

수치지도의 평면좌표변환에 관한 연구

A Study on Plane Coordinate Transformation of Digital Map

최병길¹⁾ · 이형수²⁾

Choi, Byoung Gil · Lee, Hyoung Soo

¹⁾ 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수(E-mail: bgchoi@incheon.ac.kr)

²⁾ 인천대학교 토목환경시스템공학과 석사과정(E-mail: hslee@kasm.or.kr)

Abstract

This study is aimed to research the precise and efficient method for coordinate transformation. In Korea, it is necessary to convert existing digital maps in TM coordinates to that in KTRF from 2007. In this study, coordinate transformation methods and conversion area are tested and analyzed. In the results of experiment, it shows that Affine method is preciser than Helmert method. But Affine method is have more distortion than Helmert method.

1. 서론

본 연구에서는 좌표변환시 수치지도의 방향 및 변위에 대한 차이를 분석하여 정확하고 효율적인 변환식 및 작업방법을 제시하는데 목적이 있다. 현재 측지기준이 세계측지계로 바뀜으로써 기존의 수치지도에 대한 변환이 필요하게 되었다. 지형도 제작에는 기존의 측지좌표계에 의하여 성과심사를 받게 되었으며 제작당시에는 정확한 것이었으나 측지계의 개정으로 인한 오차가 발생하게 되어 기 구축된 제작되어진 지형도와는 차이를 보이고 있다. 현재 25,000여 도엽의 1/1,000 수치지도가 제작되어 있으며 그 외 축척까지 고려하면 그 제작 규모가 상당한 편이다. 이에 따른 제작비용을 고려하였을 때 지도를 재 구축한다는 것이 매우 비효율적이고, 비경제적이라 할 수 있다. 따라서 기존의 측지좌표계에 의해 제작된 수치지도를 세계측지좌표계로 변환하기 위해서는 구성과와 신성과의 차이에 의한 기존 삼각점의 변위를 정비함으로써 변환식 및 변환방법 등을 연구할 필요가 있다.

2. 평면좌표변환

좌표변환은 동일좌표계에서의 변환과 다른 좌표계로의 변환으로 나눌 수 있다. 기본적인 2차원직교좌표계는 극좌표(r, θ)와 평면직교좌표계(x, y)와의 관계로부터 쉽게 좌표변환 된다. 그러나 구면좌표계 또는 3차원직교좌표계에서의 좌표변환은 기하학적으로 고려할 사항이 많으며 복잡한 좌표변환식이 요구된다. 특히 측량에서의 좌표변환은 2차원에서 3차원으로 또는 3차원에서 2차원 변환이 필요하며, 연속적인 좌표변환이 요구되는 경우도 있다.

일반적으로 평면좌표변환방법은 등각상사변환(Helmert Transformation), 부등각상사변환(Affine Transformation)이 주로 이용되고 있다. 평면좌표변환은 다음 그림 1과 같이 A, B, C, D에서 A', B', C', D'로 보정을 하려면 일반적으로 다음과 같은 4단계를 거쳐야 한다.

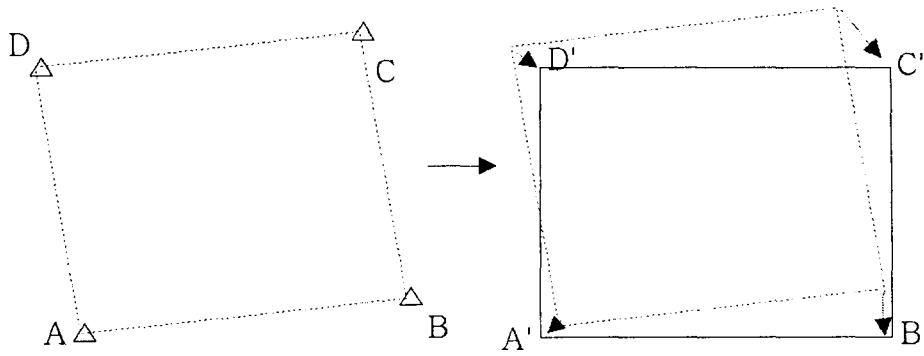


그림 1. 평면좌표변환

- ① 원점변환계산
- ② 평행조정계산
- ③ X축에 대한 평행이동
- ④ Y축에 대한 평행이동

2.1 2차원 등각상사변환

2차원등각상사변환(2D Conformal Transformation or Helmert Transformation)은 원점이동, 축척변경, 회전의 세 단계로 이루어지며, 순서는 바뀌어도 결과는 같다. 2차원등각상사변환이라 함은 변환의 전후에 형상이 변하지 않는다는 것이다. 즉, 방향과 위치가 변하고 축척이 변경되지만 X, Y축에서 축척변경이 동일하게 일어나므로 각 점간의 상대각도는 변하지 않는다.

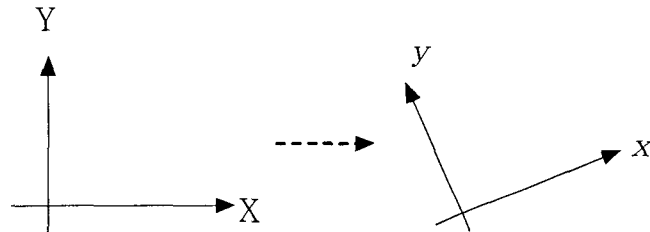


그림 2. 2차원 등각상사변환

미지 변환계수는 다음과 같다.

S : Scale

θ : Rotation

T_x, T_y : Translation

- ① 1 단계 : (X, Y) 에서 (x' , y') 로의 축척변환

축척 변환 전의 좌표계의 좌표를 (X, Y) 라고 하고, 변환 후의 좌표계의 좌표를 (x' , y') 라고 하면 관계식은

$$\begin{aligned} x' &= SX \\ y' &= SY \end{aligned} \quad \text{이며,}$$

- ② 2 단계 : (x' , y') 에서 (x'' , y'') 로의 회전

동일 원점 O 를 갖는 두 직교좌표 중 한 좌표계가 원점을 축으로 반시계방향으로 θ 만큼 회전하였다. (x' , y')을 알고 있다면 (x'' , y'')은 θ 와 (x' , y')의 함수로 나타낼 수 있다. 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}x'' &= x' \cdot \cos \theta + y' \cdot \sin \theta \\y'' &= -x' \cdot \sin \theta + y' \cdot \cos \theta\end{aligned}$$

③ 3 단계 : (x'', y'') 에서 (x, y) 로의 원점이동

(x'', y'') 좌표계가 (x, y) 좌표계로 원점 이동된 상태를 보여주고 있다. x축은 T_x 만큼, y축은 T_y 만큼 이동되어 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}x &= x'' + T_x \\y &= y'' + T_y\end{aligned}$$

④ 4 단계 : 1, 2, 3 단계 변환과정을 모두 포함하는 식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned}x &= SX \cos \theta + SY \sin \theta + T_x \\y &= SY \cos \theta - SX \sin \theta + T_y\end{aligned}$$

위의 식(2.4)를 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}x &= aX + bY + c \\y &= aY - bX + d\end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned}a &= S \cdot \cos \theta \\b &= S \cdot \sin \theta \\c &= T_x \\d &= T_y\end{aligned}$$

(X, Y) 와 (x, y) 좌표계에서 좌표가 알려진 점(기준점) 2점 이상의 좌표값을 대입하여 미지 변환계수 a, b, c, d 를 구한다. 미지변환계수를 구한 후 (X, Y) 좌표계에서만 좌표가 알려진 점들의 (x, y) 좌표계에서의 좌표를 구한다.

2.2 2차원 부등각상사변환

2차원 부등각상사변환(2D Affine Transformation)은 2차원 등각변환에 대한 축척에서 x, y 방향에 대해 축척인자가 다른 차이를 갖는 변환으로 비록 실제모양은 변화하지만 평행선은 부등각 변환 후에도 평행을 유지한다. 이 변환에서는 두 좌표계의 회전에 의해 비직교성에 의한 각 α 가 생기며, 각 α 는 미소하므로 $\sin \alpha = \alpha, \cos \alpha = 1$ 로 생각할 수 있다. Comparator Coordinate System에서 Photo Coordinate System으로 변환할 때 이 이론을 사용하는데 여기서 미지수는 $S_x, S_y, \theta, \alpha, T_x, T_y$ 가 된다.

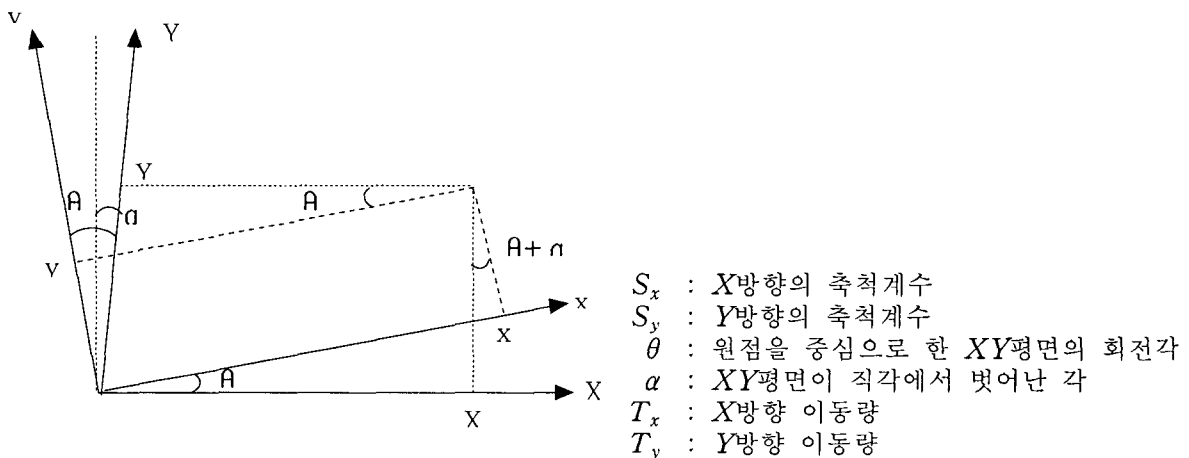


그림 3. 2D Affine 변환

① 1 단계 : X와 Y방향으로 평행이동 하여 얻은 좌표를 x_1, y_1 이라 하고 여기에 축척계수가 곱해진 것

을 x_2, y_2 이라 하면, 평행이동식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$x_1 = X + T_X$$

$$y_1 = Y + T_Y$$

$$x_2 = S_X (X + T_X)$$

$$y_2 = S_Y (Y + T_Y)$$

② 2 단계 : x_2, y_2 를 XY평면에서 θ 만큼 회전시켜 얻는 새로운 좌표를 x, y 라고 하면 식은 다음과 같다.

$$x = x_2 \cos \theta + y_2 \sin(\theta + \alpha)$$

$$y = y_2 \cos(\theta + \alpha) - x_2 \sin \theta$$

③ 3 단계 : 2단계의 두 식에 1단계의 x_2, y_2 를 대입하면 식은 다음과 같다.

$$\therefore x = S_X (X + T_X) \cos \theta + S_Y (Y + T_Y) \sin(\theta + \alpha)$$

$$= S_X X \cos \theta + S_X T_X \cos \theta + S_Y Y \sin(\theta + \alpha) + S_Y T_Y \sin(\theta + \alpha)$$

$$\therefore y = S_Y (Y + T_Y) \cos(\theta + \alpha) - S_X (X + T_X) \sin \theta$$

$$= S_Y Y \cos(\theta + \alpha) + S_Y T_Y \cos(\theta + \alpha) - S_X X \sin \theta - S_X T_X \sin \theta$$

④ 4 단계 : 식을 간략하게 만들기 위하여 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 에 대하여 정리하면 다음과 같아진다.

$$a_1 = S_X T_X \cos \theta + S_Y T_Y \sin(\theta + \alpha)$$

$$a_2 = S_X \cos \theta$$

$$a_3 = S_Y \sin(\theta + \alpha)$$

$$\therefore x = a_1 + a_2 X + a_3 Y \text{ 이고}$$

$$b_1 = S_Y T_Y \cos(\theta + \alpha) - S_X T_X \sin \theta$$

$$b_2 = -S_X \sin \theta$$

$$b_3 = S_Y \cos(\theta + \alpha)$$

$$\therefore y = b_1 + b_2 X + b_3 Y \text{ 이다.}$$

4단계에서 정리한 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 를 미지수로 하여 최소제곱법을 반복하여 실행한다.

3. 수치실험 및 분석

기구측된 1/1,000수치지형도 데이터와 그에 따른 신성과로 변환시 변위가 발생된 지역을 선정하여 수행하였다. 이 실험에 사용된 성과는 대상지역의 기준점성과 및 항공삼각측량(AT)성과를 이용하였다. 좌표변환 과정을 살펴보면 다음과 같다.

① 작업계획

- 측량성과 좌표변환방법, 작업인원, 일정 등 적합한 작업계획작성

② 수치지도제작 당시의 자료 수집

- 측량계산부(삼각점성과, 망도, 측량(삼각, 수준점)조서, 항삼성과, 항공사진 및 필름 등)

③ 신성과로 측량성과를 재산정하여 기준성과와 변위 및 방향을 파악

④ 변환범위를 결정(전체, 분할)

⑤ 변환 및 분석

⑥ 성과점검(실측)

⑦ 성과정리

- 변환전·후 데이터, 변환시 사용된 기준점, 변환계수, 성과점검자료 등

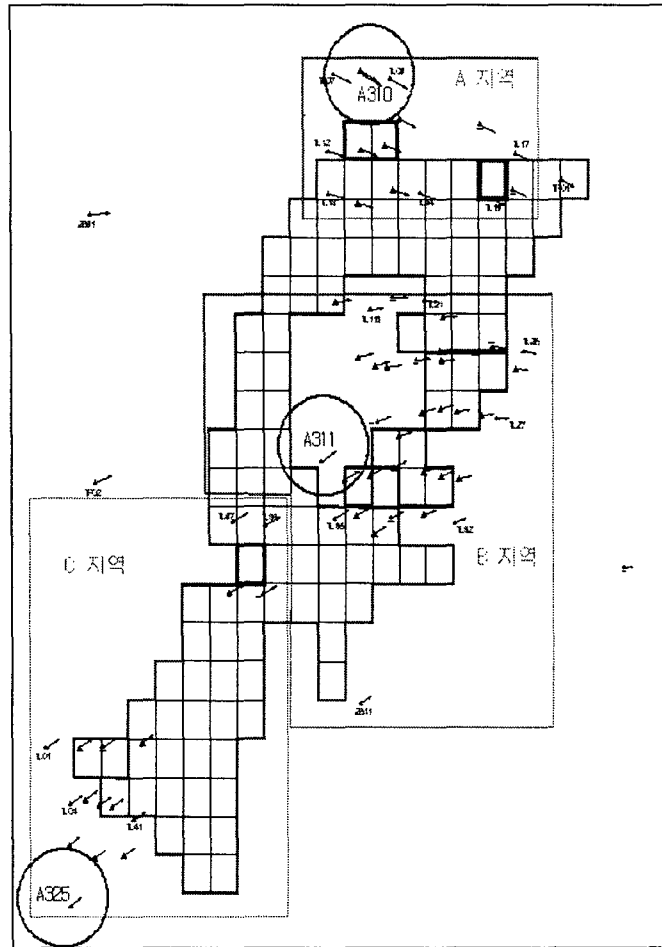


그림 4. 신·구성과 변위

대상 지역의 58개 삼각점의 좌표를 이용하여 변환계수를 산정하고 그 변환계수를 이용하였다. 대상 지역의 기준점을 2차원등각상사변환을 통해 좌표 변환한 결과 다음 표 1과 같이 오차의 범위가 10cm 이내인 점들이 전체의 20.7%를 차지하고 있다.

표 1. 2차원등각상사변환을 통한 좌표변환 (전지역방식)

정 확 도	점의 수	%	비 고
10cm이내	12	20.7	평균 : 16.6cm
10cm~20cm이내	24	41.4	
20cm~30cm이내	19	32.7	
30cm이상	3	5.2	
계	58	100	

대상지역의 기준점을 2차원부등각상사변환을 통해 좌표변환한 결과 다음 표 2와 같이 오차의 범위가 10cm 이내인 점들이 전체의 44.8%를 차지하고 있다.

표 2. 2차원부등각상사변환을 통한 좌표변환 (전지역방식)

정 확 도	점 의 수	%	비 고
10cm이내	26	44.8	평균 : 13.1cm
10cm~20cm이내	17	29.3	
20cm~30cm이내	12	20.7	
30cm이상	3	5.2	
계	58	100	

대상지역 기준점의 방향 및 변위량을 고려하여 대상지역을 3개의 구역(A,B,C)으로 분할한 다음 각 변환식에 의한 좌표변환을 실시하였다. 2차원등각상사변환방법으로 좌표변환한 결과 다음 표 3과 같이 10cm 이내의 점들이 전체의 94.8%를 차지하고 있다.

표 3. 2차원등각상사변환을 통한 좌표변환 (지역분할방식)

정 확 도	점 의 수	%	비 고
10cm이내	55	94.8	평균 : 0.6cm
10cm~20cm이내	2	3.5	
20cm~30cm이내	1	1.7	
30cm이상	0	0	
계	58	100	

대상지역의 기준점을 2차원부등각상사변환방법으로 좌표변환한 결과 다음 표 4와 같이 10cm 이내의 점들이 전체의 98.3%를 차지하고 있다.

표 4. 2차원부등각상사변환을 통한 좌표변환 (지역분할방식)

정 확 도	점 의 수	%	비 고
10cm이내	57	98.3	평균 : 0.3cm
10cm~20cm이내	1	1.7	
20cm~30cm이내	0	0	
30cm이상	0	0	
계	58	100	

표 5. 좌표변환 결과 비교

구 분	변환방법	10cm 이내	10~20cm 이내	20~30cm 이내	30cm이상	계	평균 (cm)
전 체 변 환	등각사상변환	12	24	19	3	58	16.6
	부등각사상변환	26	17	12	3	58	13.1
3구역분할 변 환	등각사상변환	55	2	1	0	58	0.6
	부등각사상변환	57	1	0	0	58	0.3

대상지역의 전지역을 한번에 변환한 결과 등각사상변환이 평균 16.6 cm, 부등각사상변환이 13.1 cm로 나타났으며 지역을 3 구역으로 분할하여 변환한 결과 등각사상변환이 평균 0.6 cm, 부등각사상변환이

0.3 cm의 크기로 나타났다. 좌표변환 결과 전체 대상지역을 대상으로 한 등각사상변환과 부등각사상변환을 비교하였을 때 오차의 범위가 10cm 이내에 포함된 점의 수가 약 2배정도의 차이를 보였으며 지역의 대상지역 기준점의 방향 및 변위량을 고려하여 대상지역을 3개의 구역으로 분할하여 좌표변환한 결과 부등각사상변환의 경우에 10cm 오차범위에 포함된 점의 수가 많았으나 큰 차이를 보이고 있지는 않았다.

4. 결 론

본 연구에서는 기 구축되어있는 수치지도를 새로이 제작하지 않고 수치지도를 기존의 측지좌표계에서 세계측지계로 변환하는 좌표변환식 및 변환방법을 선정, 제시하였다. 수치지도의 좌표변환을 통하여 신성과에 부합되는 경제적이고 정확한 수치지도를 구축할 수 있을 것이다.

좌표변환방법으로는 부등각사상변환이 좀더 정확함을 알 수 있으나, X, Y축의 축척 변환에 따른 형상의 일그러짐이 발생하므로 다소 정확도는 떨어지지만 형상이 유지되는 등각사상변환을 실시하는 것이 효과적이다. 작업방법으로는 구성과로 제작된 수치지형도 변위는 그 변화량과 방향이 일정하지 않게 발생하기 때문에 수치지도의 왜곡보정이론 정립이 매우 어렵다. 또한, 왜곡이 일어나는 범위의 지정은 물론, 변위를 수정하여야할 범위의 설정도 매우 어렵다. 따라서 사전에 각 작업지역의 상황을 면밀히 분석하여 변환 범위 및 변환계수를 산정하고 변환 후에는 점검작업을 반드시 실시하여야 할 것이다.

참고문헌

- 건설교통부(1995). "수치지도작성작업규칙", 건설교통부.
- 국립지리원(1998). "정밀1, 2차기준점측량작업규정", 국립지리원.
- 국립지리원(1994). "GPS에 의한 정밀1, 2차기준점측량", 국립지리원.
- 김충평, 이현직 외12인(1998). "수치지도 위치정확도에 관한연구", 국립지리원.
- 대한측량협회(1998). "측량관계법령집", 대한측량협회.
- 국립지리원(2002). "공공측량 작업규정", 국립지리원.
- 조규전(1996). "표준측량학", 보성출판사.
- 유복모(1995). "지형공간정보론", 동명사.
- 유복모(1995). "측량학원론 I, II", 동명사.
- 이영진(1999). "기준점 측량 (I), (II)", 경일대학교 공과대학 측지공학과.
- 김병국, 최정민, 김은모(1998). "수치지도의 정확도 검정에 관한연구", 한국측지학회.
- 내무부(1997). "지적도면 수치과일화 작업규정 및 전산화에 관한 연구", 한국전산원.