

지구기준계 실현을 위한 142개 IGS 관측소 정밀좌표 및 속도 결정

Determination of Precise Coordinates and Velocities of 142 International GNSS Service Stations to Realize Terrestrial Reference System

백정호¹⁾ · 정성욱²⁾ · 신영홍³⁾ · 조정호⁴⁾ · 박필호⁵⁾

Baek, Jeongho · Jung, Sung-Wook · Shin, Young-Hong · Cho, Jungho · Park, Pil-Ho

Abstract

We processed seven years data of 142 IGS (International GNSS Service) stations were processed, which have been selected with an optimal network algorithm, to realize terrestrial reference system. To verify the result, a comparison with the ITRF2005 was given both in positions and velocities with transformation parameters estimation. The transformation parameters are within 4.3 mm in length, while the RMS (root mean square) difference of positions and velocities are 6.7 mm and 1.3 mm/yr in horizontal and 13.3 mm and 2.4 mm/yr in vertical, respectively, which represent good coincidences with ITRF2005. This research would help developing our own geodetic reference frame and may be applied for the global earth observations such as the global tectonics. A further improved TRF would be expected by applying various data processing strategies and with extension of data in number and observation period.

Keywords : GPS, Terrestrial reference system, Terrestrial reference frame, Transformation parameter, ITRF2005

초 록

지구기준계 실현을 위해 최적망 구성 알고리즘에 근거하여 선택된 142개의 IGS 관측소를 선정하고 7년간 GPS 자료를 처리하였다. 본 연구에서 결정된 기준좌표와 속도를 이용하여 본 연구의 지구기준좌표계와 ITRF2005와의 변환매개변수를 추정하였으며, 각각의 관측소에서의 좌표와 속도를 비교하였다. 산출한 변환매개변수는 최대 4.3mm 이내에 분포하였고, 좌표와 속도 차의 RMS (root mean square)는 수평성분이 6.7mm와 1.3mm/yr, 수직성분이 13.3mm와 2.4mm/yr 로서 ITRF2005와 잘 일치하고 있다. 이러한 연구는 측지기준계 결정을 위한 자체기술개발에 의의를 가지며 판구조운동 연구와 같은 전지구 관측을 위한 연구에 활용될 수 있다. 향후 다양한 자료처리 전략 개발과 더불어 관측소의 개수와 관측기간을 확대함으로써 보다 향상된 지구기준좌표계가 결정될 것이다.

핵심어 : GPS, 지구기준계, 지구기준좌표계, 변환매개변수, ITRF2005

1) 교신저자 · 정희원 · 과학기술연합대학원대학교 천문우주과학전공 박사과정(E-mail:llamb@kasi.re.kr)
2) 한국천문연구원 우주측지연구그룹 위측연구원(E-mail:astroyorong@kasi.re.kr)
3) 한국천문연구원 우주측지연구그룹 선임연구원(E-mail:yhshin@kasi.re.kr)
4) 정희원 · 한국천문연구원 우주측지연구그룹 선임연구원(E-mail:jojh@kasi.re.kr)
5) 정희원 · 한국천문연구원 선임연구부 책임연구원(E-mail:phpark@kasi.re.kr)

1. 서 론

지구기준계(Terrestrial Reference System)는 지구상 물체의 위치를 결정하기 위해 필수적인 요소로서 지구중심을 원점으로 3차원 직각 축의 방향과 축척을 정의한 것이다. 가장 보편적인 지구기준계의 정의는 IERS(International Terrestrial Reference Systems)으로써 IERS(International Terrestrial Reference System)에서 사용하고 있으며 ITRS의 자세한 내용은 McCarthy 등 (2004)에 설명되어 있다.

이 지구기준계는 눈으로 볼 수 없는 이상적이고 수학적 개념으로써 직접 사용하는 것이 불가능하다. 따라서 실제 측지 관측자료를 이용하여 지구기준계를 실제로 구현하여 사용하는 것이 지구기준좌표계(Terrestrial Reference Frame)이다. 이 지구기준좌표계는 지구기준계에 근거한 실제 측지관측소의 정밀좌표와 속도정보로 이루어져 있다. 따라서 실제로 접근이 가능하고 위치결정에 직접 활용할 수 있지만 관측 기반이므로 관측자료에 따라 변할 수 있으며 자료처리시 오차를 포함하고 있기 때문에 완벽하지 않다(Altamimi 등, 2002).

현재 가장 정밀한 것으로 알려진 지구기준좌표계는 IERS에서 발표하고 있는 ITRF(International Terrestrial Reference Frame)이다. IERS는 ITRF의 정확도를 높이기 위해 새로운 관측기술 및 자료와 분석기술을 지속적으로 도입하고 적용하고 있다. ITRF88을 시작으로 ITR97까지 해마다 향상된 개정판을 발표하였고, 최근에는 ITRF2000(Altamimi 등, 2002)과 ITRF2005(Altamimi 등, 2007)가 발표되었다. 특히 ITRF2005의 경우 기존 ITRF와는 달리 각 우주측지기술의 시계열 결과를 직접 분석하여 최종 장기해(long term solution)를 만들고 이를 통합한 것이다.

현재 ITRF는 측지 VLBI(Very Long Baseline Interferometry), SLR(Satellite Laser Ranging), GPS, DORIS(Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) 등과 같은 여러 우주측지기술을 통합한 결과이다. 각 기술은 모두 장단점을 갖고 있으며 최종적으로 통합하여 최적의 해를 산출하게 된다.

여러 기술 중 GPS는 측지 VLBI, SLR과 비교하여 정밀도는 다소 낮지만 훨씬 조밀한 관측망 분포와 24시간 상시관측이라는 큰 강점을 갖고 있다. 이 장점을 이용하여 꾸준히 정밀도가 향상되고 있으며 GPS만을 이용한 독자적인 지구기준좌표계 연구가 진행되고 있다.

IGS(International GNSS Service)에서는 IGS 관측자료를 이용하여 GPS만을 이용한 독자적인 기준좌표계인 IGSyy(yy는 두 자리 년도)라는 명칭으로 발표하고 있으며 현재 IGS05(Ferland, 2006)를 공표하여 사용하고 있다. 최근에는 Rülke 등 (2008)은 206개의 1994년부터 2005년까지 GPS 관측소 자료를 새롭게 처리하여 지구기준좌표계 PDR05 (Potsdam-Dresden-Reprocessing 2005)를 발표하였다.

국내에서는 세계측지계를 적용하여 ITRF2000을 기준좌표계(Reference Frame)로 사용하게 됨에 따라 이와 관련된 다양한 연구가 수행되었다. 주로 ITRF와 같은 이미 정립된 지구기준좌표계를 활용하는 방안에 대한 연구(이영진 등, 1996 ; 배상진 등, 1997)와 기존 동경좌표계와 ITRF2000간의 변환에 관한 연구(송동섭 등, 2007) 등을 중심으로 수행되어왔다.

본 연구에서는 기존 국내연구와는 달리 IGS 상시관측소를 이용하여 지구기준좌표계 자체를 결정하였다. 이를 위해 자료처리에 필요한 GPS 관측소 선정, 자료처리 전략 수립 및 시계열 결과분석을 통한 최종해 산출 등을 직접 수행하였다.

본 논문의 결과를 ITRF2005와 비교하였으며 두 기준좌표계간 변환매개변수를 추정하였다. 마지막으로 이 연구를 통해 산출한 GPS 관측소의 이동속도를 이용하여 주요 지각판의 운동을 모델링하고 기존 연구결과와 비교하였다.

2. GPS를 이용한 지구기준좌표계 결정

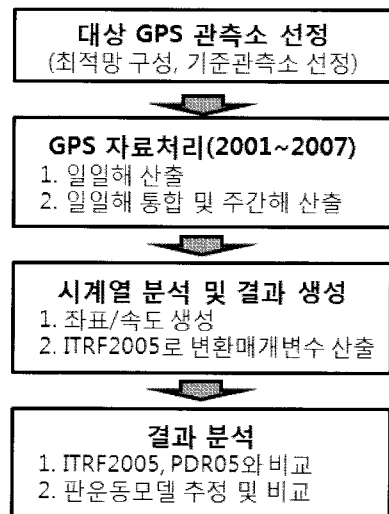


그림 1. 지구기준좌표계 결정 및 분석 순서도

이 연구의 전체 수행과정은 그림 1과 같으며 아래에 각 과정을 자세히 기술하였다.

2.1 GPS 관측소 선정

IGS(International GNSS Service)에서는 약 400여개 IGS 상시관측소 자료를 처리하여 분포와 품질이 좋은 200~250개 관측소 처리결과를 ITRF 결정을 위해 IERS 로 보낸다(IGS 홈페이지). 하지만 전체 관측소 자료를 모두 처리하는 것은 많은 처리시간을 요구하므로 이 연구에서는 전지구에 고루 분포하도록 150개 관측소만을 선정하였다. 관측소 선정을 위해 사용한 최적망 구성알고리즘은 정성욱 등 (2007)이 GPS 위성궤도 결정의 정밀도 향상을 위해 사용한 방법을 이용하였다.

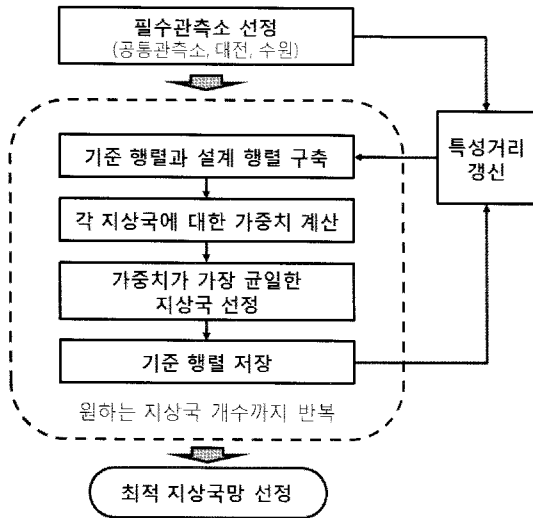


그림 2. IGS 관측소 최적망 구성을 위한 알고리즘

그림 2는 관측소 선정과정을 요약한 순서도이다. 관측소 선정에 앞서 150개 관측소에 반드시 포함되어야 할 필수 관측소를 미리 선정한다. 필수 관측소에는 GPS 외에 측지VLBI, SLR도 함께 위치한 공동관측소(co-location site)와 우리나라에 분포한 IGS 관측소인 대전(DAEJ), 수원(SUWN) 관측소가 포함되었다. 위의 알고리즘을 통해 선정된 150개 관측소 중 현재 작동되지 않거나 관측기간이 짧은 8개 관측소를 제외하고 총 142개 관측소를 최종적으로 선정하였고, 그림 3이 이를 나타낸 그림이다. 최적망 알고리즘을 사용했음에도 유럽지역이 보다 조밀한 분포를 보이는 이유는 미리 선정한 공동관측소가 유럽에 다수 분포하기 때문이다.

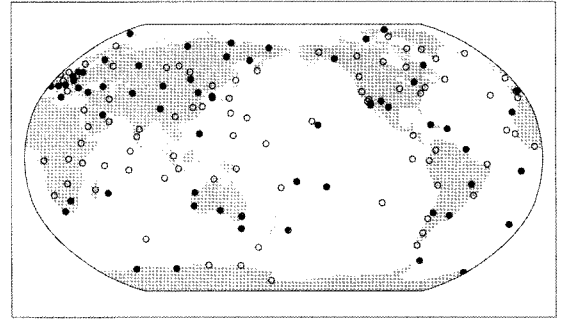


그림 3. 최적망 선정 결과 분포

GPS 자료처리 후에 각 관측소의 최종 위치를 결정하기 위해서는 기준관측소가 있어야 한다. 이 연구에서는 다음과 같은 기준관측소 선정기준을 적용하였다.

- 1) 관측기간이 최소 5년 이상일 것
- 2) 시계열결과에서 불연속점이 없을 것(지진, 안테나 교체 등)
- 3) 판경계에 위치하지 않을 것

만약 자료처리기간이 늘어난다면 위 선정기준 중 기준관측소의 관측기간 조건은 더 늘어날 수 있다.

위 기준에 부합하는 기준관측소는 총 61개였으며, 이를 그림 3에 검은 점으로 표시하였다.

2.2 자료처리 및 해석

GPS 자료처리를 위해 세계 3대 고정밀 GPS 자료처리 프로그램 중 하나인 Bernese GPS S/W 5.0(Dach 등, 2007)을 사용하였으며 주요 처리전략은 표 1과 같다.

표 1. 자료처리 전략 요약

항목	내용
차분	이중차분
관측값	L1 & L2, 코드와 위상관측값
위성궤도력	IGS 정밀력
모호정수 결정	QIF (Quasi Ionosphere Free) 방법
대류층 지연 추정	건조 및 습윤 Niell 모델
지구중력포텐셜	JGM3
해양조석	OT_CSRC
준일일 극축모델	IERS2000
장동	IAU2000
안테나 PCV	절대 PCV
행성궤도력	JPL DE200

위 자료처리 전략을 바탕으로 2001년 1월 1일부터 2007년 12월 31일까지 총 7년간의 142개 IGS 관측소 자료를 처리하였다. 타 연구에 비해 7년 자료만 처리한 이유는 연구목적상 자료처리에 걸리는 시간을 고려하였기 때문이다. 7년 자료를 처리하는데 소요된 시간은 Quad-Core CPU 2개와 4 GB RAM 4개를 탑재한 서버를 매일 24시간 가동하여 약 2개월이다.

데이텀을 정의하기 위해서 61개 기준관측소를 IGS05에 대해 최소제약조건(minimum constraint)을 주었으며 NNR(No-Net-Rotation)과 NNT(No-Net-Translation)로 정렬하여 자료처리 결과에 좌표값을 부여하였다. NNT 조건을 추가한 이유는 본 연구에서는 GPS 위성의 궤도결정을 통한 원점을 추정하지 않았으므로 기존 IGS05의 원점을 따르기 위해서이다.

하루단위로 처리한 결과는 정규방정식(normal equation)형태로 저장하고 이를 일주일 단위로 묶어 최종 주간해를 SINEX(Software Independent Exchange) 형식으로 저장하였다. SINEX파일로부터 필요한 주간 좌표 및 공분산정보를 추출하여 관측소별 시계열 결과를 생성하고 이를 최종 분석하였다.

좌표와 속도 추정은 가중최소제곱법(Weighted Least Squares)을 사용하였고 이상치(outlier)의 경우 잔차의 3σ를 기준으로 제거하였다. 좌표의 기산점(epoch)은 2000년 1월 1일이다. 이 과정을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 하루단위 자료처리(정규방정식 NQ0저장)
- 2) 주간단위 통합 및 주간해 생성(SINEX)
- 3) 각 관측소별 시계열 결과 생성
- 4) 각 관측소 좌표 및 속도 추정

3. 지구기준좌표계간 변환매개변수 결정

지구기준좌표계는 관측자료, 자료처리 방법, 측지기술간 통합방법 등에 따라 다르게 구현된다. 따라서 하나의 기준좌표계에서 얻은 성과를 다른 기준좌표계에서 사용하기 위해서는 두 기준좌표계간 변환 매개변수가 필요하다.

기준좌표계간 변환은 평행이동(translation) 과 회전(rotation) 의 각각에 대해 세 성분, 축척변화(scale) 의 한 성분 등 총 7개의 변환매개변수로 정의될 수 있다. 변환할 두 지구기준좌표계를 각각 X_1 , X_2 라 하면, X_1 을 X_2 로 변환할 때 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_2 = X_1 + T + DX_1 + RX_1 \tag{1}$$

이때, 평행이동과 회전매개변수는 다음과 같다.

$$T = \begin{bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} 0 & -R3 & R2 \\ R3 & 0 & -R1 \\ -R2 & R1 & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

위와 마찬가지로 지구기준좌표계의 시간변화에 대한 매개변수 관계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + D\dot{X}_1 + \dot{R}X_1 + R\dot{X}_1 \tag{3}$$

그런데 D 와 R 은 보통 10^{-5} 수준이고 좌표의 시간변화 \dot{X} 은 10cm/year 수준이므로 $D\dot{X}_1$ 와 $R\dot{X}_1$ 성분은 0.001mm/year로 무시할 수 있다(Altamimi 등, 2002). 따라서 식 (3)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + \dot{R}X_1 \tag{4}$$

좌표와 시간변화의 변환매개변수 벡터를 각각 θ , $\dot{\theta}$ 이라고 하면 그 구성은 다음과 같다.

$$\theta = [T1 \ T2 \ T3 \ D \ R1 \ R2 \ R3]^T$$

$$\dot{\theta} = [\dot{T1} \ \dot{T2} \ \dot{T3} \ \dot{D} \ \dot{R1} \ \dot{R2} \ \dot{R3}]^T \tag{5}$$

이를 식 (2)와 (4)에 적용하면 다음과 같이 선형 방정식으로 나타낼 수 있으며 최소제곱법을 이용하여 식 (8)과 같이 풀 수 있다.

$$X_2 - X_1 = A\theta$$

$$\dot{X}_2 - \dot{X}_1 = A\dot{\theta} \tag{6}$$

$$\theta = (A^T A)^{-1} A^T (X_2 - X_1)$$

$$\dot{\theta} = (A^T A)^{-1} A^T (\dot{X}_2 - \dot{X}_1) \tag{7}$$

이 때는 설계행렬로써 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 100x^i & 0 & z^i & -y^i & & & \\ 010y^i & -z^i & 0 & x^i & & & \\ 001z^i & y^i & -x^i & 0 & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \tag{8}$$

(x^i , y^i , z^i)는 X_1 지구기준좌표계의 i 번째 관측소의

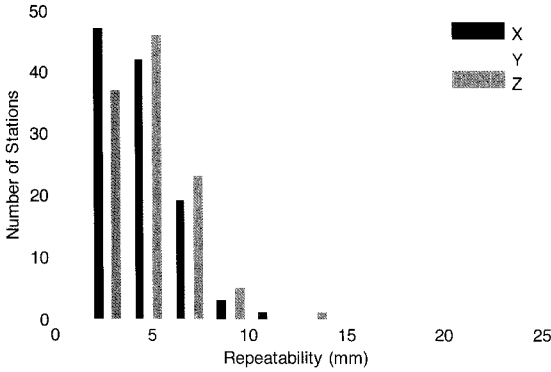


그림 4. 자료처리 결과의 재현성 히스토그램

3차원 직각좌표를 의미한다.

4. 결과 및 토의

4.1 재현성

먼저 처리결과와 정밀도를 확인하기 위하여 재현성을 계산하였다. 재현성의 계산은 각 관측소의 8년간 시계열 결과자료에서 선형성분을 제거한 잔차의 RMS를 구하였다.

그림 4는 처리결과와 히스토그램을 나타낸 것으로 가로축은 재현성, 세로축은 해당 관측소의 개수를 의미한다. 전체의 80%는 5mm 이하에 분포하며 10mm 이상은 1% 미만이다. X성분은 4.7mm, Y성분은 5.8mm, Z성분은 5.2mm 으로 총 9.1mm의 RMS로 Rülke 등 (2008)의 PDR05의 9.3mm RMS와 비슷한 수준의 높은 정밀도를 보였다.

4.2 ITRF2005와 비교

ITRF2005는 2000년 1월 1일 기준으로 총 321개 IGS 관측소의 3차원 직각좌표와 이동속도를 제공한다. 이 연구를 통해 구현한 지구기준좌표계의 성능을 평가하기

위해 ITRF2005와 비교하였다.

새롭게 발표되는 지구기준좌표계는 기존의 지구기준좌표계와의 연속성이 있어야 하므로 기존 결과에 대한 변환매개변수를 추정하여 발표한다. ITRF2005도 각 관측소의 좌표, 속도 및 ITRF2000과의 변환매개변수를 산출하였다. 이 논문에서도 3절에서 소개한 방법으로 미리 선정한 기준관측소 61개소를 이용하여 ITRF2005로의 변환매개변수를 결정하였다(표 2).

원점의 평행이동 성분은 $\sqrt{T1^2 + T2^2 + T3^2} = 2.2 \text{ mm}$ 로 자료처리 정밀도보다 작고, 축척 D 는 -0.68ppb 로 대략 지구반경을 곱하여 길이단위로 환산하면 약 -4.3mm 정도이다. 축의 회전성분은 역시 환산하면 1mm 미만으로 나타난다. 따라서 ITRF2005와 비교했을 때 안정된 결과임을 확인할 수 있다.

다음은 표 2의 변환매개변수로 변환한 좌표와 속도를 ITRF2005와 비교하였다. 표 3은 좌표의 비교결과를 자세히 나타낸 것으로 각 축이 10mm 이내로 3차원 공간 차이는 15.7mm가 존재하였다. 차이의 평균의 경우 X축이 1.2mm로 가장 큰 값을 보였으며 Y축이 -0.3mm 로 가장 작은 값이 나타났다.

표 3. ITRF2005 좌표와 차이비교

	X	Y	Z	E	N	U
평균(mm)	1.2	-0.3	0.4	-0.1	-0.2	1.7
RMS(mm)	7.0	9.9	9.9	6.4	6.7	13.3

수평, 수직 성분으로 나타내면 수평은 6.7mm 이내 수직은 13.3mm의 RMS차이가 나타났다. PDR05가 ITRF2005와 비교했을 때 수평은 5mm, 수직은 10mm 차이를 갖는 것과 비교하면 약 25%정도 더 크다. 평균의 경우 수직성분이 1.7mm로 수평성분에 비해 다소 크게 나타났는데 이는 자료처리 정밀도를 고려한다면 무시할 만한 수치이다.

표 2. ITRF2005로 변환매개변수

매개변수	(mm)	(mm)	(mm)	(ppb)	(mas)	(mas)	(mas)	
크기	θ	1.6	-0.2	1.5	-0.68	0.02	0.00	-0.01
	σ_θ	1.0	1.0	1.0	0.15	0.04	0.04	0.04
변화율	$\dot{\theta}$	-0.1	0.1	-0.2	-0.02	0.00	0.00	0.01
	$\sigma_{\dot{\theta}}$	0.2	0.2	0.2	0.03	0.01	0.01	0.01

표 4. ITRF2005 속도와 차이비교

	V_X	V_Y	V_Z	V_E	V_N	V_U
평균(mm)	-0.1	0.2	0.0	0.3	-0.1	0.2
RMS(mm)	1.6	1.9	1.6	1.3	1.1	2.4

표 4는 이동속도의 비교결과를 나타낸 것이다. 이동속도 차이 RMS 성분은 수평 1.3mm/yr 이내, 수직 2.4mm/yr로 나타났다. PDR05의 경우 ITRF2005와 비교하였을 때 수평 RMS 1mm/yr 이내, 수직 2mm/yr 이내로 본 연구결과가 0.4mm/yr이내에서 차이가 더 크게 나타났다. 하지만 0.4mm/yr는 속도 추정치의 오차범위 내에 해당하므로 이 연구의 결과가 최근 연구결과와 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다.

2000년 1월 1일 기준 좌표와 속도를 비교한 결과에서는 전체적으로 PDR05에 비해 ITRF2005와 차이가 오차범위 내에 위치하기는 하지만 약간 크게 나타났다. 그 이유는 관측소 선정, 자료처리전략 등의 여러 요인 중 처리한 자료의 기간도 하나의 이유가 될 수 있을 것이다. PDR05는 1994년부터 2006년까지 13년 자료를 처리한 반면 본 연구는 7년간의 자료를 처리하였다. ITRF2005에 사용된 GPS 관측자료는 1996년부터 2005년까지로써 PDR05 결정에 사용된 자료의 기간에 포함된다. 하지만 본 연구는 2001년부터 2007년까지 자료를 처리하였기 때문에 전체적인 이동속도와 기준좌표의 경향이 다르게 추정될 수 있을 것이다.

4.3 지구 주요 판운동모델 결정

본 연구에서 결정한 관측소의 좌표와 속도를 이용하여 지구지각을 구성하는 주요 판의 운동모델을 계산하였다. 고전적인 판운동 모델에는 지자기자료를 이용한 NUVEL-1A(DeMets 등, 1994)가 있으며 최근에는 정밀한 우주측지기술을 이용하여 얻은 판 내부에 위치한 관측소의 속도를 통해 오일러 극의 위치와 각속도를 계산한다. 이 연구에서는 표 5와 같이 7개의 판에 대해 오일러 극과 각속도를 추정하였다. 각 판에 대해서 첫 행이 본 연구결과, 두 번째 행이 ITRF2005의 결과, 세 번째 행은 NUVEL-1A모델의 결과이다. 표에서 '개수'는 각 판의 운동을 결정하는데 사용된 GPS 관측소의 개수를 나타낸다.

그림 5는 표 5의 운동성분을 지도상에 속도벡터로 표현한 것이다. 흑색 화살표가 연구결과이고, 백색과 회색은 각각 ITRF2005와 NUVEL-1A 모델이다. 사용된 GPS

표 5. 판운동모델 결정 비교(EU: 유라시아판, NU: 누비아판, AU: 호주판, PA: 태평양판, AN: 남극판, SA: 남아메리카판, NA: 북아메리카판)

판	개수	위도 (deg)	경도 (deg)	각속도 (deg/Myr)
EU	30	56.587	-97.080	0.281
	41	56.330	-95.979	0.261
	-	50.631	-112.275	0.233
NU	7	58.268	-76.586	0.309
	13	49.955	-82.501	0.269
AU	-	50.569	-73.978	0.291
	8	33.184	29.987	0.648
	14	32.407	37.367	0.628
PA	-	33.852	33.175	0.646
	3	-62.793	107.940	0.692
	10	-62.569	112.873	0.682
AN	-	-63.045	107.325	0.641
	6	47.827	-127.01	0.173
	8	59.813	-125.315	0.223
SA	-	62.986	-115.736	0.234
	4	-26.500	-177.510	0.128
	9	-16.800	-129.631	0.121
NA	-	-25.325	-124.430	0.116
	15	-3.710	-83.533	0.200
	30	-4.291	-87.385	0.192
	-	-2.438	-85.895	0.207

관측소가 많은 유라시아판(EU)과 북아메리카판(NA)의 경우 연구결과와 ITRF2005가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 유라시아판의 경우 우주측지기술을 통해 얻은 결과와 NUVEL-1A의 결과가 다소 차이가 나는 것을 볼 수 있는데 NUVEL-1A는 수백만 년간 누적된 자료를 이용한 반면 후자의 경우 현재 10년 내외의 자료를 사용했기 때문에 모델간 차이가 발생한다.

기타 판의 경우 속도벡터가 ITRF2005와 다소 차이를 보이는데 ITRF2005에 비해 사용한 관측소의 개수가 적기 때문인 것으로 판단된다. 향후 보다 자세한 판운동 연구를 위해서는 해당 판에 위치한 관측소의 개수를 늘

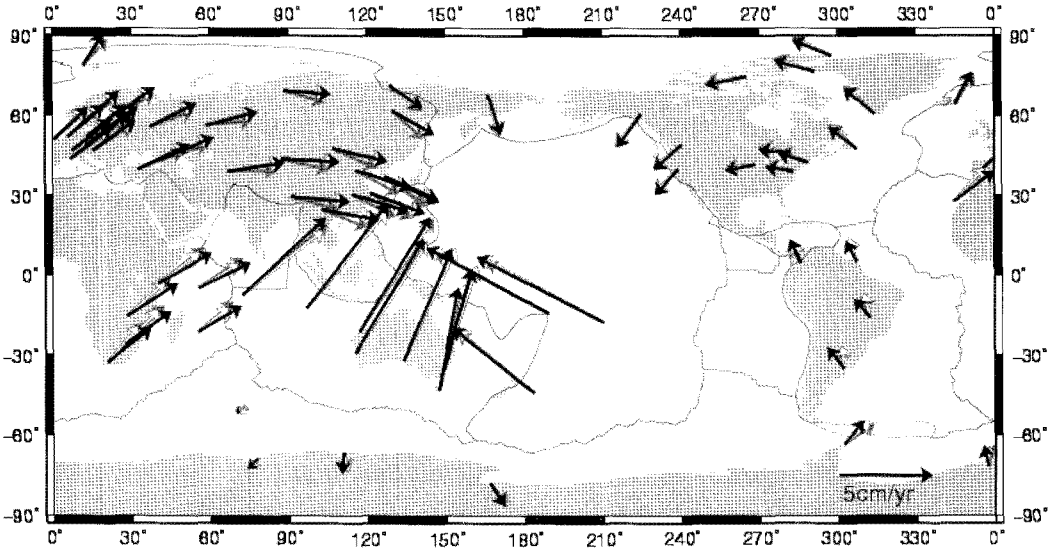


그림 5. 판운동 모델 결정결과 비교. 화살표는 해당 위치의 판운동 속도를 나타냄 (흑색: 본 연구결과, 백색: ITRF2005, 회색: NUVEL-1A)

려 처리해야 할 것이다.

5. 결론

본 연구는 전지구에 분포하는 GPS 관측자료를 사용하여 지구기준좌표계를 결정한 국내 첫 연구로서 의의를 갖는다. 이 연구에서는 GPS 관측소 선정부터 자료처리 방법 설계 및 시계열결과 분석을 독자적으로 수행하였고, 최종적으로 ITRF2005와의 변환매개변수를 추정하였다.

자료처리의 재현성은 3차원 공간에서 총 9.1mm로 나타났다. ITRF2005로의 변환매개변수는 길이로 환산하면 최대 4.3mm 이내의 값을 보이고 있기 때문에 본 연구에서 산출된 지구기준좌표계가 ITRF2005와 수 mm 내에서 일치한다고 볼 수 있다. 2000년 1월 1일의 좌표와 속도를 비교했을 경우에는 대체로 좋은 정확도를 가졌으나 최근 국의 선행연구인 PDR05와 비교할 때 오차범위 내에서 다소 낮은 정확도를 보였다.

이 연구에서는 GPS 위성의 궤도를 결정하지 않고 IGS에서 제공한 궤도를 사용함으로써 IGS05에서 결정한 지구질량중심을 사용하였다. 따라서 완전히 독자적인 지구기준계를 실현한 것은 아니다. 하지만 자료수집부터 처리 및 분석까지 모두 직접 수행하여 독자적인 지구기준좌표계 결정을 위한 기술을 확보했다고 볼 수 있다.

향후 GPS 위성궤도추정을 포함하고, 자료처리 결과를 향상시키기 위해 관측소의 개수와 기간을 더 늘리면서 최근 개발된 대류층 사상함수모델, 해양조석모델 등의 보다 정밀한 모델을 자료처리에 이용한다면 국제공인 수준의 독자적인 지구기준좌표계를 구축할 수 있을 것이다.

지구기준좌표계는 측량과 측지 및 지구과학연구에서 가장 기본이 되는 요소이다. 따라서 실제 현업에서는 세계적으로 가장 정밀한 것으로 받아들여지는 IERS의 ITRF를 사용하더라도 국내의 독자적인 지구기준좌표계 결정기술은 원천기술로서 꾸준히 발전시켜나가는 것이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신사업과제의 연구비지원(07국토정보 C02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

배상진, 최철웅, 강인준 (1997), WGS-84 좌표계에 의한 수치지도 작성, 한국측지학회지, 한국측지학회, 제 15 권, 제 2호, pp. 269-275.

- 송동섭, 윤홍식, 장은석, 김태우 (2007), 국가기준점 망 조정 성과를 활용한 최적 국가 좌표계 변환 모델 결정, *한국측량학회지*, 한국측량학회, 제 25권, 제 6호, pp. 613-623.
- 이영진, 조규전, 김원익 (1996), 한국측지좌표계의 재정립에 대한 연구, *한국측지학회지*, 한국측지학회, 제 14권, 제 2호, pp. 141-150.
- 정성욱, 백정호, 배태석, 조중현, 조성기, 박종욱 (2007), IGS 산출물 생성을 위한 지상국 선정에 관한 연구, *한국우주과학회지*, 한국우주과학회, 제 24권, 제 4호, pp. 417-430.
- Altamimi, Z., Sillard, P., and Boucher, C. (2002), ITRF2000: A new release of the international terrestrial reference frame for earth science applications, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 107, No. B10, p. 2214.
- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., and Boucher, C. (2007), ITRF2005: A new release of the international terrestrial reference frame based on time series of station positions and Earth orientation parameters, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, No. B10, p. B09401.
- Boucher, C., and Altamimi, Z. (1985), Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame, *The MERIT/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames*, Vol. 2, pp. 551-564.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., and Meindl, M. (2007), *Bernese GPS Software Version 5.0*, Astronomical Institute, University of Bern, Bern, pp. 1-612.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., and Stein, S. (1994), Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophysical Research Letters*, Vol. 21, No. 20, pp. 2191-2194.
- Ferland, R., (2006), Proposed update of the IGS reference frame realization, *IGS workshop*, Darmstadt, Germany.
- Grafarend, E. (1972), Genauigkeitsmae geodätischer Netze, München: Verlag der Bayer. Akad. d. Wiss., pp. 1-38.
- IGS 홈페이지, *International GNSS Service*, <http://igs.cb.jpl.nasa.gov>
- McCarthy, D., and Petit, G. (2004), IERS Convention 2003, *IERS Technical Note 32*, Verlag des Bundesamts fr Kartographie und Geodsie Frankfurt am Main, Germany, pp. 21-32.
- Rülke, A., Dietrich, R., Fritsche, M., Rothacher, M., and Steigenberger, P. (2008), Realization of the terrestrial reference system by a reprocessed global GPS network, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 113, p. B08403.

(접수일 2008. 10. 16, 심사일 2008. 12. 17, 심사완료일 2009. 6. 24)