

철도기준점 좌표계 변환에 관한 연구

A Study on the Coordinates System Transformation of Railway Control Point

문정균, 박수범, 김종석, 허준

Cheung-Kyun Moon, Soo-Bum Park, Jong-Suk Kim, Joon Heo

연세대학교 사회환경시스템공학부

sepper@paran.com, krct302@empal.com, kjsppk2@yonsei.ac.kr, jheo@yonsei.ac.kr

요 약

철도측량 및 철도현황측량에 있어 기본이 되는 철도기준점은 과거 국가삼각점을 이용한 지역(동경)좌표계에서 조정 되었다. 세계좌표계로의 전환을 결정한 건교부 지침에 의해 기존의 지역좌표계 성과는 모두 세계좌표계로 전환되어야 하며, 이를 위해 본 연구는 철도기준점의 좌표계 변환방법에 대한 기준을 마련하고자 하였다. 다양한 분석결과 GPS상시관측소 데이터를 활용하는 것이 가장 적절한 대안으로 분석 되었으며, 각 관측 지점의 좌표를 상시관측소의 수를 달리하여 분석한 결과 상시관측소 1,2개소를 연결한 것 보다 3개소 이상의 관측소를 사용한 것이 예상대로 좀 더 정밀한 결과 값을 얻을 수 있었다.

1. 서 론

2007.1.1 세계측지계가 시행됨에 따라 철도분야의 각 기준점 및 현황좌표에 대한 세계좌표계변환으로의 변환이 당면 현실과제로 문제제기 되고 있으나 데이터의 품질상태 및 기술 이해부족으로 변환에 있어 많은 문제점을 가지고 있다. 특히 현장 재측을 통한 좌표계변환은 막대한 예산과 인력 소요가 발생, 현실적으로 불가능 하므로 현실적인 대안이 필요하며 그 대안으로서 기존 지역측지계 기반에서 관측된 GPS데이터(Rinex)를 기초로 상시관측소와 연결, 세계좌표계로 변환된 기준점을 철도기준점으로 활용할 수 있는지와 상시관측소의 개소 수에 따른 좌표값의 변위량을 비교분석하고자 한다.

2. 측 지 계

2.1 지구중심측지계(geocentric datum)

지구중심측지계(geocentric datum)는 세계적으로 지구의 형상과 크기가 가장 근접하는 측지계이며, 타원체의 중심이 지구질량 중심과 일치한다. 지구중심측지계는 특정지역에서 부합되는 타원체를 구할 필요가 없으며 활용분야와 지역도 전 세계를 대상으로 한다. 미국 국방성에서 운영되는 지구측위시스템(GPS)은 세계적인 활용범위 때문에 그 위치를 지구중심측지계로 구현하고 있으며 러시아의 GLONASS위성도 역시 지구중심측지계를 사용하지만 GPS에서 사용되는 측지계와는 다르다. 또한 지구 중심측지계를 세계측지계라고도 한다.

2.2 지역측지계상의 3차원 직각좌표를 세계측지계로 변환

지역측지계상의 3차원 직각좌표를 세계측지계에 기준한 3차원 지심 직각좌표로 변환을 수행하는데 있어 3차원 좌표변환에 필요한 국가좌표변환계수와 변환식은 『국토지리정보원 고시 제2003-497호』에서 제시한 Molodensky-Badekas 모델에 의하여 결정된 값과 식을 사용한다.

표 2.1 고시된 국가좌표변환 계수

구분	평행이동량(m)			회전량(°)			측적변화량(ppm)
	Δx	Δy	Δz	Rx	Ry	Rz	λ
변환계수	-145.907	505.034	685.756	-1.162	2.347	1.592	6.342

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+\lambda) \begin{bmatrix} 1 & R_x & -R_y \\ -R_x & 1 & R_y \\ R_y & -R_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_b - X_o \\ Y_b - Y_o \\ Z_b - Z_o \end{bmatrix}$$

단, X_g, Y_g, Z_g : GRS80 타원체 상의 3차원 지심직각좌표(세계측지계)

X_b, Y_b, Z_b : Bessel 타원체 상의 3차원 직각좌표(지역측지계)

X_o, Y_o, Z_o : 좌표변환 기준좌표

2.2 변환된 3차원 지심직각좌표를 평면 직각좌표로 변환.

변환된 3차원 지심직각좌표(X_g, Y_g, Z_g)를 GRS80 타원체면 상의 경위도 좌표(측지좌표 또는 구면좌표)로 변환할 수 있다. 변환된 3차원 지심직각좌표를 측지좌표로 변환하는 식은 다음을 이용한다.

$$\phi_g = \tan^{-1} \frac{Z_g + e'^2 \cdot b \cdot \sin^3 \theta}{p - a \cdot e'^2 \cos^3 \theta} \quad (2.1)$$

$$\lambda_g = \tan^{-1} \frac{Y_g}{X_g} \quad (2.2)$$

$$h_g = p \cdot \cos \phi + Z_g \sin \phi - \frac{a^2}{N} \quad (2.3)$$

여기서,

a : 타원체의 장반경, b : 타원체의 단반경

$$p = \sqrt{X_g^2 + Y_g^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \frac{Z_g \cdot a}{p \cdot b} \quad (2.4)$$

$$e'^2(\text{제1이심률}) = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (2.5)$$

$$e'^2(\text{제2이심률}) = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (2.6)$$

○ GRS80 타원체의 제원은 다음과 같다

- 장반경 $a = 6\,378\,137$ m

- 편평률 $f = 1/298.257222101$

3. 철도측량 및 철도기준점

철도측량은 “철도노반 및 기지공사를 위한 조사, 설계, 시공 및 유지관리 등에 필요한 측량작업에 관한 기준을 정함으로써 규격을 통일하고 필요한 정확도를 확보함을 목적으로 한다.”(철도측량지침 2005.12) 철도측량은 일반적으로 기준점측량, 수준점측량, 조사측량, 평면현황보완측량, 중심선측량, 종단측량, 횡단측량을 포함하며 선로측량규칙 및 철도측량지침에 의해 방법 및 절차 등이 규정되어 과업 지시서에 명시된 측량법 및 동법 시행령과 시행규칙, 공공측량 작업규정의 내용과 함께 적용된다. 최근 좌표계의 변환 및 철도측량 관련법규 등이 보다 명확하게 제공될 필요성이 인정되어 철도측량관련 법규를 제정 및 개정하게 되었으며, 그 대표적인 기준이 선로측량지침(2005.12) 및 철도측량지침(2005.12)이다. 이는 철도설계에 있어 철도측량의 정도 및 측량방법 등을 측량법을 기초로 하여, 철도분야에 맞게 정리한 지침이라고 할 수 있다.

3.1 철도기준점

3.1.1 철도기준점의 평면(X,Y)위치측량

철도기준점이란 “철도의 설계, 건설, 유지 관리 등에 의치의 기준을 제공하는 기준점 말한다.”(철도측량지침 2005.12)

철도기준점측량은 평면위치측량 과 수준(고저)측량으로 구분할 수 있으며 평면위치측량의 경우 “GPS에 의한 기준점측량 작업규정”중 3등 기준점 측량에서 정하는 방법에 의한다. 철도기준점설치장소는 지반이 견고하며 시야가 확보 되어야 하며 GPS장비 등을 사용하기 위하여 전파수신 장애가 없어야 한다. 철도기준점의 설치간격은 500m로 한다.

4. 분석 및 고찰

대상범위는 00선 (00-00간) 복선화 제0공구노반건설공사 터키(T/K,2004) 구간으로 시점은 경상남도 하동군 하동읍 (134km 150.00)이며 종점은 전라남도 광양시 진월면 (142km 620.00)으로 0공구에서 관측된 자료인 기준점 확인측량, 현황측량자료를 이용하며 수준측량 및 현황에 대한 성과는 제외한다. 본 연구에서는 정확한 평면 위치를 구하기 위하여 삼각점 11, 15, 310를 사용하였고 Static 방식으로 평면위치(X,Y)를 관측 하였다.

기준점 및 평면 기준점측량(성과)는 상시관측소인 진주, 전주, 대구, 광주 상시관측소를 활용하여 각각의 개소 수에 따른 변위를 기선해석에 의한 기선해석에 의한 Δx , Δy 오차의 추이를 추계하였다. 이러한 기선해석을 통해 프로그램은 TGO 1.62 프로그램과 측지계는 우리나라와 세계좌표계인 Korea Geodetic Datum 2002 과 EGM 96 지오이드 모델을 사용하였다.

삼각점은 국토지리정보원에서 발급한 성과를 바탕으로 GPS측량을 통해 기준점 및 보조기준점을 관측 하였다.

4.1 GPS 상시관측소 이용 개수에 따른 분석

상시관측소 이용개수 증가에 따른 분석을 위해 00-00 0공구 지역에 대해 TGO-1.62 프로그램을 사용하며 자동편집 기능을 이용한 기선해석과 철도측량지침에서 요구하는 「GPS 측량작업규정」에 의한 3등 기준점측량에 준해 성과를 산출하고자 한다. 사전작업으로서 상시관측소와 미 연결한 망의 폐합결과는 5mm로 기준에 부합하여 관측데이터의 신뢰도를 사전에 확인할 수 있었다. 이러한 망 체계를 바탕으로 상시관측소와 연결, 기선해석에 의한 Δx , Δy 변위추이를 분석하고자 한다.

이러한 사전 환 폐합 확인과 기선처리와 위성 편집 등 데이터 처리를 통해 얻어진 계산결과의 값은 15mm 이내로 실험에 사용된 데이터 모두 만족함을 알 수 있었다.

4.2 좌표값 결과의 분석

위와 같은 과정을 통하여 얻어진 X 축 Y축 값들은 아래와 같고 높이(H) 값의 경우는 우리나라의 정확한 각 지역별 지오이드 모델이 결정되지 않은 관계로 평면(X,Y)결과만 사용하였다. 이러한 결과 값의 차이를 나타낸 표 4.1는 아래와 같다

표 4.1 GPS 상시관측소 이용한 X축 변위

구 분	$X_4 - X_3$	$X_4 - X_2$	$X_4 - X_1$	$X_4 - X_0$
BM3-45	-0.006	-0.009	-0.006	-0.575
BM14-5-10-7A	0.008	-0.003	0.007	-0.561
GR11	0.002	-0.001	0.003	-0.565
GR310	0.003	0.000	0.003	-0.567
HA15	0.002	-0.001	0.003	-0.565
TP5-1	0.002	-0.001	0.003	-0.566
TP5-2	0.002	-0.001	0.003	-0.566

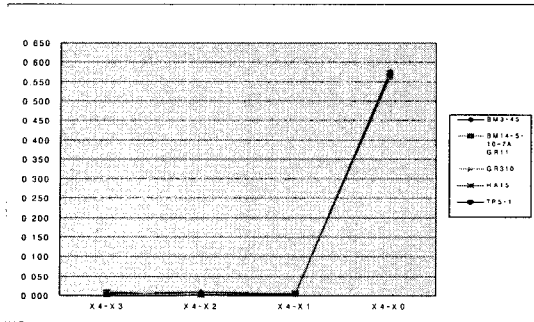


그림 4.1 GPS 상시관측소 이용한 X축 변위 그래프

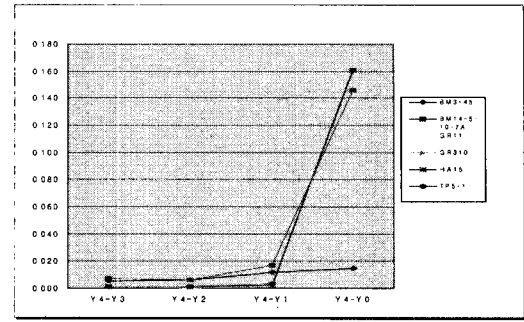


그림 4.2 GPS 상시관측소 이용한 Y축 변위 그래프

위와 같이 4개소의 상시관측소와 연결한 좌표 값을 최확값으로 가정하고 각 개 소수에 따른 좌표값과의 차의 변위 추이를 살펴 본 결과 상시관측소와 연결하지 않은 Korea Geodetic Datum 2002 과 EGM 96 지오이드 모델만을 사용한 자체 망 조정에 의한 X축 좌표값의 차이는 최대 0.575m 의 변위량을 나타내었으며 1개 소 연결한 좌표값의 변위량은 최대 0.007m, 2개소와 3개소를 연결한 좌표값 변위량은 0.009m과 0.008m 값의 결과를 얻을 수 있었다. 위 결과로부터 일정한 패턴이 나타나는데 이는 개소 수 증가에 따른 변위량 값이 점차 작아짐을 알 수 있었다. 위에서 분석한 데이터의 최대 X축의 변위량을 살펴보았을 때에는 상시관측소 2개소 또는 3개소 연결한 좌표값 보다 1개소 상시관측소 연결한 오차(변위)보다 큰 것으로 나타났으나 전체적인 좌표의 변위 및 변위량을 살펴보았을 때 최소 2~3개소 이상의 상시관측소와의 연결한 좌표값이 비교적 변화량이 적어 신뢰도가 높음을 알 수 있었다.

위 그래프는 Y축 좌표값의 차이를 나타낸 것으로 표에서 보는 바와 같이 X축의 추이와 유사한 형태의 변화를 알 수 있었다. 즉 상시관측소와 연결하지 않고 Korea Geodetic Datum 2002 과 EGM 96 지오이드 모델만을 사용한 자체망 조정에 의한 Y축 좌표값의 차이는 최대 0.161 m의 변위가 발생하였다. 4개의 상시관측소와 연결한 좌표 값(최확값)을 기준으로 각 개소별 연결한 좌표값의 차이를 살펴 1개소와 연결한 변위와의 차이는 최대 0.017 m 그리고 2개소, 3개소를 연결한 좌표값의 차이는 각각 0.006m과 0.007m 값의 결과를 얻을 수 있었다. 이는 개소 수 증가에 따른 변위량이 점점 작아짐을 확인할 수 있었다. 위에서 분석한 Y축의 좌표의 변위값은 상시관측소 2개소, 3개소 연결한 좌표값의 변위량이 1개소 상시관측소 연결한 변위량 보다 작음을 알 수 있었다. 이는 상시관측소증가와 변위량의 크기는 반비례함을 알 수 있었고, 비록 2개소 연결한 좌표의 변위값이 3개소를 연결한 변위량 보다 작았지만 전체적인 변위량 과 신뢰도 측면을 살펴보았을 때 최소 3개소 이상의 상시관측소와 연결한 좌표값이 비교적 안정적임을 알 수 있었다.

표 4.2 GPS 상시관측소 이용한 Y축 변위

구 분	$Y_4 - Y_3$	$Y_4 - Y_2$	$Y_4 - Y_1$	$Y_4 - Y_0$
BM3-45	0.005	0.006	0.012	-0.150
BM4-5-10-7A	-0.007	0.006	0.017	-0.146
GR11	-0.002	0.000	0.002	-0.161
GR310	-0.002	0.001	0.002	-0.161
HA15	-0.002	0.000	0.002	-0.161
TP5-1	-0.001	0.001	0.003	-0.161
TP5-2	-0.001	0.001	0.003	-0.160

5. 결 론

본 연구에서는 철도기준점 관측시 사용된 GPS관측데이터(Static 방식)를 기초로 세계측지계전환에 따른 베셀타원체 기반의 성과를 GRS80 타원체기반의 세계좌표계로 산출하기 위한 철도기준점의 전환 방안을 연구하고자 하였다. 먼저 GPS데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 데이터의 폐합을 통해 신뢰성을 검증하고 데이터를 분석하여 철도측량지침(2005.12) 및 작업규정 기준과 GPS에 의한 기준점측량작업규정 중 3등 기준점 측량에서 요구하는 정도에 부합함을 확인한 결과 기준에 만족함을 알 수 있었다. GPS 상시관측소는 데이터 취득지역과 비교적 가까운 진주, 대구, 광주, 전주의 상시관측소를 이용하여 각 측점의 좌표를 산출하였고 상시관측소의 개소수가 증가함에 따라 변위량이 점차 감소, 최소화 되며 안정성과 신뢰도가 높아짐을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 강봉서 (2002), “TRF2000 측지계에 준거한 GPS 상시관측소의 정밀성과 산출에 관한 연구”, 경기대학원 박사논문.
- 양근우, (2002), “GPS를 이용한 지적측량 개선 방안”제1회 GPS 활용 Workshop, pp.153~176.
- 김경수, (2001), “세계측지계 도입 및 GPS 관측망 운영”, 대한측량학회지 제59호. pp.40~44.
- 강기석, (2003), “GPS 상시관측에 연계한 기준점측량의 오차특성분석”,충남대 대학원.
- 양근우, (2004), “세계측지좌표계에 기준한 절대좌표 정확도에 관한 연구”, 경기대대학원.
- Parkinson.B.W, Spiker J. J.Jr, (1996), “Global Positioning System : Theory and Applications”, Volume I,II, Progress in Astronautics and Aeronautics.