

# 온라인 GPS 자료처리 서비스의 좌표 정확도 비교분석 Coordinate Accuracy Comparison of Online GPS Data Processing Services

원지혜\* · 손은성\*\* · 박관동\*\*\*

Won, Ji Hye · Son, Eun Seong · Park, Kwan Dong

### 要 旨

이 연구에서는 측지·측량 분야의 GPS 사용자들이 해외 기관에서 제공하는 온라인 자료처리 서비스를 이용해 측정의 정밀좌표를 손쉽게 획득할 수 있도록 여러 기관에서 운영 중인 온라인 자료처리 서비스 간의 성능을 비교하였다. 온라인 GPS 자료처리 서비스 간의 성능비교를 위해 APPS, CSRS-PPP, AUSPOS 그리고 OPUS를 이용해 국내의 상시관측소 7곳의 좌표를 산출하였고, IERS와 국토지리정보원에서 제공하는 고시좌표와 비교하여 정확도를 분석하였다. 국외 상시관측소를 이용한 분석에서는 평균 9.3mm의 수평좌표 정확도에서 APPS, AUSPOS, OPUS, CSRS-PPP의 순서로 정확도가 높은 것으로 나타났다. 국내 관측소의 경우 국외 분석사례와 유사하게 AUSPOS, APPS, OPUS, CSRS-PPP 순서로 높은 정확도를 보인 반면, 수평좌표 정확도는 평균 37.6mm를 기록하였다. 또한 국내 결과는 국외 결과보다 평균 3cm 큰 3차원 좌표오차를 보였으며, 북쪽 방향으로 약 3cm의 편이가 존재함을 확인하였다.

핵심용어 : 온라인 GPS 자료처리 서비스, AUSPOS, APPS, CSRS-PPP, OPUS

### Abstract

In this study, the performance of the online GPS processing services provided by diverse institutions was compared so that domestic GPS users in geodesy and surveying can easily get precise coordinates using those services. In order to evaluate the accuracy of each online GPS processing service, we calculated coordinates of seven GPS permanent stations located in Korea and foreign countries using APPS, CSRS-PPP, AUSPOS and OPUS. And the results were compared with published coordinates by IERS and National Geographic Information Institute. In the cases of foreign stations, the mean value of the horizontal errors was 9.3 mm and the descending order of accuracies was APPS, AUSPOS, OPUS and CSRS-PPP. In the cases of Korean stations, the mean value of the horizontal errors was 37.6 mm, although the order of accuracy was similar to the foreign cases; AUSPOS, APPS, OPUS and CSRS-PPP. Also, the average value of 3-D errors in Korean cases was about 3 cm larger than that of foreign cases and a bias of 3 cm was observed in the north direction.

Keywords : Online GPS Data Processing, AUSPOS, APPS, CSRS-PPP, OPUS

### 1. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 측지·측량, 지구물리 및 기상 등 다양한 분야에서 활용되고, 사용자는 이용목적에 따라 과학기술용 또는 상용 소프트웨어를 통해 정밀좌표를 산출할 수 있다. 그러나 Bernese, GIPSY, GAMIT 등과 같은 고정밀 과학기술용 소프트

웨어는 자료처리를 위한 전문지식과 비용 투자가 필요하므로, 국외 GPS 자료처리 기관들은 일반 사용자들이 손쉽게 정밀 좌표를 획득할 수 있도록 웹 기반의 자료처리 서비스를 제공한다. 온라인 GPS 자료처리 서비스를 제공하는 대표적인 기관으로는 미국의 JPL(Jet Propulsion Laboratory)과 NGS(National Geodetic Service), 캐나다의 NRCan(Natural Resource Canada),

2010년 10월 15일 접수, 2010년 11월 13일 채택

\* 교신저자 · 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 박사과정(jihyewon.82@gmail.com)

\*\* 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 석사과정(h79s86@gmail.com)

\*\*\* 정회원 · 인하대학교 공과대학 지리정보공학과 부교수(kdpark@inha.ac.kr)

호주의 AUSLIG(The Australian Surveying and Land Information Group) 등이 있다.

각기 다른 기관에서 운영 중인 온라인 GPS 자료처리 서비스는 측위 알고리즘과 오차모델 등이 상이하므로 산출된 좌표의 정확도 분석이 요구된다. Ghoddousi-Fard 등(2006)은 JPL에서 계산한 좌표를 기준으로 5개 온라인 자료처리 서비스(AUSPOS, SCOUT, OPUS, Auto-GIPSY, CSRS-PPP)의 좌표 정확도를 분석하였고, 그 결과 자료의 수집시간이 8~10 시간에 이르면 수평방향 정확도가 1cm에 달하는 것으로 보고하였다. 수직좌표의 경우 cm 수준에서 변화하고 서비스 간에 7cm의 차이가 존재하는 것으로 나타났으나 수직좌표 차이에 대한 원인 분석은 수행되지 않았다. Ebner 등(2008)은 단독측위 방식의 온라인 자료처리 서비스의 가용성 평가를 위해 CSRS-PPP를 분석하였으며, 상대측위 소프트웨어인 Bernese로 계산한 좌표를 기준으로 정확도를 비교하였다. 그 결과 1~2일 동안 수집된 GPS 자료를 처리하면 약 2cm 수준의 정확도를 보이고, 6일 동안 수집된 자료를 처리한 경우에는 동서방향 3.3mm, 남북방향 4.8mm, 수직방향 11.8mm의 정확도를 갖는 것으로 보고하였다. 그러나 단일 서비스만을 대상으로 분석하였으며, 수직좌표 오차가 크게 발생한 5개 관측소에 대하여 CSRS-PPP에 등록되지 않은 안테나를 사용하였기 때문에 좌표오차가 발생한 것으로 추측하였다. 국내에서는 강준목 등(2010)이 상대측위 서비스인 AUSPOS와 단독측위 서비스인 CSRS-PPP의 정확도 분석을 위해 국내 GPS 상시관측소 10곳을 대상으로 2008년 10월 동안의 자료를 처리하여 국토지리정보원의 2002년 고시좌표와 비교하였다. 그 결과 X, Y, Z 방향으로 약 19cm, 5cm, 3cm의 차이가 존재하며, 이를 유라시아 대륙판의 지각운동과 관련지어 설명하였다. 그러나 10개 관측소의 좌표오차 평균값에 지각운동 속도를 적용하여 설명함으로써 정확한 오차분석 결과를 확인할 수 없었다.

앞선 선행 연구사례의 경우 현재는 운영되지 않는 서비스가 존재하거나 분석에 사용된 자료처리 서비스의 개수가 한정되어 국내 사용자가 온라인 GPS 자료처리 서비스 간의 성능비교를 위한 참고문헌으로 사용하기에는 다소 불충분할 것으로 판단된다. 따라서 이 연구에서는 측지·측량 분야의 GPS 사용자가 보다 쉽고 정확하게 자료처리 결과를 획득할 수 있도록 서비스의 사용법 및 주의사항을 설명하고, 산출된 좌표의 정확도와 오차발생의 원인을 분석하였다. 연구대상으로는 단독측위 기반 서비스로 APPS와 CSRS-PPP를, 상대측위 기반 서비스로 AUSPOS와 OPUS를 선정하고, 국내의 GPS 상시관측소 7곳의 좌표를 산출하였다. 또한 국토지리정보원 고시좌표(제2010-189호)를 기준으로 좌표 정확도를 비교함으로써 국내 측지측량 분야의 사용자를 위한 실리적 평가를 도모하였으며, IERS(International Earth rotation & Reference systems Service)에서 제공하는 ITRF(International Terrestrial Reference Frame) 좌표(이하 ITRF 좌표로 칭함)를 기준으로 분석함으로써 특정한 자료처리 소프트웨어 종속되지 않은 정확도 분석을 수행하였다.

2. 온라인 GPS 자료처리 서비스

온라인 GPS 자료처리 서비스는 크게 단독측위 방식과 상대측위 방식으로 구분되고, 좌표결과는 APPS와 AUSPOS의 경우 ITRF2005로, CSRS-PPP와 OPUS의 경우 ITRF2000과 북미대륙에서 사용하는 지역좌표계인 NAD83으로 제공된다. 온라인 자료처리 서비스는 모두 무료로 이용할 수 있으며, CSRS-PPP의 경우 회원가입이 필수적이고 APPS는 회원가입 여부에 따라 제한된 기능을 제공한다. 이 연구에 사용된 온라인 자료처리 서비스의 종류 및 특징은 표 1에 정리하였다. 표 1의 ‘안테나 정보’는 자료처리 시 온라인 자료처리 서비스가 안테나 정보를 획득하는 방법을 나타낸 것이

표 1. 온라인 GPS 자료처리 서비스 비교

	APPS	CSRS-PPP	AUSPOS	OPUS
측위방식	단독측위		상대측위	
기관/국가	JPL/미국	NRCan/캐나다	AUSLIG/호주	NGS/미국
좌표계	ITRF2005	ITRF2000, NAD83	ITRF2005	ITRF2000, NAD83
프로그램	GIPSY5.0	-	MicroCosm	PAGES
안테나 정보	RINEX Header	RINEX Header	사용자 선택	사용자 선택
자료 제한	최소	-	1시간	15분
	최대	5개 파일, 10MB	6일, 100MB	7개 파일, 48시간
기타사항	PCV 절대모델	PCV 상대모델	PCV 상대모델 위성 PCV 미고려	PCV 상대모델

```
NMLGSzEID( 1 ) = 19
NMLGSzAzD( 1 ) = 73
NMLGIncrED( 1 ) = 5
NMLGIncrAD( 1 ) = 5
NMLGPtCenD( 1, 1, 3 ) = 1
NMLGCen(1,1,1) =
    0.0000198947, 0.0000089022, -0.0000022703, -0.0000126194, -0.0000215196, -0.0000289124,
    -0.0000351152, -0.0000403465, -0.0000447243, -0.0000482148, -0.0000507186, -0.0000520655,
    -0.0000523575, -0.0000517808, -0.0000506775, -0.0000493413, -0.0000481041, -0.0000471884,
    -0.0000466921,
```

그림 1. APPS의 결과파일(\*.rgnml) 중 일부(ALGO)

다. ‘RINEX Header’란 RINEX 관측파일 Header에 기록된 안테나 정보를 사용함을 의미하고, ‘사용자 선택’이란 온라인 서비스에 명시된 목록에서 선택함을 의미한다. 또한 안테나 위상중심변동(PCV, Phase Center Variation)은 보정모델에 따라 좌표에 직접적인 영향을 미치므로(박광동과 원지혜, 2006), 관련 정보를 ‘기타 사항’으로 정리하였다. 온라인 자료처리 서비스의 주의 사항 및 특징은 다음 절에 상세히 기술하였다.

2.1 APPS

APPS(Automatic Precise Positioning Service)는 JPL에서 제공하는 GIPSY5.0 기반의 온라인 자료처리 서비스이다. 정밀좌표와 함께 대류층 건조지연량(zenith hydrostatic delay)과 습윤지연량(zenith wet delay) 정보를 제공하므로 측지·측량 분야의 사용자뿐만 아니라 기상분야의 사용자들도 이용가능하다. 회원 가입은 선택사항이나 자료를 처리하는 과정에서 임계 고도각과 자료처리 간격 등을 설정할 수 없는 제약조건이 발생하므로 회원가입이 권장된다. 입력되는 관측파일은 여러 날짜가 기록된 것이어도 무관하지만 15분 이상 기록된 파일이어야 하며, 수신기 종류가 홈페이지에 명시된 것인지 확인이 필요하다. 안테나 종류는 RINEX 관측파일의 Header를 읽어 확인하는데 IGS(International GNSS Service) 정식 명칭이 아니면 안테나 위상중심변동을 보정하지 않는다. 안테나 위상중심변동이 보정되지 않으면 약 4cm 정도의 오차가 발생하므로(APPS 홈페이지), RINEX 파일과 결과 파일(확장자 \*.rgnml)을 확인하는 것이 중요하다. 그림 1은 안테나 위상중심보정모델이 바르게 적용된 경우 추가되는 항목의 일부이며, 보정이 이루어지지 않을 경우 NMLGSzEID와 NMLGCen 등의 변수 값이 결과파일에 기록되지 않는다.

2.2 CSRS-PPP

CSRS-PPP(Canadian Spatial Reference System-

Precise Point Positioning)는 NRCan에서 제공하는 온라인 자료처리 서비스로 단독측위 방식으로 좌표를 결정한다. APPS와 같이 좌표 결과와 함께 대류층 지연량 정보를 제공하나 대류층 총지연량(zenith total delay)으로 건조지연량과 습윤지연량이 더해진 결과이다. CSRS-PPP는 안테나 위상중심보정을 위해 RINEX 관측파일의 Header를 읽어 안테나 종류를 확인하며, APPS와 같이 IGS 정식 명칭이어야 한다. 또한 RINEX 파일에 레이돔(radome) 정보가 없으면 NONE에 해당하는 값을 적용하여 안테나 위상중심변동을 보정한다. 자료처리에는 약 3~5분 정도 소요되고, 좌표결과는 sum 파일을 통해 확인할 수 있다. sum 파일에는 자료처리 결과와 분석에 사용된 안테나 위상중심변동 값 그리고 조석모델 정보 등이 함께 기록되어 있다(NRCan 홈페이지).

2.3 AUSPOS

AUSPOS(The AUSLIG Online GPS Processing System)는 AUSLIG에서 제공하는 온라인 자료처리 서비스로 사용자의 위치에서 가장 가까운 IGS 상시관측소 3곳을 검색한 후 상대측위 방식으로 위치를 결정한다(AUSPOS 홈페이지). 입력되는 관측파일은 최소 1시간 이상 기록된 것이어야 하고, 6시간 이상 기록된 자료의 경우 수평좌표 1cm, 수직좌표 2cm 이하의 정확도로 결과가 제공된다(Dawson and Manning, 2001).

AUSPOS의 경우 사용자는 안테나와 레이돔의 종류를 주어진 항목에서 선택할 수 있는데, 이 때 안테나와 레이돔 종류를 바르게 선택하더라도 해당 조합의 값이 없으면 보정하지 않으므로 주의해야한다. 또한 RINEX 파일에 기록되어 있는 안테나 높이를 읽지 않으므로 BMP(Bench Mark Point) 좌표를 산출하기 위해서는 자료처리 시 반드시 안테나 높이 값을 입력해야 한다. AUSPOS는 결과를 수신하는데 걸리는 시간이 약 5분에서 수 시간으로 다른 서비스에 비해 느린 것이 단점이다.

2.4 OPUS

OPUS(Online Positioning Users Service)는 NGS에서 제공하는 서비스로 4시간 이상 관측된 자료는 PAGES(Program for Adjustment EphemerideS) 프로그램을 이용하여 정지측위 모드에서 처리하고, 4시간미만으로 관측된 자료는 RSGPS(Rapid Static GPS) 프로그램을 이용하여 처리한다. 그러나 RSGPS를 이용한 자료처리는 관측 자료가 CORS(Continuously Operating Reference Stations)로부터 250km 이상 떨어져 있으면 처리가 불가능한 단점이 있다. 자료처리에 필요한 안테나 종류는 주어진 목록에서 선택하고 안테나 높이는 사용자가 입력해야한다. 안테나 종류를 잘못 선택할 경우 자료처리가 수행되지 않거나 수직 방향으로 10cm 정도의 오차가 발생할 수 있다. 최종 좌표는 입력자료 주변의 3개 상시관측소를 이용하여 상대측위 방법으로 각각 처리된 후 산출된 3개 좌표의 평균값으로 제공된다(OPUS 홈페이지).

2.5 연구범위 및 내용

온라인 GPS 자료처리 서비스의 정확도 분석을 위해 국내 상시관측소 4곳과 국외 상시관측소 3곳을 선정하였으며, 선정된 관측소의 위치는 그림 2에 나타내었다. 국내 GPS 상시관측소의 경우 국토지리정보원의 1등

기준점과 연동되는 수원 상시관측소(SUWN)를 기준으로 지형학적 분포를 고려하여 시야각이 양호한 진주(JINJ), 홍천(HONC) 관측소를 분석대상으로 선정하였으며, ITRF 좌표와 비교하기위해 대전(DAEJ) 관측소를 추가 분석하였다. 국외 GPS 상시관측소의 경우 대표적인 IGS 상시관측소 중에서 북미대륙의 동서부에 고르게 분포할 수 있도록 고려하여 선정하였다.

표 2는 이 연구에 사용된 GPS 자료의 분석기간 및 수신기와 안테나 정보를 나타낸 것이다. 분석 기간은 국내 고시좌표 기준일인 2002년 1월 1일부터 자료가 7일간 연속으로 기록된 날짜를 선정하였다. 수신기의 경우 국외 관측소는 기종이 모두 다르고 국내 관측소는 Trimble사의 4000SSI를 사용한다. 안테나의 경우 국외 관측소는 동일 모델을 사용하고 GODE 관측소만이 안테나를 보호하는 레이돔을 사용하고 있다. 국내 관측소의 경우 Trimble사의 ground plane과 choke-ring 안테나를 사용하며, 레이돔은 다양한 혼합재질로 구성된 것을 사용하여 DOME으로 표기된다.

표 3은 이 연구에 사용된 GPS 안테나 모델과 온라인 자료처리 서비스 결과파일에 기록된 안테나 위상중심보정 값을 나타낸 것이다. OPUS의 경우 안테나 위상중심보정에 관련된 수치를 보여주지 않기 때문에 표 3에서 제외되었다. 또한 일부 서비스에서는 JPLA와

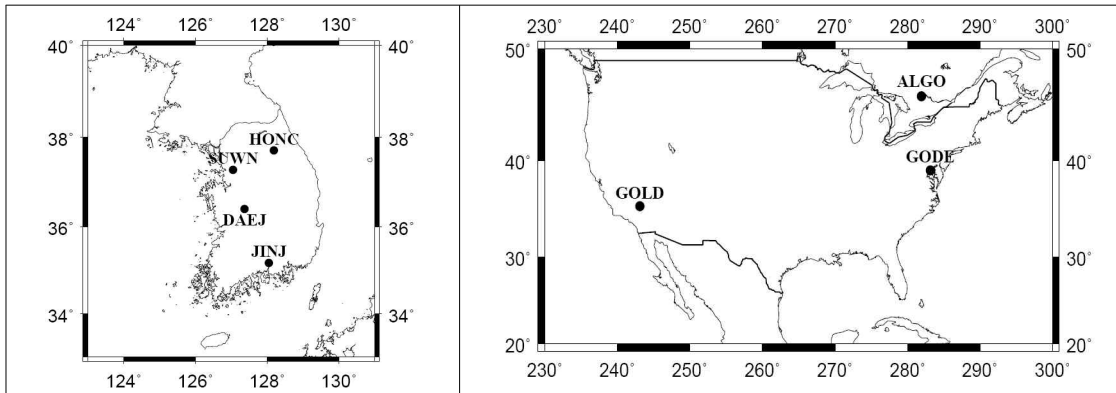


그림 2. 연구대상 GPS 상시관측소 위치

표 2. GPS 상시관측소의 수신기와 안테나 정보

관측소	시작일(DOY)	수신기	안테나(레이돔)	안테나 높이(m)
ALGO	001~007	AOA BENCHMARK ACT	AOAD/M_T (NONE)	0.100
GODE	005~011	AOA SNR-12 ACT	AOAD/M_T (JPLA)	0.061
GOLD	001~007	ASHTECH Z-XII3	AOAD/M_T (NONE)	0.025
HONC	001~007	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP (DOME)	0.000
JINJ	001~007	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00 (DOME)	0.000
SUWN	002~008	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00 (DOME)	1.570
DAEJ	001~007	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00 (DOME)	0.000

표 3. 안테나 모델에 따른 위상 중심 오프셋(North, East, Up)

안테나 모델	APPS (mm)	CSRS-PPP (mm)	AUSPOS (mm)
AOAD/M_T	(LC) -, -, 47	(L1) 0, 0, 110	(L1) 1, -1, 91
TRM33429.00+GP	(LC) -, -, 81	(L1) 0, 1, 74	(L1) 0, 1, 74
TRM29659.00	(LC) -, -, 48	(L1) 0, 0, 110	(L1) 0, -1, 92

DOME 등의 레이돔 정보를 보정하지 못하는 경우가 발생했기 때문에 NONE으로 모두 통일된 값을 선택하였다.

### 3. 자료처리 정확도 분석

#### 3.1 측지좌표계 변환

온라인 GPS 자료처리 서비스의 정확도 분석에서 참값으로 사용되는 IERS와 국토지리정보원 고시좌표는 ITRF2000 좌표계로 제공되며, 2002년 1월 1일의 좌표를 사용하였다. APPS와 AUSPOS의 경우 ITRF2005의 결과를 제공하므로, ITRF2000 좌표계로 변환이 필요하다. 좌표변환 계수는 ITRF 홈페이지에서 제공하는 값을 사용하였다(표 4). 홈페이지에서 제공하는 좌표변환계수는 2000년 1월 1일의 값이므로 함께 제공되는 계수의 시간 변화율을 적용하여 2002년 1월 1일의 값을 산출했다(표 5). 표 4와 표 5에서 D는 축척변화량, T는 평행이동량, R은 회전량이고, X, Y, Z 축의 방향은 소문자로 표시하였다. 좌표변환에 사용된 식은 참고문헌으로 대체한다(Hofmann-Wellenhof et al., 2008).

온라인 자료처리 서비스의 정확도 평가에 앞서 좌표 변환에 의한 영향을 분석하였다. IERS에서 제공하는 ITRF2005 좌표를 ITRF2000 좌표로 변환하고, 이를 IERS에서 ITRF2000으로 제공하는 좌표와 비교하였다. 분석대상으로는 앞서 선택된 국외 관측소 3곳과 국내 IGS 관측소 2곳(SUWN, DAEJ)을 선정하였다.

표 6은 ITRF 좌표를 기준으로 총 5개 상시 관측소의 좌표변환 오차를 나타낸 것이다. 표 6에 따르면 X, Y, Z 방향의 좌표오차는 평균 1.5mm 이하이고 그 표준편차는 8mm 이하인 것으로 나타났다. 3차원 좌표오차는 평균 9.6mm, 표준편차는 5.9mm의 차이를 나타내었다. 관측소마다 좌표오차가 다르게 발생하는 이유는 ITRF2000과 ITRF2005 좌표 결정에 사용된 오차모델과 자료의 수집시간이 상이하기 때문인 것으로 판단되며, 좌표변환으로 인한 특정 방향으로의 편의는 존재하지 않음을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 자료처리 서비스 정확도 분석 결과

##### 3.2.1 국외 GPS 관측소

국외 상시관측소를 이용한 온라인 자료처리 서비스

표 4. 2000년 1월 1일 기준 ITRF 좌표변환계수(ITRF2005 → ITRF2000)

	Tx (mm)	Ty (mm)	Tz (mm)	D (10 <sup>-9</sup> )	Rx (mas)	Ry (mas)	Rz (mas)
Offset	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.0	0.0	0.0
$\sigma$ ( $\pm$ )	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
Rates (yr <sup>-1</sup> )	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.0	0.0	0.0
$\sigma$ ( $\pm$ )	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

표 5. 2002년 1월 1일 좌표변환에 사용된 좌표변환 계수(ITRF2005 → ITRF2000)

	Tx (mm)	Ty (mm)	Tz (mm)	D (10 <sup>-9</sup> )	Rx (mas)	Ry (mas)	Rz (mas)
Offset	-0.3	-0.6	-9.4	0.56	0.0	0.0	0.0

표 6. 좌표변환에 따른 차이

관측소	변환된 좌표 - 제공된 좌표 (mm)						
	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$	$\Delta 3d$
ALGO	0.7	-0.6	-1.4	-1.5	0.6	-0.5	1.7
GODE	-3.3	4.4	-8.4	-3.4	-2.2	-9.2	10.1
GOLD	-7.3	-1.6	1.6	-1.4	-5.8	4.8	7.7
SUWN	12.7	-10.6	-7.4	3.9	-3.7	-17.3	18.1
DAEJ	2.7	5.4	8.6	5.3	-5.4	7.2	10.4
Avg.	1.1	-0.6	-1.4	0.6	-3.3	-3.0	9.6
STD	7.5	6.4	7.0	3.8	2.6	10.2	5.9

표 7. 국외 상시관측소의 ITRF 좌표 기준 RMSE (단위:mm)

웹 서비스	관측소	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$	$\Delta 3d$
APPS	ALGO	1.8	7.5	1.9	5.4	2.6	5.3	8.0
	GODE	3.7	6.4	3.0	2.1	4.9	5.9	7.9
	GOLD	10.1	11.0	3.1	2.1	13.8	6.1	15.3
	Avg.	5.2	8.3	2.7	3.2	7.1	5.8	10.4
CSRS-PPP	ALGO	8.4	11.4	16.6	7.4	9.0	18.5	21.9
	GODE	6.8	12.7	12.9	3.6	7.8	17.3	19.3
	GOLD	14.8	7.3	6.9	5.1	15.4	7.7	17.9
	Avg.	10.0	10.5	12.1	5.4	10.7	14.5	19.7
AUSPOS	ALGO	4.9	14.2	5.0	8.1	6.7	11.9	15.8
	GODE	1.8	6.2	2.9	1.9	2.6	6.2	7.0
	GOLD	10.0	2.9	3.5	1.6	9.7	5.0	11.0
	Avg.	5.6	7.8	3.8	3.9	6.3	7.7	11.3
OPUS	ALGO	9.5	4.4	6.1	3.6	9.1	7.1	12.1
	GODE	4.1	6.6	4.7	5.0	3.3	6.8	9.1
	GOLD	5.8	9.6	16.1	11.7	8.8	13.0	19.6
	Avg.	6.5	6.9	9.0	6.8	7.1	9.0	13.6

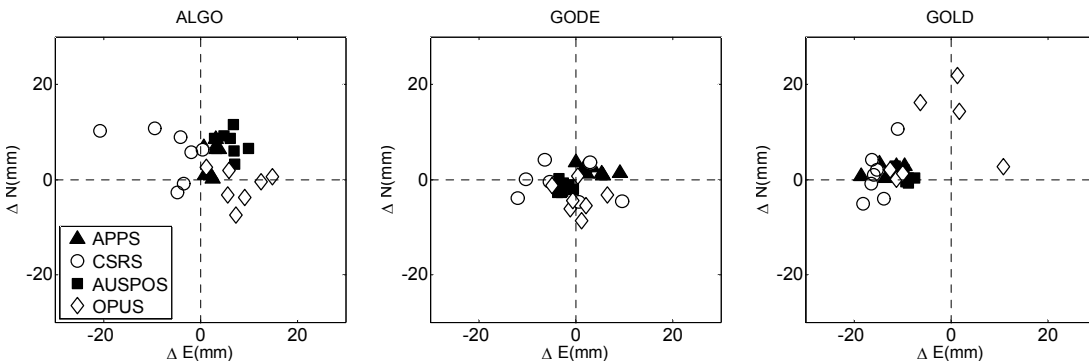


그림 3. 국외 상시관측소의 ITRF 좌표 기준 수평방향 좌표오차

의 정확도 분석결과는 ITRF 좌표를 기준으로 분석기간 7일 동안의 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하여 표 7에 나타내었다. 분석결과 3차원 좌표오차를 기준으로 APPS, AUSPOS, OPUS 그리고 CSRS-PPP의 순서로 정확한 좌표를 산출하며, APPS를 제외한 3개 온라인 자료처리는 일반적으로 수평방향보다 수직방향에서 다소 큰 좌표오차가 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 GOLD 관측소의 경우 OPUS를 제외한 모든 결과가 수직방향보다 동서방향에서 좌표오차가 큰 것으로 확인되었다. 수평방향의 오차 특성을 분석하기 위해 관측소별 좌표오차를 그림 3에 나타내었다.

관측소별 수평방향 RMSE는 평균 9.3mm로 ALGO 10.1mm, GODE 6.1mm, GOLD 14.0mm를 나타내었다. 그림 3에 따르면 ALGO, GODE 관측소는 대부분의 자료처리 결과가 ITRF 좌표를 중심으로 분포하나 GOLD의 경우 OPUS의 일부 결과를 제외한 모든 좌표

오차가 서쪽으로 치우침을 알 수 있다.

### 3.2.2 국내 GPS 관측소

국내 상시관측소를 이용한 온라인 자료처리 서비스의 정확도 분석결과는 국토지리정보원의 고시좌표를 기준으로 비교할 수 있는 SUWN, JINJ, HONC의 좌표오차를 표 8에 나타내었다. 표 8에 따르면 3차원 좌표오차를 기준으로 AUSPOS, APPS, OPUS, CSRS-PPP 순서로 높은 정확도를 보이며, 이는 국외 분석과 다소 일치하는 결과이다. 그러나 국내 분석결과는 국외보다 약 3cm 큰 3차원 좌표오차를 보이며, 온라인 자료처리 서비스마다 좌표축에 따른 편차가 발생하는 것으로 나타났다. AUSPOS의 경우 X축과 Y축 방향의 좌표오차가 크고 나머지 서비스의 경우 Z축 방향의 오차가 가장 큰 것으로 나타났다. 지형좌표계 기준으로 APPS와 AUSPOS는 남북방향에서 가장 큰 좌표오차를 나타내

표 8. 국내 상시관측소의 국토지리정보원 고시좌표 기준 RMSE (단위:mm)

웹 서비스	관측소	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$	$\Delta 3d$
APPS	HOCN	7.9	4.4	44.2	32.3	6.7	30.9	45.2
	JINJ	6.3	13.7	43.3	32.3	11.7	30.3	45.8
	SUWN	4.4	2.2	35.5	28.6	3.6	21.4	35.9
	Avg.	6.2	6.8	41.0	31.1	7.3	27.5	42.3
CSRS-PPP	HOCN	19.1	23.2	51.4	36.9	28.4	37.1	59.5
	JINJ	40.0	34.1	46.8	37.5	51.8	29.3	70.4
	SUWN	22.8	11.3	34.4	31.3	23.4	17.3	42.8
	Avg.	27.3	22.9	44.2	35.2	34.5	27.9	57.6
AUSPOS	HOCN	10.5	30.7	11.5	27.4	10.8	17.9	33.1
	JINJ	21.8	27.2	9.1	25.9	3.4	24.9	35.5
	SUWN	13.2	34.8	7.2	25.8	10.6	25.7	37.9
	Avg.	15.2	30.9	9.3	26.4	8.3	22.8	35.5
OPUS	HOCN	19.7	5.7	44.3	29.5	16.3	35.3	48.8
	JINJ	14.9	13.6	55.7	37.1	5.7	45.9	59.3
	SUWN	21.3	12.4	56.6	47.0	24.2	32.2	61.9
	Avg.	18.6	10.6	52.2	37.9	15.4	37.8	56.7

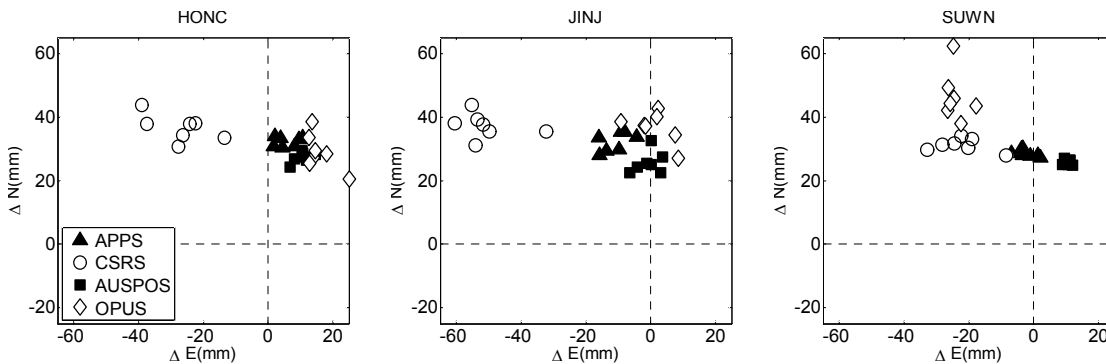


그림 4. 국내 상시관측소의 국토지리정보원 고시좌표 기준 수평방향 좌표오차

며, CSRS-PPP와 OPUS의 경우 관측소마다 최대 좌표 오차의 발생방향이 다른 것을 알 수 있다.

수직방향 좌표오차는 국외보다 국내 결과에서 그 값이 큰 것을 확인할 수 있는데, 이는 국외 관측소가 레이돔을 장착하지 않거나 국제 규격의 레이돔을 사용하는 것과 달리 국내 관측소는 혼합재질의 레이돔을 사용함에 따른 문제로 판단된다. 국내 관측소에서 사용하는 레이돔은 위상중심보정 모델이 존재하지 않으며, 안테나 기종에 따른 위상중심 보정모델만을 사용하게 된다. 그러므로 레이돔 영향에 의한 위상중심변동을 보정하지 못해 좌표오차가 발생하는 것으로 판단된다(Braun et al., 1997). 이는 온라인 자료처리 서비스를 이용하는 경우에만 국한된 문제가 아니며, 과학기술용 프로그램을 이용할 경우에도 영향을 미친다. 따라서 국내 GPS 상시 관측소에서 사용 중인 레이돔을 대상으로 안테나 위상 중심 보정모델을 개발하거나 좌표오차에 미치는 영향을

평가하는 분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

국내 분석결과는 국외와 달리 수평방향의 좌표오차가 수직방향의 좌표오차와 비슷한 크기로 발생하며, 오차분포를 확인하기 위해 수평방향 좌표차이를 그림 4에 나타내었다. 수평방향 RMSE는 HONC 36.2mm, JINJ 42.9mm, SUWN 38.5mm이며, 국내 관측소의 수평방향 좌표오차 평균은 37.6mm를 기록하였다. 그러나 3차원 좌표의 정밀도를 비교한 결과 HONC 8.1mm, JINJ 10.7mm, SUWN 7.4mm로 신뢰할만한 수준의 결과를 획득하는 것으로 나타났다.

그림 3, 4에 따르면 국외 수평좌표 오차는 ITRF 좌표를 중심으로 분포하는 것과 달리 국내 수평방향 좌표 오차는 고시좌표를 기준으로 북쪽방향으로 편의를 보인다. 편의가 발생하는 원인을 분석하기 위해 SUWN 상시관측소를 대상으로 고시좌표와 ITRF 좌표를 비교하였으며, 그 결과 지형좌표계 방향으로 N 19.8mm, E

표 9. DAEJ 관측소의 ITRF 좌표 기준 RMSE (단위:mm)

관측소	웹 서비스	$\Delta X$	$\Delta Y$	$\Delta Z$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$	$\Delta 3d$
DAEJ	APPS	8.3	13.7	16.8	14.3	11.8	14.0	23.2
	CSRS-PPP	33.0	28.9	19.9	14.3	43.4	15.4	48.2
	AUSPOS	3.9	10.6	15.0	7.5	4.2	16.6	18.7
	OPUS	26.3	23.6	40.7	15.2	9.4	50.8	53.9
	Avg.	17.9	19.2	23.1	12.8	17.2	24.2	36.0

3.6mm, U 23.3mm의 차이가 있음을 확인하였다. 국토지리정보원 고시좌표와 ITRF 좌표의 차이를 편의로 고려하여 국내 관측소의 좌표 산출결과에서 제거하였으며, 그 결과 NEU 방향 RMSE는 평균 32.6mm, 16.4mm, 29.0mm에서 13.1mm, 17.2mm, 20.6mm로 남북방향의 좌표오차가 크게 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 국토지리정보원의 고시좌표는 제공되지 않으나 IERS에서 좌표를 제공하는 DAEJ을 대상으로 좌표를 산출하였으며, 비교결과 NEU 방향 RMSE 평균 값이 각각 12.8mm, 17.2mm, 24.2mm로 나타나 편의가 제거된 국내 상시관측소 분석결과와 동일함을 확인할 수 있었다(표 9).

그러나 국외 분석결과와 비교할 경우 국내 결과는 편의를 제거한 후에도 정확도가 다소 낮은 것으로 나타났으며, 이는 GPS 수신기의 기종에 따른 차이 및 혼합제질의 레이돔의 사용에 따른 영향으로 추측된다.

4. 결 론

온라인 GPS 자료처리 서비스간의 성능분석을 위해 APPS, CSRS-PPP, AUSPOS 그리고 OPUS를 이용하여 국내의 GPS 상시관측소 7곳의 좌표를 산출하였으며, 국외의 경우 ITRF 좌표를 기준으로, 국내의 경우 국토지리정보원의 고시좌표를 기준으로 좌표오차를 분석하였다. 그 결과 국·내외 모두 APPS와 AUSPOS의 정확도가 높고, CSRS-PPP와 OPUS에서 정확도가 낮은 것으로 나타났다.

3차원 좌표오차 분석결과에서 모든 온라인 자료처리 서비스는 국내 결과가 국외 결과보다 약 3cm 큰 좌표 오차를 나타내었다. 수평방향 좌표오차의 경우 국외 결과는 ITRF 좌표를 중심으로 편의가 존재하지 않으나 국내 결과는 국토지리정보원 고시좌표를 기준으로 남북방향의 편의가 발생하는 것으로 확인되었다. SUWN과 DAEJ 관측소를 이용하여 분석한 결과 국토지리정보원 고시좌표와 ITRF 좌표에 편의가 있음을 확인하였으며, 이를 편의로 가정하여 국내 상시관측소의 좌표오차를 재산정한 결과 남북방향의 좌표오차가 평균 32.6mm에서 13.1mm로 감소하였다.

온라인 GPS 자료처리 서비스로 산출되는 좌표는 ITRF 좌표에 근접하며, ITRF 좌표와 국토지리정보원 고시좌표의 차이에 의해 남북방향의 편의가 발생함을 확인하였다. 그러므로 향후 연구에서는 국내 사용자들이 온라인 자료처리 서비스를 이용하여 정확한 좌표를 획득하고 검증할 수 있도록 국토지리정보원 고시좌표와 ITRF 좌표에서 차이가 발생하는 원인을 규명하고, 국내에서 사용하는 레이돔이 좌표산출에 미치는 영향이 평가되어야한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-3105)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 강준목, 박준규, 이최구, 이용욱, 2010, "온라인 GPS 자료처리 서비스의 정확도 분석", *한국측량학회지*, 제 28권, 1호, pp.13-20.
2. 박관동, 원지혜, 2006, "GPS 안테나 위상중심변동 보정 모델 비교", *한국측량학회지*, 제 24권, 4호, pp.319-326.
3. AUSPOS 홈페이지 <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>
4. APPS 홈페이지 <http://apps.gdgps.net>
5. ITRF 홈페이지 <http://itrf.ensg.ign.fr>
6. OPUS 홈페이지 <http://www.ngs.noaa.gov/OPUS>
7. NRCan 홈페이지 <http://www.geod.nrcan.gc.ca>
8. Braun, J., Stephens, B., Ruud, O. and Meertens, C., 1997, The effect of Antenna Covers On GPS Baseline Solutions, Boulder, University NAVSTAR Consortium.
9. Dawson, J., Govind, R. and Manning, J., 2001, "The AUSLIG Online GPS Processing System (AUSPOS)", *Proc5th International Symposium on Satellite Navigation Technology and Applications, Canberra, July; and Proc 42nd Australian Surveyors Congress, Brisbane, Australia, September [CD-ROM]*.



10. Ebner, R. and Featherstone, W. E., 2008, "How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks?", *Journal of Applied Geodesy*, Vol 2, pp.149-157.
11. Ghoddousi-Fard, R. and Dare P., 2006, "Online GPS processing service: a initial study", *GPS Solutions*, Vol 10, pp.12-20.
12. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E., 2008, *GNSS Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more*. Austria: SpringerWienNewYork, pp.15-21.