

수치지도 좌표계 변환 도구 개발 Development of Coordinate Transformation Tool for Existing Digital Map

윤홍식¹⁾ · 조재명²⁾ · 송동섭³⁾ · 김명호⁴⁾ · 조흥묵⁵⁾

Yun, Hong Sic · Cho, Jae Myung · Song, Dong Seob · Kim, Myung Ho · Cho, Heyng Moug

Abstract

This study describes the development of coordinate transformation tool for transforming the digital map using newly derived transformation parameters which are determined from the data referred to the local geodetic datum and the geocentric datum (ITRF2000) and the distortion modelling derived from collocation method. We prepared 190 common points and used 107 points to calculate 7 transformation parameters. In order to evaluate an accuracy of coordinate transformation, 83 common points were tested. In this study, we used Molodensky-Badekas model to derive the 7 transformation parameters. An accuracy of 0.22m was obtained applying 7 parameters transformation and the distortion modelling together. It shows that the accuracy of coordinate transformation is improved 72% against the result of 7 parameters transformation only. We developed the transformation tool, GDKtrans, which can be transformed the digital map of scales 1/50,000, 1/25,000 and 1/5,000. We also analyzed the digital map of 1/5,000 at six urban areas by GPS observations. The result shows less RMSE of about 1.9 m and large disagreement at position and features. Consequently, we suggests that 1/5,000 digital map is necessary of whole revision.

Keywords : Molodensky-Badekas model, Distortion modeling, Collocation, GDKtrans

요 지

본 연구는 구 데이터로 구축된 수치지도를 지구 중심 데이터로의 변환에 필요한 새로운 변환 파라미터를 결정하고, 콜로케이션 방법으로부터 유도된 왜곡 모델링을 적용한 수치지도 좌표계의 변환에 관한 것이다. 국토지리정보원에서 GPS 관측을 실시한 정밀 1차 기준점 190점 중에서 107점의 공통점을 파라미터 결정으로 사용하였으며, 최적 변환 파라미터의 결정을 위하여 107점을 제외한 83점의 공통점을 변환 정확도 검증에 이용하였다. 통계 분석을 통해 Molodensky-Badekas 모델로부터 산출된 파라미터가 최적 파라미터로 결정되었으며, 왜곡 모델링을 수행한 결과 0.22m의 변환 정확도를 얻었다. 이는 7 파라미터만을 이용한 변환보다는 72%의 정확도가 향상된 결과를 나타내는 것이다. 또한, 1/50,000, 1/25,000과 1/5,000 수치지도의 변환 도구인 GDKtrans를 개발하였다. 이 변환 도구를 이용하여 6개 대도시 지역의 1/5,000 수치지도를 변환하고, 검사점 GPS 측량을 실시하여 변환 정확도를 검사한 결과 약 1.9 m의 변환 정확도를 보였으나, 1/5,000 수치지도의 위치 정보와 형상이 실제 위치 및 형상과 크게 일치하지 않고 있어 전면적으로 1/5,000의 수치지도를 재 제작하는 것이 타당하다고 판단된다.

핵심어 : Molodensky-Badekas 모델, 왜곡 모델링, 콜로케이션, GDKtrans

1. 서 론

본 연구에서는 세계 측지기준계 도입에 따른 공간데이

터의 획득, 유지, 관리 및 원활한 공급을 수행할 수 있도록 기존의 수치지도 등과 같은 지리정보를 효율적이고, 정확하게 변환하기 위한 통일되고, 표준적인 변환전략과 변

- 1) 연결저자 · 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 교수(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)
- 2) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:jmcho@geo.skku.ac.kr)
- 3) 정희원 · 성균관대학교 토목환경공학과 박사과정(E-mail:dssong@geo.skku.ac.kr)
- 4) 건설교통부 국토지리정보원 지리정보과 서기관(E-mail:hokim@moct.go.kr)
- 5) 건설교통부 국토지리정보원 측지과 사무관(E-mail:hmcho@moct.go.kr)

환도구를 개발하기 위하여 측량성과의 계산, 최적 변환파라미터의 산정, 변환 도구 개발, 변환성과의 정확도 평가를 통해 다양한 지리정보 이용자들에게 변환성과를 제공함으로써 사회·경제적인 이익을 도모하고자 한다. 이를 수행하기 위하여 다양한 좌표변환 모델들을 검토하여 최적 변환 파라미터의 산출과 변환 파라미터에 의한 좌표변환 후에 발생하는 좌표의 차이인 왜곡량을 모델링하여 보정함으로써 변환좌표의 정확도를 향상시켜 1/5,000 수치지도를 세계 측지 기준계에 기준한 수치지도로 변환할 수 있도록 변환도구를 개발하는 것이다.

2. 변환계수 모델의 비교와 분석

본 연구에서는 두 측지기준간의 좌표변환 파라미터를 계산하기 위하여 1996년부터 국토지리정보원에서 관측한 정밀1차 기준점 190점을 사용하였다. 190점을 공통점(Common Points)이라고 하며, Bessel 타원체에 기준한 신성과와 GRS80 타원체에 기준한 ITRF2000 성과를 가지고 있는 점들이다.

총 190점의 공통점중에서 파라미터 계산을 위하여 107점의 공통점들을 이용하였으며, 변환 파라미터 모델은 Bursa-Wolf 모델, Molodensky-Badekas 모델, Veis 모델, Affine (Wolfum) 모델 및 Krakiwsky-Thomson 모델등 총 5개 모델에 의하여 두 측지기준간의 변환 파라미터를 계산하였다. 또한, 최적 변환 파라미터를 결정하기 위하여 190점중에서 107점을 제외한 83점의 공통점들을 앞서 구한 5개 모델별 변환 파라미터를 이용하여 통계적인 분석을 실시하였다. 83점의 데이터 중에서 변환 후의 차이와 GPS 데이터로부터 계산된 ITRF2000 좌표와의 상대적인 차이가 5m 이상 크게 발생하는 기준점들은 순차적으로 제거하는 방법에 의하여 최종적으로 77점의 데이터를 사용하여 모델별 통계적인 비교를 수행하였다. 표 1은 공통점 107점을 이용하여 결정한 7개 변환 모델별 파라미터를 제시한 것이다.

본 연구에서 좌표차이의 기준을 5m로 결정한 것은 변환 파라미터 모델의 수학적 변환의 정확도 한계가 Bursa-Wolf 모델의 경우 1~2m, Molodensky-Badekas 모델의 경우 4~5m(PCGIAP, 1998)인 점과 정밀 1차 측지망의 변동백

표 1. 7개 변환 모델별 파라미터

파라미터	Bursa-Wolf		Molodensky-Badekas		Veis	
	계산값	표준편차	계산값	표준편차	계산값	표준편차
Tx(m)	-114.624	7.512	-145.907	0.098	-145.907	0.098
Ty(m)	475.958	4.904	505.034	0.099	505.034	0.098
Tz(m)	675.017	5.436	685.756	0.098	685.756	0.098
Rx(second)	-1.1617	0.152	-1.162	0.152	0.232	0.244
Ry(second)	2.347	0.216	2.347	0.216	0.522	0.194
Rz(second)	1.592	0.213	1.592	0.213	-3.011	0.134
lamda(ppm)	6.342	0.650	6.342	0.650	6.342	0.650
Affine(Wolfrum)			Krakiwsky-Thomson			
파라미터	계산값	표준편차	파라미터	계산값	표준편차	
Tx(m)	-146.029	0.103	Tx(m)	-119.714	6.676	
Ty(m)	505.143	0.105	Ty(m)	512.926	3.903	
Tz(m)	685.844	0.105	Tz(m)	689.839	4.546	
Rx(second)	0.437	0.251	Rx(second)	-0.071	0.144	
Ry(second)	0.102	0.228	Ry(second)	0.575	0.201	
Rz(second)	-2.946	0.156	Rz(second)	-0.660	0.198	
k1 (ppm)	8.157	0.942	dv(second)	-1.837	0.622	
k2 (ppm)	4.936	1.184	du(second)	-1.319	0.530	
k3 (ppm)	268.549	74.649	dA(second)	-3.019	0.390	
alpa(radian)	0.754	7.566E-7	lamda(ppm)	0.436	1.892	

표 2. 변환 모델별 통계 비교

구분	Bursa-Wolf			Molodensky-Badekas			Veis		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
Max Differ.(m)	1.972	3.001	2.960	1.972	3.001	2.960	1.972	3.001	2.960
Min Differ.(m)	-4.115	-2.161	-2.860	-4.115	-2.161	-2.860	-4.115	-2.161	-2.860
Average(m)	0.396	-0.782	-0.279	0.396	-0.782	-0.279	0.396	-0.782	-0.279
STD.(m)	0.783	0.815	0.918	0.783	0.815	0.918	0.783	0.815	0.918
RMSE(m)	0.879	1.133	0.960	0.879	1.133	0.960	0.879	1.133	0.960
Confidence Interval (95%)	± 0.176	± 0.183	± 0.206	± 0.176	± 0.183	± 0.206	± 0.176	± 0.183	± 0.206

구분	Krakiwsky-Thomson			Affine(Wolfrum)					
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ			
Max Differ.(m)	1.787	3.004	3.175	1.532	3.657	4.423			
Min Differ.(m)	-4.092	-2.065	-2.703	-4.172	-1.397	-2.597			
Average(m)	0.497	-0.770	-0.210	0.297	-0.455	0.152			
STD.(m)	0.827	0.797	0.901	0.780	0.804	0.937			
RMSE(m)	0.966	1.112	0.925	0.830	0.919	0.946			
ConfidenceInterval (95%)	± 0.186	± 0.179	± 0.203	± 0.175	± 0.181	± 0.211			

터 88%(1.5m) (국토지리정보원, 1994)인 점들을 고려하여 5m를 벗어나는 점들은 삼각점의 재설이나 복구로 인한 성과의 변화가 있음으로 판단하여 정하였다. 표 2는 5개의 변환 모델을 이용하여 기준점 변환을 수행한 후 각 모델별 통계 결과를 나타낸다. 표 2에서 보는 바와 같이 3차원 지심좌표의 ΔX , ΔY , ΔZ 의 상대적인 차이의 통계적 수치는 Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas 및 Veis 모델의 결과가 동일한 값을 보였으며, 10 파라미터를 이용한 두 모델은 7파라미터 모델과는 각각 다른 값으로 나타났다. 95%의 신뢰도 구간을 고려하는 경우 Krakiwsky-Thomson 모델이 3개의 7파라미터 모델에 비해 ΔX 방향으로는 $\pm 0.010m$ 가 큰 반면에 ΔY 는 $\pm 0.004m$, ΔZ 는 $\pm 0.003m$ 정도 줄어드는 결과를 나타내었다. 또한, 각 모델별 RMSE의 비교를 수행한 결과 Affine(Wolfrum) 모델이 가장 작은 값을 보였다.

이상의 5개의 변환 모델을 통계적 분석에 의하여 비교한 결과 및 사용된 공통점과 파라미터의 상관관계 특성을 고려하여 Molodensky-Badekas 모델로부터 결정된 파라미터를 최적 변환 파라미터값으로 결정하였다. Molodensky-Badekas를 최적 변환 파라미터 결정 모델로 정한 이유는 Bursa-Wolf 모델은 파라미터 결정을 위해서 사용된 측지망이 전 지구적으로 볼 때에 일부 지역으로 한정된 경우에는 사용된 기준점과 파라미터들간에 상관관계가 매우 높아 특정 위치의 성과가 변환 파라미터 산정에 큰 영향을 미치게 되어 적용에 한계가 있는 반면에 Molodensky-

Badekas 모델은 측지망의 중심에 파라미터를 연관시킴으로써 기준점들과 파라미터들간의 높은 상관관계를 제거할 수 있는 장점이 있으며, 일본의 TKY2JGD, 호주의 GDAit, 캐나다의 NTV2, 미국의 NADCON 등 선진국의 좌표 변환 도구 개발에서 채택한 모델도 이 Molodensky-Badekas 모델인 점을 고려하여 우리나라의 변환 파라미터 결정 모델로 적합하다고 판단된다(ICSMS, 1999).

3. 왜곡 모델의 적용과 분석

공간적인 상관관계는 왜곡 모델링을 개발하는 데에 있어서 중요하다. 최소제곱 콜로케이션방법에서 왜곡량을 격자화하는 목적은 각 격자점에서 왜곡성분들을 추정하기 위하여 무작위적으로 분포하는 점들을 사용하기 위한 것이다. 그림 1은 전형적인 공분산 함수를 나타낸 것으로 실질적으로 공분산 함수는 경험적으로 데이터로부터 생성되는데 해석적 모델은 경험적인 데이터에 부합된다(Collier et al., 1996).

왜곡 모델링에 의한 격자화를 위해서는 위도와 경도방향의 왜곡에 대한 경험적 공분산값들을 계산하여야 하는데 경험적 공분산은 Least Squase Curve Fitting방법에 의하여 Gaussian(Moritz, 1978), Exponential, Natural, Makcov, Reilly 등이 제안한 해석함수로서 모델링할 수 있다. 이러한 해석적 공분산 모델을 선택하는 것은 경험적인 값에 엄

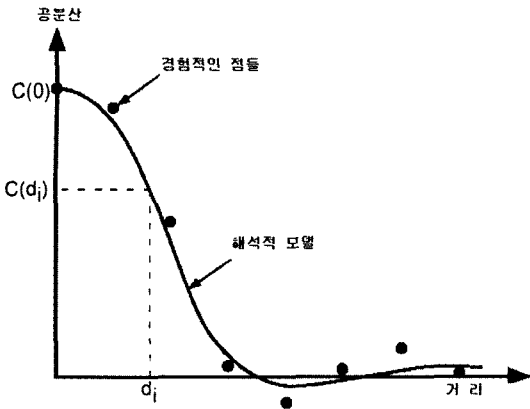


그림 1. 거리에 따른 공분산 함수

밀하게 부합이 되는 경우에는 어떤 함수를 사용하느냐 하는 것은 중요하지 않다. 왜곡모델링을 위하여 가장 일반적으로 사용되는 해석함수는 Gaussian 함수와 Reilly 함수인데 이들의 비교결과는 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있다 (Moritz, 1978). 본 연구에서는 Gaussian-공분산 함수를 사용하여 X와 Y 방향에 대한 해석적 공분산을 결정하였다.

Gaussian 함수에 대한 공식은

$$C(S) = C_0 e^{-A^2 S^2} \quad (1)$$

로 표시되며, 여기서, S는 거리

A는 경험적 데이터로부터 구한 파라미터

C₀는 S=0일 때에 C(S)로써 취한 값인 분산이다.

우선적으로 해석적 공분산값을 계산하기 위하여 190점의 위도와 경도 방향에서의 왜곡량에 대한 경험적 공분산값을 계산하였다. 표 3은 X와 Y 방향에서의 왜곡량에 대

표 3. 위도와 경도방향에서의 Gaussian 공분산함수의 파라미터 산출결과

왜곡방향	파라미터	
	C ₀ (arcsec ²)	A(km ²)
위도 방향	0.86	0.80
경도 방향	0.42	0.72

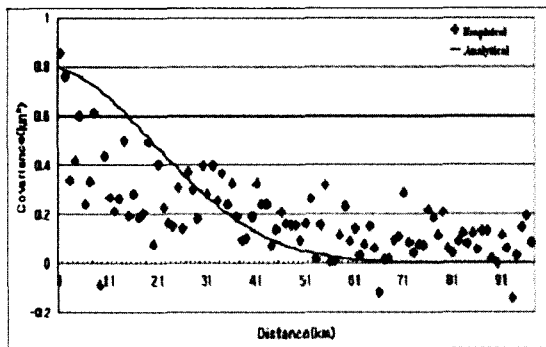
한 경험적 공분산값으로부터 구한 해석함수의 파라미터를 표시한 것이다.

경험적 공분산값에 대한 Least Square Curve Fitting은 MATLAB을 사용하였다. 그림 2는 위도와 경도 방향의 왜곡량을 이용한 경험적 공분산 값(점)을 표시한 것이고, Gaussian 공분산 함수를 적용하여 Least Square Curve Fitting(실선)에 의해 해석함수의 파라미터 C₀와 A를 결정하였다.

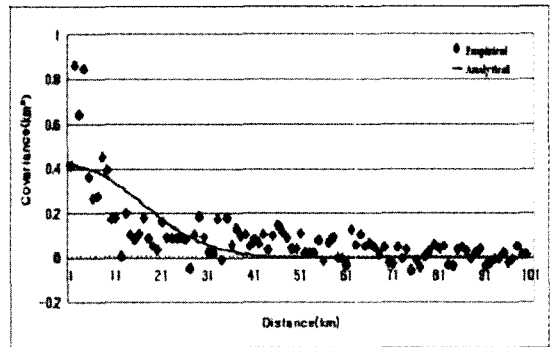
최소제곱 콜로케이션은 보간법과 필터링 기법을 결합한 조정 방법으로서 Moritz(1978)가 간접 관측치의 조정과 보간을 위한 방법으로 제시한 것이다. 최소제곱법에 의한 보간에서 예측방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\hat{\delta} = C_l C_D^{-1} l \quad (2)$$

식 (2)의 벡터 C_l의 요소들은 데이터 점들과 보간점 간의 거리를 사용하여 해석적 공분산 함수로부터 구한다. 또한, 매트릭스 C_D의 요소들은 데이터 점들의 모든 조합에 의한 거리(d_{ij}는 점 i와 j간의 거리)를 사용하여 해석적 공분산 함수로부터 계산된다. 벡터 l은 각 데이터점들에서 왜곡을 포함하고 있는 관측치이고, C_l과 C_D 및 l 매트릭스는 다음과 같다.



(a) 위도 방향



(b) 경도 방향

그림 2. 경험적, 해석적 왜곡량 공분산 함수

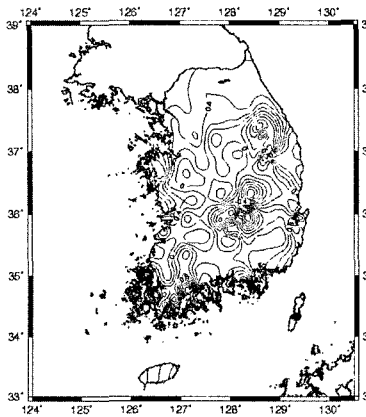


그림 3. X방향의 왜곡량

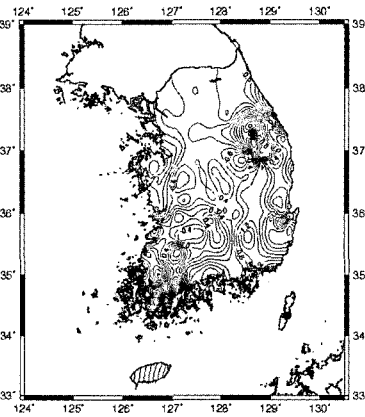


그림 4. Y방향의 왜곡량

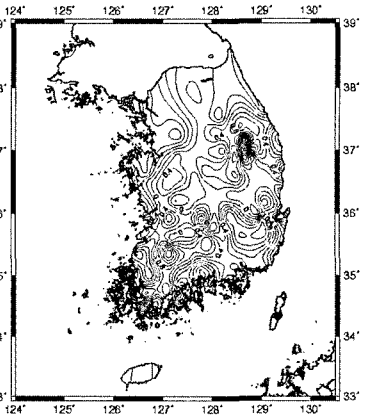


그림 5. Z방향의 왜곡량

$$C_l = [C(d_1) \ C(d_2) \ C(d_3) \ C(d_4) \ C(d_5) \ C(d_6) \ C(d_7)] \quad (3)$$

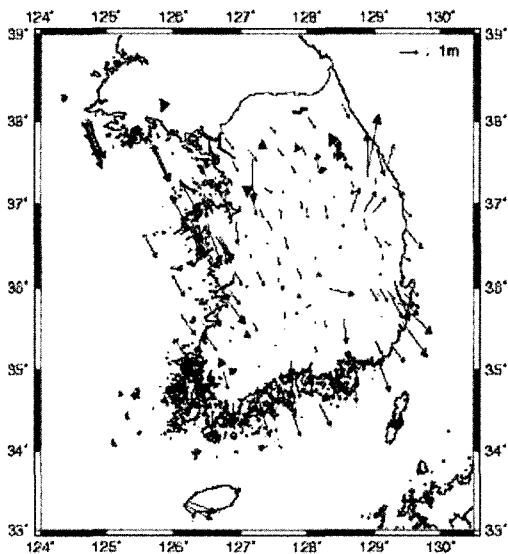
$$C_D = \begin{bmatrix} C(0) & C(d_{12}) & C(d_{13}) & C(d_{14}) & C(d_{15}) & C(d_{16}) & C(d_{17}) \\ C(d_{21}) & C(0) & C(d_{23}) & C(d_{24}) & C(d_{25}) & C(d_{26}) & C(d_{27}) \\ C(d_{31}) & C(d_{32}) & C(0) & C(d_{34}) & C(d_{35}) & C(d_{36}) & C(d_{37}) \\ C(d_{41}) & C(d_{42}) & C(d_{43}) & C(0) & C(d_{45}) & C(d_{46}) & C(d_{47}) \\ C(d_{51}) & C(d_{52}) & C(d_{53}) & C(d_{54}) & C(0) & C(d_{56}) & C(d_{57}) \\ C(d_{61}) & C(d_{62}) & C(d_{63}) & C(d_{64}) & C(d_{65}) & C(0) & C(d_{67}) \\ C(d_{71}) & C(d_{72}) & C(d_{73}) & C(d_{74}) & C(d_{75}) & C(d_{76}) & C(0) \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$l = [\delta_1 \ \delta_2 \ \delta_3 \ \delta_4 \ \delta_5 \ \delta_6 \ \delta_7]^T \quad (5)$$

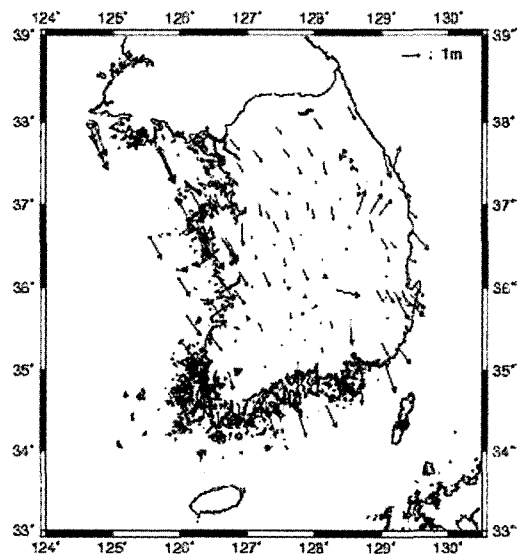
그림 3, 그림 4 및 그림 5는 3차원 직각좌표의 왜곡 모델링 결과를 등고선으로 표시한 것으로서 각 좌표축에 대한

왜곡량이 일정한 패턴을 이루지 않고, 불규칙하게 분포하고 있는 것을 알 수 있다.

변환격자의 개발을 위한 첫 번째 단계는 오차가 발생한 데이터를 분류하기 위한 기본적인 왜곡분석을 실시하는 것이다. 분류된 점들은 일반적인 왜곡의 패턴을 따르지 않기 때문에 비상사점(non-conforming point; NCP)이라고 한다 (Collier et al., 1997). 변환된 좌표는 측정된 ITRF2000 좌표와 비교하여 위도, 경도 및 표고 방향의 왜곡량을 구하였으며, Collier(1997)의 연구에서는 왜곡량을 분석하여 1.5m 이상인 점을 비상사점으로 평가하여 분석하였으며,



(a) 비상사점 제거 전



(b) 비상사점 제거 후

그림 6. 왜곡량 벡터도

표 4. 왜곡량 보정전과 보정후의 통계 분석 결과

변환 정확도	왜곡량 보정전			왜곡량 보정후		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
평균	0.501	-0.861	-0.368	0.012	0.010	-0.059
표준편차	0.404	0.629	0.640	0.168	0.233	0.259
RMSE	0.642	1.064	0.734	0.167	0.232	0.263

본 연구에서는 국토지리정보원(1996)의 선행 연구에서 제시한 변환 정확도를 기준으로하여 변환 후 $\pm 2.0m$ 이상의 왜곡이 발생한 점을 비상사점으로 평가하여 제거하였는데 제거된 비상사점은 34점이다. 그림 6은 비상사점 제거전과 비상사점 제거후의 왜곡량 벡터도를 나타낸 것이다.

비상사점 34점을 제거하고 난 후에 156점의 위도, 경도 방향에 대한 왜곡량으로부터 각 격자점의 왜곡량을 모델링하였다. 여기서 왜곡모델링을 위한 격자점간의 간격은 사용된 점의 분포와 점들간의 거리 및 보간법 등을 고려하여 결정하게 되는데 본 연구에서는 사용된 점은 비상사점을 제외한 156점으로 전국을 조밀한 간격으로 격자를 구성하기에는 불충분하나 1/5,000 수치지도의 변환을 위하여 격자간격을 1'x1' 간격으로 325(경도)x235(위도)의 격자점을 구성하였다.

왜곡 모델링을 통해 산출한 왜곡량을 변환 파라미터 산출에 사용된 기준점과 비상사점을 제외한 68점의 잉여 기준점에 보정을 실시하였다. 68점의 잉여 기준점 성과는 기존의 *bessel* 성과를 변환 파라미터에 의해 1차 변환을 수행한 후 왜곡량 보정까지 실시한 뒤 세계좌표계에 의한 최종 성과를 계산하였다. 새롭게 산출된 세계좌표계에 의한 좌표와 GPS 정밀 해석을 통해 산출된 세계좌표계에 의한 좌표의 차이에 대한 잔차의 통계 분석 결과는 표 4에 표시한 바와 같다.

표 4로부터 7 파라미터를 사용한 좌표변환 결과에 비하여 왜곡 모델링 결과를 보정한 결과가 표준편차에서는 X 좌표에서 58.4%, Y좌표에서 63%, Z좌표에서 59.5%의 개선이 이루어 졌으며, RMSE는 X좌표에서 74.0%, Y좌표에서 78.2%, Z좌표에서 64.2%의 개선이 이루어졌다. 본 연구에서 왜곡량 보정에 따라서 평균적으로 약 72% 이상의 좌표변환 정확도가 향상되었음을 알 수 있다.

4. 변환도구의 정확도 평가

본 연구에서는 최적 변환 파라미터와 왜곡 모델링 이론

을 통해 1/5,000 수치지도를 새롭게 채택된 세계 측지기준 계로 변환할 수 있는 변환 도구인 *GDKtrans*를 개발하였다. 그림 7은 *GDKtrans*의 실행의 예이다.

변환 도구의 정확도 평가를 위하여 표본 지역별로 30점씩 총 180점에 해당하는 검사점을 정적 GPS 측량 방법에 의해 실시하였다. 표본 지역이 전국에 고루 분포될 수 있도록 서울, 대전, 광주, 대구, 부산 및 동해지역을 정확도 평가 지역으로 선정하였다. 본 연구에서 대도시 위주로 표본 지역을 선정한 이유는 1/5,000 수치지도상에서 검사점으로 선정하고자 하는 위치를 명확하게 확인하여 측정함으로써 검사점 측정 오차를 최소화하기 위함이며, 특히 검사점들은 관공서나 학교 건물의 모서리 및 교량의 끝단과 도로 구획선과 같은 위치들을 선정하였다. GPS 관측 데이터의 해석은 국립지리원에서 운용중인 상시관측소 중, 2개소 이상의 ITRF2000 좌표를 고정하여 해석하였으며, GPS 데이터 수신 시간은 40분 이상을 유지하였다. GPS 관측 데이터와 IGS의 정밀력을 사용하여 기선 해석을 실시한 후, ITRF2000(GRS80 타원체) 좌표를 산출하였으며, 이 좌표와 검사점에 해당되는 수치지도를 변환 도구를 이용하여 변환한 후에 변환된 수치지도 상에서의 평면 좌표를 획득하여 GPS 데이터로부터 계산된 좌표와 비교·분석을 실

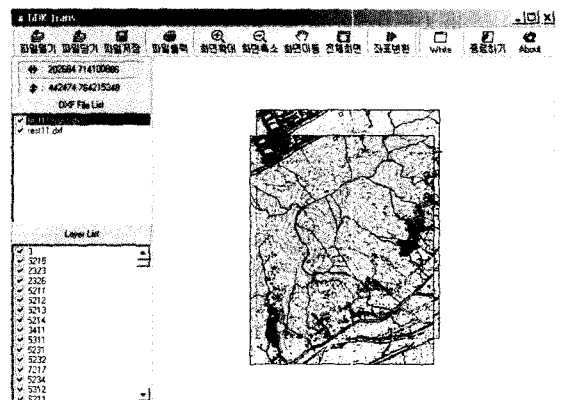


그림 7. GDKtrans의 실행 예

시함으로써 변환도구의 정확도를 평가하였다. 표본 지역에서 1/5,000 수치지도로부터 획득한 Bessel 타원체 기준의 TM 좌표를 표 1에서 제시한 Molodensky-Badekas 변환 파라미터를 사용하여 변환하고 외곡량을 보정한 후, GPS 관측으로부터 결정된 GRS80 타원체 기준의 TM 좌표와의 비교값을 각 지역별로 구하였다. 전체 표본 지역의 남·북 방향의 좌표 차이의 평균은 -0.797m(Std.=±1.271m), 동·서방향의 좌표 차이의 평균은 0.546m(Std.=±2.049m)로 나타났다. 좌표를 사용하는 지도, 영상지도, DEM(Digital Elevation Models) 등과 같은 성과물의 정확도는 일반적으로 검사점의 지도 좌표와 실제 측량 좌표 사이의 차이로부터 RMSE(Root Mean Square Error)를 구하여 평가를 하게 된다. USGS(United States Geological Survey)에서는 DEM의 정확도 평가를 위하여 DEM 상의 표고값과 실제 측량에 의한 표고값 사이의 차이로부터 RMSE를 구하여 평가하였으며, 국토연구원(2000)에서는 정사영상의 정확도 평가를 위해서 동일 지점의 영상의 평면 좌표값과 실제 측량 좌표값의 차이로부터 RMSE를 구하여 정확도를 평가하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(C_i - C_l)^2}{n-1}} \quad (6)$$

여기서, C_l : 지도좌표, C_i : 측량 좌표, n : 검사점의 수

본 연구에서는 수치지도 변환 정확도를 평가하기 위하여 검사점의 지도 좌표와 측량 좌표로부터 구한 검사점의 표준편차를 구하기 위하여 RMSE 산정식을 이용하여 평면 좌표 차이에 대한 RMSE를 표 5와 같이 얻었다.

전 표본 지역에 대해서는 평균적으로 ΔX 의 RMSE는 4.700m, ΔY 의 RMSE는 5.394m로 산출되었다. 전 지역별

로 RMSE가 4m이상을 나타내고 있는데 이러한 이유는 실제 측정위치와 도면상의 위치가 불일치하여 발생한 것으로 보인다. 실제로 GPS 관측을 위해 사용된 검사점들 중에서 건물 레이어와 같은 경우에는 실제로는 위아래로 긴 직사각형의 건물인 경우에는 수치지도 상에서는 반대로 좌우로 긴 건물 레이어로 표현되어 있거나, 교량 끝단과 같은 경우에는 교량 폭이 실제 폭과 차이가 커서 큰 RMSE가 발생한 것으로 판단된다.

1/5,000 수치지도의 정확도 평가의 객관성을 가지기 위해 GPS 관측을 통해 구한 GRS80 TM 좌표와 변환에 의한 GRS80 TM 좌표와의 차이가 『공공측량의 작업규정 세부 기준』(건설교통부고시 제2002-177호)에 제시된 지도의 정확도 기준에 만족하지 못하는 검사점은 제외하고 다시 정확도를 평가하였다. 수치지도 변환후의 정확도 기준은 따로 마련된 바가 없으므로 『공공측량의 작업규정 세부 기준』을 적용하였다(공공측량의 작업규정 세부 기준, 2002). 이 기준에 의하면 1/5,000의 실제 평면위치 정확도는 3.5m 이내이다. 따라서, 앞서 정확도를 평가한 6개 표본 지역의 결과에서 3.5m를 벗어나는 검사점은 제외하고 다시 정확도를 평가한 결과 남·북 방향으로는 34.46%, 동·서 방향으로는 33.90%에 해당하는 검사점이 제외되었다. 『공공측량의 작업규정 세부 기준』의 정확도 범위내에 들어오는 남·북 방향의 65.54%의 검사점과 동·서 방향의 66.10%의 검사점에 대한 정확도 분석 결과는 표 6과 같다.

표 6에서의 정확도 분석 결과, 전 표본 지역에 대한 변환 정확도의 RMSE는 평균적으로 ΔX 는 1.953m, ΔY 의 RMSE는 1.836m로 평가되었다.

표 5. 1/5,000 수치지도 검사점 변환 좌표 차이의 RMSE

구분	서울		대전		광주		대구		동해		부산	
	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
RMSE	4.449	6.913	4.872	7.025	3.471	4.238	5.148	3.954	2.609	3.476	7.651	6.759

표 6. 1/5,000 수치지도 검사점 변환 정확도 분석 결과

구분	서울		대전		광주		대구		동해		부산	
	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
평균	0.671	-0.052	-0.010	1.054	-0.532	-0.640	-1.243	0.737	-0.142	-1.743	-1.114	0.593
표준편차	1.926	1.905	2.113	1.316	1.696	1.607	1.661	1.595	1.742	1.361	1.637	1.717
RMSE	2.046	1.849	2.060	1.654	1.781	1.735	2.106	1.765	1.714	2.192	2.011	1.823

5. 결 론

1. 본 연구를 통하여 Bessel 타원체에 기준한 측지성과들을 GRS80 타원체에 기준한 지구중심좌표로 변환하기 위한 최적 변환 파라미터는 Molodensky-Badekas 모델에 의하여 결정된 7개 파라미터를 다음과 같이 결정하였다.

구분	Tx (m)	Ty (m)	Tz (m)	Rx (second)	Ry (second)	Rz (second)	lamda (ppm)
변환값	-145.907	505.034	685.756	-1.162	2.347	1.592	6.342

따라서, 기존의 변환 파라미터에 대한 재검토와 다양한 분석을 통하여 상기 변환 파라미터를 사용하는 것이 적합하다고 판단된다. 또한, 기존의 고시된 파라미터들은 1/10,000 이하 축척의 수치지도를 변환할 수 있으나 1/5,000 수치지도나 기준점 변환에는 적합하지 않다고 판단된다.

2. 7개 변환 파라미터와 왜곡 모델링을 실시하여 기준점의 좌표변환 정확도의 RMSE를 평가한 결과, X좌표에서 $\pm 0.167m$, Y좌표에서 $\pm 0.232m$, Z좌표에서는 $\pm 0.263m$ 로 비교적 정확한 변환 결과를 얻었다. 그러나, 7개 변환 파라미터만을 이용한 변환 성과를 분석한 RMSE의 결과는 X좌표에서 $\pm 0.642m$, Y좌표에서 $\pm 1.064m$, Z좌표에서 $\pm 0.734m$ 로 분석되어 변환 파라미터만을 사용한 좌표 변환은 적합하지 않은 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 파라미터만을 사용하여 좌표변환을 하는 경우보다 왜곡 모델링을 통하여 평균 약 70%의 정확도가 개선되었음을 알 수 있다.

3. 1/5,000 수치지도의 변환 정확도를 분석하기 위하여 6개 표본 지역을 선정하여 각 지역당 약 30점씩을 GPS 정적 측량을 실시하여 변환 도구에 의한 변환 좌표와 비교한 결과 RMSE가 전 표본 지역에 대해서 평균적으로 남북 방향(X)으로는 4.617m, 동서방향(Y)으로는 5.173m로 산출되어 매우 큰 오차를 나타내고 있으며 1/1,000 수치지도와 비교하여 상당한 위치오차를 보이고 있다. 따라서, 1/5,000 수치지도의 경우에는 전반적으로 재 제작하거나 전면 수정갱신을 하는 것이 타당하다.

4. 최적 변환 파라미터와 왜곡 모델링 이론을 이용하여 Bessel 타원체에 기준하여 제작한 1/5,000 수치지도를 GRS80타원체에 기준한 지구중심좌표계에 맞는 수치지도로 변환할 수 있는 최적의 변환 도구인 GDKtrans를 개발하였다. 본 연구에서 개발한 GDKtrans는 1/5,000, 1/25,000

및 1/50,000 및 이하 축척의 수치지도 변환이 가능하도록 하였으며, DXF와 NGI포맷을 지원하도록 하였다.

5. 본 연구에서는 파라미터만을 이용한 변환을 수행하는 것보다 더불어 선진국에서 시행하고 있는 왜곡 모델링 기법을 도입하여 추후 지방자치단체를 중심으로 제작한 Bessel 타원체 기준의 1/1,000 수치지도를 변환하기 위한 개선된 방법을 제시하였다. 1/1,000의 수치지도의 정확도 기준에 맞는 변환을 위해서는 정밀 1차 및 정밀 2차 기준점들을 ITRF2000성가로 계산한 후에 왜곡모델링을 실시하여 왜곡모델 격자를 재 개발하여야 하며, 왜곡모델링을 위하여는 기존의 정밀 1차 및 2차 기준점의 80%이상에 대한 ITRF2000성과와 정밀 1차, 2차 성과 및 구 성과를 사용하여 하고, 정밀 1차, 2차 성과와 ITRF2000, 구 성과와 ITRF2000 및 구 성과와 정밀 1차, 2차 성과간의 변환을 위한 왜곡모델의 개발이 필요하다.

참고문헌

- 건설교통부 국토지리정보원(1994), 정밀 1차망의 실용성과 산정에 관한 연구.
- 건설교통부 국토지리정보원 (1996), 한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구(I).
- 건설교통부 국토지리정보원 (2002), 공공측량의 작업규정 세부기준, 건설교통부고시 제2002-177호.
- 국토연구원 (2000), 공간영상정보시스템 구축 시범사업, 공간영상정보 제작지침 연구.
- Collier. P. A, Leahy. F. J, Argeşeanu V. S. (1996), *Transition to the Geocentric Datum of Australia*, Consultants Report to the Office of Surveyor General, Australia, pp. 72-78.
- Collier. P. A, Argeşeanu V. S., Leahy. F. J (1997), *Development of a GDA94 Transformation Process*, Consultants Reports to Land Victoria, Australia, pp. 22-23.
- Moritz H. (1978), The Definition of a Geodetic Datum, *Proceedings of the 2nd International Symposium of Problems Related to the Redefinition of the North American Geodetic Networks*, Arlington, VA, pp. 63-75.
- ICSM (1999), *GDA Technical Manual Version 2.0 - Transformation of Coordinates*, International Committee on Surveying and Mapping.
- USGS (1998), *Standards for Digital Elevation Models - Part 2*, USA.
- PCGIAP (1998), Guidelines for Transformation between Local and Global Datums, *Working Group 1*, http://www.gsi.go.jp/PCGIAP/98wg/98wg1/guidelines_transf.pdf

(접수일 2003. 11. 25, 심사일 2003. 12. 11, 심사완료일 2004. 3. 25)