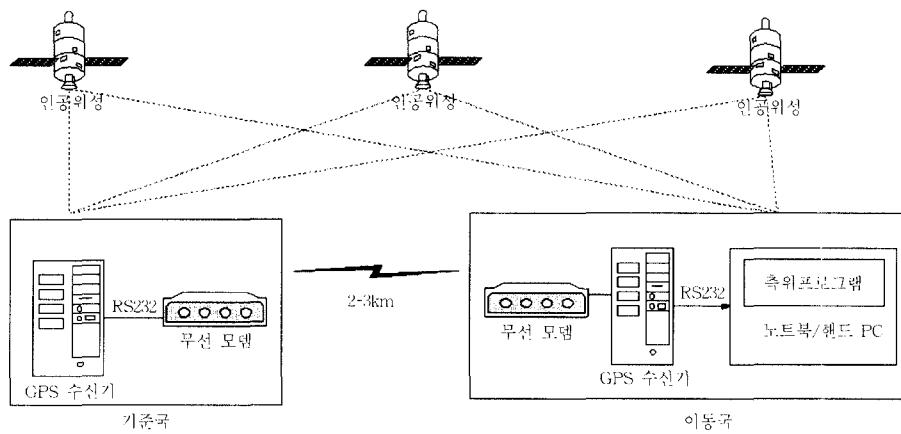


Fig. 1. Real time kinematic survey.

통해 이동국으로 송신하며. 이동국은 무선 모뎀을 통해 수신한 데이터를 GPS 단말기를 통하여 오차 보정을 수행한 후 측위 결과를 이동국의 컴퓨터의 측위 프로그램으로 송신함으로써 정밀 측위를 수행하는 과정으로 구성된다(양형선, 신철호, 2000).

3) RTK의 문제점

종래의 RTK 방법은 기준국과 이동국간에 오차 보정 데이터를 전송하기 위해 무선 모뎀을 사용함으로써, 전송거리가 10km 정도로 제한되며. 전파 장애물이 있을 경우 더욱 전송거리가 제한되는 등의 많은 불편이 있었다. 또한 GPS 단말기가 고가 이므로 고정된 위치에 있는 단말기를 관리하기 위해서 인력이 항상 상주해야 하는 단점이 있다 (Landau et al., 2000).

따라서 본 논문에서는 종래 기술의 문제점을 해결하는 것을 목적으로 하며. 구체적으로는 기준국과 이동국간의 거리제한 및 장애물에 의한 제한을 해결하는 것이다. 또한 다수의 이동국을 관리하는 문제점과 측위의 효율성이 저하되는 문제점을 해결하는 것을 목적으로 한다.

3. DGPS 보정 신호 실시간 장거리 전송 방안

1) 전체 시스템 구성

본 논문에서 제안하는 DGPS 보정 신호 실시간 장거리 전송 방안은 GPS에 의한 위치정보를 실시간 자동 전송하는 것으로 그 구성은 그림 2와 같다.

기준국은 위성으로부터 수신된 위치 데이터와 정확하게 알고 있는 위치 데이터의 오차를 GPS 단말기에서 보정하고. 오차 보정 데이터 수신 프로그램을 통하여 TCP/IP 데이터 전송 프로그램으로 송신하는 과정으로 구성되어 있다. 이동국은 TCP/IP 프로토콜에 의한 망 접속 수단을 통해 기준국으로부터 수신한 보정 데이터를 오차 보정 데이터 송신 프로그램을 통해 이동국의 GPS 단말기

로 송신하며. 이동국의 GPS 단말기가 위성으로부터 수신한 위치 데이터의 오차 보정을 수행한 후 측위 결과를 이동국 컴퓨터의 측위 프로그램에 송신하여 정밀측위를 수행하는 과정으로 구성되어 있다.

본 논문에서 제안하는 RTK-GPS 데이터 전송 방법은 연결중심(connection-oriented) 방법의 TCP 프로토콜과 비연결(connectionless) 방법의 UDP 프로토콜을 사용한 방법이 모두 사용이 가능하나. 본 논문에서는 신뢰성 있는 위치 데이터 전송을 위하여 TCP/IP 프로토콜을 사용하였다.

2) RTK-GPS 오차 보정 데이터 전송 시스템

본 논문에서 개발한 실시간 데이터 전송 프로그램은 두 부분으로 구성된다.

오차 보정 데이터 전송 프로그램은 기준국 서버에 설치되어 GPS로부터 위치 데이터를 획득하고 TCP/IP 망을 통하여 이동국으로 송신하는 역할을 하며. 오차 보정 데이터 수신 프로그램은 이동국에 설치되어 이동국의 위치를 보정하기 위해 보정 데이터를 수신하는 기능을 제공한다. 두 프로그램은 데이터를 송신하고 수신할 수 있는 통신 운용 프로그램을 내장하고 있으며. 별도의 직렬통신 포트를 통하여 GPS 수신기로부터 위치 데이터 획득을 위한 프로그램이 부가되어 있다.

기준국의 데이터 전송 프로그램은 한 개의 직렬포트를 사용하도록 설계하였다. PC의 직렬포트 COM1과 GPS 수신기의 출력포트를 연결하여 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service)-104 메시지로 구성된 위치정보를 획득한다. 이와 동시에 TCP 포트를 초기화하고 데이터를 일정한 시간간격으로 TCP/IP 망을 통해 이동국에 전송하도록 하였다. 데이터 전송 흐름도는 그림 3과 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 기준국의 서버는 위성으로부터 수신된 위치 데이터와 정확하게 알고 있는 위치 데이터의 오차를 PC의 직렬포트 COM1과 GPS 수신기의 출력포트를 연결하여 RTCM SC-104 메시지로 구성된 위치 정보를 획득한다. 이와 동시에 TCP/IP 통신 포트를

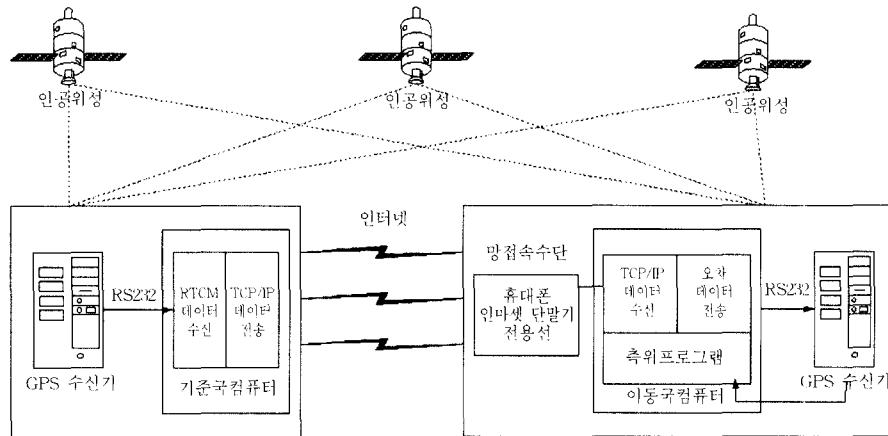


Fig. 2. System configuration.

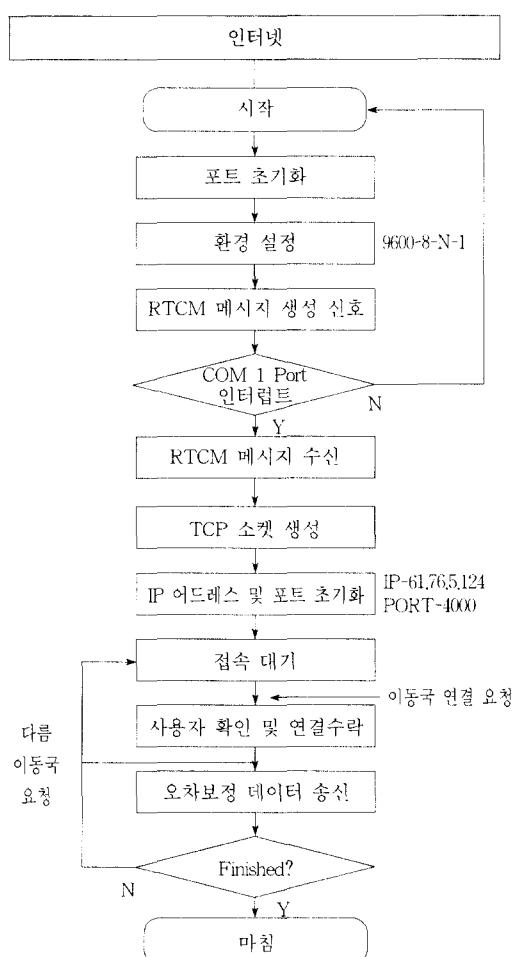


Fig. 3. Error corrected transmission program in base station.

초기화하고, 이동국의 사용자가 TCP/IP 망을 통해 지정된 포트로 접속을 시도할 때까지 기다린다. 만약 초기 TCP 접속 요구가 있으면 접속을 수용하고, TCP/IP 망의 망 접속 수단을 통하여 데이터를 실시간으로 이동국 시스템에 전송한다. 기준국의 서버는 다중의 TCP 서버 소켓을 지원하므로, 이미 현재의 TCP 접속 상태가 체결된 상태이면 다음의 소켓을 통해 TCP 접속 요구를 수행하게 된다.

이동국의 컴퓨터는 그림 4에서 보는 바와 같이 휴대폰 또는 INMARSAT(INTERNATIONAL MARitime SATellite) 단말기, 전용선을 통해 TCP/IP 망에 접속되어 자신의 IP 주소를 기준국에 알려주며, 기준국으로부터의 오차를 TCP/IP 데이터 수신 프로그램으로 수신하고, 데이터 송신 프로그램을 이용하여 이동국의 GPS 단말기로 전송해주면 오차 보정을 수행한 후 측위 결과를 이동국 컴퓨터의 측위 프로그램이 다시 수신함으로써 정밀 측위를 수행하게 된다. 이동국의 컴퓨터는 COM 포트 3개가 필요하게 되는데 이는 기준국으로부터 수신받은 오차를 이동국 GPS 단말기로 전송하기 위한 포트와, GPS 단말기에서 수행된 오차 보정 측위 결과를 이동국 컴퓨터의 측위 프로그램으로 수신하기 위한 포트, 핸드폰 데이터 통신을 위한 포트로 구성된다. 본 논문에서는 이를 수행하기 위해

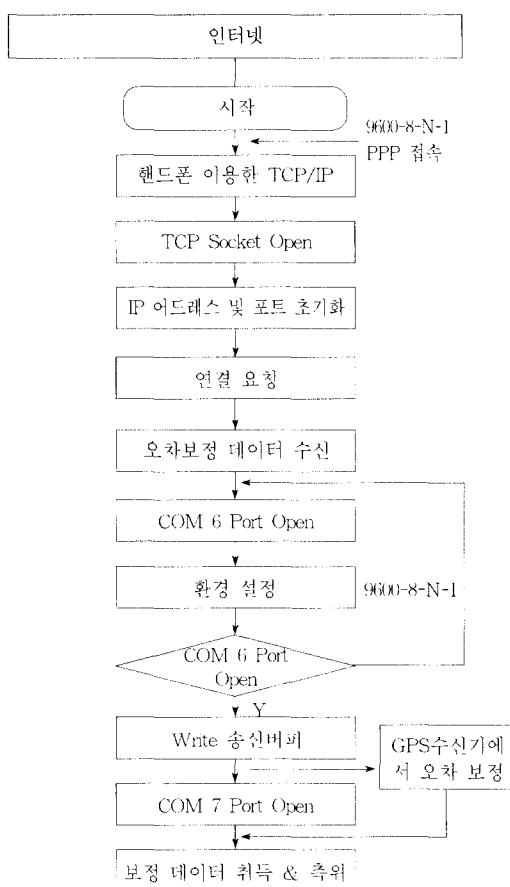


Fig. 4. Error corrected transmission program in rover station.

멀티포트 카드를 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 5에서 보는 바와 같이 부산, 울산, 밀양, 거제에 이미 정확한 좌표를 알고 있는 절대 기준점에 의한 RTK-GPS 기준국을 설치하고, 영도 동 삼동 지역을 이동국으로 측위 실험을 하였다.

본 실험에 앞서 두 개의 가정을 설정하였다. 첫째 절대 기준점의 좌표는 오차가 없다는 것과 좌표계 사이의 변환 과정에서 발생하는 오차는 없다는 가정을 설정하였다. 우리나라 Bessel 타원체를 기준으로 하는 KGS 좌표계를 사용하지만, GPS는 WGS-84 좌표계를 기준으로 한다. 실제, KGS 좌표계에서 WGS-84 좌표계로, WGS-84에서 UTM 좌표계로의 변환 과정에서 작은 오차가 발생하게 된다(Van der Merl et al. 1998; Raquet et al. 1998).

측위 실험은 2001년 3월 29일부터 45시간동안 기준국으로부터 반경 70 Km 이내 지역에서 휴대폰 접속을 통한 TCP/IP 망을 통하여 전송받은 오차보정 데이터를 Javad Odyssey 수신기에서 보정한

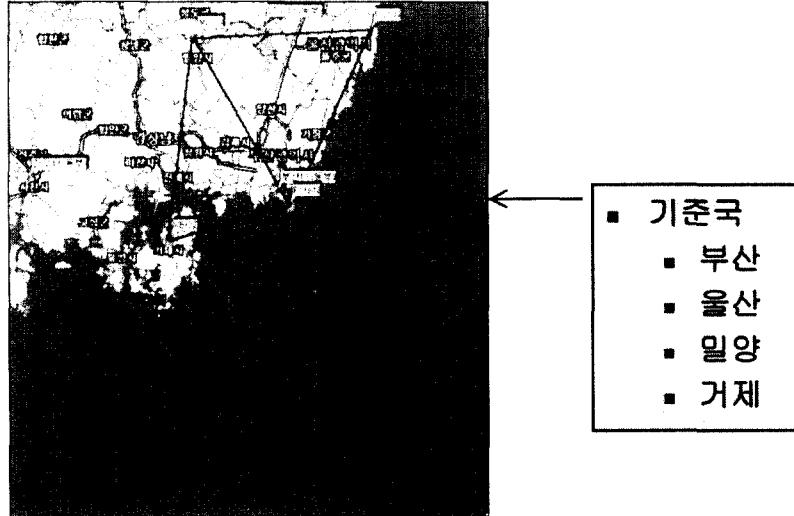


Fig. 5. Valid network range of rover station.

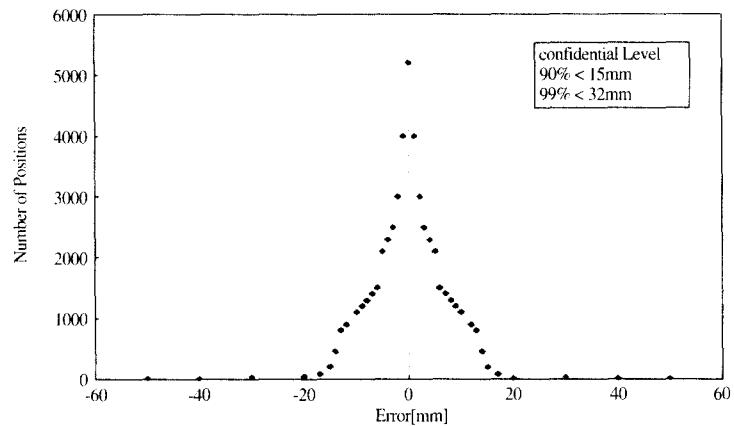


Fig. 6. Position errors in north based on RTK-GPS.

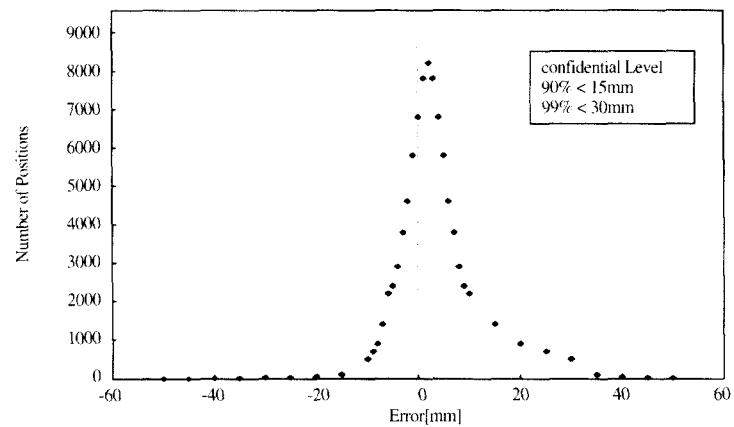


Fig. 7. Position errors in east based on RTK-GPS.

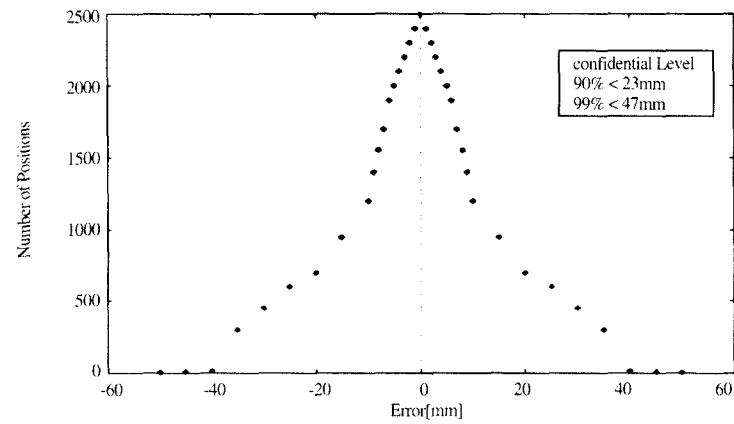


Fig. 8. Position errors in vertical based on RTK-GPS.

Table 1. Comparison with legacy RTK-GPS.

비교항목	기존 RTK 방식	제안한 방식
1. 소요장비	<ul style="list-style-type: none"> 기준국 이동국 각각 1대 도급 전개용 Static 장비 포함할 경우 최소 3대 	<ul style="list-style-type: none"> 이동국 1대로 충분
2. 구입비용	<ul style="list-style-type: none"> 약 1억 - 1억 5천만원 	<ul style="list-style-type: none"> 50% 이하
3. 운용 인원	<ul style="list-style-type: none"> 최소 2 - 3명 	<ul style="list-style-type: none"> 1명
4. 작업 유효 범위	<ul style="list-style-type: none"> 반경 5km 이내 	<ul style="list-style-type: none"> 네트워크내, 최장 70Km
5. 사용통신망	<ul style="list-style-type: none"> VHF, UHF 	<ul style="list-style-type: none"> 휴대전화(전용망)
6. 통신망 제약	<ul style="list-style-type: none"> 주파수 대역 허가 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 휴대전화 통화지역 제약없음
7. 데이터 통달 거리	<ul style="list-style-type: none"> 육상 2w. 소출력 데이터 통달 거리 제한 	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 통달 거리 제약 없음
8. 주파수 혼신	<ul style="list-style-type: none"> 동일지역 내 다른 사용자일 경우 혼신 등으로 작업 불능 	<ul style="list-style-type: none"> 주파수 혼신 우려 없음
9. 작업 효율	<ul style="list-style-type: none"> 미리 static 측량으로 기준점 확보 필요 제한거리 초과시 기준국 이동으로 인한 복잡한 절차 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 기지국 상대정확도 10mm 이내 70Km 이내 네트워크 지역에서는 이동국 운 영만으로 작업. 관측되므로 우수한 작업효율
10. 정확도	<ul style="list-style-type: none"> 기준점에서 벌어질수록 오차 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 네트워크 내 동일 정확도 약 50mm 이내

후 그 결과를 측정하였다.

그림 6, 7, 8은 측위 실험을 통한 경위도 및 고도에서의 위치 오차 결과를 나타낸 것이다. x축은 실제 위치와 실험한 결과와의 위치 오차를 나타내며, y축은 포착된 위치 수를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 북위에서는 99 % 이상이 오차범위 26 mm안에, 동경에서는 25 mm안에, 고도에서는 47 mm안에 위치가 포착되었다. 결국 수 mm 안에 이동국의 위치가 정확하게 포착됨을 알 수 있으며, 이는 정밀 측위를 위한 오차 범위를 만족하는 수준이라 할 수 있다.

요구되는 초기화 시간은 32 km를 기준으로 평균 시간은 약 87초가 소요되었으며, 일반적인 RTK 방법과 TCP/IP를 이용한 RTK-GPS를 이용한 방법의 실험결과 일반적인 RTK 방법은 오차 분포도가 많이 분산되어 있으며, TCP/IP를 이용한 RTK-GPS의 경우 오차분포도가 일정하다는 것을 알 수 있었다. 본 논문의 실험 결과를 바탕으로 기존 RTK 방법(이용안, 1999)과 TCP/IP를 이용한 RTK-GPS 방법과의 차이를 항목별로 비교하여 표 1에 나타내었다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 DGPS에서 오차 보정 신호 실시간 전송을 위하여 무선 모뎀을 사용하므로 데이터 전송거리가 10km 정도로 제한되며 전파장애물이 있을 경우 더욱 전송거리가 제한되는 문제를 해결하기 위한 방안으로 핸드폰을 통한 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 전송거리의 제한을 제거하고 인터넷이 가능한 어느 곳이나 DGPS 오차 보정 데이터를 실시간으로 전송할 수 있는 방안에 대해 제안하였다. 본 논문의 결과, 거리 제한 요소 제거에 의해 하나의 기준국으로부터 광역의 이동국에 데이터를 전송할 수 있으므로 소수의 기준국 설치로 인하여 비용을 절감할 수 있다. 또한 기준국 역할을 하는 서버를 설치함으로서 기준국의 단말기를 관리하기 위한 인력의 상주를 제거할 수 있으며, 여러 GPS 단말기로부터의 위치 정보를 다양한 데이터 형식으로 제공할 수도 있다. 따라서 운수업체나 건설업의 측량 및 지도제작 업체들이 위치결정의 기준이 되는 기준국의 위치 정보를 어느 곳에서나 정확히 수신하여 정밀 측위를 가능하게 한다.

실험결과를 통해 TCP/IP 망을 이용한 RTK-GPS를 이용해 이동국의 위치를 보정해 줌으로써 이러한 제안의 타당성을 검토해 보았다. 오차 보정을 하지 않는 단일 GPS만을 이용하면, 수십 미터의 오차가 생기지만, 보정시에는 수 센티미터 이내의 오차가 발생함을 알 수 있었다. TCP/IP 망에서의 사용자가 많을 경우, 이동국측에서 수신 데이터의 혼잡지연이 발생하여 약간의 위치 오차가 발생하는데, 이런 문제가 발생한 경우에 대한 고려로 TCP/IP 망 자체에서의 자연해결 방안이 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

- 최현기, 이용국, 김학일, 1995. 해양탐사를 위한 DGPS 자료의 후처리 시스템 개발, 제2회 GPS 워크샵, 281-286.
- 고광섭, 2000. 위성 측위 시스템(GNSS) 정책 변화 와 국내 외 기술 개발동향, 한국항해학회 2000 추계 학술대회 논문집, 25(1): 1-21.
- M. Zhodzishsky, M. Vorobiev, A. Khvalkov, J. Ashjaee, 1997. Real-Time Kinematic (RTK) Processing for Dual-Frequency GPS/GLONASS, Javad Positioning Systems (JPS).
- D. Kozlov, M. Tkachenko, 1997. Instant RTK cm with Low Cost GPS+GLONASS Receivers, Proc. of ION GPS-97, 1559-1569.
- Isomura, Hidetoshi, US Patent # 5502641, 1996. Relative GPS method and apparatus that is able to correct for momentary signal interruption.
2000. *Surveying with JPS*, Javad Positioning Systems (JPS).
1995. Alfred Leick, *GPS Satellite Surveying*, 2nd Edition, Wiley-Interscience, USA.
- 양형선, 신철호, 2000. GPS를 이용한 실시간 선박 위치정보시스템 개발, 한국항해학회지 24(1): 57-64.
- Landau, H., R. Hundt, A. Muler, 1994. A GPS Monitoring System: Concept, Implementation and Experiences, Proc. of the Institute of Navigation Satellite Meeting, Salt Lake City, Utah, 1321-1327.
- Van der Merl, H., van der Hoeven, H.J.P. Derkx, H. Kelin Baltink, A.C.A.P. van Lammeren, A.J.M. Kosters, 1998. Virtual GPS Reference Stations in the Netherlands, Proc. of the Institute of Navigation Satellite Meeting.
- Raquet, J., G. Lachapelle, T.E. Melgard, 1998. Test of a 400x600 km Network of Reference Receivers for Precise Kinematic Carrier-Phase Positioning in Norway, Proc. of the Institute of Navigation Satellite Meeting.
- 윤세미, 조익성, 유선영, 조성현, 김천곤, 임재홍, 2001. TCP/IP를 이용한 RTK-GPS 오차 보정 데이터 전송 시스템 설계 및 구현, 한국지리정보학회 2001 춘계 워크샵 및 학술 논문 발표대회 논문집, 238-243.
- Wubena, Gerhard, Andreas Bagge, Guter Seeber, Volker Buer, Peter Hankemeier, 1996. Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks, Proc. of the Institute of Navigation Satellite Meeting, Kansas City, Missouri, 1845-1852.
- 이용안, 1999. DGPS 구축 사례 및 공동이용, (주) 안세기술.