

상시관측소의 데이터를 이용한 GPS측량의 정밀도분석 Precision Analysis of GPS Surveying Using Continuous Stations

최병길* · 김영곤** · 고정규***

Choi, Byoung-Gil · Kim, Young-Kon · Ko, Jung-Kyu

要 旨

본 연구는 GPS 상시관측소의 데이터를 이용한 GPS 정밀 측지측량을 실시하고 그 정밀도를 분석하여, 실용적인 GPS 상시관측소 활용 방안을 모색하는데 그 목적이 있다. 우리나라는 1985년 한국천문연구원을 시작으로, 2002년 현재 수 십여개의 상시관측소가 운영되고 있으나, 그 자료의 이용도가 미미한 수준이므로 많은 예산을 투입하여 운행중인 GPS 상시관측소의 적극적인 활용 방안을 모색할 필요가 있다.

GPS 정밀 측지측량 결과 인천대학교 구내의 두 측정점과 국립지리원 수원측정소와의 폐합차는 0.0206m이었으며 서울측정소와의 폐합차는 0.0118m이었다. 또한 한국천문연구원 서울측정소와의 폐합차는 0.0129m이었으며 행정자치부의 지적과 인천측정소와의 폐합차는 0.0024m이었다. 상시관측소의 데이터를 사용할 경우 GPS를 이용한 정밀 1,2차 기준점 측량 작업규정에 명시된 오차한계인 거리 30km미만시 30mm, 거리 30km 이상 1PPM×D(km)과 비교하여 볼 때 매우 좋은 분석값을 가짐을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This study is aimed to suggest a practical use of GPS continuous stations by conducting the precision analysis using its data. Currently dozens of continuous stations have been installed and operated since the first GPS continuous station built by KAO(Korea Astronomy Observation) in 1985. The utilization of the surveyed information, however, has been under-developed regardless of a significant investment, which leads the necessity of utilization plan.

The results of this study show that the mis-closures between the two points at University of Incheon and Suwon/Seoul stations of NGI(National Geography Institute), Seoul station

of KAO, and Incheon station of MOGAHA(Ministry Of Government Administration and Home Affairs) are 0.0206m, 0.0118m, 0.0129m and 0.0024m respectively. It indicates that the analyzed mis-closures were less than the allowed values in the primary/secondary control point specification for GPS surveying, i.e. a mis-closure less than 30mm for the distance less than 30km and a mis-closure less than 1PPM×D(km) for the distance greater than 30km.

* 정회원, 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수

** 여수시청, 공학박사

*** 인천대학교 토목환경시스템공학과 대학원

1. 서론

최근 수년간의 사회, 경제, 환경에 대한 GIS (Geographic Information System : 지리정보시스템), LIS(Land Information System : 토지정보시스템)의 기술과 측량 및 지도제작 기술의 발전은 더욱 정확한 공간정보의 취득을 요구하고 있다. 정보통신 기술과 인공위성 기술의 발달은 정확한 공간정보의 취득을 가능하게 해 주고 있으며 특히 범세계위치결정체계를 이용하여 지상의 3차원 좌표를 정밀하게 관측할 수 있는 GPS(Global Positioning System: 범지구 측위시스템)는 기존의 측량방식의 단점들을 보완하는 차세대 측량기술로서 각광을 받고 있다.⁽¹⁾ 그러나 우리나라의 경우 베셀(Bessel)타원체에 의한 측지계를 사용하고, GPS의 경우 WGS84(World Geodetic System '84) 세계측지시스템 '84) 측지계를 사용하는 이유로 GPS수신기를 이용하여 얻은 측량의 성과를 그대로 적용하지 못하고 있었으나, 2001년의 측량법 개정을 통해 2003년부터 좌표계를 세계좌표계중 우리나라지역의 좌표계인 KTRF(Korea Terrestrial Reference Frame: 한국 지구중심 측지좌표계)를 도입할 예정이며, 이 KTRF는 WGS84 좌표계와의 호환이 용이하여, GPS의 성과를 별다른 변환 없이 그대로 적용이 가능하다. 이러한 상황으로 인해 국립지리원에서는 2007년까지 국지 좌표계와 지구 중심 좌표계를 병행해서 사용하고, 2007년 이후부터는 지구 중심 좌표계로 전면 사용하는 것을 정책으로 결정하였다.⁽²⁾

우리나라는 1985년 한국천문연구원을 시작으로 여러 기관에서 GPS 상시관측소를 운영하였으나, 그 자료의 이용도가 미미한 수준이므로 많은 예산으로 실행중인 GPS 상시관측소의 활용 방안을 모색하여야 한다. 본 연구의 목적은 GPS 상시관측소의 데이터를 이용한 GPS측지측량의 정밀도를 분석, 각 측량에 적합한 상시관측소와의 거리를 연구하여 GPS상시관측소의 이용을 활성화하는데 있다.

2. GPS 상시관측소

2.1 GPS 상시관측소의 구성

GPS 상시관측소의 구성은 GPS관측소와 중앙국 및 이를 연결하는 통신장치로 구성되어있고, 중앙국은 다시 통신 및 제어시스템, 자료처리시스템, 자료저장시스템으로 나누어지며, 모든 과정은 자동으로 수행되어 지도록 구축되어진다.

GPS관측소는 무인원격으로 조정되며, 안테나필라, GPS수신기(2주파), GPS안테나, 경사계, 전원공급장치, 항온기로 구성되어 있다. GPS 수신기로부터 얻어진 자료는 실시간 또는 정해진 시간에 중앙통제소에 정확하게 전송된다. GPS관측소에서 수신된 자료는 멀티패스를 최소로 하는 선택과 고품질의 GPS 자료를 측지학적으로 검증하는 것이 가능하다. 또한 예측된 위성궤도는 중앙국과 GPS관측소에서 동시에 실시간으로 얻어지며, 자료는 실시간 정보를 산출하기 위해 사용된다.⁽³⁾

중앙국은 통제, 자료의 수신·저장, 처리 및 위치 정보를 제공하는 곳으로서, 전 시스템의 통제, 자료처리와 관리 및 백업, 결과표시 시스템으로 이루어진다. 또한 중앙국은 각 GPS상시관측소로부터 수집된 관측 데이터의 처리 및 분석을 위해 스위스 베른대학에서 개발한 Bernese과 같은 정밀기선해석 소프트웨어를 이용하고 있다. 통신장치는 보통 Modem 또는 ISDN(Integrated Services Digital Network)을 사용한다.

국립지리원은 수원, 서울, 전주, 광주, 대구, 강릉, 제주, 원주, 진주, 울진, 서산, 태백, 상주, 청주등 전국 10여개소에서 GPS 상시관측을 하고 있다. 국립지리원 수원관측소의 경우 IGS에 참여되어 정밀한 데이터를 얻을 수 있다. 또한 범 세계적으로 약 111개 관측소가 참여하고 있는 IGS가 1994년 1월1일에 국제기구로 공식 출범함에 따라 GPS 위성으로부터 수신한 관측자료를 컴퓨터 통신망을 통해 국제 데이터 센터에 전송하고 다른 나라에서 관측된 자료를 가져와 연구에 활용하고 있다. 그 위치는 수원의 경우 국립지리원내 김정호동상 옆에 있다. 현재 국립지리원에서는 국립지리원의 상시관측소와 타 기관 GPS 상시관측소의 연계 운영을 준비중이다.

한국천문연구원의 중앙국은 GPS 연구그룹에서 설치·운영하고 있으며, 1992년부터 국내 최초로 IGS에 대천측정소가 참여하였다. 한국천문연구원은 대전, 서울, 목포, 여수, 밀양, 보현산, 속초, 소백산, 제주 등의 전국 10여개소에서 상시관측을 하고있다.

행정자치부의 중앙국은 지적과에서 시범적으로 설치·운영하고 있으며, 인천, 파주, 동두천, 철원, 춘천, 인제, 홍천, 양평, 영월, 천안, 예천, 괴산, 청양, 예천, 논산, 보은, 청송, 군위, 김천, 무주, 정읍, 거창, 영광, 남원, 창녕, 울산, 장흥, 순천, 하동, 창원, 부산등 전국 30여개소에서 상시관측을 실시하고 있으며 계속 증가될 예정이다.

이외의 GPS 상시관측소는 한국지질자원연구원의 삼척, 포항, 경주, 양산등 4개소와 DGPS 신호를 송출하는 해양수산부의 팔미도, 어청도, 거문도, 영도, 호미곶, 울릉도, 주문진, 마라도, 소청도, 소흑산도, 지진등 10여개소의 기준국과 말도, 소리도, 서이말, 흥도, 가사도등 5개의 감시국등 20여개소가 운영되고 있다.

2.2 GPS상시관측소의 기능

GPS 상시관측소는 관측소의 위치정보를 계속적으로 수집, 생산 제공하기 위한 목적으로 운영된다. GPS 상시관측소는 지구에 관한 지역적·지구 물리학적 연구에 있어서 중요한 역할을 수행할 수 있으며, 지구 자전 변화에 의한 변화 감시, 위성의 궤도 결정, 전리층 감시, 지역 모니터링 역할을 수행하고, 전국에 고정밀의 측지망을 구성하여 측지학적인 틀의 제공과 각종 측량을 위한 기준점을 제공할 수 있다. 이것이 가능한 이유는 전 지구적으로 통일된 좌표계의 실현이 가능해졌고, GPS 상시관측소의 좌표, 속도 및 시간변화를 통해 전체 또는 일부 GPS 상시관측소에 대한 좌표와 속도 및 지구자전 매개변수 산출을 할 수 있기 때문이다. 또한 IGS(International GPS Service for Geodynamics:범 세계적인 국제 GPS 관측망)에서 제공하는 궤도정보를 수정 없이 사용하는 것이 가능하며, GPS상시관측소로부터 관측된 자료는 IGS로 보내어 진다.

GPS 시스템은 지구 및 우주연구를 위해 훌륭한 도구이며, 항공기 및 인공위성의 관제, 지도제작 시 지상기준점을 제공할 수 있으며, GIS·LIS 등 지형정보를 구축하기 위한 효율적인 3차원 정보를 획득할 수 있도록 도움을 준다.

3. 실험 및 결과분석

3.1 실험

본 연구에서는 정밀도 분석을 위한 실측점으로 인천대학교 구내의 본관 옥상과 이공관 옥상의 두 점을 정하였으며 본관옥상의 점을 점 A, 이공관 옥상의 점을 B라 하였다. A, B 점 모두 GPS의 정적 측량 기법을 사용하여 2002년 10월 21일부터 10월 24일까지 3일간 3시간씩 자료를 취득하였다. 본 연구에 사용된 상시관측소의 자료는 국립지리원의 서울 및 인천측정소, 한국천문연구원의 서울측정소, 행정자치부 지적과 인천측정소의 RINEX(Receiver INdependent EXchange format)자료 중 2002년 10월 21일 00시부터 2002년 10월 24일 24시까지의 데이터를 제공받아 사용하였다.

기존의 연구에서는 국립지리원 상시관측소의 데이터만을 사용하여 상시관측소의 활용 및 자료제공이나 ITRF계와의 오차의 정도를 분석하였으나 본 연구에서는 한국천문연구원 및 행정자치부의 데이터를 동시에 이용하였다. 위성으로부터 수신된 방송력과 정밀력을 사용하여 기선측정 시 40km이내의 지역에서는 위성의 궤도 정보가 기선거리의 변화에 큰 영향을 미치지 않으며 센티미터 수준의 정밀도를 확보할 수 있다는 연구결과 및 GPS상시관측소의 간격이 25km일 때가 적당하다는 일본의 지각변화량에 대한 연구결과와 10km이내의 경우 DGPS 관측 시 미리미터 수준의 정밀도를 확보할 수 있다는 국립지리원의 연구결과 등이 있다⁶⁾.

본 연구에서는 우선 IGS 기지국이 있는 국립지리원의 수원측정소 데이터를 기준으로 실측지역과의 삼각망 폐합차를 분석하였으며, 같은 국립지리원 자료 중 서울측정소의 데이터와 실험 지역의 데이터를 분

석하였다. 같은 방법으로 한국천문연구원의 서울측정소 데이터와 행정자치부 지적과의 인천측정소 데이터를 기준으로 실측지역의 정밀도를 분석하고, 마지막으로 각 상시관측소간의 데이터를 이용하여 삼각망 폐합차를 분석하였다.

국립지리원의 경우 인터넷을 통한 자료의 습득이 용이하였으나, 현재에는 점점 중으로 메일로 신청시 간단한 신청명세 기재 후 자료를 받을 수 있다. 한국천문연구원의 경우 회원가입 후 자료를 내려 받을 수 있고, 홈페이지 상에 올라와 있지 않은 자료는 메일 신청 시 제공받을 수 있다. 행정자치부 지적과의 자료는 상시 자료제공은 아직 서비스가 되지 않고 있으며, 신청 시 제공받을 수 있지만, 내부사정으로 자료의 취득이 어렵다. 전 GPS 상시관측소는 RINEX 자료 포맷으로 제공되었다.

그림 3.1은 전체 상시관측소와 실험측정 지역간의

삼각망구성을 나타낸다.

3.2 상시관측소를 이용한 정밀도 분석

3.2.1 국립지리원 상시관측소 데이터 사용 삼각망 폐합차 분석

국립지리원의 데이터 사용시 주요 제원은 다음과 같다. 데이터처리시스템은 스위스 베른대학에서 개발한 Bernese ver4.2를 사용한다. GPS수신기는 트림블(Trimble)사 4000-SSI 기기를 사용하고, 안테나는 트림블 초크링(Choke-ring) 안테나를 사용한다. 통신장치는 ISDN을 사용하며, 경사계와 전원공급장치, 항온기로 이루어져있다. 운영현황으로는 위성 자료취득 가능 각도는 15도, 데이터 취득 시간 15초, 세션간격 1시간이다.

1) 수원측정소의 데이터 분석

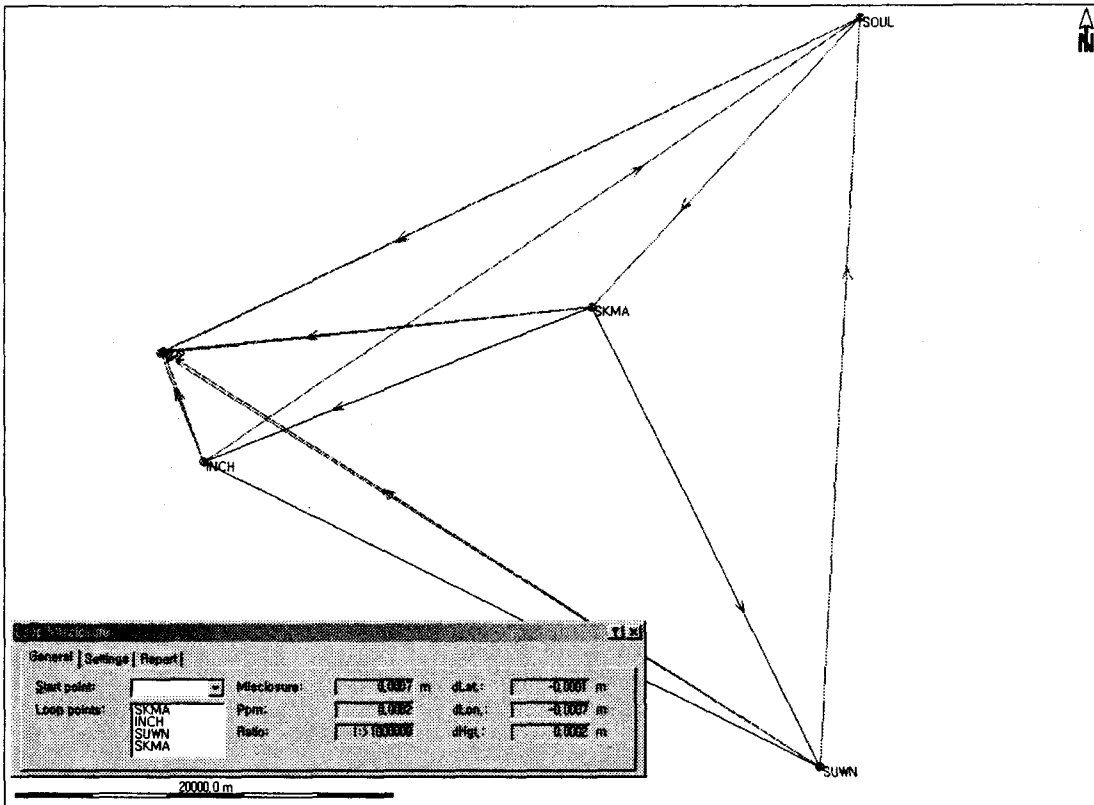


그림 3.1 전체 상시관측소와 실험측정소 데이터의 삼각망구성

수원측정소 데이터의 경우 IGS 기준국으로 그 정밀도가 높다고 볼 수 있으며, RINEX 명은 SUWN이다. 점 A를 기준으로 기준타원체 상의 평면거리는 41036.1298m, 기준타원체 상의 높이는 0.0543m, 경사거리는 41036.5876m였으며, 폐합차는 0.0206m으로 x축의 오차는 -0.018m, y축의 오차는 -0.0037m, z축으로의 오차는 0.0202m를 나타내었다. 또한, 오차의 정도는 0.2511PPM이었다. 폐합차 0.0206m를 "GPS를 이용한 정밀 1,2차 기준점 측량 작업규정"의 오차 허용값인 $1\text{PPM} \times D(41.036\text{km}) = 0.0410\text{m}$ 와 비교하였을 때 그 이내에 들어움을 알 수 있었으며, 1PPM과 0.2511PPM을 비교하였을 때 관측 값이 매우 정확함을 알 수 있었다.

2) 서울측정소의 데이터 분석

서울측정소 데이터의 경우 RINEX명은 SOUL이다. 점 A를 기준으로 기준타원체 상의 평면거리는 40989.2853m, 기준타원체 상의 높이는 -23.1906m, 경사거리는 40989.6315m였으며, 폐합차는 0.0118m으로 x축의 오차는 0.0074m, y축의 오차는 0.0041m, z축으로의 오차는 0.0083m를 나타내었다. 또한, 오차의 정도는 0.1439PPM이었다. 폐합차 0.0118m를 "GPS를 이용한 정밀 1,2차 기준점 측량 작업규정"의 오차 허용값인 $1\text{PPM} \times D(40.989\text{km}) = 0.0410\text{m}$ 와 비교하였을 때 그 이내에 들어움을 알 수 있었으며, 1PPM과 0.1439PPM을 비교하였을 때 관측 값이 매우 정확함을 알 수 있었다.

3.2.2 한국천문연구원 상시관측소 데이터 사용 삼각망 폐합차 분석

한국천문연구원의 데이터 사용시 주요 제한은 다음과 같다. 데이터처리시스템은 Bernese ver4.2를 사용한다. GPS수신기는 트림블사의 4000-SSI이며, RTCM(Radio Technical Commission for Maritime service) 출력데이터는 가능하나 RTK(Real Time Kinematic) 출력데이터는 현재 제공되지 않는다. 안테나 모델은 트림블 초크링 안테나를 사용하고, 통신장치는 ISDN을 사용하며, 운영현황으로는 위성 자료

취득 가능 각도는 15도, 데이터 취득 시간 15초, 세션 간격 1시간이며, RINEX명은 SKMA이다.

한국천문연구원의 데이터의 경우 점 A를 기준으로 기준타원체 상의 평면거리는 22875.3602m, 기준타원체 상의 높이는 -20.5349m, 경사거리는 22875.6149m였으며, 폐합차는 0.0129m으로 x축의 오차는 0.0098m, y축의 오차는 0.0030m, z축으로의 오차는 0.0105m를 나타내었다. 또한, 오차의 정도는 0.2810PPM이었다. 두 지점의 거리가 30km 이내이므로 폐합차 0.0129m를 "GPS를 이용한 정밀 1,2차 기준점 측량 작업규정"의 오차 허용값인 30mm와 비교하였을 때 그 이내에 들어움을 알 수 있었으며, 1PPM과 0.2810PPM을 비교하였을 때 관측 값이 매우 정확함을 알 수 있었다.

3.2.3 행정자치부 지적과 상시관측소 데이터 사용 삼각망 폐합차 분석

행정자치부 지적과 인천측정소 데이터 사용시 주요 제한은 다음과 같다. 데이터처리시스템은 Bernese ver4.2를 사용한다. GPS수신기는 트림블사의 4000-SSI이며, 안테나 모델은 트림블 정밀중심 안테나를 사용하고, 통신장치는 ISDN을 사용하며, 운영현황으로는 위성 자료취득 가능 각도는 15도, 데이터 취득 시간 15초, 세션간격 1시간이며, RINEX 명은 INCH이다.

행정자치부 지적과 인천측정소 데이터의 경우 점 A를 기준으로 기준타원체 상의 평면거리는 6099.7988m, 기준타원체 상의 높이는 6.3418m, 경사거리는 6099.8797m였으며, 폐합차는 0.0024m으로 x축의 오차는 -0.0011m, y축의 오차는 0.0022m, z축으로의 오차는 -0.0003m를 나타내었다. 또한, 오차의 정도는 0.1963PPM이었다.

행정자치부 지적과의 인천측정소의 경우 실험지역과 불과 6km정도 떨어진 지점에 위치하고 있으며, 폐합차 0.0024m를 "GPS를 이용한 정밀 1,2차 기준점 측량 작업규정"의 오차 허용값인 30mm와 비교하였을 때 그 이내에 들어움을 알 수 있었으며, 1PPM과 0.1963PPM을 비교하였을 때 관측 값이 매우 정확함을

을 알 수 있었다.

3.2.5 상시관측소간의 삼각망 폐합차 분석

각 상시관측소간의 폐합차는 표 3.1과 같다. 표에서 각 상시관측소간의 폐합차는 1~2mm수준으로 인천대학교 구내의 두 실험 지점과의 폐합차 보다 정밀도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 인천대학교 구내의 두 실험지점에서의 관측시간이 3시간인데 비하여 상시관측소에서의 관측시간이 24인데 기인한 것으로 생각된다. 즉 측정 시간이 길면 길수록 정밀도가 높아지는 GPS의 특성을 나타냄을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구의 결과는 다음과 같다.

GPS 상시관측소의 데이터를 사용하여 정밀도를 분석하였을 때 국립지리원 수원측정소와 실험 지역인 인천대학교 구내의 두 점간의 폐합차는 0.0206m이었고 서울측정소와 실험 지역 두 점간의 폐합차는 0.0118m이었다. 한국천문연구원 서울측정소의 데이터와 실험 지역 두 점간의 폐합차는 0.0129m이고 행정자치부의 지적과 인천측정소의 데이터와 실험 지역 두 점간의 폐합차는 0.0024m이었다. 이러한 측량결과는 상시관측소의 데이터를 사용할 경우 GPS를 이용한 정밀 1,2차 기준점 측량 작업규정에 명시된 오차한계인 거리 30km미만시 30mm, 거리 30km 이상 1PPM×D(km)과 비교하여 볼 때 매우 정밀함을 알 수 있었다.

GPS 상시관측소의 데이터 이용시 데이터 취득 자체는 비교적 용이하나, 데이터의 취득이 웹 서비스

표 3.1 상시관측소간의 삼각망 폐합차

삼각망 구성 측정소	폐합차(m)	거리(km)
천문연구원 서울측정소 행정자치부 인천측정소 국립지리원 수원측정소	0.0021	행정자치부 인천측정소→ 천문연구원 서울측정소 : 22 천문연구원 서울측정소→ 국립지리원 수원측정소 : 27 국립지리원 수원측정소→ 행정자치부 인천측정소 : 36
천문연구원 서울측정소 국립지리원 수원측정소 국립지리원 서울측정소	0.0011	천문연구원 서울측정소→ 국립지리원 수원측정소 : 27 국립지리원 수원측정소→ 국립지리원 서울측정소 : 39 국립지리원 서울측정소→ 천문연구원 서울측정소 : 21
천문연구원 서울측정소 행정자치부 인천측정소 국립지리원 서울측정소	0.0005	천문연구원 서울측정소→ 행정자치부 인천측정소 : 22 행정자치부 인천측정소→ 국립지리원 서울측정소 : 41 국립지리원 서울측정소→ 천문연구원 서울측정소 : 21
행정자치부 인천측정소 국립지리원 서울측정소 국립지리원 수원측정소	0.0011	행정자치부 인천측정소→ 국립지리원 서울측정소 : 41 국립지리원 서울측정소→ 국립지리원 수원측정소 : 39 국립지리원 수원측정소→ 행정자치부 인천측정소 : 36

와 BEACON 방식 라디오 전파 송출, 메일 발송, 정식 공문 요청 등으로 일원화 되어있지 못하였고, 현재 실시간 데이터 취득은 불가능하였다. GPS 측량의 이용도가 높아지고 있는 현 시점에서 볼 때 통합된 관련 법령의 개정으로 실시간 GPS 상시관측소의 데이터 제공이 시급하다고 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 동북아 물류연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

1. 양근우 (2002) “GPS를 이용한 지적측량 개선방안”, 제 3회 측량의날 기념 및 측량기술진흥대회 제1회 GPS 활용 Workshop, pp 153~176
2. 강봉서 (2002) “ITRF2000 측지계에 준거한 GPS 상시관측소의 정밀 성과 산출에 관한 연구”, 경기대학교 박사논문
3. 차득기 (2000) “실시간 DGPS에 의한 원격측위 및 자동화유도에 관한 연구”, 경기대학교 박사논문
4. 이용창 (1999) “정밀절대측위기법에 의한 GPS 기준점 좌표의 산정”, 한국측지학회, 제 17권 2호, pp.145~152.
5. Parkinson, B. W. and Spiker J. J. Jr., (1996) “Global Positioning System: Theory and Applications Volume I,II”, Progress in Astronautics and Aeronautics.
6. 건설교통부 국립지리원 (2002) “GPS 상시관측소의 활용 및 자료제공 방안에 관한 연구”.
7. <http://www.ngi.go.kr/> : 국립지리원 홈페이지
8. <http://www.gps.re.kr/> : 한국천문연구원 홈페이지
9. <http://www.kasm.or.kr/> : 한국측량협회 홈페이지