

철도기준점을 이용한 지역좌표변환계수 산정과 활용 Computation and Application of Local Coodinate Transformation Coefficient using Railroad Control Point

김종석¹⁾ · 손홍규²⁾ · 허준³⁾ · 문정균⁴⁾

Kim, Jong-Suk¹⁾ Sohn, Hong-Gyoo²⁾ Heo, Joon³⁾ Moon, Cheung-Kyun⁴⁾

¹⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(E-mail:kjsppk2@yonsei.ac.kr)

²⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수(E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)

³⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수(E-mail:jheo@yonsei.ac.kr)

⁴⁾ 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정(E-mail:sepper@paran.com)

요약

현재 동경측지계로부터 세계측지계로의 좌표변환을 하기 위하여 고시된 국가좌표변환계수는 우리나라 전 지역에 대하여 산출된 값으로서 지역마다 정확도에서 어느 정도의 오차를 포함하고 있다. 이에 따라 호남고속철도와 같이 대형국책 사업 수행시 좌표변환 오차로 인하여 문제가 발생하는 경우 경제적이거나 사회적으로 많은 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 호남고속철도 사업구간 오송 ~ 광주 180km구간(철도기준점 231점)을 사용하여 전 구간180km를 3구역으로 나누어 각 구역별(60km)의 지역좌표변환계수와 전 구간180km 전체에 대한 지역좌표변환계수 산정하여 지역에 따른 좌표변환 시 적용 가능성에 대하여 살펴보았다.

1. 서론

우리나라는 2001년 12월 측량법을 개정하여 기존에 사용하던 Bessel 타원체를 준거타원체로 하는 동경측지좌표계에서 GRS80 타원체를 준거타원체로 하는 세계측지계로 국가측지좌표계를 전환하였다.

이에 따라 2003년 1월 1일부터 신규로 제작되는 지형공간정보와 위치정보를 기반으로 하는 자료는 모두 세계측지계를 사용하여야 하며, 기존에 제작된 자료의 경우 2009년 12월 31일까지 한국측지계와 세계측지계를 병행 사용하고 2010년 1월 1일부터 세계측지계의 사용을 전면 시행하도록 하였다. 이에 국토지리정보원에서는 좌표계 전환에 관한 연구를 통하여 국가좌표변환계수 고시하였다(이현직, 2007).

국가좌표변환계수는 우리나라 전역에 대한 평균 좌표변환계수 결정에 관한 것으로서 이 변환계수를 지역적으로 적용할 경우 지역별로 많은 편차를 보이고 있다. 그리고 호남고속철도와 같은 대형국책 사업 수행 시 국가좌표변환계수만을 이용하여 좌표변환 시 많은 문제점을 안고 있다.

호남고속철도에서는 전국적 단일망을 구성, 평면기준점 및 수준오차를 최소화하여 2007년 01월 세계측지계변환지침에 따라 지구중심좌표계를 사용하여 계획/설계하고 있다. 그러나 지구중심좌표계는 용지폭 결정 및 용지매수를 위한 지적좌표계와의 구조적 차이로 인해 수백 m의 평면 위치 차이가 발생한다. 호남고속철도 설계시 좌표계 변환시 문제로 토목(노반) 계획 및 설계이후 용지폭 결정 및 용지매수를

위해 지적도면으로 중심선형으로 이동해야 하는 문제가 있지만 현재 세계측지계에서 지적좌표계로의 좌표변환계수, 변환방법등에 대해 관련규정이 없는 관계로 좌표계변환시 많은 어려움이 있다(문정균, 2007).

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 호남고속철도 철도기준점 231점(Bessel, GRS80) 값을 이용, 지역좌표변환계수를 산정하고 고시된 국가좌표변환계수와 비교하여 지역좌표변환계수 사용가능여부를 조사 하여 철도중심선형과 지적좌표계의 일체와 방법을 제안하고자 한다.

2. 좌표변환

2.1 좌표변환계수 산출

3차원 변환은 두개의 3차원직교좌표에 관련된 7개의 변수가 있고 이러한 7개의 변수는 두 좌표계의 원점인(X_0, Y_0, Z_0)에 관계되는 변수인 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 와 각 좌표축의 회전변수인 ω, ϕ, k 그리고 두 좌표계 사이의 축척계수 S 가 있다. 가장 많이 사용되고 있는 3차원 변환모델로는 Bursa-wolf 변환모델, Molodensky-Badekas 변환모델, Helmert 변환 모델이 있다. 이러한 변환모델을 사용하기 위해서는 경도(λ), 위도(ϕ), 표고(H)의 경위도 좌표를 3차원지심직교좌표로 변환하여야 한다. 3차원직교좌표 원점과 일치하는 지구타원체면에 대한 높이 H 인 지점에 있는 한점 $P(\lambda, \phi, H)$ 의 3차원 지각좌표 X_P, Y_P, Z_P 는 다음과 같은 변환식을 이용하여 구할 수 있다.

$$X_P = (N+H)\cos\phi\cos\lambda \quad \text{식 (1)}$$

$$Y_P = (N+H)\cos\phi\sin\lambda \quad \text{식 (2)}$$

$$Z_P = [N(1-e^2)+H]\sin\phi \quad \text{식 (3)}$$

GPS 측량결과 조정된 WGS80좌표와

기존 삼각점의 좌표를 각각 3차원지심직교좌표로 변환하여 각 좌표계 사이의 7개 변환 매개변수를 최소제곱법에 의해 산출할 수 있다.

2.2 변환절차

2.2.1 평면직교좌표계에서 동경측지계 좌표로 변환

좌표변환을 실시하고자 하는 수치지형도의 평면좌표(TM투영의 Gauss-Krüger 투영식)를 다양한 데이터 파일포맷(DXF, NGI)을 읽어 역투영식에 의하여 측지좌표(또는 지리좌표)로 계산한다. 수치지형도는 CAD나 GIS소프트웨어에서 제공되는 다양한 포맷을 사용하여 제작되었거나 편집되었으므로 수치지형도상의 객체들의 위치좌표는 평면좌표로 표시되어 있다. 따라서 각 객체들의 평면좌표를 역 TM투영식에 의하여 측지좌표(지리좌표 또는 경·위도 좌표)로 계산하고, 계산된 측지좌표는 3차원 직교좌표계에 기준한 3차원직교좌표로 변환 한다.

측지좌표를 3차원직교좌표로 변환하는 식은 다음의 식을 사용하도록 한다.

$$\begin{bmatrix} X_{old} \\ Y_{old} \\ Z_{old} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (v+h)\cos\varphi\cos\lambda \\ (v+h)\cos\varphi\sin\lambda \\ v(1-e^2)+h\sin\varphi \end{bmatrix} \quad \text{식 (4)}$$

$$v = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2)\sin^2\varphi}} \quad \text{식 (5)}$$

여기서, φ, λ 는 측지좌표(위도, 경도)이고, h 는 타원체고, e 는 편평률, a 는 Bessel타원체의 장반경(6377397.155 m)이다.

2.2.2 동경좌표계에서 세계측지좌표계로의 변환

앞에서 계산된 3차원직교좌표를 7개 변환계수를 사용하여 새로운 측지기준인 세계측지계에 기준한 3차원직교좌표로 계산한다. 동경측지좌표의 3차원직교좌표는 7개 변환계수를 사용하여 새로운 세계측지계좌표에 기준한 3차원직교좌표로 계산할 수 있으며 계산식은 국토지리정보원 고시 제 2003-497 에서 제시한 다음의 식을 사용한다.

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

식 (6)

단, X_g, Y_g, Z_g : GRS80 타원체상의 3차원 직교좌표(세계 측지계)

X_b, Y_b, Z_b : Bessel 타원체상의 3차원 직교좌표(한국 측지계)

X_o, Y_o, Z_o : 좌표변환 기준좌표

2.2.3 세계측지계에 기준한 3차원 직교좌표를 측지좌표로 역변환

표 1. 국가변환좌표값

구분	기 준 좌 표		비고
	Bessel=>GRS80	GRS80=>Bessel	
X_o	-3,159,521.31	-3,159,666.86	
Y_o	4,068,151.32	4,068,655.70	
Z_o	3,748,113.85	3,748,799.65	

표1 에서 변환된 3차원 직교좌표(X_g, Y_g, Z_g)를 측지좌표로 역 계산한다. 역 계산은 다음의 식을 사용하여 보간법에 의하여 요구하는 정밀도(10^{-6})에 수렴할 때까지 계산하여야 한다.

$$p = \sqrt{X_g^2 + Y_g^2} \quad \text{식 (7)}$$

$$h_o = p \sec \varphi - v \quad \text{식 (8)}$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Y_g}{X_g}\right) \quad \text{식 (9)}$$

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{Z_g(1-e^2)}{p} - \frac{v}{v+h^{-1}} \quad \text{식 (10)}$$

2.2.4 측지좌표를 평면좌표로 변환

위에서 계산된 결과인 측지좌표는 새로운 측지기준인 GRS80타원체에 기준하여 TM 투영법(Gauss-Krüger투영식)으로써 평면직교좌표를 계산한다(국토지리정보원, 2003).

3. 자료처리 및 결과

연구 대상지역은 그림 1의 호남고속철도 사업구간(오송~광주)180km에 걸쳐 건설된 철도구간을 중심으로 실시되었다.

사업수행에 요구되는 수치지도 획득을 위해 항공측량을 실시하여 수치지도를 세계측지좌표계로 제작하였다. 또한 철도기준점측량(GPS3등 정밀기준점)을 통해 관측후 GPS상시 기준점을 사용하여 GRS80 좌표를 취득 하였고 국가삼각점을 사용 Bessel 좌표 취득하여 철도기준점으로 매설하였다.

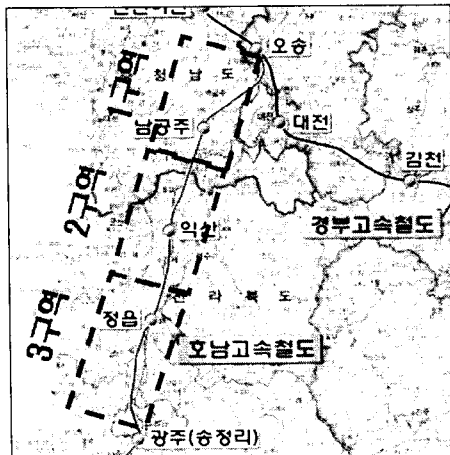


그림 1. 실험 대상지역

위의 결과에 의하여 측설된 철도기준점을 공통기준점으로 가정하여 하였으며 지역 좌표변환계수 산정은 호남고속철도 노선상에 측설한 231개의 철도기준점을 가지고 Molodensky-Badekas 모델에 의하여 7개의 파라미터를 구하여 그림 2와 같은 방법으로 좌표변환계수를 산정하였다. 현재 국토지리 정보원에서 고시된 변환계수가 Molodensky-Badekas 모델을 적용하여 산출되었기 때문에 보다 정확한 비교검증을 위하여 이 모델에 의해서만 적용하였다. 충청남도 및 대전, 전라남북도로 이어지는 호남고속철도(약180km)노선을 3구역으로 나누어 1지역당(60km)77개 공통점을 사용하여 각 구역별로 좌표변환계수를 산정하고 1지역당 10검사점을 이용하여 Bessel경위도 좌표를 GRS80 경위도 좌표로 변환하여 국가좌표변환계수와 비교를 통하여 지역좌표변환계수의 정확도를 검증 하였다. 또한 180km 전 지역에서 231점 공통점을 이용 전 구간에 대한 좌표변환계수를 산정하여 각 구역별로 산정된 변환계수 적용한 좌표변환결과와 비교하여 변환지역의 면적에 따른 좌표변환시 오차를 알아보았다

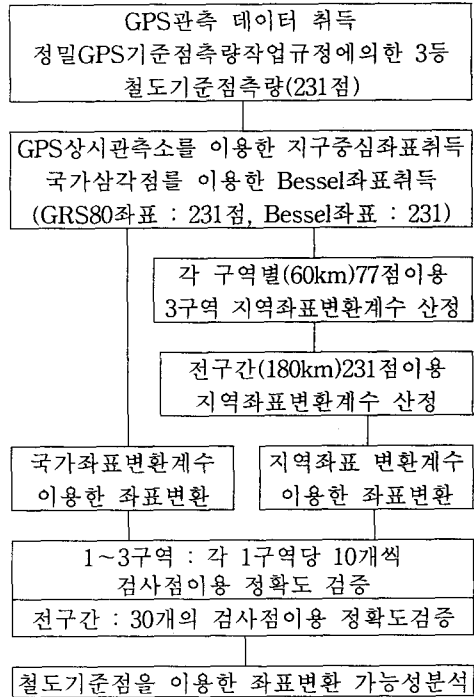


그림 2. 연구진행절차

표 2. 좌표변환계수 산정

구분	국립지리원고시	1구역 77점	2구역 77점	3구역 77점	전구간 231점
Δx	-145.907	-386.831	-379.505	-382.700	-410.351
Δy	505.034	511.536	521.193	524.553	508.378
Δz	685.756	395.703	395.986	391.110	384.852
Rx	-1.162	-7.795	-7.613	-7.878	-7.720
Ry	2.347	-7.086	-7.419	-7.425	-8.027
Rz	1.592	6.856	6.114	6.247	7.102
λ	1.00006342	0.99999441	0.999994	0.999994	0.99999394

표 3. 좌표변환성과 Bessel -> GRS80좌표

측점명	세계측지계좌표		국가좌표계수 적용		변환-현행		지역변환계수 적용		변환-현행	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	X	Y	ΔX	ΔY
NO006	345113.071	231137.093	345112.784	231136.803	-0.287	-0.290	345113.097	231137.035	0.026	-0.058
NO012	341956.269	231642.908	341955.988	231642.633	-0.281	-0.274	341956.299	231642.866	0.030	-0.041
NO018	338618.861	232247.739	338618.593	232247.480	-0.268	-0.259	338618.900	232247.718	0.040	-0.021
NO025	335254.826	231724.079	335254.551	231723.806	-0.274	-0.273	335254.852	231724.046	0.027	-0.033
NO032	332002.021	229688.710	332001.737	229688.460	-0.283	-0.250	332002.042	229688.694	0.022	-0.016
NO040	330277.592	227187.629	330277.307	227187.390	-0.285	-0.239	330277.604	227187.626	0.013	-0.003
NO048	327939.116	224241.839	327938.827	224241.612	-0.289	-0.227	327939.119	224241.848	0.003	0.009
NO056	325891.890	220977.965	325891.601	220977.738	-0.289	-0.227	325891.890	220977.971	0.000	0.006
NO063	323540.835	217954.995	323540.551	217954.782	-0.284	-0.213	323540.839	217955.012	0.004	0.017
NO078	318906.270	211344.663	318905.993	211344.464	-0.277	-0.199	318906.278	211344.687	0.008	0.024
1구역 평균					0.282	0.245			0.007	0.006
NO088	315064.604	208769.505	315064.329	208769.308	-0.275	-0.197	315064.590	208769.542	-0.014	0.037
NO105	307002.111	206075.677	307001.845	206075.475	-0.266	-0.202	307002.094	206075.717	-0.017	0.040
NO112	303847.493	205052.077	303847.235	205051.850	-0.258	-0.227	303847.480	205052.094	-0.013	0.017
NO120	300289.766	204188.321	300289.516	204188.089	-0.250	-0.232	300289.756	204188.337	-0.010	0.016
NO125	297692.470	203482.938	297692.221	203482.692	-0.249	-0.246	297692.458	203482.942	-0.012	0.004
NO143	288964.390	201614.268	288964.154	201614.024	-0.236	-0.244	288964.381	201614.284	-0.009	0.016
NO151	285198.717	199565.441	285198.489	199565.172	-0.227	-0.269	285198.711	199565.435	-0.005	-0.006
NO159	282059.446	197798.963	282059.228	197798.694	-0.218	-0.269	282059.446	197798.959	0.000	-0.004
NO169	277071.958	195623.567	277071.746	195623.307	-0.212	-0.260	277071.956	195623.577	-0.002	0.010
NO177	273701.301	195418.608	273701.093	195418.326	-0.208	-0.282	273701.301	195418.601	0.000	-0.007
2구역 평균					0.240	0.243			0.002	0.008
NO088	315064.604	208769.505	315064.329	208769.308	-0.275	-0.197	315064.590	208769.542	-0.014	0.037
NO105	307002.111	206075.677	307001.845	206075.475	-0.266	-0.202	307002.094	206075.717	-0.017	0.040
NO112	303847.493	205052.077	303847.235	205051.850	-0.258	-0.227	303847.480	205052.094	-0.013	0.017
NO120	300289.766	204188.321	300289.516	204188.089	-0.250	-0.232	300289.756	204188.337	-0.010	0.016
NO125	297692.470	203482.938	297692.221	203482.692	-0.249	-0.246	297692.458	203482.942	-0.012	0.004
NO143	288964.390	201614.268	288964.154	201614.024	-0.236	-0.244	288964.381	201614.284	-0.009	0.016
NO151	285198.717	199565.441	285198.489	199565.172	-0.227	-0.269	285198.711	199565.435	-0.005	-0.006
NO159	282059.446	197798.963	282059.228	197798.694	-0.218	-0.269	282059.446	197798.959	0.000	-0.004
NO169	277071.958	195623.567	277071.746	195623.307	-0.212	-0.260	277071.956	195623.577	-0.002	0.010
NO177	273701.301	195418.608	273701.093	195418.326	-0.208	-0.282	273701.301	195418.601	0.000	-0.007
3구역 평균					0.240	0.243			0.003	0.006
전구역 평균					0.225	0.289			0.011	0.016

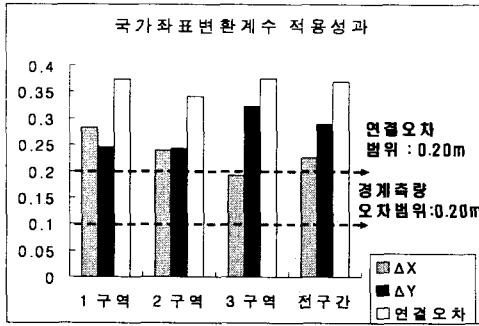


그림3. 국가좌표변환계수적용성과

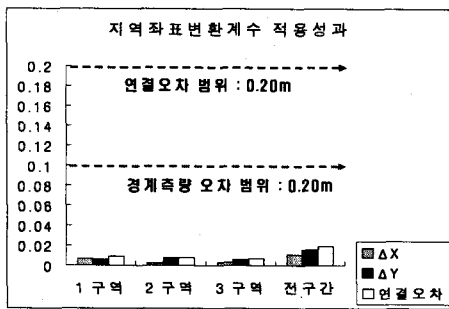


그림4. 지역좌표변환계수적용성과

표 4. 실험지역 좌표차이 및 연결오차비교

구역명	국가변환계수			지역변환계수		
	ΔX	ΔY	연결오차	ΔX	ΔY	연결오차
1 구역	0.282	0.245	0.373	0.007	0.006	0.009
2 구역	0.240	0.243	0.341	0.002	0.008	0.008
3 구역	0.191	0.323	0.376	0.003	0.006	0.007
전구간	0.225	0.289	0.369	0.011	0.016	0.019

표 4의 국가좌표변환계수가 적용된 좌표 변환 오차는 1~3구역 ① $\Delta X=0.282m$, $\Delta Y=0.245$ 연결오차=0.373m, ② $\Delta X=0.240m$, $\Delta Y=0.243$ 연결오차=0.341m, ③ $\Delta X=0.191m$, $\Delta Y=0.323$ 연결오차=0.376m이며 전구간의 경우 $\Delta X=0.225m$, $\Delta Y=0.289$, 연결오차=0.369m로 1~3구역에 비해 오차가 높았다. 국가좌표변환계수 성과는 지적측량 연결오차범위 0.20m와 지적경계측량 0.10m에 불만족 국가변환계수를 적용

할 경우는 부적합 하다는 것을 알 수 있었다.

지역좌표변환계수 적용성과는 1~3구역 ① $\Delta X=0.007m$, $\Delta Y=0.006$, 연결오차=0.009m, ② $\Delta X=0.002m$, $\Delta Y=0.008$ 연결오차=0.008m, ③ $\Delta X=0.003m$, $\Delta Y=0.006$, 연결오차=0.007로 1~3구역의 모두 균등한 오차의 성과를 보였으며 전구간의 경우 $\Delta X=0.011m$, $\Delta Y=0.016$ 연결오차=0.019m로 1~3구역 오차 값에 비하여 큰 오차의 차이를 보였다. 지역좌표변환계수 성과는 지적측량 연결오차범위 0.20m와 지적경계측량 0.10m에 만족 지역좌표변환계수를 적용할 경우는 적합 하다는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 호남고속철도 사업 수행 시 사용된 철도기준점 231점을 사용하여 지역좌표변환계수를 산출하여 기 고시된 국가좌표변환계수와 비교를 통해 정확도 검증 및 변환계수의 타당성 분석을 하여 다음과 같은 결론을 얻게 되었다.

1. GPS 3등 기준점 측량에 의해 얻어진 철도기준점 231점을 통하여 동경측지계에서 세계측지계로의 좌표변환을 위한 좌표변환계수를 산출할 수가 있었다.
2. 전 구간180km의 231점 공통점을 이용하여 얻어진 좌표변환계수를 적용한 좌표 변환 결과보다 각 구역별60km에서 77점의 공통점을 이용하여 얻어진 각 구역별 좌표변환계수 적용성과가 좌표 변환시 정확함을 알 수 있었다. 이 결과는 좌표변환 대상면적 넓을수록 오차가 커지며, 좌표변환 대상면적이 적을수록 보다 정확한 좌표변환이 이루어짐을 알 수 있었다.

3. 호남고속 철도 사업 시 설치된 철도기준점을 이용 각 구역별로 좌표변환계수산정 좌표변환시 지적측량 연결오차 및 지적경계측량 허용오차(0.20m, 0.10m)를 모두 만족함을 알 수 있었었다. 이에 따라 토목(노반)계획 및 설계이후 용지폭 결정 및 용지매수를 위해 지적도면으로 중심선형으로 이동시(세계측지계를 베셀타원체 기반의 지적지역좌표계로 변환)좌표 변환 보다 정확한 설계가 가능할 것으로 예상된다.

감사의글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발 사업-지능형국토정보기술혁신 사업과제(측량 기술 활용건설도면작성 및 검증기술 개발, 2007-8-1928)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

국토지리정보원 (2003), “1/1000 수치지형도 좌표변환 작업 지침”

문정균, 허준, 강상구, 김일주, 박재홍, 김성훈 (2007), “철도기준점을 이용한 철도중심선형 좌표변환에 관한연구”, 한국철도학회논문집, 제10권, 제6호, pp. 685-691

이현직, 유지호 (2007), “국가측지좌표계 전환에 따른 변환계수 결정 및 도시기반정보 데이터베이스 변환 -원주시를 대상으로-” 한국측량학회논문집, 제25권, 제2호, pp. 141~148