

삼각형 와핑에 의한 세계측지계 좌표변환 방법 연구

A Study on the World Geodetic System Transformation Using Triangle Mesh Warping

지계환* · 이현직** · 권재현*** · 심규성****

Jee Gye Hwan · Lee Hyun Jik · Kwon Jay Hyoun · Sim Gyoo Seong

요약 본 연구에서는 세계측지계 변환에 있어서 삼각형 와핑을 이용한 변환방법을 제시하였다. 삼각형 와핑에 의한 좌표변환방법과 기존의 국가좌표변환계수에 의한 좌표변환방법을 비교하기 위하여 의왕시의 공통점을 활용하여 정확도를 분석하였고, 그 결과 적은 수의 공통점을 이용하고 왜곡량 보정 없이 1/1,000 이상 축척의 평면 위치 정확도 기준에 만족하는 결과를 확보하였다. 또한 세계측지계로 변환 작업을 마무리한 구리시, 평택시에 대해서도 본 방법을 적용한 결과 5cm 이내의 평면위치 정확도가 계산되었다. 본 연구에서 제안된 방법은 1/1,000 이상의 대축척 지리정보를 세계측지계로 변환하는 과정에서 정확도를 확보하기 위하여 지역별로 많은 공통점을 확보해야하는 문제점을 개선하고, 변환계수를 적용하는 과정에서 서로 인접하는 경계지역에서 불일치되는 오류의 발생 가능성이 최소화됨을 확인하였다. 따라서 대축척의 지형도, 지적도, GIS DB와 연속지적도에 대한 세계측지계 좌표변환을 수행하는데 있어 삼각형 와핑에 의한 좌표변환 방법을 사용함으로써 공통점 사용을 최소화할 수 있었으며, 이를 통해 경제성과 정확성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

키워드 : 세계측지계, 좌표변환, 삼각형 와핑

Abstract The Triangle Mesh Warping method is suggested and applied in coordinate transformation to world geodetic system in this study. The common points of Uiwang city are used to compare the transformation accuracy of the suggested methods with existing national coordinate transformation methods. As a result, the Triangle Mesh Warping method was satisfied with accuracy criteria for positioning on a map larger than scale 1/1,000 with smaller number of common points and without distortion modeling. Additionally, in case of Guri and Pyeongtaek city that established the World Geodetic System, the suggested method generates the result of transformation accuracy better than 5cm. Based on the test, it was found that the suggested method improves the problem of securing many common points and reduces the problem of mis-match between the transformed data of adjacent areas. Accordingly, for transformation of large-scale topographic map, cadastral map, GIS DB and serial cadastral map to the World Geodetic System, it is judged that the Triangle Mesh Warping would be a good method for economical efficiency and accuracy using by minimum common point.

Keywords : World Geodetic System, Coordinate Transformation, Triangle Mesh Warping

1. 서론

우리나라는 2001년, 세계측지계 사용을 의무화하기 위해 측량법 관련 규정을 개정하였으며, 이를 기반으로 기존의 지역측지계 성과를 세계측지계 성과로 전환하는 사업들을 지속적으로 추진해왔다. 또한, 2009년에는 측량법과 지적법이 통합되면서 법률 제9774호로 ‘측량·수로조사 및 지적에 관한 법률’이 제정되어

2009년 12월 10일부터 시행되고 있으며, 동법 제6조에 따르면 측량의 기준 좌표를 세계측지계로 정하고 있어 측량분야, 수로조사 분야 및 지적 분야의 기준이 세계측지계임을 공표하고 있다.

이에 따라 기존의 수치지형도뿐만 아니라 지적도, GIS 응용시스템 DB 등의 성과물들도 세계측지계 전환을 수행하여야 한다. 현재는 수치지형도의 모든 성과는 세계측지계로 완전 전환되었으나 지적공부는

* Jee Gye Hwan, Vice President, Water Resources and Environment Dept., Dongbu Engineering. civilx@dbeng.co.kr

** Lee Hyun Jik, Professor, Dept of Civil Engineering, Sangji University. hjiklee@sangji.ac.kr

*** Kwon Jay Hyoun, Professor, Dept of Geo-Informatics, The University of SEOUL. jkwn@uos.ac.kr

**** Sim Gyoo Seong, GIS Team, Dongbu Engineering. kssim@dbeng.co.kr

2020년 12월 31일까지 연장된 상태이며, GIS DB와 연속지적도는 소관청 단위로 별도의 세계측지계 전환 작업이 진행 중이다.

세계측지계로의 좌표변환 절차는 국가표준작업지침(건설교통부, 2005)에 따라 지역적인 기하특성을 변환계수로 정량화하여 이를 일괄 반영하는 방법이 제시되고 있으나 이 방법을 사용할 경우 수행절차가 복잡할 뿐만 아니라 지역별로 다른 변환계수를 적용하는 경우에 있어 경제지역에서 좌표가 불일치되는 오류가 발생될 우려가 있다. 또한 표준작업지침상의 편중된 공통점 제거(Data Thinning)시 작업자별 임의성이 존재함으로서 이에 따른 부정오차도 현저하게 발생할 것으로 예상된다. 이에 따라 기존의 국가표준작업지침을 수치지적지역의 세계측지계 변환에 활용할 경우 많은 문제점이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 지역변환계수를 별도로 산정하거나 왜곡량 모델링 등 복잡한 작업절차를 거치지 않고, 개별 좌표를 직접 변환하는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 사용한 공통점은 공공측량성과심사가 완료되어 임의 조정이 불가능한 국가기준점(공통점)만을 이용한 것으로 공통점을 절대점으로 가정하였다. 이러한 방법의 적합성을 검증하기 위하여 세계측지계 좌표변환 시범지역인 의왕사에서 사용했던 공통점 성과를 이용하여 본 연구에서 제시하는 삼각형 와핑(Warping)에 의한 좌표변환 방법과 기존의 국가표준작업침에 의한 변환결과를 상호 비교 하였으며, 세계측지계로 변환 작업을 마무리한 구리시, 평택시에 대해서도 같은 방법을 적용하여 평가하였다. 그 결과 평면위치오차의 정확도에 대해서 수치지형도 축척별 오차 범위기준에 부합되는 매우 양호한 성과를 확인하였으며, 특히, 구리시, 평택시에 대해서는 위치 정확도를 평가한 결과 5cm 이내로 계산되었다. 이러한 연구 결과는 현재 지자체에서 보유하고 있는 다양한 기준점을 공통점으로 활용하여 향후 세계측지계 변환을 시행해야할 지적공간정보 외 GIS 응용시스템 DB등의 성과를 가장 경제적, 효율적으로 세계측지계로 변환할 수 있는 방법이 될 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구동향

서로 상이한 두 직각 좌표계간의 변환은 일반적으로 형태의 보전을 전제로 한 7 매개변수 사상변환을 널리 사용한다. 대표적인 변환 모델은 Bursa-Wolf, Molodensky 그리고 Veis 모델이며, 각 모델들은 두 개의 좌표계의 기하학적 배치와 좌표계간의 관계에

차이가 있으나, 좌표변환계수의 추정에 필요한 기본 조건과 수학적 모델 및 처리 방법은 동일하다. 좌표변환계수의 추정에 필요한 기본 조건은 동일 지점에서 측정된 두 좌표계에서의 3차원 좌표값이며, 최소제곱법의 원리에 의하여 파라미터를 추정한다[3].

이근상 등(2001)은 소규모 지역에 대한 1/1000 수치지도의 위치 정확도를 평가하고, 위치오차가 발생한 지역에 대한 수치지도 수정 및 갱신 방안을 제시하였다. 이권한 등(2003)은 기타원점좌표체계의 지적자료를 통일원점좌표계로 변환하여 연속된 형태로 제작함으로써 GIS 분야에서 지적자료의 활용성을 높이고자 하였다. 최승환(2008)은 디지털 지적도면의 세계측지계 좌표변환에 관한 연구를 통하여 지적도, 임야도, 경계점좌표등록부 지역을 통합하여 지역좌표계 기준의 통합지적도면을 작성하였고, 이를 GNSS 기준점관측을 통하여 세계측지계로 좌표변환을 실시하였다. 그 결과 소규모 지역의 세계측지계 변환을 위해서는 국가좌표변환계수에 의하여 변환을 실시하고, 지역공통점을 활용하여 왜곡량을 보정하여야 정확한 결과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이석배·김기원(2012)은 세계측지계 좌표기준으로 평가한 지역측지계 지적기준점 정확도 분석에서 진주시 지역의 삼각점, 지적삼각보조점, 지적도근점, 도시기준점에 대한 정확도를 분석한 결과, 왜곡량 보정모델링 없이 국가좌표변환계수를 지적기준점에 직접 사용할 수 없음을 확인하고 지적도와 지적기준점의 세계측지계 변환에는 지역별 좌표변환계수의 필요성을 제안하였다. 또한, 조재관 등(2008)은 GIS 기본도 및 DB의 세계측지계 좌표변환 정확도 분석에 관한 연구에서 도시기준점을 이용한 Molodensky-Badekas 방법에 의한 좌표변환과 2차원 Affine변환의 변환계수 비교를 통하여 2차원 Affine변환 방법이 국지적인 범위에서 적용 가능함을 확인하였다. 지리정보시스템 분야에서 삼각형 와핑에 대한 연구로는 박상미 등(1997)이 상대오차가 필연적으로 발생하는 서로 다른 두 종류의 지도 간에 시설물의 위치를 자동보정하기 위한 방법을 제안하였고, 김원태 등(1999)은 인접하는 수치지도 간의 경계영역 불일치 보정 시 위상정보를 유지하고, 정확도를 향상을 위하여 적용하였으나 서로 다른 좌표계에 대한 대규모 좌표변환에 대한 적용은 매우 제한적이었다. 변환계수에 의한 변환 방법은 기본변환 후 왜곡량 보정모델이 반드시 필요하며, 변환계수 추정을 위한 공통점확보를 위하여 필요이상의 많은 경비가 소요되는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 세계측지계 좌표변환에 있어서 최소의 공통점만으로 왜곡량보정

없이 동일한 수준의 정확도를 확보할 수 있는 경제적인 변환방법을 연구하였다.

3. 연구방법

본 연구에서 제시하는 변환방법은 삼각형 와핑에 의한 변환 방법으로서 연구 성과의 정확도 분석을 위한 기초자료로 국가표준작업지침(Ver 1.0)의 왜곡량 보정 시범지역인 의왕시 공통점 자료[7]의 86개와 국가공통점 3개를 활용하여 다음과 같이 삼각망을 구성하였다. 첫째, 의왕시를 포함할 수 있는 국가공통점으로 단일 삼각망을 구성하는 경우, 둘째, 첫째의 경우에 의왕시 보유 공통점을 추가하여 3개의 삼각망을 구성하는 경우와 마지막으로 의왕시 공통점만으로 8개의 삼각망을 구성하는 경우의 3가지 경우에 대하여 삼각형 와핑에 의한 좌표변환을 실시하고, 국가좌표변환계수에 의한 좌표변환 결과와 본 연구에서 제시하는 좌표변환의 결과와 정확도를 비교하였다. 본 연구는 좌표 변환을 위하여 축척의 대소에 관계없이 10개미만의 공통점 자료를 활용하여 좌표변환을 수행하였다는 것과 좌표변환을 위하여 지역 변환계수를 이용하지 않고, 국가공통점 좌표를 기반으로 국가표준작업

지침에서 규정된 왜곡량 보정 없이 직접 변환하였다는 점에서 다른 연구와 차별성이 있다.

3.1 표준작업지침에 의한 세계측지계 변환

수치지형도를 지역측지계의 세계측지계로의 기본 변환 절차는 지역측지계의 평면직각좌표를 지역측지계의 경위도로 변환하고, 지역측지계의 경위도를 3차원 직각지심좌표로 변환하며, 지역측지계의 3차원 직각지심좌표를 세계측지계의 3차원 직각좌표로 변환한 후, 세계측지계의 경위도를 세계측지계의 평면직각좌표로 변환하는 것이다. 이를 위하여 국토지리정보원에서는 세계측지계 좌표변환의 정확도와 신뢰성의 증진을 위해 수치지형도등의 축척이 1/5,000이상인 경우에는 ‘국토지리정보원 제2003-497호’(03.12.24.)를 고시하여 따르고, 1/1,000이하 대축척에서는 「1/1,000 수치지형도 좌표계변환 표준 작업지침」에 따라 작업을 하도록 관련 지침을 마련하였다.

표준작업지침은 기본매개변수에 의한 좌표변환 후 추가적으로 왜곡량의 모델링을 수행하여 최종성과를 계산하도록 되어 있다. 이러한 표준작업지침의 작업 절차는 Figure 1과 같다.

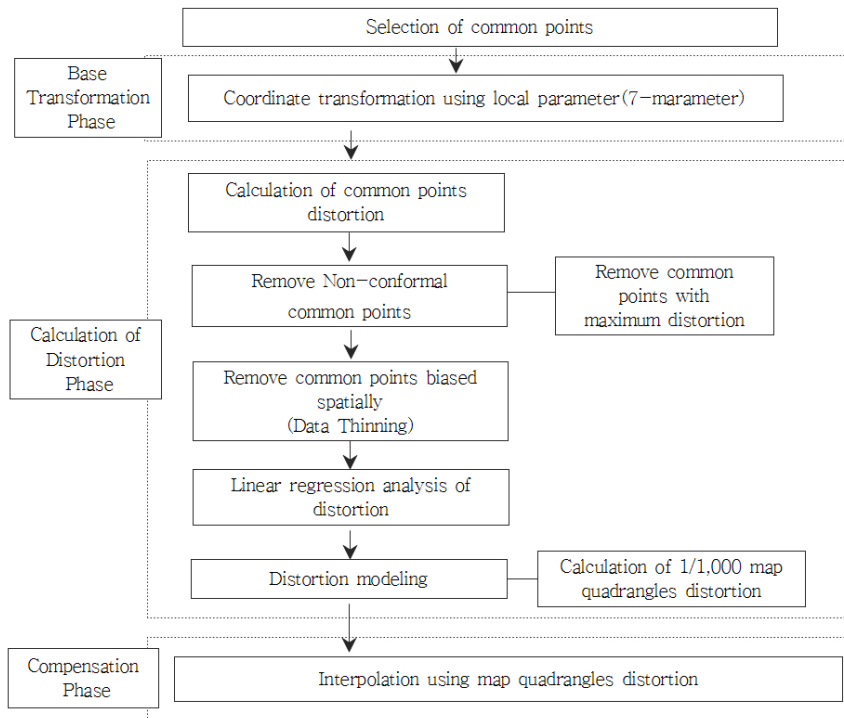


Figure 1. Standard Procedure of WGS Coordinate Transformation

3.2 삼각형 와핑(Triangle Mesh Warping)

삼각형 와핑은 일차원상의 선형 변환을 이차원상으로 확장한 것이다. Figure 2와 같이 삼각형(P_0, P_1, P_2)와 (Q_0, Q_1, Q_2)는 각각 지형도와 지적도 상의 대응되는 측량 기준점과 제어점들로 생성된 TIN 데이터의 삼각형이며, 보정 대상이 되는 도엽 내의 객체를 구성하는 점 P가 삼각형 (P_0, P_1, P_2)에 포함될 때 대응되는 삼각형 (Q_0, Q_1, Q_2)로부터 보정된 점 Q를 구하는 것이다. 즉, 대응되는 삼각형의 유사도 함수에 의해 보정점을 계산하는 방법이다.

보정 대상이 되는 도엽 내의 객체를 구성하는 한 점 $P(X_P, Y_P)$ 로부터 와핑을 수행한 결과 생성되는 점 $Q(X_Q, Y_Q)$ 를 구하는 과정은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_P &= \lambda_0 X_{P0} + \lambda_1 X_{P1} + \lambda_2 X_{P2} \\ Y_P &= \lambda_0 Y_{P0} + \lambda_1 Y_{P1} + \lambda_2 Y_{P2} \end{aligned} \quad (1)$$

단, $\lambda_0 + \lambda_1 + \lambda_2 = 1$

여기서 $P_0(X_{P0}, Y_{P0}), P_1(X_{P1}, Y_{P1}), P_2(X_{P2}, Y_{P2})$ 는 원시 삼각형의 꼭지점들로 무게값(Weight Value) $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 는 0에서 1사이의 값을 가지는 점과 대응되는 변 사이의 비거리를 나타내는 선형 함수이며, 식 (2)에 변화된 삼각형의 꼭지점 Q_0, Q_1, Q_2 를 적용하면 필요한 점 Q를 구할 수 있다.

$$Q = \lambda_0 Q_0 + \lambda_1 Q_1 + \lambda_2 Q_2 \quad (2)$$

식 (1)에 만족하는 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ 는 식 (1)을 행렬식으로 만들어 정리하면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{(X_{P0} - X_{P1})(Y_P - Y_{P2}) + (X_{P0} - X_{P2})(Y_{P1} - Y_P) + (X_{P0} - X_P)(Y_{P2} - Y_{P1})}{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_{P1})(X_{P0} - X_{P2})} \\ \lambda_1 &= \frac{(X_{P0} - X_P)(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_P)(X_{P0} - X_{P2})}{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_{P1})(X_{P0} - X_{P2})} \\ \lambda_2 &= \frac{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_P) - (X_{P0} - X_P)(Y_{P0} - Y_{P1})}{(X_{P0} - X_{P1})(Y_{P0} - Y_{P2}) - (Y_{P0} - Y_{P1})(X_{P0} - X_{P2})} \end{aligned} \quad (3)$$

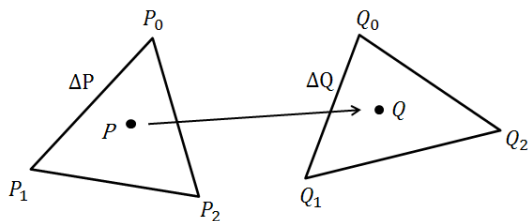


Figure 2. An Example of Triangle Warping

Table 1. Result of Points in Test Area (Uiwang-City, Unit: m)

Point Name	Bessel(A)		GRS80(B)		
	North	East	North	East	
1	L5	432,268.79	202,761.21	432,574.59	202,831.56
2	448	427,722.12	205,115.78	428,028.05	205,186.25
3	TL24	427,541.69	200,627.72	427,847.49	200,698.25
4	L65	430,409.87	201,037.40	430,715.64	201,107.84
5	TL29	427,308.51	199,360.33	427,614.28	199,430.89
6	TL28	426,641.01	199,208.91	426,946.78	199,279.49
7	L60	430,484.73	199,812.69	430,790.47	199,883.15
8	tl-16	430,474.69	199,588.40	430,780.42	199,658.86
9	T15	430,470.25	201,322.73	430,776.03	201,393.17
10	L62	429,621.77	200,879.64	429,927.55	200,950.11
11	L52	431,218.55	200,279.25	431,524.29	200,349.67
12	L54	431,231.50	200,912.65	431,537.25	200,983.06
13	TL14	431,781.75	202,270.23	432,087.54	202,340.61
79	T5	432,256.75	202,763.34	432,562.54	202,833.70
80	TL21	427,776.80	200,172.91	428,082.58	200,243.44
81	TL20	428,001.30	199,458.02	428,307.06	199,528.55
82	L63	427,915.63	199,858.64	428,221.40	199,929.17
83	TL34	429,835.16	196,200.78	430,140.79	196,271.30
84	TL39	428,934.72	196,438.66	429,240.38	196,509.21
85	TL37	427,881.26	196,627.53	428,186.94	196,698.12
86	TL32	423,073.66	194,765.99	423,379.35	194,836.74

따라서 와핑을 수행한 결과 생성되는 점 $Q(X_Q, Y_Q)$ 는 아래와 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} X_Q &= \lambda_0 X_{Q0} + \lambda_1 X_{Q1} + \lambda_2 X_{Q2} \\ Y_Q &= \lambda_0 Y_{Q0} + \lambda_1 Y_{Q1} + \lambda_2 Y_{Q2} \end{aligned} \quad (4)$$

3.3 연구수행 기초자료

본 연구에서는 좌표변환을 위한 삼각형의 기준점과 좌표변환 결과의 정확도 분석을 위한 기초자료로 Table 1의 국가표준작업지침(Ver 1.0)내의 시범지역인 의왕시의 자료의 86개 공통점과 국가 공통점 3개 기준점을 활용하였다.

4. 삼각형 와핑에 의한 좌표변환

삼각형 와핑 알고리즘을 이용한 좌표변환을 위하여 시범지역 의왕시의 86개와 국가공통점 3개를 활용하

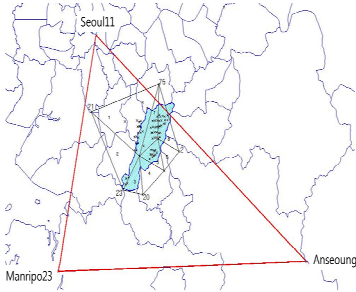


Figure 3. CASE 1

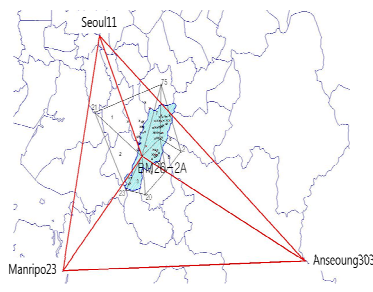


Figure 4. CASE 2

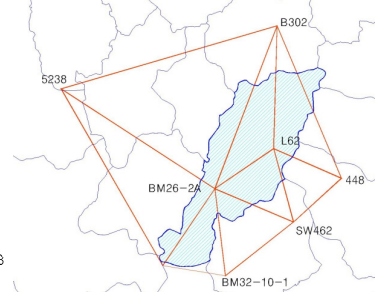


Figure 5. CASE 3

Table 2. Points for Triangles Meshes Composition (Unit: m)

Point Name		Bessel(A)		GRS80(B)		Note
		X(North)	Y(East)	X(North)	Y(East)	
CASE1	SEOUL11	444,958.58	188,346.10	445,263.68	188,415.90	1 Triangle Mesh
	MANRIPO23	369,009.16	131,798.13	369,314.59	131,869.65	
	ANSEONG303	412,065.19	230,199.51	412,370.92	230,269.29	
CASE2	BM26-2A	427,048.60	197,198.97	427,354.31	197,269.57	3 Triangle Meshes (One Uiwang-City's Point Inclusion)
	SEOUL11	444,958.58	188,346.10	445,263.68	188,415.90	
	MANRIPO23	369,009.16	131,798.13	369,314.59	131,869.65	
	ANSEONG303	412,065.19	230,199.51	412,370.92	230,269.29	
CASE3	448	427,722.12	205,115.78	428,028.05	205,186.25	8 Triangle Meshes (Uiwang-City's Points)
	L62	429,621.77	200,879.64	429,927.55	200,950.11	
	BM32-10-1	421,465.78	197,866.29	421,771.60	197,937.05	
	5238	433,456.49	187,585.09	433,761.81	187,655.63	
	T325	422,110.70	193,938.89	422,416.38	194,009.68	
	SW462	424,920.57	202,120.18	425,226.45	202,190.77	
	BM26-2A	427,048.60	197,198.97	427,354.31	197,269.57	
B302	437,496.00	201,094.88	437,801.68	201,165.10		

여 다음의 3가지 경우에 대하여 삼각형 와핑 변환을 위한 삼각망을 구성하였다. 첫째, 의왕시를 포함할 수 있는 공통점으로 단일 삼각망을 구성하는 경우, 둘째, 첫째의 경우에 의왕시 보유 공통점을 추가하여 3개의 삼각망을 구성하는 경우, 셋째, 의왕시 공통점을 활용한 8개의 삼각망을 구성한다. 3가지 경우에 대하여 모든 공통점 좌표성과를 도상에 전개하였고, 이들 중 각 CASE에 맞게 공통점을 선정하여 삼각망 구성하고, 그 나머지 공통점들은 좌표변환 정확도 검증을 위한 검사점으로 활용하였다.

4.1 삼각형 와핑에 의한 좌표변환 및 정확도 분석

각 경우별 삼각형 와핑에 의한 좌표변환 결과는

Table 3. Standard Limits of Errors on Digital Map

Classification		Scale		Note
		Over 1/500	Below 1/1,000	
Plane Position	Graphical Distance	Within 0.5mm	Within 0.7mm	
	Actual Distance	Within 0.250m	Within 0.700m	

Table 4와 같다. 『공공측량의 작업규정 세부 기준』 제 98조에서 항공사진에 의한 수치지형도 제작 시 수치지형도의 정확도는 제47조의 지도 정확도를 준용하도록 하고 있으므로 좌표변환에 대한 정확도 검증은 Table 3의 기준에 부합되는지 확인하였다.

Table 4. Comparison of Graphical Distance Distortion (ΔX , ΔY) and Plane Position Error(V) by Case (Unit: m)

Classification		ΔX	ΔY	V	Note
CASE Standard	Average	0.6640	0.5180	0.8440	- Transformation by National Coordinate Transformation Coefficient
	Maximum	0.7490	0.6660	0.9520	
Guideline	Standard Deviation	0.0330	0.0540	0.0400	- 86 Points over 1/1000 Error Standard
CASE1	Average	0.3000	0.5222	0.6020	- 7 Points over 1/1000 Error Standard Excess
	Maximum	0.3081	0.6645	0.7406	
	Standard Deviation	0.0290	0.0537	0.0492	
CASE2	Average	0.0524	0.1668	0.1770	- All Points within 1/1,000 Error Standard - 18 Points over 1/1000 Error Standard
	Maximum	0.2666	0.4162	0.4314	
	Standard Deviation	0.0482	0.0980	0.1055	
CASE3	Average	0.0048	0.0051	0.0075	- All Points within 1/1,000, 1/500 Error Standard
	Maximum	0.0673	0.0422	0.0728	
	Standard Deviation	0.0083	0.0060	0.0098	

Table 5. Accuracy Comparison by the Coordinate Transformation Method in Demonstration Area(Uiwang-Si)(Unit: m)

Point Name	Transformation by State Coordinate Transformation Coefficients(Standard Guideline)				Transformation by Triangle Mesh Warping			
	Conversion GRS80 Ellipsoid(C)		Distortion(B-C)		Conversion GRS80 Ellipsoid(D)		Distortion(B-D)	
	X(North)	Y(East)	ΔX	ΔY	X(North)	Y(East)	ΔX	ΔY
L5	432,573.89	202,831.11	0.696	0.457	432,574.589	202,831.57051	0.00051	0.01051
448	428,027.30	205,185.74	0.749	0.508	428,028.05000	205,186.25000	0.00000	0.00000
TL24	427,846.79	200,697.71	0.696	0.541	427,847.49133	200,698.25491	0.00133	0.00491
L65	430,714.96	201,107.34	0.683	0.496	430,715.64399	201,107.84306	0.00399	0.00306
TL29	427,613.59	199,430.33	0.682	0.553	427,614.27827	199,430.89047	0.00173	0.00047
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
L63	428,220.72	199,928.63	0.683	0.540	428,221.40420	199,929.17525	0.00420	0.00525
TL34	430,140.17	196,270.76	0.626	0.535	430,140.79893	196,271.30802	0.00893	0.00802
TL39	429,239.74	196,508.66	0.637	0.550	429,240.37927	196,509.21250	0.00073	0.00250
TL37	428,186.29	196,697.55	0.647	0.568	428,186.94031	196,698.11243	0.00031	0.00757
TL32	423,378.70	194,836.09	0.650	0.647	423,379.35218	194,836.74054	0.00218	0.00054
평균			0.665	0.518	평균		0.00447	0.00514
표준편차			0.033	0.054	표준편차		0.00593	0.00309

임의의 공통점으로 삼각망을 구성한 3가지 경우에 대한 삼각형 와핑 좌표변환 결과, 지역측지계의 성과를 세계측지계 기준의 평면직각좌표로 기본 변환한 평면직각좌표계상의 X축(North)과 Y축(East)의 좌표 차이 성분인 왜곡량(ΔX , ΔY) 및 평면위치왜곡량(V)의 비교에서 국가좌표변환계수에 의한 변환의 왜곡량의 평균값은 0.664m, 0.518m, 0.844m로서 별도의 왜곡량 보정이 필요한데 비해 본 연구에서 제안한 삼각형 와핑에 의한 좌표변환방법에 적용할 경우, CASE1의 왜곡량 평균값은 0.3000m, 0.5222m, 0.6020m 최대값은 0.3081m, 0.6645m, 0.7406m이고, CASE2의 왜곡량 평균값은 0.0524m, 0.1668m, 0.1770m 최대값은 0.2666m, 0.4162m, 0.4314m이었으며, CASE3의 왜곡량 평균값은 0.0048m, 0.0051m, 0.0075m, 최대값은 0.0673m, 0.0422m, 0.0728m으로 나타났다. 이 연구 성과를 우리나라 수치지형도의 정확도 준용 기준과 비교할 경우 CASE1은 1/1,000의 정확도를 상회하는

수준, CASE2는 1/1,000 이상의 정확도에 근접, CASE3은 1/500 축척이상의 오차정확도를 갖는 등 상당히 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 CASE2와 CASE3은 별도의 매개변수 변환 및 왜곡량 모델링 과정 없이도 향상된 정확도를 확보할 수 있었으며, 또한 표준지침에서 권장하는 공통점 확보 기준의 10%이내인 4점 혹은 8점으로도 충분한 정확도가 확보되었다. 결과에 대한 정확도 비교는 Table 5에 기술되어 있다.

4.2 구리시, 평택시에 대한 좌표변환 및 정확도 분석

의왕시를 대상으로 한 삼각형 와핑 변환 방법의 연구 성과를 바탕으로 세계측지계로 변환 작업을 마무리한 구리시, 평택시에 대해서도 정확도를 검증하였다. 변환의 기본이 되는 삼각형의 구성은 구리시는 9점, 평택시는 7점의 공통점을 사용하였으며, Table 6,

Table 6. Comparison of Graphical Distance Distortion (ΔX , ΔY) and Plane Position Error(V) by Case in Guri-City [4] (Unit: m)

Classification		ΔX	ΔY	V	비 고
CASE Standartd Guideline	Average	0.7827	1.2087	1.6349	Adjustment of Distortion Quantity Using Distortion Quantity Model (92 Points)
	Maximum	7.2520	6.7100	7.6388	
	Standard Deviation	1.1465	1.5395	1.7611	
Triangle Transformation	Average	0.0101	0.0055	0.0122	No Distortion Quantity Model is necessary (9 Points)
	Maximum	0.0434	0.0134	0.0453	
	Standard Deviation	0.0091	0.0041	0.0091	

Table 7. Comparison of Graphical Distance Distortion (ΔX , ΔY) and Plane Position Error(V) by Case in Pyeongtaek-City [9] (Unit: m)

Classification		ΔX	ΔY	V	비 고
CASE Standartd Guideline	Average	0.766	0.853	1.150	Adjustment of Distortion Quantity Using Distortion Quantity Model (400 Points)
	Maximum	0.930	1.032	1.293	
	Standard Deviation	0.087	0.069	0.065	
Triangle Transformation	Average	0.007	0.005	0.009	No Distortion Quantity Model is necessary (7 Points)
	Maximum	0.035	0.050	0.051	
	Standard Deviation	0.005	0.005	0.007	

Table 7과 같이 세계측지계로 변환 후, 정확도 검증을 실시한 결과 구리시는 기존 공통점의 10%를 사용하여 4.5cm, 평택시는 공통점의 2%를 사용하여 5.1cm의 평면위치오차 정확도가 확보되었다. 이러한 결과를 통해 삼각형 와핑 변환 방법으로 세계측지계 좌표변환할 경우 매우 경제적으로 평면위치오차를 확보하는 방법임을 알 수 있었다.

4.3 좌표변환 절차의 개선

국토지리정보원에서 고시된 수치지형도 좌표계변환 절차는 첫째, 지역별로 고시된 변환계수를 적용하여 상사변환을 실시하는 단계, 둘째, 측량된 공통점의 성과를 분석하여 전체적인 왜곡량을 모델링하는 단계, 셋째, 이러한 왜곡량을 수치지형도의 격자에 적용하여 격자내의 모든점에 대해서 보간법을 적용하여 최종 잔여 왜곡량 보정을 수행하는 단계이다. 이에 반해 본 연구에서 제안하는 변환방법의 절차는 첫째, 좌표변환 대상지역을 포함하는 최소한의 공통점을 선정하여 좌표를 취득하는 단계, 둘째, 공통점 삼각망의 왜곡량을 계산하는 단계, 셋째, 공통점으로 구성된 삼각망내의 각 변환 대상점을 개별 삼각형 단위로 와핑 변환 하는 단계로 구성되어있다. 이는 기존 좌표계 변환 표준작업지침과 비교할 경우 본 연구에서 제안하

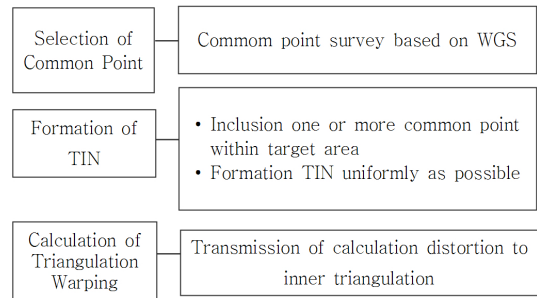


Figure 6. Improved Procedure of WGS Coordinate Transformation

는 작업단계가 훨씬 단순화됨을 알 수 있으며, 이를 통해 작업시간의 단축할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 같이 개선된 작업절차는 Figure 6과 같다.

5. 결론

본 연구는 세계측지계 좌표변환을 위하여 국가표준 작업지침에서 규정된 지역변환계수를 이용한 변환작업과 다수의 국가공통점 좌표를 기반으로 왜곡량보정 모델링의 과정이 없이도 최소한의 공통점을 사용하여 직접 세계측지계 좌표변환할 수 있는 변환 방법을 제시하였다. 이를 검증하기 위해 연구대상지에 구축된

공통점과 점검점을 본 연구에서 제시한 삼각형 와핑에 의한 세계측지계 좌표변환방법으로 시행하고 이를 국가표준작업지침에 의한 변환결과 및 실제 각 검사점들의 세계측지계 측량성과와 비교하여 왜곡량 ΔX , ΔY 와 평면위치오차 V 의 정확도 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 국가좌표변환계수에 의한 변환의 평면위치오차 V 의 평균값은 0.844m, 최대값은 0.952m로서 별도의 왜곡량 보정이 필요한데 반하여 삼각형 와핑에 의한 좌표변환의 CASE1의 평면위치오차 ΔL 의 평균값은 0.6020m, 최대값은 0.7406m이며, CASE2는 0.1770m, 최대값은 0.4314m이며, CASE3의 평균값은 0.0075m, 최대값은 0.0728m로서 평면위치오차 정확도를 분석하면 CASE1은 1/1,000 정도, CASE2는 1/1,000이상의 수준, CASE3은 1/500이상 측척에서의 평면 위치의 정확도기준에 부합되므로 별도의 왜곡량 보정이 필요 없음을 알 수 있었다.
- 2) 임의 공통점 8개로 구성된 CASE3의 삼각형 와핑에 의한 좌표변환방법은 표준작업지침의 공통점 확보기준에서 제시하는 공통점을 추가 없이 최소한의 보유 공통점만 적용하여도 충분한 정확도를 확보할 수 있는 좌표 변환 방법을 증명하였다.
- 3) 기존 성과에 대한 검증으로서 세계측지계로 변환 작업을 마무리한 구리시, 평택시에 대해서도 정확도를 검증한 결과 구리시는 기존 공통점의 10%인 9점을 사용하여 4.5cm, 평택시는 공통점의 2%인 7점을 사용하여 5.1cm이내의 정확도가 확보되었다.
- 4) 본 연구에서 제시된 방법은 기존의 국가표준작업지침의 작업절차와 비교하여 그 절차가 매우 단순하게 정립되어 있으며 이를 통해 좌표변환작업을 효과적으로 수행이 가능함을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제시하는 방법은 왜곡량 모델링을 위한 수많은 공통점의 추가확보 없이 기존에 보유하고 있는 최소한의 공통점만으로 대상점의 세계측지계 좌표변환을 할 수 있는 방법이다. 또한, 기존 방법에서는 지역별 변환 계수 적용 시 변환계수를 각기 다르게 적용한 지역 사이의 경계에서 좌표변환 성과의 불일치가 발생하는데 비해 본 연구에서 제안한 방법에 의할 경우 경계 간 불일치 발생 가능성과 정도를 현저히 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이

러한 다양한 특징을 통해 삼각형 와핑에 의한 좌표변환 방법은 왜곡량 모델링을 하지 않고서도 정확한 세계측지계 좌표변환성과를 확보할 수 있는 효율적이고 경제적인 방안을 알 수 있었다. 하지만 본 연구에서 제시된 방법은 공통점에 의한 삼각망의 기하학적인 구성형태(삼각형의 형태가 예약일 경우 등)에 따라 오차의 지역적 편향성이 나타날 가능성이 있을 것으로 판단된다. 이에 따라 향후에는 좌표변환을 위해 구성하는 삼각망의 기하구조에 따른 오차의 정량화에 대한 보완연구가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 이러한 연구결과를 조속히 정립하여 현재 수행중인 지적재조사 사업의 세계측지계 전환 사업에 적극 활용하기 위한 합리적인 작업지침마련이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Cho, J. K; Choi, Y. S; Kwon, J. H; Lee, B. M. 2008, A Study on the Accuracy Analysis of the World Geodetic System Transformation for GIS Base Map and Database, Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System, KOGSIS, 16(3):79-85.
- [2] Choi, S. H. 2008, A Study on the Coordinate Transformation of Digital Cadastral Map Using World Geodetic Systems, p. 49, Master's Thesis, Chonbuk National University.
- [3] Chung-Ang Aersurvey Co. LTD. 2005, Introduction of WGS and Plan for Reaction of Local Government.
- [4] Guri-City 2009, DB Coordinate Transformation by GIS Application Service Report.
- [5] Kim, W. T; Kim, H. C; Lee, G. J; Ahn, B. I; Kim, S. R. 1999, Correcting Inconsistency on the Boundary of Neighboring Maps, Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System, KOGSIS, 7(1):41-52.
- [6] Lee, G. S; Jang, Y. Y. 2001, The Improvement Method of Position Accuracy of Digital-Map in Small Area, The Journal of GIS Association of Korea, 9(2):263-275.
- [7] Lee, K. H; Seo, K. H; Jeong, H. C. 2003, Coordinate Transformation of the Cadastral Maps with Different Surveying Origins for Utilization in GIS, The Journal of GIS Association of Korea,

11(40):481-491.

- [8] Lee, S. B; Kim, G. W. 2012, Accuracy Analysis of the Cadastral Control Point Coordinates Based on Regional Geodetic Reference System Estimated by the World Geodetic Reference System Coordinates, Journal of Korean Association of Cadastre Information, KACI, 14(1):3-20.
- [9] National Geographic Information Institute 2005, 1/1000 Digital Map Coordinate Transformation Standard Work Instructions(ver1.0).
- [10] Park, S. M; Jeong, G. S; Son, E. J; Li, K. J; Cho, S. G. 1997, A Rubber Sheeting Method for Mismatches on Digital Maps, Proceedings of Korea Information Science Society, KIISE, 24(2): 223-236.
- [11] Pyeongtaek-City 2009, Pyeongtaek-City WGS Transformation Completion Report.

논문접수 : 2013.10.31
수 정 일 : 2014.01.24
심사완료 : 2014.02.27