

국토지리정보원 GPS 상시관측소 관측환경 분석

Analysis of Site Environment at Permanent GPS Stations Operated by National Geographic Information Institute

박관동¹⁾ · 김혜인²⁾ · 원지혜³⁾

Park, Kwan Dong · Kim, Hye In · Won, Ji Hye

Abstract

National Geographic Information Institute has installed the first permanent Global Positioning System (GPS) station SUWN in 1995 and, as of today, the number of sites is 14. In this study, we visited all the 14 stations and determined if the site mount and antenna configuration conforms to the international site guidelines published by International GNSS Service and National Geodetic Survey. The environment around each station was also checked for the possibility of causing positioning errors. In addition, the GPS data quality was evaluated using the quality-checking program called TEQC. As a result of site visits, we found that four stations (TABK, CHJU, KWNJ, and WNJU) have unfavorable environment and TEQC results validated it. TEQC results also showed that the GPS receiver change during years 2005-2006 reduced the multipath errors and the number of cycle slips at every station.

Keywords : GPS, permanent GPS station, TEQC, multipath, cycle slip

초 록

국토지리정보원은 1995년 수원 관측소 설치를 시작으로 현재 14개소의 GPS 상시관측소를 운영하고 있다. 이 연구에서는 14개 관측소를 모두 방문하고 IGS와 NGS의 사이트 가이드라인에 적합한 안테나와 지지대를 유지하고 있는지, 그리고 관측소 주변 환경으로 인해 측위오차가 발생할 가능성이 있는지를 조사하였다. 또한 현장조사 결과를 TEQC 프로그램을 이용한 GPS 데이터 품질평가 결과와 비교하였다. 현장조사 결과 태백, 제주, 광주, 그리고 원주 관측소의 관측환경은 충분한 시야각이 확보되지 않고 다중경로 오차 유발 요인이 다수 존재하는 등의 문제점이 있음을 파악하였고, 이는 TEQC 품질평가를 통해서도 입증되었다. 그리고 2005-2006년 사이에 진행된 GPS 수신기 교체에 의해 국토지리정보원 GPS 상시관측소의 다중경로 오차와 사이클슬립 개수가 감소되었음을 발견하였다.

핵심어 : GPS, 상시관측소, TEQC, 다중경로 오차, 사이클슬립

1. 서 론

GPS(Global Positioning System) 상시관측소란 고정밀 GPS 안테나와 수신기를 이용하여 365일, 24시간 항시 GPS 위성신호를 수신·저장하는 관측소를 의미한다. GPS 상시관측소는 일반인들에게 친숙한 ‘차량용 내비게이션’ GPS 장비와는 달리, 측지용 고가의 안테나를 지지대에

연결하고, 그 지지대를 지표면 아래 기반암에 안정적으로 설치한 것이다. 2007년 6월 현재 국내에는 약 80개소의 GPS 상시관측소가 6개 기관에 의해 운영되고 있다(국토지리정보원, 2007). 국토지리정보원은 1995년 수원 관측소를 시작으로 현재 14개 관측소를 운영하고 있으며, 이를 이용해 다양한 GPS 응용분야에서 측지 및 측량의 국가 인프라 기능을 수행하고 있다.

1) 연결저자 · 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 지리정보공학과 조교수(E-mail:kdpark@inha.ac.kr)

2) 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 지리정보공학과 석사과정(E-mail:hikim@inhaian.net)

3) 정회원 · 인하대학교 사회기반시스템공학부 지리정보공학과 석사과정(E-mail:jhwon@inhaian.net)

GPS의 활용 범위가 확대되고 산업·경제적 파급효과가 증대됨에 따라 보다 정확한 위치정보에 대한 요구 또한 높아지고 있다(박관동 등, 2006). 특히 국토지리정보원은 실시간으로 수 cm 수준의 측위 정확도를 제공할 수 있는 가상 기준점(VRS, Virtual Reference Station) RTK(Real-Time Kinematic) 기준망 서비스를 제공하고 있다. VRS-RTK에 있어 실제 기준점의 좌표 정확도가 가상 관측치 생성에 큰 영향을 미치기 때문에, 실제 기준점 역할을 하는 GPS 상시관측소의 정확한 좌표산출이 매우 중요하다(최운수 등, 2004; 국토지리정보원, 2007). 정확한 관측소 좌표를 계산하기 위해서는 관측소의 안정성은 필수 조건이며, 더불어 GPS 측위오차 발생 원인에 대한 철저한 분석이 필요하다.

GPS 측위오차는 위성궤도력 오차, 대류권과 전리층에 의한 오차, 위성과 수신기 시계오차 등 다양한 발생 원인에 따라 분류되는데, 대부분의 측위오차는 통계학적 추정이나 첨단 관측모델에 의해 제거 혹은 감소시킬 수 있다. 그러나 다중경로 오차처럼 각 관측소의 주위환경에 따라 그 크기와 영향이 다른 측위오차에 대한 정량적인 분석은 어려운 실정이다. 또한 빈번히 발생하는 사이클슬립(cycle slip)은 VRS-RTK 측량에 있어 모호정수(integer ambiguity) 재결정이라는 추가적인 문제를 야기한다. 그러므로 다중경로 오차와 사이클슬립 발생빈도를 관측소 별로 분석해 GPS 상시관측소의 안정성을 평가할 필요가 있다.

GPS 데이터 품질평가 프로그램인 TEQC를 이용해 국내 GPS 상시관측소 데이터 품질을 평가하는 연구결과가 여러 차례 발표되었지만(Park et al., 2004; 윤홍식 등, 2006), TEQC 결과를 현장조사와 관련지어 분석한 사례는 없었다. 이 연구에서는 국토지리정보원 GPS 상시관측소를 모두 방문하여 관측환경을 점검하였으며, 그 결과를 TEQC 분석결과와 비교·검증하였다. 또한 14개 상시관

측소의 수신기 교체와 임계고도각(elevation cutoff angle) 변경에 따른 GPS 데이터 품질변화를 분석하였다.

2. 국토지리정보원 GPS 상시관측소 현황

국토지리정보원은 측량분야를 포함한 다양한 GPS 기술의 응용분야 지원 및 확대를 위해 14개소의 GPS 상시관측소를 구축하였다(국토지리정보원, 2007). 1995년 최초로 설치된 수원 관측소는 국토지리정보원 구내에 위치하고 있으며, 1997년에 IGS(International GNSS Service) 관측소로 승인됨에 따라 국토지리정보원이 공식적인 IGS 활동을 시작하게 되었다. 현재 국토지리정보원 GPS 상시관측소는 14개소가 운영 중이며, 주로 국립대학과 정부기관(기상청, 기상대, 상수도사업소 등)에 위치하고 있다. 각 관측소의 명칭과 소재지를 표 1에 나타내었다.

14개 상시관측소는 모두 장비 수납형 안테나 필라(pillar) 형식으로 지지대가 설계되어 있으며, 무인으로 운영된다. 관측소 장비사양은 모두 동일하며, 수신기는 Trimble NetRS 이고 안테나는 Trimble 29659.00이다. 국토지리정보원 구내에 위치한 중앙 데이터센터는 GPS 관측소를 원격으로 제어할 수 있으며, 데이터의 수신, 변환, 백업 등의 기본 기능과 더불어 GPS 데이터 품질평가 및 고정밀 처리 과정을 자동으로 수행한다.

3. GPS 상시관측소 관측환경 분석 방법

국토지리정보원의 GPS 상시관측소의 관측환경 평가를 위해 먼저 IGS와 NGS의 사이트 가이드라인을 분석하였으며, 이를 바탕으로 14개 상시관측소를 모두 방문하여 사이트 가이드라인에 적합한 안테나 지지대와 관측환경을 유지하고 있는지 조사하였다. 그리고 TEQC를 이용해

표 1. 국토지리정보원 GPS 상시관측소 명칭 및 소재지

No	관측소 명칭		관측소 소재지	No	관측소 명칭		관측소 소재지
	영문	국문			영문	국문	
1	CHJU	제주	제주 기상청	8	SNJU	상주	상주대학교
2	CNJU	청주	충북대학교	9	SOUL	서울	서울산업대학교
3	JINJ	진주	진주 상수도사업소	10	SUWN	수원	국토지리정보원
4	JUNJ	전주	전북대학교	11	TABK	태백	강원관광대학
5	KANR	강릉	강릉대학교	12	TEGN	대구	경일대학교
6	KWNJ	광주	전남대학교	13	WNJU	원주	원주 기상대
7	SEOS	서산	서산 기상대	14	WULJ	울진	울진 기상대

약 6년간의 GPS 데이터의 품질을 평가하고 그 결과를 현장조사 결과와 비교하였다.

3.1 사이트 가이드라인과 현장조사

약 70여개 국가가 참여하고 현재 약 400여개 GPS 상시관측소를 보유한 국제기구인 IGS는 GPS 상시관측소 장비 및 설치·운영 등에 관한 규정을 담은 사이트 가이드라인을 작성하고 모든 IGS 관측소가 이를 준수하도록 요구하고 있다. 따라서 전 세계적으로 가장 많이 사용되는 사이트 가이드라인은 IGS 사이트 가이드라인이라 할 수 있다(국토지리정보원, 2007). IGS 사이트 가이드라인은 현재 IGS 중앙사무국(Central Bureau)에서 관리하고 있으며 이 연구에서 참고한 것은 2006년 6월 판이다. 그리고 미국의 측지·측량 분야 대표기관인 NGS(National Geodetic Survey)도 자체 사이트 가이드라인을 보유하고 있다. NGS 사이트 가이드라인의 정식명칭은 “Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations”이다. 여기서 Continuously Operating Reference Station은 GPS 상시관측소로 번역될 수 있다(국토지리정보원 2007). 이 연구에서 참고한 NGS 사이트 가이드라인은 2006년 2월 판이다.

IGS와 NGS의 사이트 가이드라인은 GPS 안테나와 지지대 및 케이블 관련 요구사항, 관측소가 설치된 지반의 특성 및 데이터 기록과 전송에 관련된 엄격한 조건들을 제시하고 있다. 국토지리정보원 GPS 상시관측소 중 수원을 제외한 13개 관측소는 동일한 형태의 4m 높이의 필라형 지지대와 설치대를 보유하고 있으며, 이는 엄격한 기준을 유지하고 있는 일본 국토지리원 GPS 상시관측소의 구성과 유사한 형태이다. 따라서 국토지리정보원 GPS 상시관측소는 IGS와 NGS 사이트 가이드라인에서 규정하고 있는 안테나 지지대 관련 요구조건을 대부분 만족한다고 판단할 수 있으나, 각 관측소마다 주위환경이 다르기 때문에 개별적인 조사가 필요하다. 물론 최근의 연구결과에 의하면 일본 국토지리원 GPS 상시관측소의 필라형 지지대가 계절에 따른 온도변화에 의해 열팽창과 수축을 반복하고 있기 때문에 정밀 측지에 있어 계절적인 측위오차를 유발하고 있다고 밝혀졌다. 이러한 주장을 뒷받침하기 위해서는 국토지리정보원 관측소의 데이터를 장기간 처리하고 그 좌표시계열을 분석할 필요가 있으나, 좌표시계열 분석은 이 연구에서 제외하였다.

관측환경 조사를 위해 국토지리정보원 홈페이지에서 관측소의 사진을 확인하였으나, 각 관측소마다 1장씩만

제공되는 사진만으로는 정확한 관측환경을 평가할 수 없었다. 따라서 보다 확실한 조사를 위해 14개 관측소를 모두 방문하였고, 각 관측소당 약 50장의 사진을 촬영하고, 관측환경 평면도 1장, 환경점검표 1매씩을 작성하였다(국토지리정보원, 2007). 환경점검표에는 GPS 위성 시야각이 취약한 방위, 주변 장애물(건물과 수목 등)의 위치 및 높이, 그리고 특이사항 등을 기록함으로써 현장조사 후에도 참고자료로 활용하게 하였다. 현장조사 결과 문제점이 발견된 관측소에 대해서는 4.1절에 자세히 기술하였다.

3.2 TEQC 품질평가

국토지리정보원 GPS 상시관측소의 데이터 품질을 평가하기 위해 UNAVCO(University NAVstar Consortium)에서 개발해 일반에게 무상으로 제공하는 TEQC(Translation, Editing, and Quality-Checking) 프로그램을 사용하였다. GPS 수신기에서 수집된 데이터를 TEQC로 처리하면 데이터 수신율, 수신기 시계오차, 사이클슬립, 다중경로 오차, GPS 위성의 고도각 및 방위각 등 다양한 정보를 얻을 수 있다(Estey and Meertens, 1999). 이 연구에서는 14개 관측소 전체를 대상으로 각 관측소의 운영시작일로부터 2007년 6월 16일까지의 모든 데이터를 TEQC로 처리하였다. TEQC 분석에는 네 가지 품질평가 지표를 사용하였는데, 이는 관측개수(# of obs.), L1과 L2에서의 다중경로 오차(MP1, MP2), 그리고 1000회 관측 당 사이클슬립 발생 횟수이다. 첫 번째 지표인 관측개수는 관측소의 시야각 확보 수준을 판단할 수 있는 지표로 관측소 주위에 장애물이 다수 존재할 때 그 개수가 현저히 낮아지게 된다. 그리고 미터 단위로 표현되는 다중경로 오차 지표인 MP1과 MP2는 관측소 주위에 존재하는 다중경로 오차 유발 요인을 평가하는 지표로 건물의 지붕과 벽 등의 반사면이 많을 경우, 그리고 수목이 많을 때 그 수치가 커지게 된다. 마지막으로 사이클슬립 발생개수는 GPS 장비의 안정성 등을 평가하는 근거가 된다. 그림 1은 TEQC를 이용해 수원 관측소의 데이터를 하루 단위로 처리한 결과로 산출된 4개 품질평가 지표의 시계열을 보여주는 그림이다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 TEQC를 이용한 GPS 데이터 품질평가는 장기간 분석을 할 경우 품질평가 지표의 변화양상과 상대적 품질저하 기간 등을 파악할 수 있다. 그리고 TEQC 결과는 GPS 수신기 기종에 따라 그 결과가 달라지기 때문에 수신기 기종이 변경된 시점도 발견할 수 있다. 그림 1을 보면 2005년 상반기의 한 시점을 기준으로

로 모든 평가지표의 시계열에 점프가 발생함을 알 수 있다. 조사결과 2005년 2월 2일 수원관측소의 GPS 수신기가 Trimble 4000SSI에서 Trimble NetRS로 교체되었음을 확인할 수 있었다. 그림 1의 첫 그래프(# of obs.)를 보면 2005년 2월 2일 이후 관측개수가 소폭 상승한 사실을 알 수 있다. 그러나 수신기 교체에 따라 MP1과 MP2 그리고 사이클슬립 발생빈도가 변경될 수는 있으나 관측개수의 증감은 있을 수 없다는 판단으로 그 원인을 조사하였다. 조사 결과 수신기 교체 이전에 10°로 설정되어 있던 임계고도각이 수신기 교체와 함께 0°로 변경되었음을 알 수 있었다. 임계고도각이 0°로 변경되어 고도각이 낮은 GPS 위성의 관측치가 추가적으로 수신기에 기록됨으로써 관측개수가 증가한 것이다.

TEQC 분석결과를 수신기 교체시기와 같이 비교해보기 위해 국토지리정보원 GPS 상시관측소의 수신기 교체시

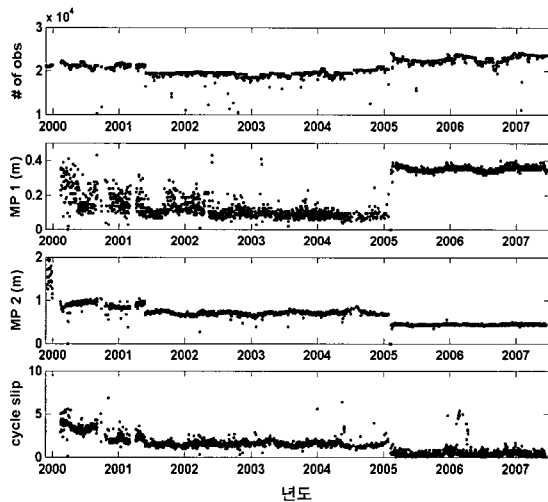


그림 1. 수원 관측소의 8년간 TEQC 품질평가 지표 변화

기를 표 2에 정리하였다. 수신기 교체시기에 따라 14개 관측소를 A, B, C의 세 그룹으로 분류하였다. 그룹 A는 2005년 2월, B는 2005년 12월 그리고 C는 2006년 12월에 교체된 관측소이다.

4. GPS 상시관측소 관측환경 분석 결과

4.1 현장조사 결과

국토지리정보원 GPS 상시관측소 14개소를 방문 조사한 결과 상수도사업소에 설치된 진주 관측소와 기상대에 위치한 서산 관측소의 GPS 안테나의 경우 시야각이 모든 방향으로 5° 이상 확보되어 있어 완벽에 가까운 관측환경을 보유하고 있었다. 그러나 많은 관측소에서 주변에 위치한 수목 혹은 건물로 인해 충분한 시야각을 확보하지 못하는 문제점이 발견되었다. 그 중 특히 문제가 심각하다고 판단되는 4개 관측소는 제주, 광주, 태백, 그리고 원주 관측소로 각각의 특성과 문제점을 아래에서 자세히 기술하였다. 그림 2는 문제점이 발견된 4개 관측소의 사진을 보여준다.

4.1.1 제주 관측소 문제점

제주기상청에 위치한 제주 관측소를 방문한 결과 국토지리정보원 홈페이지에서 제공하는 관측소 사진에서는 확인할 수 없었던 사실이 발견되었다. 과거에 존재하지 않았던 금속재질의 주차장 지붕이 신설되었으며, 동향으로 5m 떨어진 곳에 4층 건물이 위치하고 있다(그림 2 참고). IGS와 NGS 사이트 가이드라인에 의하면 GPS 관측소는 다중경로 오차를 유발할 수 있는 반사성이 강한 표면, 건물, 나무 등으로부터 멀리 떨어져야 한다. 따라서 제주 관측소의 경우 현장조사 결과 다중경로 오차가 높게

표 2. 국토지리정보원 GPS 상시관측소 수신기 교체시점

그룹	관측소	교체일	그룹	관측소	교체일
A	수원	2005년 02월 02일	B	전주	2005년 12월 16일
	원주	2005년 02월 09일		강릉	2005년 12월 16일
	서울	2005년 02월 17일		대구	2005년 12월 16일
C	제주	2006년 12월 19일		청주	2005년 12월 17일
	진주	2006년 12월 19일		상주	2005년 12월 17일
	광주	2006년 12월 19일		태백	2005년 12월 17일
	서산	2006년 12월 19일		울진	2005년 12월 17일

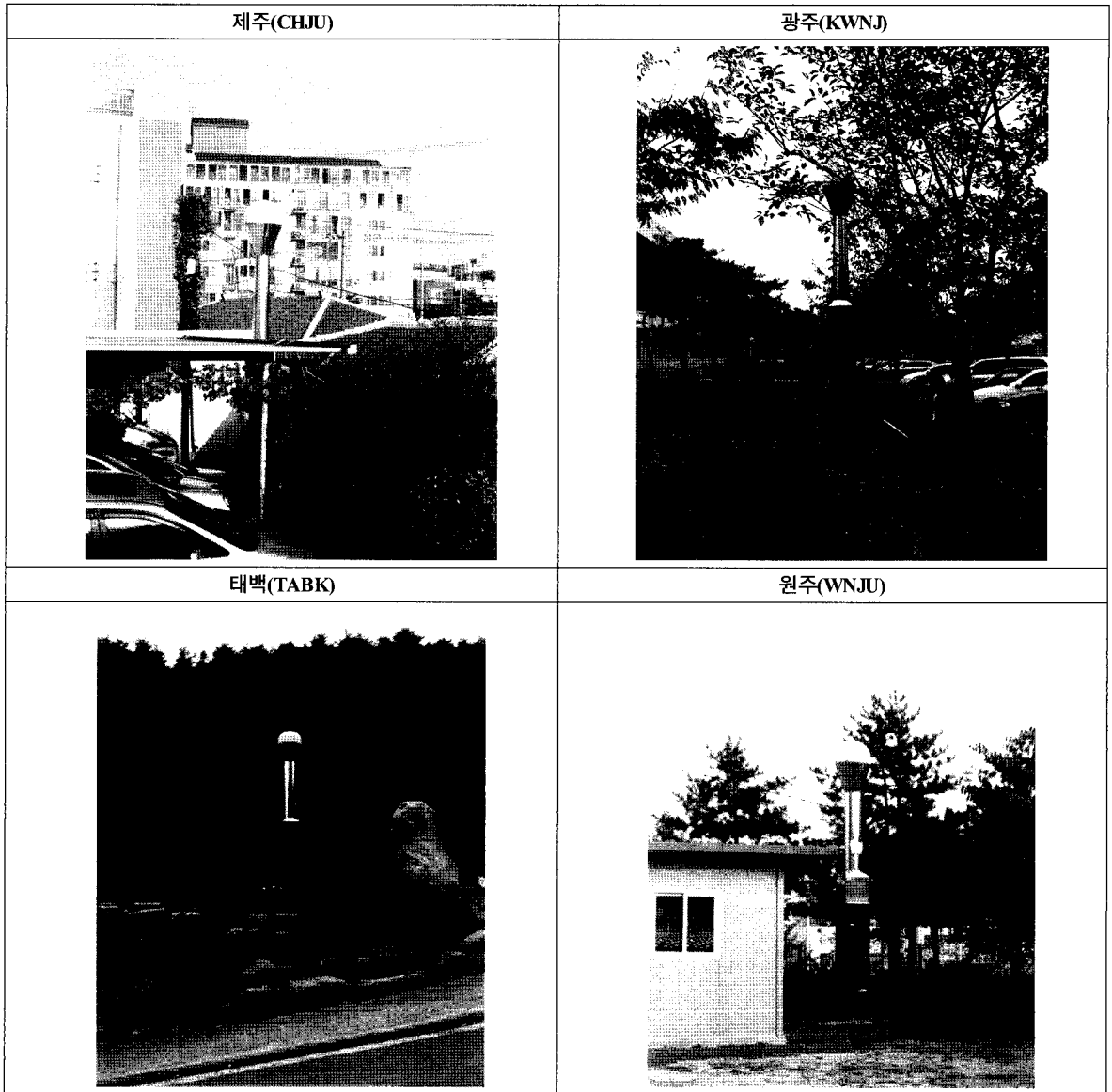


그림 2. 문제점이 발견된 4개 GPS 상시관측소 전경

나타날 것이라는 것을 예상할 수 있었으며, 이러한 추측은 4.2절에 기술한 TEQC 분석결과와 14개 관측소 중 제주 관측소의 다중경로 오차가 가장 높게 나타나 현장조사에 근거한 추측이 사실임이 확인되었다. GPS 상시관측소 입지선정 단계에서 기존에 건축된 건물은 제거하지 못한다 하더라도, 주차장 자봉과 같이 GPS 측위오차를 유발할 수 있는 장애물을 새로 설치하지 않아야 한다.

4.1.2 광주 관측소 문제점

전남대학교 교내에 위치한 광주 관측소는 남북방향으로 각각 2층 높이의 건물이 인접해 있고, 동서방향 모두 나무가 위치하고 있다. 남북방향으로 존재하는 건물의 경우 남쪽으로 약 10m, 북쪽으로 약 15m 가량 떨어져 있어 15° 이상의 시야각을 확보할 수 있으나, 동서 방향의 나무는 GPS 안테나와의 거리가 5m 이내이며, 나무의 높이는 안테나 상단보다 약 50cm 정도 높다(그림 2 참고). 나무가 지속적으로 성장함에 따라 GPS 신호차폐 현상은 점

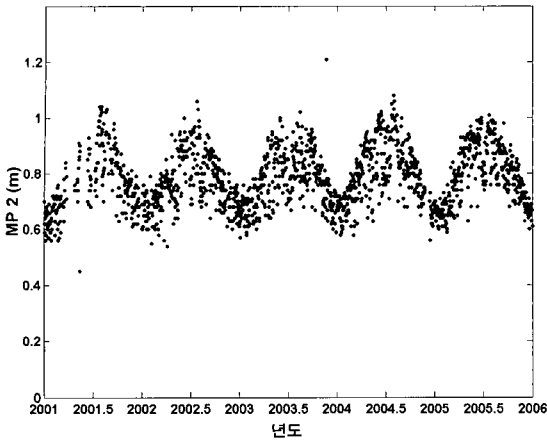


그림 3. 광주 관측소 L2 다중경로 오차의 계절에 따른 변동

차 심각하게 발생할 것으로 판단된다. 또한 여름철의 무성한 나뭇잎은 다중경로 오차를 유발하는 요인이 될 수 있다. 광주 관측소에서 수집된 장기간의 데이터를 TEQC로 처리한 결과 L2 신호의 다중경로 오차가 나뭇잎이 무성한 여름철에 증가하고 겨울철에 감소하는 경향이 확연히 나타남을 알 수 있었다. 그림 3은 2001년 1월 1일에서 2005년 12월 31일까지 5년 동안 하루 단위로 계산한 L2 다중경로 오차 지표 시계열을 보여준다. 그림 3을 보면 MP2 지표의 최대치를 보이는 여름철에는 ~1.0m, 최소치를 보이는 겨울철에는 ~0.6m까지 대략 0.5m의 진폭을 가지면서 1년 주기로 일정하게 반복되는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이렇게 큰 진폭의 계절적 신호는 광주 관측소를 제외한 나머지 13개 관측소에서는 발견되지 않고 있으므로, 광주 관측소만의 특성이라 할 수 있다.

4.1.3 태백 관측소 문제점

강원관광대학에 위치한 태백 관측소는 정남향으로 50m 거리에 약 40m 높이의 언덕이 있으며, 언덕에는 소나무가 조밀하게 분포하고 있다(그림 2 참고). 또한 남동향으로 공사현장이 두 곳이 있는데, 한 곳은 GPS 상시관측소로부터 약 200m 거리에 20층 이상의 아파트 신축공사 현장이며, 비슷한 방향으로 70m 떨어진 곳에 10층 이상 높이의 건물 공사가 진행 중이다. 한국은 북반구 중위도에 위치하고 있어 대부분의 GPS 위성 궤적이 남향과 동서 방향으로 집중되어 있음을 고려할 때 14개 상시관측소 중 최악의 관측환경이라 판단되었다. 그러한 추측은 TEQC 분석결과로도 입증되었다. TEQC 분석결과 시야

각 확보를 저해하는 관측환경으로 인해 태백 관측소의 관측개수가 14개 관측소 중 최저로 나타났다. 더욱 우려되는 점은 아파트 신축공사가 완공될 경우 태백 관측소의 관측환경은 더욱 악화될 것으로 예상된다. 것이다.

4.1.4 원주 관측소 문제점

원주기상대에 위치한 원주 관측소의 경우, 현재에는 관측환경에 있어 큰 문제가 발생하고 있지 않지만, 1-2년 이내에 다중경로 오차를 유발할 것으로 판단되는 나무가 안테나에 인접해 있다. 국토지리정보원 홈페이지에서 과거 원주 관측소의 사진을 확인할 수 있었는데 당시만 해도 GPS 안테나보다 높이가 낮았던 소나무들이 현재는 GPS 안테나와 비슷한 높이로 성장한 것을 확인하였다(그림 2 참고). 그리고 서향으로도 빛나무 등 다수의 나무가 분포되어 있다. 이러한 환경은 현재로서는 큰 문제를 유발하지 않지만, 추후 나뭇잎에 의한 다중경로 오차가 발생할 것으로 추정되므로 나무를 옮겨 심거나 제거하는 등의 조치가 필요하다고 판단된다.

4.2 TEQC 분석 결과

TEQC 분석에는 표 2에 나타난 최종 수신기 교체시기인 2006년 12월 19일 이후부터 2007년 6월 16일까지 약 180일 동안 수집된 데이터를 이용하였다. 일별로 품질평가지표를 구하고 이를 시계열로 작성한 뒤, 평균값을 구해 표 3에 나타내었다.

표 3을 보면 진주, 서산, 대구, 원주, 그리고 울진 관측소가 평균 25000개 이상의 관측개수를 기록하였다. 이는 GPS 안테나와 위성간의 시선방향에 건물 혹은 수목 등의 장애물이 거의 존재하지 않는다는 것을 의미하며, 현장조사 결과와도 일치하는 것이다. 그 중 진주와 서산은 26000개 이상의 관측개수를 기록해 4.1절에서 소개한 현장조사 결과와 같이 최고의 시야각을 확보한 관측소임이 증명되었다. 반면에 가장 적은 관측개수를 기록한 태백 관측소는 4.1절에서 남향에 위치한 언덕과 수목, 그리고 남동향에 위치한 아파트 신축공사 등으로 인해 시야각이 좋지 않은 관측소로 지적된 곳이다. 최고의 관측개수를 기록한 서산과 비교할 때 태백의 관측개수는 서산보다 약 25% 적은 관측개수이다. 표 3의 결과를 시각적으로 비교하기 위해 그림 4에 도식화하였다.

그림 4를 보면 다중경로 오차 지표인 MP1과 MP2 모두 강릉이 최소값을 보이고 있고 서울 관측소가 강릉 관

표 3. 국토지리정보원 상시관측소 TEQC 품질평가 지표 평균치

관측소	관측개수	MP1 (m)	MP2 (m)	사이클슬립	관측소	관측개수	MP1 (m)	MP2 (m)	사이클슬립
제주	23900	0.43	0.58	0.69	상주	22825	0.45	0.42	0.84
청주	24100	0.40	0.47	0.68	서울	23775	0.33	0.42	1.05
진주	26344	0.43	0.45	0.64	수원	23256	0.36	0.44	0.40
전주	24536	0.34	0.45	0.54	태백	20250	0.42	0.44	0.61
강릉	23436	0.32	0.38	0.20	대구	25613	0.40	0.46	0.58
광주	22878	0.34	0.48	0.72	원주	25205	0.42	0.53	0.82
서산	26369	0.34	0.44	0.37	울진	25866	0.36	0.46	0.76

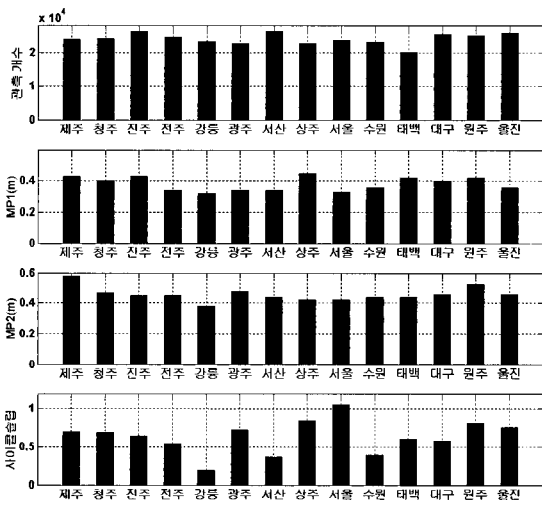


그림 4. 국토지리정보원 상시관측소 TEQC 품질평가 지표 평균치

측소 다음으로 낮은 지표값을 가지므로, 강릉과 서울의 관측환경이 다중경로 오차를 최소화하는 관측환경임을 알 수 있다. MP1과 MP2의 최대값은 제주 관측소에서 발생하고 있어, 4.1절의 현장조사에서 제주 관측소에 위치한 주차장 지붕과 동향에 인접한 건물에 의해 다중경로 오차가 크게 발생함을 알 수 있다. 사이클슬립의 경우 강릉 관측소와 서울 관측소가 각각 최소와 최대치를 기록하

였다. 두 관측소 모두 다중경로 오차를 나타내는 지표가 가장 낮았음에도 불구하고 사이클슬립 개수 발생 빈도는 전혀 다른 특성을 보인다. 이렇게 상이한 특성을 정량적으로 분석하기 위해 MP1/MP2 지표와 사이클슬립 지표의 상관계수를 계산한 결과 모두 0.35 이하로 나타났다. 따라서 다중경로오차와 사이클슬립 발생과는 큰 상관관계가 없다고 판단된다.

4.3 수신기 교체에 따른 영향

수신기 교체로 인한 TEQC 품질평가 지표 변화양상을 분석하기 위해 표 2에 기록된 수신기 교체일자 전후로 각 1년씩 처리한 TEQC 결과를 비교하였다. 이 비교에서 표 2의 C 그룹에 포함된 관측소는 제외하였는데, 그 이유는 이들 4개 관측소들은 수신기 교체 이후 1년이 경과하지 않았기 때문이다. C 그룹의 4개소를 제외한 10개 관측소의 TEQC 품질평가지표의 증감량을 백분율로 계산해 표 4에 나타내었다.

수신기 교체로 인한 영향을 평가한 결과, 각 지표의 변화 양상은 모든 관측소에서 유사하게 나타났다. 표 4에서 수원 관측소의 MP1 증가량이 311%로 지나치게 높은 이유는 교체 이전에 0.09이었던 지표 값이 0.37로 대폭 증가하였기 때문이다. 그러나 수신기 교체 후 10개 관측소 MP1의 평균치가 0.38임을 고려할 때 수원 관측소에 문제

표 4. 백분율로 나타낸 수신기 교체에 의한 TEQC 품질평가 지표 증감

평가지표	청주	전주	강릉	상주	서울	수원	태백	대구	울진	원주
관측개수	+16	+18	+12	+11	+11	+19	+7	+24	+25	+17
MP1	+46	+55	+41	+21	+52	+311	+14	+44	+75	+54
MP2	-40	-27	-44	-65	-24	-36	-57	-30	-32	-29
사이클슬립	-69	-75	-93	-56	-74	-83	-71	-68	-82	-77

가 있는 것은 아니다. 평균치로 지표의 증감량을 평가하면, MP1은 71.3% 증가(수원 관측소 제외 시 44.7% 증가), MP2는 38.4% 감소, 그리고 사이클슬립 개수는 74.8% 감소하였다(국토지리정보원, 2007). 10개 관측소의 관측환경이 전혀 변하지 않고, GPS 수신기만을 교체한 상황에서 품질평가 지표 3개가 거의 동일한 비율로 증감한 것이다. 이는 여러 선행연구에서 밝혀진 바와 같이, TEQC 분석결과는 GPS 수신기 기종에 직접적인 영향을 받는다는 사실을 다시 한 번 입증하는 결과이다. 따라서 수신기 기종이 다른 GPS 상시관측소의 데이터 품질과 관측환경을 TEQC로 평가하는 것은 적절한 방법이 아니다. 그러나 앞서 4.2절에서 살펴본 바와 같이 TEQC 품질평가 결과는 동일한 기종의 GPS 장비를 사용하는 관측소간 비교에는 매우 효율적이다.

표 4의 관측개수를 비교하면 수신기 교체 이후 평균 16% 증가하였는데, 관측개수의 증가는 수신기 기종의 변화에 의한 것이 아니다. 안테나와 지지대가 변경되지 않은 상태에서 수신기 기종만을 변경한다고 관측개수가 증가하지는 않는다. 관측개수가 증가한 실제적인 원인은 앞서 언급한 바와 같이 수신기가 교체될 때 임계고도각이 0°로 변경되었기 때문이다. 표 4에서 관측개수 증가량이 최소인 관측소는 태백이다. 태백 관측소 수신기의 임계고도각 설정이 변경되었음에도 불구하고 관측개수 증가율은 최저치인 7%에 불과하다. 그 이유는 4.1절에서 설명한 바와 같이 태백 관측소의 시야각이 좋지 않기 때문에 임계고도각을 낮게 설정하더라도 이미 여러 방향으로 신호차폐가 많이 발생하고 있어 낮은 고도각의 GPS 위성을 관측할 수 없는 경우가 대부분이기 때문이다. 반면에 현장조사 결과 낮은 고도각까지 시야가 확보된 대구와 울진의 경우는 관측개수 증가율이 25% 수준으로 매우 높다.

수신기 교체에 따른 다중경로 오차 감소 경향을 파악하기 위해 그림 3에 나타난 광주 관측소의 MP2 지표의 변화양상을 추가적으로 분석하였다. 그림 3에 나타난 결과에 수신기가 교체된 시점인 2006년 12월 19일 이후부터 2007년 6월 16일까지의 MP2 지표를 추가해 그림 5에 나타내었다. 수신기 교체 이전에 MP2가 매년 주기적으로 대략 0.5m 진폭으로 변동하던 현상이 수신기 교체 이후 완전히 사라졌음을 알 수 있다. 그리고 MP2의 크기도 0.4m 수준으로 감소하였다. 이러한 현상의 발생원인은 최신 GPS 수신기에는 다중경로 오차

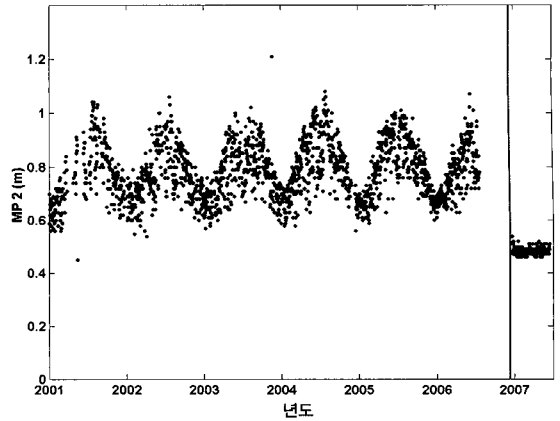


그림 5. 수신기 교체에 따른 광주 관측소 다중경로 오차의 계절적 신호 소멸

를 줄이는 기능 및 알고리즘이 추가되었기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

현장조사와 사이트 가이드라인 분석을 통해 국토지리정보원 14개 GPS 상시관측소의 안정성과 측위오차 유발 가능성을 평가하였다. 그리고 TEQC 프로그램을 이용해 관측환경을 정량적으로 비교하였다. 그 결과 제주, 광주, 태백, 원주 관측소의 문제점을 발견하였다. 이들 4개 관측소는 GPS 안테나 주위에 건물과 나무 등의 장애물이 인접해 있어 충분한 시야각을 확보하지 못하고 있거나, 다중경로 오차를 유발할 수 있는 반사면과 나무들이 다수 존재하고 있었다. 이들 문제점은 TEQC 분석을 통해서도 입증되었다. 그리고 수신기 교체 전후 데이터를 각 1년간 TEQC로 분석한 결과 L2 다중경로 오차와 사이클슬립 발생빈도가 감소하였음을 알 수 있었다.

GPS 응용분야가 확대됨에 따라 정확하고 신뢰성 있는 위치정보에 대한 요구가 높아지고 있음을 고려할 때 현재 운영 중인 상시관측소의 관측환경을 철저히 분석할 필요가 있다. 분석 결과 문제점이 발견된다면 관측소 주위의 나무와 반사면 등의 장애물을 제거해야 한다. 만약 장애물 제거가 불가능하다면, 관측환경이 양호한 곳으로의 이설 방안도 검토해야 한다. 그리고 지속적인 모니터링을 통해 최적의 관측환경을 유지해야 할 것이다.

감사의 글

이 연구는 국토지리정보원이 발주한 한반도 지각변동 연구 사업의 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

국토지리정보원 (2007), 한반도 지각변동 연구.
박관동, 원지혜 (2006), GPS 안테나 위상중심변동 보정모델 비교,
한국측량학회지, 제 24권, 제 4호, pp. 319-326.

윤홍식, 이동하, 이영균, 조재명 (2006), GPS 데이터 품질관리 프로그램 개발, 한국측량학회지, 제 24권, 제 1호, pp. 9-18.
최윤수, 이용창, 권재현, 이재원 (2004), GPS 가상기준점 도입에 관한 연구, 한국측량학회지, 제 22권, 제 2호, pp. 105-116.
Estey, L. H. and Meertens, C. M. (1999), TEQC: the multi-purpose toolkit for GPS/GLONASS data, *GPS solutions*, 3(1), pp. 42-49.
Park, K.-D., Nerem, R. S., Schenewerk, M. S. and Davis, J. L. (2004), Site-specific multipath characteristics of global IGS and CORS GPS sites, *Journal of Geodesy*, 77(12), doi:10.1007/s00190-003-0359-9, pp. 799-803.

(접수일 2007. 7. 2, 심사일 2007. 8. 16, 심사완료일 2007. 8. 20)