

GPS 가상기준점 도입에 관한 연구

A Study on the Introduction of GPS Virtual Reference System in South Korea

최윤수¹⁾ · 이용창²⁾ · 권재현³⁾ · 이재원⁴⁾

Choi, Yoon Su · Lee, Yong Chang · Kwon, Jae Hyeun · Lee Jae One

Abstract

According to the developing advanced techniques and removal of Selective Availability, much research has been conducted to improve the accuracy of GPS positioning in absolute and relative mode by estimating the nuisance parameters such as atmospheric effect, clock errors and multipath. Especially, the continuous effort of establishing the CORS in many countries and the effort of IGS making effective global networking make more application areas and the necessity of more precise location is being increased. Some of the countries like German, Japan and Swiss already utilized the Virtual Reference System for better location accuracy and services. In this study, the VRS system is investigated in terms of system principle, required H/W and S/W, management and operation, revision of related law, expected application and market etc. and find optimal solution in each aspect for economic and fast set up of the system in this country. The analysis of Korean CORS, communication infra and market estimation is performed for the efficient system establishment. Also, the suggestion on the advertisement and education of the system is also included. It is expected that this study contributes for the establishment of effective and precise nationwide location service so that many SOC areas including navigation, GIS, Telematics, LBS can provides better service for the users.

Keywords : GPS, GLONASS, GALILEO, VRS, CORS, SOC, LBS

요 지

최근 GPS 등 위성측위시스템의 동향은 SA해제로 GPS code 만에 의한 절대측위 정밀도가 향상되었고 SA에 비해 상대적으로 작은 영향을 주었던 오차요인 등에 대한 보정 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 국가별 GPS 상시 관측소의 증설 및 확장 경향과 세계 GPS 관측망(IGS)에 연계한 국가 GPS 관측망의 효율적인 운용 및 응용에 관심이 모아지고 있는데 독일, 일본, 스위스 등은 GPS 상시관측망을 활용한 가상기준점 서비스를 실용화한 상태이다. 본 연구에서는 GPS 상시관측소의 효율적 활용에 의한 종합적 위성 측위 서비스의 기대에 부응하며 서비스의 조기 실현을 도모할 수 있도록 시스템의 구성, 운영 및 활용면에서 최적화 방안을 제시함에 기본 목표를 두었다. 이를 위해 가상기준점 망을 위한 국내의 기본 인프라(GPS 상시관측소, 통신 및 이용자의 관심 기대) 현황을 분석하고 국내의 운영 사례를 조사/분석하여 국내에 가상기준점 운용 시스템의 구성 시 시스템 구성면의 최적화는 물론 시스템의 운영, 교육 및 홍보와 관련 법규의 제도화 방안을 제시하여 연계된 시범사업의 창출과 국내 GPS 상시관측망을 이용한 종합적 측위 서비스 시스템의 실현을 도모한다. GPS 상시관측소를 활용하는 가상기준점연구를 국가차원의 실시간 DGPS/PDGPS 운영체제로 발전시킨다면 장차, 각종 지형정보의 구축은 물론 항법분야, ITS 및 일상생활 응용(LBS)에 활력소로서 국가의 펌웨어적 SOC가 될 것으로 기대된다.

핵심용어 : GPS, 상시관측망, 가상기준점 서비스, 위치기반서비스

- 1) 정회원 · 서울시립대학교 지적정보공학과 교수(E-mail:choiys@uos.ac.kr)
- 2) 연결저자 · 정회원 · 시립인천전문대학 토목공학과 교수(E-mail:gpsgis@icc.ac.kr)
- 3) 정회원 · 세종대학교 지구정보공학과 교수(E-mail:jkwon@sejong.ac.kr)
- 4) 정회원 · 대한측량협회 선임연구원(E-mail:scshin@kasm.or.kr)

1. 연구 배경 및 목적

GPS(global positioning system)의 관측방법은 크게 절대측위와 상대측위로 나뉘며 상대측위는 정지관측(static), 신속정지관측(rapid static), 이동측위(kinematic), 의사이동측위(pseudo kinematic), 실시간이동측위(RTK ; real time kinematic)로 나뉘어 진다. RTK 방법은 단일 기준점에서 이동국으로 반송파위상에 대한 계통오차의 보정값을 실시간으로 송신하여 실시간으로 이동국의 위치를 계산하는 방법이다. 따라서 RTK에서는 기준국과 이동국 간의 거리가 멀어질수록 기준국과 이동국에서의 전리층과 대류층 효과와 같은 계통오차의 상관관계가 저하되어 적절히 제거되지 않고, 이로 인해 추정 위치의 정확도가 떨어져 센티미터의 정확도를 획득하기 위해선 기선의 길이를 10~15km로 제한해야 하는 한계가 있다.

이러한 한계를 극복하기 위하여, 최근 RTK에서 기선의 길이에 의존하지 않고 센티미터 수준의 정확도를 달성하기 위한 연구들이 이루어져 왔으며, 계산과 적용방법에 있어 약간의 차이는 있으나 이들 연구의 핵심아이디어는 바로 GPS 상시 관측망의 자료를 이용하는 것이다. 현재까지 개발된 GPS 상시 관측망에 근거한 RTK는 Multi reference station based RTK, Network RTK, 또는 VRS(가상기준점 방식 ; virtual reference system)으로 명명되어 적용되고 있으며, GPS 상시관측소의 자료를 이용하여 기준망 내에 위치한 임의의 이동국에 대한 코드 및 반송파 위상의 보정값을 산정하고 이를 이동국으로 송신하여 효율적이고 정확한 위치를 결정하게 한다(Wanninger, 1999 등).

현재 우리나라는 국토지리정보원, 행정자치부등 8개 기관에서 약 80개의 GPS 상시관측소를 전국에 설치하여 운용하여 국가 기반시설로서의 역할을 수행하고 있다. 그러나 다양한 활용분야와 연구의 확대에 따른 GPS 데이터 수요의 폭발적인 팽창과 자료제공 시스템의 구축 및 정밀한 위치정보에 대한 수요자들의 요구가 증가하고 있음에 따라 공공기관 및 일반 사용자에게 신속한 GPS 상시관측소 이용 방안을 마련하고 국내 GPS 상시관측소 데이터 서비스를 강화하며 모든 상시관측소의 통합을 통한 국토지리정보원의 위상제고를 위한 시스템의 구축이 절실히 요구되는 시점이다(최윤수 등, 2003; 윤희식 등, 2003; 박운용 등, 2004).

본 연구에서는 최신 정밀 측위 기법인 GPS 상시관측망을 이용한 RTK의 도입에 따른 타당성 및 제반 여건을 분석하여, 시스템 도입의 효과를 극대화 하는데 목적이 있다.

이를 위하여 국내 각 기관에서 설치한 GPS 상시관측소의 현황을 분석하고, 선진외국에서 운영하고 있는 상시관측소의 현황과 활용분야를 파악한다. 특히 정밀측위를 위한 가상기준점의 시스템 구성, 측량방법, 위치정밀도 등을 분석하고, 이를 토대로 최적의 가상기준점 시스템 도입을 위한 시스템의 구성, 운영방안, 그리고 법/제도 정비에 대한 방안을 제시한다. 또한 시스템도입 시 예상되는 향후의 기대효과 및 활용방안을 제시하여 시스템 활용의 극대화를 추구한다. 본 연구를 통한 성공적인 가상 기준점 방식의 측위시스템의 도입은 국내에 산재된 GPS 상시관측소 데이터의 체계적인 관리 및 온라인 서비스 기반의 구축이 전제가 되므로 데이터 서비스 창구의 일원화 및 각종 응용분야를 창출하는데 큰 기여를 할 것이다(국토지리정보원, 2003).

2. 가상기준점방식의 원리와 종류

현재의 RTK GPS 기술은 수신기가 이동중인 상태에서 기선의 길이 약 15km 내외인 경우 약 1~2 센티미터의 정확도를 획득할 수 있는 수준이다. 특히, 측량시간과 투입 인력을 줄일 수 있고 센티미터 수준의 위치 정확도를 실시간으로 제공하여 널리 이용되지만 기준점으로부터 이동국 간의 거리가 증가할수록 위성의 궤도력, 대류권, 전리층의 영향에 의한 계통적 오차가 발생하고 이러한 계통적 오차의 상관성이 저하됨에 따라 정확도가 감소하며 또한 수신기의 초기화 시간이 증가되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여, GPS 상시관측소들로 이루어진 기준점망을 사용하여 계통적 오차를 분리, 모델링 하여 네트워크 내부의 임의의 위치에서 관측된 것과 같은 가상의 기준점 자료를 생성하고, 이 가상의 기준점자료와의 상대측위를 통하여 정밀한 이동국의 위치를 결정하는 방법이 바로 가상 기준점 방식이다(Beutler 등, 1999; Jaggi 등, 2001).

2.1 가상기준점방식의 원리

현재까지 기선의 길이가 먼 경우에 적용할 수 있는 가장 최신의 기법인 가상 기준점 방식은 독일의 기준국망 SAPOS(satellite positioning service) 프로젝트에서 처음 소개되었다(SAPOS; Ulrich 등, 2000; Ulrich 등, 2002; Trimble 2002). “가상”이라는 말은 네트워크내의 실제 기준국들을 이용하여 존재하지 않는 가상의 기준국에 대한 관측값을 형성한다는 개념에서 비롯되었으며, 기존의 RTK

에서 기선의 길이가 길어질수록 오차의 공간적 상관성이 결여되어 나타나는 이동국의 위치 정밀도 저하를 극복하는 방법으로 제시되었다. VRS를 운영하기 위해서는 GPS 상시관측소 네트워크 내에서 서로 다른 기준국의 데이터를 처리하여 가상기준점의 운영을 위한 오차 모델(전리층 대류층 위성궤도 시간 오차, 다중경로 오차, cycle slip)을 형성하고 VRS 알고리즘을 이용하여 네트워크 내부에서 작용하는 미지정수 등을 해석하여 가상기준점을 구현한다. 이때 형성된 오차 모델은 기준점 수신기들의 관측자료를 종합해서 만든 것이므로 더 정밀하고 신뢰성 있는 결과를 생성할 수 있는 것이다. 각 기준국은 중앙제어국과 연결되어 있으며 중앙제어국의 컴퓨터는 GPS 망에 적합한 소프트웨어를 운용한다. 중앙제어국은 계통적인 오차의 모델링과 추정, 안테나 페이즈 센터의 보정, 이동국 위치의 가상점자료 생성, 이동국으로의 RTK 데이터 전송 등을 수행한다. 따라서 사용자와 중앙제어국 간의 송 수신 통신수단이 필요한데 송수신 방식에는 양방향 송수신 방식과 단방향 송수신 방식이 있다. 단방향의 경우 중앙 제어국에서 보낸 보정값 신호와 절대측위 자료를 조합하여 관측자가 직접 가상점의 관측값을 계산해야 하는 것으로 보정 파라미터 전용 수신기가 필요하며 양방향의 경우 약 100m의 정확한 관측자 수신기의 초기위치를 중앙제어국으로 전송한 후 해당 지역의 가상기준점 관측값을 생성하여 이동국 수신기로 전송하는 방식으로 핸드폰이나 라디오 모델 등을 이용한다. VRS 데이터는 RTCM(radio technical commission for

maritime service) 형식으로 전송하며, RTCM SC 104와 RTCM type 59 FKP가 사용되고 있다. RTCM SC 104 형식은 보통 두개의 타입이 한 쌍으로 사용되지만(18/19, 20/21) 꼭 그렇게 해야만 하는 필요조건은 아니며 RTCM type 59 FKP(면보정계수 ; 독일어로 flächen-korrektur-parameter)은 독일의 Geo++사에서 망조정을 통하여 계산된 오차의 보정계수를 전송하는 데 사용하는 형식이다 (Bryan Toensend 등, 2000; Wubbena 등, 2001; Euler,H.J. 등, 2001, 2002; Keenan, C.R. 등, 2001).

2.2 가상기준점방식의 종류

가상기준점방식은 자료처리 시점을 기준으로 실시간측위가 가능한 VRS RTK와 VRSDGPS, 후처리에 의한 VRS Static 측위로 분류할 수 있다. 그 중 VRS RTK의 경우 보정오차의 결정방식에 따라 격자보정계수 형식과 가상관측값형식(VRS), 그리고 면보정계수형식(FKP)으로 구분된다(표 1 참조). 이들 중 FKP와 VRS는 Geo++사와 Trimble에 의하여 각각 상용화 되었으며, MultiRef 방식은 상용화를 추진 중이다(Fotopoulos 등, 2001; Guorong Hu 등, 2002; Liwen Dai 등, 2001). 이들 방식의 주된 차이는 망을 이용하여 오차를 계산하는 알고리즘, 즉 관측공간에서의 오차 모델링과 상태공간에서의 오차모델링의 차이에 의한 자료처리 알고리즘의 차이와 추정된 오차를 전송하는 형태와 방식에 있다. 여러 기존의 연구들에 의하면 각 방법에 있어 달성된 정확도에는 커다란 차이가 없으며, 상용화된

표 1. 가상기준점 방식의 종류 및 비교

개발회사 또는 기관	Calgary 대학교 (캐나다)	Geo ++사 (독일)	Terrasat (독일) Trimble - Terrasat 합병
방식명(분류/명칭)	Multi Reference (VRS) MultiRef	상태공간 개별모델링 (FKP, GNSMART)	관측공간 종합모델링 (VRS, GPSNET)
Data 전송방식	방송방식	방송방식 (휴대전화, 인터넷)	휴대전화, 인터넷 방송방식 대응가능
운송보정 자료의 내용	격자보정계수 또는 가상관측량	FKT (면보정계수) 또는 가상 관측량	가상 관측량 또는 보정계수
이용자 측 필요장비	보정자료 수신기 가상관측량 계산기 GPS 측량기	보정정보 수신기 가상관측량 계산기 대응된 GPS 측량기	휴대전화와 모델 인터넷, 대응된 GPS 측량기
상용화 여부	상용화 추진	상용화	상용화
특징	보정계수방식 채택 시 : 이용자 수는 무제한, 이용자 측에서 가상 관측량을 작성하는 부담 VRS 채택시 : 센터의 동시 연결회선 수 제한으로 동시 이용자수에 제한이 있음		
후처리 가상 기준점 방식	대응	대응	대응

두 방법의 경우 각 방법을 채택한 지역의 범위에 있어서도 거의 대등한 수준이다. 따라서 어떠한 방식이 더 우수하다는 결론은 내리기가 어려우며, 구축하고자 하는 지역의 인프라에 적합하도록 선택하는 것이 바람직하다.

격자보정계수 형식은 그림 1과 같이 상시관측소 자료를 이용한 망조정을 통하여 네트워크를 격자의 형태로 나누어 각 격자점에 대한 오차를 결정하고, 네트워크내의 임의의 점에 대한 오차를 인접한 네 개의 격자값을 이용하여 선형 보간법에 의해 계산 한다. 실시간 적용에 있어서는 보정값의 격자 값들의 해상도가 전리층, 대류층과 같은 오차의 시간적 상관관계에 따라 미리 결정되며, 격자값은 계속해서 업데이트 된다. 이 방법은 이미 광역 DGPS와 광역 전리층 모델링에 이미 적용되었으며 가상기준점의 적용에 있어서도 만족할만한 결과를 보이고 있다(Petrovski, I. 등, 2000; Fortes, L.P., 등 2001; Alves, P. 등, 2004).

가상관측값 형식(VRS)은 그림 2와 같이 이동국에 인접한 지점에 가상의 기준국을 설정하고 이에 대한 관측값과 보정값을 생성하여 전송함으로써 가상의 기준국과 이동국 사이에 RTK를 통하여 이동국의 정확한 위치를 결정하는 방식이다. 상시 관측소들의 관측자료와 좌표, 그리고 방송 궤도력을 이용하여 모호정수와 오차를 결정하여, 이동국에 인접한 가상의 지점에 대한 관측값을 보간법으로 형성한다. 가상 기준점 방식은 관측값의 보정량을 전송함으로써 관측공간에서의 오차를 결정하는 것으로 기존의 RTK 모듈을 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 즉 현재 사용하고 있는 RTCM 모듈을 그대로 사용할 수 있는 것이다. 따라서, 가상기준점 방식을 도입할 경우, 이용자 측 하드웨

어 교체가 불필요하게 되어 비용을 절감할 수 있는 반면, 가상기준점의 위치를 선정하기 위하여 이동국의 근사 위치를 전송하여야 하므로 양방향 통신이 필수적이다. 관측값의 보정값을 결정하는 관측공간의 오차 모델링은 각각의 오차요인의 모든 상태를 기술하지 않은 단순화된 모델로 각각의 오차에 대한 분석 및 조정이 어렵고, 또한 연속적인 관측값의 업데이트가 어려우므로, 예기치 못한 물리적 변화에 따른 기지국 관측값들의 오차의 영향을 많이 받는 단점이 있다. 특히 빠른 속도로 이동중인 상태에서의 위치결정을 위해서는 가상 기준점을 계속해서 업데이트 해야 하는 불편함을 안고 있다.

면보정계수 형식(FKP)은 위치에 종속되는 오차를 선형 지역 다항식으로 모델링을 하고, 이로부터 계산된 면 보정계수를 기관 고유 번호, 부수적 고유번호, 자료 번호, 위성 번호 등의 여타 요소와 더불어 동서쪽 또는 남북쪽의 FKP 요소로 나누어 RTCM type 59를 통하여 전송한다. 기존의 RTK에서 기준국에서 이동국으로 GPS 데이터를 전송할 때 GPS 원시데이터는 RTCM 18/19 형식으로 GPS 보정데이터는 RTCM 20/21형식으로 전송하므로 이동국에서는 전송된 FKP를 수신하여 이동국에 해당하는 오차를 생성할 수 있다. Geo++에서는 이러한 면 보정계수를 전송하기 위하여 표준 RTCM 규약에 맞는 새로운 type 59를 개발하였고 독일 SAPOS 기준국망에 사용되고 있다. 특히 이 형식은 단지 이동국의 근사적인 좌표와 위성정보만을 필요로 하기 때문에 망 처리과정과는 독립적으로 수행될 수 있고, 또한 FKP가 송신될 수 있다는 장점이 있어, 가상기준국(VRS) 또한 쉽게 계산 할 수 있으며 수신자의 위치를

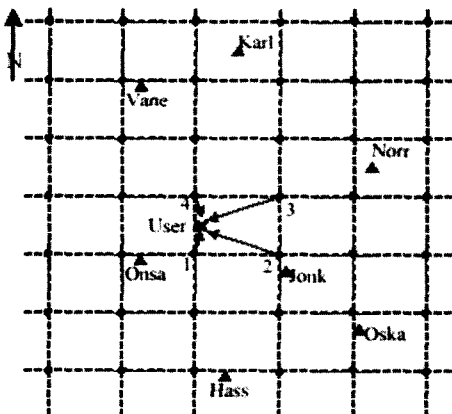


그림 1. 격자 보정계수 형식 개념도

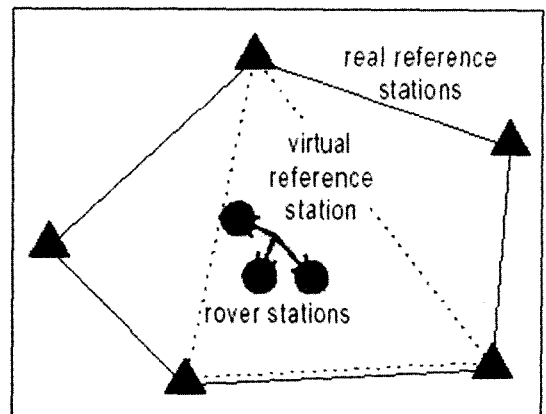


그림 2. 가상 관측값 형식 개념도

전송해줄 필요가 없으므로 단방향 통신이면 시스템이 운용될 수 있으나, 보정값을 받을 수 있는 모듈을 설치하여야 하므로 이용자 측의 하드웨어 보강이 필요하다(Nicholas Talbot 등, 2002; Kee, 등 2002).

3. 가상기준점 방식 관련 국내의 현황

3.1 국외현황

기존의 RTK 방식에 비해 Network RTK 방식의 우수함이 입증된 논문이 국내외적으로 다수의 발표된바 있고 이를 국가적인 차원에서 실용화 시켜 L1 또는 L1/L2 GPS 수신기 1대만으로도 실시간 혹은 후처리로 높은 정밀도의 측위가 가능하도록 서비스 체계를 구축, 운용중인 국가도 있다. 국외에서는 독일, 캐나다, 일본, 미국, 호주, 싱가포르 등 여러 국가에서 GPS 상시관측망을 활용한 가상기준점 서비스를 국가전체 규모로 혹은 지역별로 서비스를 실시하고 있다(이용창, 2003).

(1) 독일의 사례

독일은 16개 주로 구성된 국가로서 각 주의 측량과 지적 업무는 주 측량국(The State survey offices of the Lander ; Landsvermessung und Geobasisinformation)의 책임하에 이루어지고 있다. 특히 측량분야의 기술향상은 물론 개별적인 주를 초월한 독일 전국의 측량표준을 확립할 수 있도록 16개 주의 측량국으로 구성된 독일연방주연합측량실무위원회(Adv ; working committee of the surveying authorities of the states of the federal republic of germany)를 운영하고 있다.



그림 3. 독일의 SAPOS 상시관측소망

특히, Adv에서는 연합 projects의 일환으로 GPS를 활용한 실시간 및 후처리 DGPS/RTK 공공 서비스의 실현을 목표로 독일 전체 주에 대한 위성측위 서비스의 권고 및 장려, GPS 상시관측소를 이용한 국가적 수준의 공식적인 기준계의 구축, 첨단측지기술(VLBI, SLR)에 의한 공간기준계의 확립 등에서 활발한 활동을 수행하고 있다. 사용자(등)을 확정, 운영중이며 매년 SAPOS의 발전을 위한 심포지엄을 개최하고 있다. SAPOS 실현을 위한 독일의 GPS 상시관측망의 구성은 그림 3과 같이 기준국 간격 40 - 70km 분포의 총 250개 측정점으로 계획되어 있으며 다양한 기종의 2주파 측지용 GPS 수신기 및 Choke-ring 안테나로 구성된 150개소의 상시관측소를 활용하여 주별로 주 제어국(master server)을 인접주와 중복부를 두어 관측자료를 공유하고 있고 정확도, 실시간/후처리, 통신방식/자료형식에 따라 다양한 종류의 DGPS/RTK 서비스를 가상기준점 방식에 기초하여 SAPOS의 일환으로 제공하고 있다. 특히, 각 각측소의 안테나는 관측소별로 로봇을 이용한 절대 검정을 실시하고 있으며 제어국과 1Hz의 통신연결체계를 항시 유지하고 있다. 특히, 독일 SAPOS의 제어국 부문의 경우, 각 주별로 운용 SW가 다른데 북부지역의 경우는 GEO++ 사의 GNSMART를 남부지역은 Trimble 사의 GPSNet SW를 사용하고 있다. 지역별로 양분된 사유는 지형적 특성과 통신 상태를 감안한 경우와 각 회사에 대한 지역적 정서 등으로 사료된다. 2002년 12월 31일에는 가상기준점 서비스를 과거 주별로 독립 운영되었던 방식에서 16개 주 전체에 적용할 수 있는 SAPOS 표준 서비스안(통신매체, 보정형식)를 제정 서비스하고 있다(SAPOS ; Cruddace,P. 등 2002; Wanninger 등, 2002).

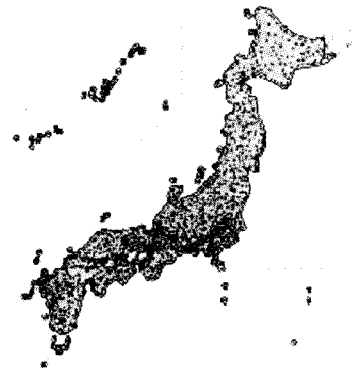


그림 4. 일본의 가상기준점 망

(2) 일본의 사례

일본은 RTK-GPS 서비스를 1997년부터 실험적으로 운용하기 시작하여 2000년 12월 동경지역을 시범지역으로 선정하고 FKP 방식의 시범운용을 시작으로 연구팀별로 다각도의 분석평가를 수행한 바 있으며 2001년에는 3가지의 가상기준점 방식(VRS, FKP, Multiref)의 비교평가를 위한 시범사업을 수행하였다. 일본의 GPS 상시관측망의 구성은 DGPS에 의한 전통측량방식의 대체를 1순위로 하는 독일과는 달리 지진/지각변동의 예지/감시, 측량, DGPS 등을 1차 목적으로 하고 있으며 그림 4와 같이 국가규모의 GPS 상시관측소 설계면에서 배점밀도가 매우 높은 평균 30km 간격의 약 1,200여개소의 상시 관측소를 운영하고 있는데 가상기준점 시스템의 도입으로 전리층 교란에 따른 보정효과를 극대화 시켜 장기선의 경우에도 기존 RTK의 정확성을 유지 또는 상대적으로 향상시키는 효과를 도모하고 있다. GPS 상시관측소의 자료를 상업적 서비스 전달기관인 NGDS 및 JENOBA에 제공하는 역할만을 수행한다. 특히, 2004년 2월 현재, (주) GPSdata 서비스, (주) NGS 및 (주) JENOBA에서 일본 전역에 설치된 약 1,200점의 상시관측소 자료를 Trimble사의 VRS 시스템에 적용하여 일본 전역을 대상으로 가상 기준점 서비스를 제공 중에 있다(Hiromune Namie 등, 2001; Wubbena 등, 2001; GPS 소위원회, 2001; 일본 GPSdata 주식회사, 2002; 일본 측량협회, 2003).

3.2 국내현황

국내에서는 표준과학연구원 천문대에서 KAO의 9개 지국으로부터 MultiRef를 통해 산정된 코드 및 Carrier phase 보정정보를 MBC FM DARC(data radio channel)를 매체로 서비스하는 연구를 추진 중에 있으며(Fortes,L.P. 등 2002) 부산소재 (주) GPS Data Net에서도 독일 Geo++사와 협력관계를 맺고 있다(Park, J.U. 등, 2002; 이용창, 2003).

국내에는 약 80여점(평균 간격 30-50km 정도)의 GPS 상시 관측소가 설치되어 운용 중이고 CDMA 방식에 근거한 개인 휴대폰 서비스가 대중화된 상태로서 Network RTK 방식을 구축하기 위한 하드웨어적 인프라가 매우 이상적으로 구축된 상태이다. GPS 상시관측소에서 수행하는 가장 기본적인 업무는 GPS 위성을 연속적으로 24시간 관측하고 그 자료를 저장, 관리하는 작업이다. 상시관측소의 정밀좌표 결정 및 유지는 장기간에 걸친 관측자료를 처리하여야 하므로, 매 30초마다 측정된 관측자료를 저장하

표 2. 국내 GPS 상시관측소 현황

기 관	운영 개소
국토지리정보원	14개소
행정자치부	32개소
한국천문연구원	7개소
해양수산부	11개소
한국지질자원연구원	4개소
한국전력공사	5개소

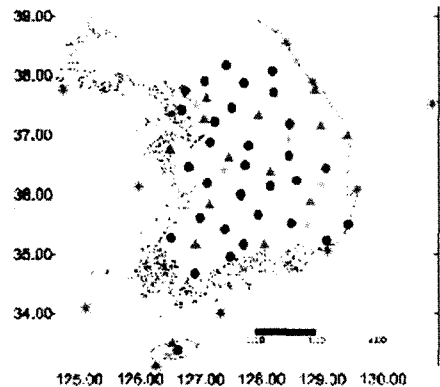


그림 5. 국내 GPS 상시관측소 배치현황

는 것이 일반적이다. 현재 GPS 상시관측소에서 운용중인 정밀 측지용 Trimble 4000SSi 수신기는 20MByte의 메모리 용량으로 관측파일을 저장하고, 다음날 자료처리센터로 전송하고 있으며, 일정기간이 지난 파일은 수신기 내부에서 자동적으로 삭제하는 기능이 포함되어 있다. 자료처리센터에서는 수신기의 관측업무 및 자료수신, 수신기 메모리 관리 등을 원격 제어하고 있으며 이 제어프로그램은 Trimble에서 제공하는 R utility 프로그램을 이용하고 있다. 국내 GPS 상시관측소의 설립 및 운용 기관 및 관측소 수는 표 2 및 그림 5와 같다.

4. 한국형 VRS 구성방안

가상기준점 시스템의 구성은 상시관측망 부문, 주제어국 부문 및 이용자 부문으로 구성된다. 특히 관측자료 및 보정자료의 송수신을 위한 통신방식은 3개 부문을 연결하는 매우 중요한 매체이다. 본 연구에서는 구성요소의 기본원칙을 정립한 후, 한국형 가상기준점 시스템 구성을 위한 부문별 구성 안을 제안하였다.

4.1 기본 구성

어떠한 가상기준점 방식을 선택하느냐에 따라 시스템의 구축 역시 약간의 차이는 있지만, 공통적으로 실시간 VRS 측위를 위해서 기준점은 최소 2주파 GPS 수신기와 GPS안테나, UHF 라디오/모뎀, 전원 공급 장치가 필요하며 중앙제어국은 VRS RTK 망을 수행할 소프트웨어와 UHF/VHF 라디오, 모뎀 등이 필요하다. 만약 VRS 방식이 아닌 FKP 방식을 이용한다면 단방향의 통신만이 필요하고, 대신 이동국에서 FKP를 이용하여 오차를 계산할 수 있는 모듈을 탑재하여야 한다는 차이가 있다. 어떠한 방식이던 VRS의 구축 시에는 적절한 기준점간의 거리 설정 및 이들을 이용한 망 구성이 필수적이다. 기준점간의 간격은 전리층 활동 상황에 따라 설정하고 VRS 망 구성 기준점을 대상으로 관측 데이터를 최소 24시간 1초 간격으로 샘플링 되어야 한다. 또한 기준점 데이터의 신호전송지연을 최소화하고 망의 보안성 유지 및 데이터 분해 능력이 좋은 전송망을 선택하여야 한다. 수신기는 실시간 저장 및 실시간 전송 능력이 가능한 것이어야 한다. 수신기는 사용하는 측정값에 따라 C/A 코드만 수신하는 수신기와 P코드까지 수신할 수 있는 수신기 및 반송파위상까지 수신하는 수신기로 분류된다. 수신기는 채널의 수에 따라서도 분류되며 초기에는 한 개의 채널로 여러 위성을 동시에 추적하는 형태의 수신기가 사용되었으나, 최근에는 최소 6개 이상의 채널을 보유하는 수신기가 일반적으로 사용된다. VRS RTK 시스템 소프트웨어는 윈도우 2000/NT 상에서 운용되며 GUI를 이용하여 각 기준점별 제어가 가능하고 RINEX / 궤도 / 기상데이터 등의 파일을 트리구조로 저장하여 Web 이나 FTP로의 제공 및 원 데이터의 품질 검사와 RINEX와 압축된 RINEX로 저장할 수 있어야 한다. 또한 안테나 위상값 보정, 기계적 오차의 보정 및 모델링, 이동 수신기에 가상의 VRS를 제공하기 위한 데이터의 생성, 가상의 위치에 대한 RTCM 데이터를 생성하여 이동국에 전달, 네트워크 상에서 향상된 RTK 수행이 가능하고 전리층/대기층/Ephemeris 에러, L1/L2에 대한 반송파 미지정수를 연속적으로 계산할 수 있어야 한다. VRS 시스템 하드웨어는 최소 500MHz 펜티엄 PC, 512 Mbyte 램, 10Gbyte 하드디스크가 필요하며 기준국과 중앙제어국간의 연속적인 연결선 및 Multi I/O serial interface card, 핸드폰 신호를 받는 모뎀이 필요하다.

4.2 부문별 구성 방안

앞서 기술한 바와 같이 현재 상용화된 가상기준점방식 중 대표적인 것은 독일 Geo++사와 미국의 트림블 테라셋사의 시스템으로서 각각의 제어국 운용 소프트웨어는 모든 통신방식과 지원장치에 연계 적용될 수 있도록 구성되어 있으므로 시스템 구성 면에서는 각 국가나 조직의 특성에 따라서 다양한 방식이 제시될 수 있다.

(1) 상시관측망 부문

가상기준점 시스템 구성을 위한 GPS 기준국간의 거리 및 망 구성은 국내의 전리층 활동을 충분히 검토하고 반영할 수 있도록 구성하되 추가 관측소의 설치 및 제어국과의 효율적인 자료 전송방식 등을 고려하여 구현해야 한다. 앞서 분석된 국내 GPS 기준망의 분석을 통하여 기존에 설치된 GPS 상시관측소 중 국토지리정보원과 행정자치부에서 운영하고 있는 GPS 관측소를 공동 이용할 경우를 전제로 30 - 50km의 기준점 간격을 기본으로 추가점을 배치한 기본관측망을 구성하면 그림 6과 같다(H.J. Euler, 2001).

본 관측망은 국토지리정보원의 13개소와 행정자치부의 31개소(용인점 제외) 및 19개 소의 추가점을 합쳐 총 63개소의 관측소로 구성되는데 가상기준점 제어국의 S/W 1개로 운영가능한 기준국의 수가 최대 40점이므로 전국을 대상으로 한 가상기준점 서비스 시스템 구축시 2개의 S/W

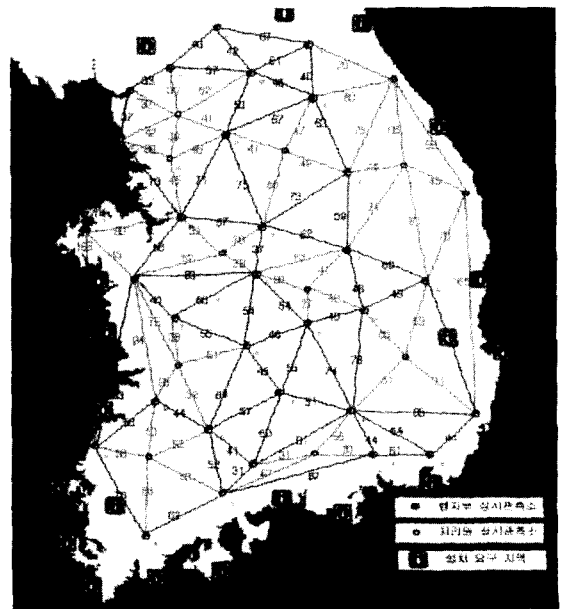


그림 6. 한국형 가상기준점 시스템 구성을 위한 GPS 상시관측망

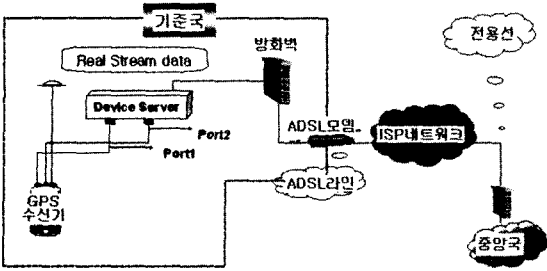


그림 7. VRS 시스템의 GPS 상시관측소 하드웨어 구성

운영체제로 구현이 가능하게 된다. 특히, 기준망을 위한 경제적이고 효율적인 자료전송을 위한 기준국과 제어국간의 통신망의 선정이 매우 중요한 요소로서 기준국 자료의 전송지연을 최소화하면서 망의 보안성, 데이터의 분배 능력 및 통신 장비와 유지비를 절감할 수 있는 방식을 선정해야 한다.

그림 7은 ADSL라인을 이용하여 VPN(가상사설망; virtual private network) 기법으로 구성한 GPS 상시관측소의 하드웨어 구성안을 제시한 것이다. VPN은 인터넷과 같은 공중망을 이용하여 사설망 처럼 직접 운용 관리 할 수 있도록 하는 기술로서 컴퓨터 시스템과 통신 프로토콜들의 집합으로 구성되며 암호화 알고리즘 등으로 안정성을 제공하는 통신망이다. 특히, 유연성 있는 운영, 관리의 수월성, 확장성과 이동성이 제공되며 특히 터널링 및 암호화 알고리즘과 인증 시스템으로 안전성이 보장되며 편리한 네트워크 구성 환경을 제공하므로써 공중망을 이용하여 통신 비용을 절감함과 동시에 안전하게 자료를 전송할 수 있는 장점이 있다.

여기서, Device Server의 기능은 시리얼 장치를 사용하여 GPS 수신기를 네트워크에 연결해 주는 장비로 IP 필터링 기능, 독립된 IP 리스트 작성 관리 기능, 수신기의 데이터 포트에 연결하여 TCP/IP 환경 하에서 자료를 관리하도록 하는 기능을 수행한다. VPN 방화벽은 VPN 및 방화벽 기능을 동시에 수행하는데 서버에서 별도의 소프트웨어를 설치하지 않고 표준 웹브라우저 만으로도 모니터링이 가능하며 PPPoE 지원이 필요한 네트워크와의 호환성이 보장된다.

(2) 제어국 부분

제어국은 가상기준점 시스템의 운영을 총괄하는 핵심부분으로서 관측소의 관측자료 유입, 품질 관리, 저장 및 복제기능을 수행하며 가상기준점 시스템을 위한 각종오차의

표 3. VRS 제어국 구성의 기본원칙

1. Server S/W

- 정확성(오차모델링, 위치정확도)
- 다양한 서비스를 위한 보정자료 형식 생성(정밀도, 정적/동적)
- 사용자에게 전달하기 위한 다양한 통신매체와의 연계성이 용이
- 경제성(가격, 운영 S/W 1Copy당 포괄 범위가 넓어야 함)

2. 통신부(관측소와 제어국 및 제어국과 사용자 연결을 위한 매체)

- 신호지연이 최소
- 안정성, 보안성, 위기대응(체)성(자동전환), 비상전원(UPS) 공급 조치반과의 자동통신→긴급상황대처

3. 제어국의 설치개소는 지역규모, 동시접속자수, 관측소의 개수, 운영 S/W의 능력, 통신체계방식 등에 종속됨.

기타 : 다중 Back-up 시스템, 유료화시 대응기능(Billing)

모델링 및 보정, PCV 보정, 오차보정평가, 가상기준점의 원시자료 및 보정값의 생성 등의 역할을 수행한다. 특히, 운영 S/W의 선정, 기준국과 이용자간의 통신부분 및 제어국의 설치개소 등이 중요한 요소로서 기본원칙을 정립하면 표 3과 같다. 제어국의 운영 S/W는 통상 상시관측소 40점까지를 기본적으로 운영할 수 있는데 시범연구사업을 통한 비교연구로부터 장단점과 국내 상황 등을 고려하여 결정해야 할 것이다. 제어국의 통신망 방식은 운영주체의 유무에 따라 2가지의 통신망 방식을 고려할 수 있다. 경우 1은 VPN망을 기본으로 기준국에서 공중망까지는 ADSL 라인을 사용하며 공중망에서 각 부처의 제어국까지는 전용선을 사용하는 방식으로 구성한 것이다.

그림 8(경우 1)은 총 63개소의 GPS 상시관측소를 이용

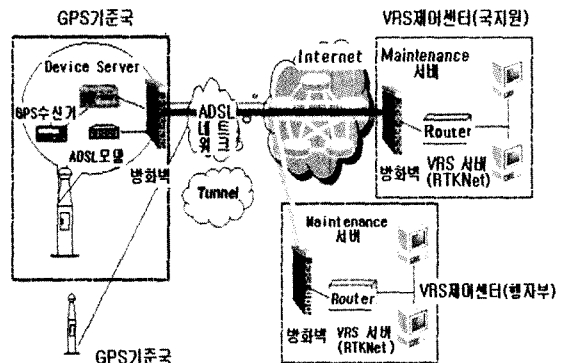


그림 8. IP/VPN을 이용한 제어국 네트워크 (경우1)

하여 전국적인 서비스를 한다는 전제하에서 국토지리정보원과 행정자치부에 각각 제어국을 설치하여 병행 운영하는 방식으로 구성한 것이다. 만일, 운영주체가 단일화 된다면 단일화된 기관에서 두 제어국을 동시에 운영할 수 있게 된다. 그림 9(경우 2)는 IP/VPN 및 한국인터넷데이터센터(KIDC ; korea internet data center)를 이용한 제어국의 네트워크 구성안을 제시한 것으로 가상기준점 운용 S/W를 KIDC내에 설치하는 방식이다. 즉, 운영 주체의 선정이 어려울 경우, 각 기관의 관측자료를 KIDC로 취합함과 동시에 KIDC 내에 설치된 가상기준점 운용 S/W로 처리하고 각 부처별로 준 제어국을 운영하는 방식으로 후처리를 위한 자료도 KIDC에서 공급받을 수 있다. KIDC를 활용하는 방식은 KT 및 데이콤의 전용회선을 이용하여 가입고객을 대상으로 서비스할 수 있고 요금청구, 수납, 장애신고 등 서비스 운영에 필요한 창구의 단일화가 가능하며 24시간 365일 실시간 장애처리 센터운영으로 효율적이며 안정적인 서비스가 가능하고 KT나 데이콤의 전용선 이용 시에 비해 비용이 저렴하다는 점, 또한 국토지리정보원과 행정자치부간의 자료의 공유뿐만 아니라 타 부처 자료의 분배

도 용이하며 신속한 회선의 신규설치, 증속 및 증선 제공이 가능하다는 장점이 있다.

그림 10은 제어국의 하드웨어 구성안을 제시한 것이다.

RAS(remote access server)는 사용자로부터 걸려오는 전화를 제어하는 엑세스 서버로서 같은 번호로 여러 사용자가 시스템에 접속이 가능하게 하며 한꺼번에 걸려오는 전화들을 동시에 처리하고 특히 제어국 운영 A/W에 접속된 이용자의 IP를 제공하므로서 이동국의 RTCM 자료를 등록하고 이용자에게 전송할 RTCM 자료를 생성할 수 있도록 연계시키는 기능을 수행한다. VPN 방화벽은 VPN 기능과 방화벽 기능을 동시에 수행하여 자료의 전송면에서 강력한 보안성과 안정성을 제공하게 된다.

(3) 이동국(이용자) 부문

이동국은 가상기준점 시스템의 이용자 부문으로서 기준국에서 제공하는 정밀도에 따른 다양한 보정 정보를 수신하여 위치정보를 구현하는 부분이다. 표 4는 이동국 구성을 위한 기본 원칙을 정리한 것이며 그림 11은 휴대전화를 매체로 한 이동국의 하드웨어 구성안을 도시한 것이다.

표 4. VRS 이동국 구성의 기본원칙

1. 서비스 종류별로 다양한 통신매체를 지원
 - UHF/VHF/특별 주파수, TV Audio Sub channel, 위성 TV, CDMA(Mobile phone)
2. 다양한 서비스와 서비스 가격의 경제성
 - Free
 - GPS 수신기 + Decoder(구매)
 - GPS 수신기 + Mobile phone
 - GPS 수신기 + Decoder(with Card)
 - GPS 수신기 + 인터넷(사전등록 ID 및 PW 부여)
3. 지형적 특성을 감안한(보정신호의 수신불량지역) 송신국 설치

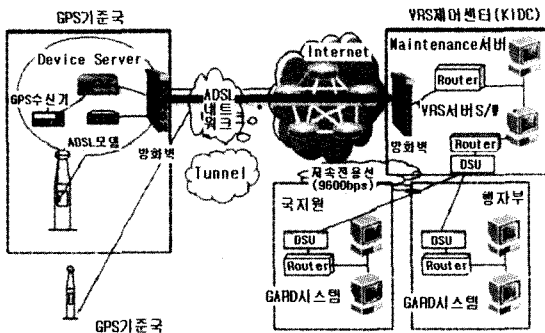


그림 9. IP/VPN을 이용한 제어국 네트워크 (경우 2)

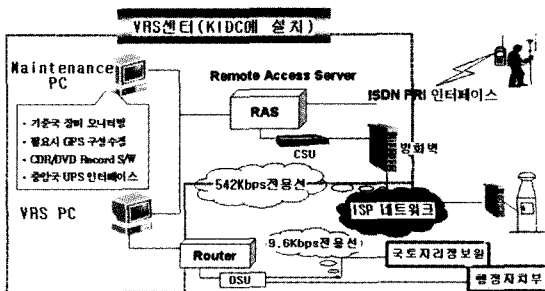


그림 10. VRS 시스템의 제어국 하드웨어 구성



그림 11. 휴대전화를 이용한 이동국 하드웨어 구성

5. VRS 서비스의 운영 및 유지관리

5.1 서비스의 운영 방안

한국형 가상기준점 시스템 구현을 위한 각 부문별 구성 원칙 및 기본 구성안을 종합적으로 검토한 결과, 각 부처의 관측자료가 공유된다는 전제하에서 운영주체의 선정 유무와 무관하게 IP/VPN 통신방식 및 KIDC를 매체로 KIDC 내에 직접 제어국 운영 S/W를 설치 운영하는 방식이 각 기관에 별도의 운영 S/W를 설치 운영할 경우에 비해 기본 운영 및 유지보수방안에서 다음과 같은 효과가 기대된다. 운영 S/W는 자동 운영되므로 국토지리정보원내 별도의 전담인력 추가 충원이 필요치 않으며 S/W장애발생시 제공업체가 실시간 운용지원이 가능하고 하드웨어 장애 발생시 제공업체가 유지보수하며 통신문제 발생시 KIDC가 운용지원 및 유지보수하게 된다. 또한, 가상기준점 운용 시 분산 백업시스템이 불필요하고 시스템의 안정성 및 확장성 제고할 수 있다는 장점이 있다. 특히 이 방식은 KT 및 데이콤의 전용회선을 이용하여 가입고객을 대상으로 서비스할 수 있고 요금청구, 수납, 장애신고 등 서비스 운영에 필요한 창구의 단일화가 가능하며 24시간 365일 실시간 장애처리 센터운영으로 효율적이고 안정적인 서비스가 가능하며 KT나 데이콤의 전용선 이용 시에 비해 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 또한 국토지리정보원과 행정자치부간의 자료의 공유뿐만 아니라 타 부처 자료의 분배도 용이하고 신속한 회선의 신규설치, 증속 및 증선 제공이 가능하므로 각 부처는 준 제어국을 운영하는 효과를 얻을 수 있게 된다.

가상기준점 서비스를 이용할 경우 이용자는 가상기준점 서비스 자체의 이용요금 외에 통신매체 사용료를 지불해야 한다. 일본의 경우는 NTT, Tocomo가 참여하여 서비스요금을 산정하고 있는데 후처리용 가상기준점 자료는 1기준점당 1시간 기준으로 5,000엔, RTK 및 DGPS 실시간 자료는 입회비 2만엔에 월 3만엔의 정액제로 사용료를 부과하고 있으며 패킷 통신망을 사용하여 서비스하므로 통화시간과는 무관하게 운영하고 있다. 독일의 경우 가상기준점 서비스 종류별로 가상기준점 서비스와 통신요금이 통합된 다음과 같은 SAPOS 사용요금 표준안을 마련하여 운영하고 있다. 현재 운영중인 국내 이동통신 3사(SKT, KTF, LGT)의 사용료 징수체제를 검토할 때 정보 제공자와의 협상에 따른 특정 사용료 체제(별도의 정보 이용료 부과 방식)는 KTF 만이 가능하다. 특히, 국내에서 사용하는 CDMA 방

식의 경우 패킷전용망이 현재는 특정지역에 한정되어 있어 패킷통신방식을 사용할 경우 접속이 자주 단절되는 문제가 발생되므로 씨킷통신을 사용해야한다는 점도 있다. 씨킷통신 방식을 사용할 경우 커버리지가 안정되며 장비 가격이 저렴하다는 장점(소형 전용모뎀)이 있다. 씨킷방식의 기본요금은 월 기본료 5,000원에 300도수(50분) 무료통화가 제공되며 이후는 1도수 당 14원 정도(30분 작업시 약 2,500원)의 요금이 부과되게 된다. 현재까지는 KTF를 이용할 경우 무료통화시간과 사용요금 체제의 조정 협상이 가능하나 타 통신사도 활성화 될 것으로 기대된다.

5.2 관련제도의 개선 및 홍보

현행 법규에는 VRS의 효과적인 구축과 활용에 대한 구체적인 내용 및 조항 등이 미흡한 실정이다. VRS도입에 따른 법·제도 개선방안에서는 국가지리정보체계구축 및 활용 등에 관한 법률, 측량법, 지적법, 수로업무법 등 측량과 관련된 법·제도 현황 및 정비동향을 분석하여 VRS도입과 관련된 법·제도정비 방향을 제시하도록 한다. 또한, 측량분야에 VRS 도입 활용을 위한 홍보 및 교육방안도 제시한다(국토지리정보원, 2003).

5.3 최근 위성측위 기술관련 검토사항

(1) 위성측위 기술 실용화에 따른 측량의 정의 및 범위 검토

측량법상의 측량과 정보통신부에서 추진하고 있는 위치정보의 보호 및 이용 등에 관한 법률(안), 우주정보통신진흥법(안) 등에서 측량과 측위에 대한 정의와 범위가 명확하게 검토되어야 한다. 특히, GPS가 실용화된 오늘날 측량(정지된 물체의 위치를 후처리로 정확하게 결정)과 항법(움직이는 물체의 위치를 실시간으로 결정)에 관한 정의도 재검토되어야 한다.

(2) 측위서비스의 표준화 및 개인정보보호 규정 마련 필요

위치정보의 공개 및 유통에 있어서 개인의 사생활 보호와 위치정보의 공공이용 측면에서 공개범위에 관한 법령을 개정하거나 기존 법령에 대해서도 새롭게 해석하고 적용할 필요성이 있다. 공공기관의 정보 공개에 관한 법률(이하 '정보공개법'이라 함)의 적용에 있어서 포괄적인 비공개대상 정보에 관하여 위치정보의 유통 및 통합 활용을 위하여 대통령령으로 범위 및 기준을 명시할 필요가 있다.

VRS의 효율적인 구축과 이용을 촉진시킬 수 있는 표준화, 품질유지, 정보보호 등에 관한 구체적인 법안이 필요하다.

5.6 효율적 VRS 구축 및 확산을 위한 교육 및 홍보 방안

독일 Lower saxy주 측량국(LGN)에서는 1994년 GPS를 이용한 측량기술을 기준점측량분야에 도입한 이래 다양한 연구와 교육, 제도개선이 단계적, 지속적으로 추진되었다. 1996년 RTK기법도입, 1999년 VRS도입 이후에도 VRS확산을 위하여 체계적인 연구, 교육·홍보 및 제도개선이 추진되어 왔다. 특히, 기술혁신에 따른 제도개선 과정에서 공청회 등을 실시하여 측량작업규정, 비용 등에 관한 전문가 의견을 수렴하고 실무적 적용상의 문제점을 해소하여 지적분야에서도 VRS가 적극적으로 활용되고 있다. GPS 등 위성측위 기술과 IT기술이 급속하게 발전하고 있는 지금도 1870년대 독일의 지적제도를 고집하고 있는 우리나라와는 대조적이다. 따라서 우리나라도 시범사업과정부터 VRS도입 및 활용확산을 위한 연구 및 교육과 적극적인 홍보와 제도개선이 단계적으로 추진되어야 한다. 우선 관련부처 및 연구기관, 대학, 측량관련회사 등으로 연구회를 구성하여 시범사업단계 VRS, RTK-GPS, DGPS, 고속스테틱GPS 등에 관한 현장실험 및 자료처리 등을 실시하고 전리층영향파악, 정확도 평가 및 적용가능성 평가 등 체계적인 연구를 하고 이를 보고서, 인터넷, 세미나, 제도개선 등을 통하여 확산해야 한다. 특히, 공공측량분야에 VRS도입을 위한 필드테스트 및 작업규정 제정 등이 이루어져서 1인 측량에 의한 측량비용절감, GPS수신기구입 비용절감 등을 검토하여 측량용역대가를 합리적으로 조정하고 이를 바탕으로 VRS구축 및 활용에 관한 투자대비 효과도 검토하여야 한다. 또한, 정부의 성장 동력산업(GIS, LBS, ITS, 텔레메틱스)과 연계된 측위서비스 분야에서 VRS 활용에 관한 연구 및 개발이 이루어져야 한다(Diep Dao 등, 2002).

6. 결론 및 기대효과

가상기준점 시스템 구성을 위한 국내의 기본 인프라현황을 분석하고 국내외 운영 사례를 조사/분석하여 한국형 가상기준점 운영 시스템의 구성 시 시스템의 구성, 운영, 교육 및 홍보와 관련 법규의 제도화 방안 등을 종합적으로 연구 검토한 결과, 다음과 같은 효율성의 창출이 기대된다.

1. 가상기준점의 운용은 효율적인 상시관측소의 활용을

전제로 하므로, 국내 GPS 상시관측소 자료의 활용을 극대화 할 것으로 기대된다.

2. 이용자 측면에서 기존의 RTK 방식에서의 기선의 길이에 대한 제약이 거의 받지 않으므로 한대의 수신기만으로 cm 급의 정밀한 위치를 결정할 수 있으므로, 두 대의 수신기를 사용하는데 따른 비용이 크게 감소될 것이다.

3. 측량 이외의 정밀측위 사용자에 대한 대국민 서비스로 투자대비 효율을 증대하며, 측량성과의 균일성 확보하는데 기여하게 된다.

4. 다양한 정밀도의 위치를 실시간 또는 후처리 방식으로 제공하므로 위치정보를 이용한 다양한 신종산업이 창출될 것이며 ITS, 물류, 119, 방재 등 다양한 분야에 활용을 창출함으로써 안전한 사회를 구축하는데도 크게 기여할 것이다.

5. 현재 국가적으로 추진되고 있는 GIS, LBS, ITS, 텔레메틱스 등 차세대 국가성장을 위한 첨단기술의 기반 조성에 크게 기여할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2003년 국토지리정보원의 수탁을 받아 한국 측량학회와 대한측량협회가 공동으로 수행한 연구의 일부로 많은 관심과 격려를 해주신 국토지리정보원 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2003), 가상기준점 도입 연구.
- 박운용, 송연경 (2004), RTK GPS를 이용한 대형구조물의 실시간 정보 시스템, 한국측량학회지, 제 22권, 제 1호, pp. 11-19
- 윤홍식, 이동하 (2003), GPS 상시관측소에서의 해양조석 부하로 인한 부하성분의 결정, 한국측량학회지, 제 21권, 제 4호, pp. 317-322
- 이용창 (2003), GPS 상시관측망을 활용한 PDGPS 측위 연구, 대한토목학회, pp. 891-900.
- 최윤수, 고준환 (2003), GPS 장기선 해석에 관한 기초 연구, 한국측량학회지, 제 21권, 제 2호, pp. 123-129.
- Alves, P., Y.W. Ahn, J. Liu and G. Lachapelle (2004), Improvements of USCG RTK Positioning Performance Using External NOAA Tropospheric Corrections Integrated with a Multiple Reference Station Approach, *National Technical Meeting*, Institute of Navigation, San Diego.
- Beutler Gerhard, Stefan Schaer, and Markus Rothacher (1999), Wide Area Differential GPS Study in the context of AGNES, Collaboration between the AIUB and the SFOT.

- Bryan Toensend, Keith Van Dierendonck, Janet Neumann, I.Petrovski, S.Kawaguchi, and H.Torimoto (2000), A Proposal for Standardized Network RTK Message, *Proceedings of ION GPS 2000*.
- Cruddace, P., I. Wilson, M.Greaves, H-J.Euler, R.Keenan, and G.Wuebena (2002), The Long Road To Establishing a National Network RTK Solution, FIG XXII International Congress.
- Diep Dao, Chris Rizos, Jinling Wang (2002), Location-based services: technical and business issues, *GPS Solutions* 6권, pp. 169-178.
- Euler, H.J., C.R.Keenan, and B.E.Zebhauser (2001), Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays, *Proceedings of ION GPS 2001*.
- Euler, H.J., and B.E.Zebhauser (2002), Comparison of Different Proposals for Reference Station Network Information Distribution Formats, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Fortes, L.P., M.E.Cannon, S.Skone, and G.Lachpelle (2001), Improving a Multi-Reference GPS Station Network Method for OTF Positioning in the St. Lawrence Seaway, *Proceedings of ION GPS 2001*.
- Fotopoulos, G. and M.E. Cannon (2001), An Overview of Multi-Reference Station Methods for Cm-Level Positioning, *GPS Solutions*, Vol. 4, No. 3, pp. 1-10.
- Fortes, L.P. (2002), Optimizing the Use of GPS Multi-Reference Stations for Kinematic Positioning, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Guorong Hu, Victor H.S. Khoo, Pong Chai Goh, and Choi Look Law (2002), Testing of a Active Multiple Reference Station Network for RTK Positioning, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Hirumune Namie, and Nobumi Hagiwara (2001), RTK-GPS Positioning in Japan by Virtual Reference Station(VRS) System with GPS-Based Control Stations, *Proceedings of ION GPS 2001*.
- Jaggi, A., G. Beutler, and U.Hugentobler (2001), Using Double Difference Information from Network Solutions to Generate Observations for a Virtual GPS Reference Receiver.
- Keenan, C.R., B.E.Zebhauser, and H.-J.Euler (2001), Using Information from Reference Station Networks : A Novel Approach Conforming to RTCM V2.3 and Future V3.0.
- Kee, Changdon and Jeonghan Kim (2002), Efficient Transmission Technique of Compact RTK Correction Message for Low-rate RTK Data-link. *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Liwen Dai, Shaowei Han, Jinling Wang, and Chris Rizos (2001), A Study on GPS/GLONASS Multiple Reference Station Techniques for Precise Real-Time Carrier Phase-Based Positioning, *Proceedings of ION GPS 2001*.
- Nicholas Talbot, Gang Lu, and Timo Allison (2002), Broadcast Network RTK Transmission Standards and Results, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Petrovski, I., S.Kawaguchi, etc., M.E. Cannon and G.Lachpelle (2000), New Flexible Network based RTK Service in Japan, *Proceedings of ION GPS 2000*.
- Park, J.U., J.H.Joh, H.C. Lim, P.H. Park, B.H.Choi, S.W.Lee, B.Townsend, M.E. Cannon and G. Lachpelle (2002), Multi-Reference GPS Network for Nationwide RTK Service in Korea, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- SAPOS, <http://www.saposnrw.de/>.
- Trimble (2002), Trimble Virtual Reference Station(VRS), Product brochure, <http://www.trimble.com/vrs.html>
- Ulrich Vollath, Alois Buecherl, Herbert Landau, Christian Pagels, and Bernhard Wagner (2000), Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations, *Proceedings of ION GPS 2000*.
- Ulrich Vollath, Herbert Landau, Xiaoming Chen, Ken Doucet, and Christian Pagels (2002), Network RTK Versus Single Base RTK-Understanding the Error Characteristics, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Wanninger Lambert (1999), The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions, *Proceedings of ION GPS99*.
- Wanninger Lambert (2002), Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning, *Proceedings of ION GPS 2002*.
- Wubben Gerhard, Andreas Bagge, and Martin Schmitz (2001), Network-Based Techniques for RTK Applications, GPS JIN 2001, November 14-26, 2001, Tokyo, Japan.
- Wubben Gerhard, Andreas Bagge, and Martin Schmitz (2001), RTK Networks based on Geo++GNSMART - Concepts, Implementation, Results, *Proceedings of ION GPS 2001*.
- GPS 小委員会 (2001), VRS 방식에 의한 실시간 側衛, 測量日本 GPSdata 株式會社 (2002), GPS 電子基準点資料에 의한 位置情報서비스의 紹介.
- 日本測量協會 (2003), 海上에서 VRS 방식을 이용한 RTK 側衛의 精度比較檢討와 檢證, 測量.

(접수일 2004. 3. 2, 심사일 2004. 6. 15, 심사완료일 2004. 6. 22)