

세계측지계 전환활성화를 위한 변환방법 연구

A study on the coordinates conversion procedures to activate the transformation of local into world geodetic reference system

홍창기¹⁾ · 권재현²⁾ · 이현직³⁾ · 이원진⁴⁾

Hong, Chang-Ki · Kwon, Jay Hyoun · Lee, Hyun-Jik · Lee, Won-Jin

Abstract

According to the revised law of survey, all the geographic information data including 1/1,000 digital topographic maps have to be converted to world geodetic reference system by the end of 2009. National Geographic Information Institute (NGII) formulated the policy to promote the conversion from local geodetic reference system to world geodetic reference system. However, the current conversion rate is lower than planned due to some impeding factors. Therefore, in this paper, those impeding factors are investigated and then efficient conversion strategies are established and provided. The research involves the validation of affine transformation, the determination of critical value for outlier detection and optimal number of common control points for coordinate conversion, and the treatment of old and new control points.

Keywords : World Geodetic System, Affine transform, Common control point

초 록

개정된 측량법에 의해 2010년부터 모든 위치정보좌표는 세계측지계 좌표를 기준으로 하여야 하며 이를 위해 국토지리정보원을 중심으로 세계측지계로의 전환을 위한 기술적·제도적 기반을 마련하였다. 하지만 여러 저해요인으로 인해 현재 지방자치단체별 전환실적이 상대적으로 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 세계측지계로의 전환에 필요한 요소 중 좌표변환방법 및 절차에 대한 분석을 통해 보다 유연성있는 변환방법을 제시하였으며 기존의 좌표변환절차 중 효율적인 좌표변환을 위한 보완방안을 제공하였다. 이를 위해 국가변환계수를 이용한 기존의 변환방법보다 효율적인 Affine변환의 유용성 여부를 분석하였으며 기준점의 허용오차 분석을 통해 공통점에 존재하는 비상사점의 판별 기준을 제시하였다. 또한 구성과 및 신성도가 혼재하는 지역에서의 효율적인 세계측지계 좌표변환 방법 및 세계측지계 변환에 필요한 공통점의 적절한 수량을 제시하였다.

핵심어 : 세계측지계, Affine변환, 공통점

1. 서 론

2001년 12월에 개정된 측량법에 의하여 2003년 1월 1일부터 신규 제작되는 모든 지도 및 위치정보자료는 세계측지계를 사용하여야 하며 지역측지계와 세계측지계를 병행 사용하고 있는 기존 자료의 경우도 2010년 1월 1일부터 세계측지계를 사용하도록 하고 있다. 이를 위해 국토지리정보원은 세계측지계 전환을 위한 관련 법·제도를

정비하였으며 공공기관 및 지방자치단체 등에서 추진하고 있는 좌표계 변환작업의 원활한 수행을 위해 1/1,000수치지형도 좌표변환 표준작업지침(ver.10)을 제공하고 있다(국토지리정보원, 2005). 뿐만 아니라 일관성 있는 좌표변환을 위하여 세계측지계 좌표변환 소프트웨어를 개발하여 무상 배포하고 있다. 이와 같이 세계측지계 전환사업은 국토지리정보원 주도로 수행되어 왔으며 기술적·제도적으로는 어느 정도 기반을 갖추고 있는 것

1) 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 연구교수(E-mail:ckhong@uos.ac.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 부교수(E-mail:jkwon@uos.ac.kr)

3) 정희원 · 상지대학교 건설시스템공학과 교수(E-mail:hjkleee@sangji.ac.kr)

4) 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 석사과정(E-mail:twother@uos.ac.kr)

으로 사료되나 지방자치단체나 공공기관의 세계측지계 전환율은 상대적으로 낮은 실정이다(신동빈, 2007).

현재 1/1,000수치지형도의 세계측지계 좌표변환은 국가변환계수를 기본적으로 사용하며 공통점으로부터 추가 왜곡량을 산정한 후 이를 수치지형도에 적용하는 방식을 채택하고 있다. 이러한 좌표변환 방법은 변환과정이 복잡하기 때문에 비효율적인 측면이 있으며 더 나아가 세계측지계 전환에 하나의 저해요인으로 작용하고 있다. 이러한 문제점의 극복을 위해 7 단계변수를 이용한 지역좌표변환, 2차원 Affine 변환 등 다양한 변환 방법에 대한 연구가 수행되어 왔다. 지역좌표변환계수를 이용한 좌표변환의 경우 충분한 정확도를 확보할 수 있는 것으로 보고된 바 있으며 추가적인 왜곡량 모델링이 필요하지 않기 때문에 보다 효율적인 변환방법이 될 수도 있다(임일식 등, 2003; 이상준, 2005). 또한 2차원 Affine 변환을 국지적인 범위에 적용하여 세계측지계 좌표변환을 수행하여도 무방하다는 연구결과도 이미 도출된 바 있다(윤홍식 등, 2004; 조재관 등, 2008). 본 연구에서는 국토지리정보원에서 제공하고 있는 좌표변환표준지침의 분석을 통해 보다 효율적인 세계측지계 전환을 위한 개선안을 제시하고자 한다. 본 연구에서 제시된 개선안은 세계측지계로의 원활한 전환에 기여할 것으로 사료된다.

2. 세계측지계 좌표변환 방법 분석

본 절에서는 1/1,000수치지형도 세계측지계 변환을 위한 표준변환작업지침을 조사하여 세계측지계 전환에 저해가 되는 요인들을 좌표변환방법을 중심으로 분석하였다. 표준변환작업지침은 지방자치단체에서 일관성있고 효율적인 세계측지계 전환을 수행할 수 있도록 국토지리정보원에서 2005년에 공표한 것으로 지침의 주요내용 중 변환작업절차를 요약하면 다음과 같다.

먼저 기준점성과 등의 분석을 통해 공통점을 확보한 후 세계측지계변환계수를 이용하여 세계측지계로의 기본변환을 하여야 하며 기본 변환 후 정확도가 충분하지 않은 경우 왜곡량에 대한 모델링 및 보정을 수행하여야 한다. 마지막 단계에서는 변환된 1/1,000수치지형도의 정확도를 평가한다(그림 1).

각 단계별 구체적인 내용은 아래의 박스로 표시하였으며 국토지리정보원에서 2005년에 공표한 "1/1,000수치지형도 좌표계변환 표준작업지침(Ver 1.0)"을 인용한 것이다.

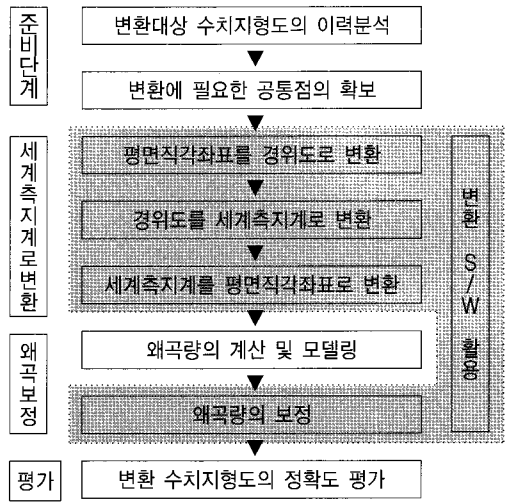


그림 1. 변환작업 흐름도(국토지리정보원, 2005)

2.1 준비단계

수치지형도 제작 당시의 각종 현황을 파악하여 공통점을 확보하고 지침에 따라 세계측지계로 변환할 경우 정확도 확보가 가능한지 여부 등을 사전에 검토한 후 변환 방법을 선정하고 변환에 필요한 작업계획을 수립하는 과정을 말한다.

변환지침에 의하면 현황을 파악한 후 변환방법을 결정하도록 되어 있으며 사업의 특성상 지침의 적용이 곤란한 경우에 다른 변환방법을 모색하도록 유연성을 제공하고 있다. 하지만 다른 변환방법에 대한 구체적인 기술이 없으므로 실제로 변환 주체가 다른 변환방법을 선택하기 어려운 실정이다. 따라서 검증된 다른 변환방법이 있는 경우 이를 이용하는 방법에 대한 지침 또한 필요한 것으로 판단된다.

공통점에 대한 성과가 존재하지 않거나 또는 일부 존재할 경우에는 제작시 측량된 평면기준점의 80% 이상 또는 일정 수량이 균일하게 분포되도록 공통점 확보를 위한 별도의 측량을 실시하여야 한다.

$$\cdot \text{공통점의 수량} = 10\text{점} + (\text{도엽수} \times 0.25\text{km}^2/1\text{km}^2)\text{점}$$

변환지역의 공통점이 충분하지 않은 경우 충분한 공통점 수량을 확보해야 하나 공통점 추가확보는 곧 측량비용의 증가로 이어지게 된다. 따라서 변환정확도에 영향을

미치지 않는 범위내에서 적절한 공통점 수량을 결정할 필요가 있다.

2.2 세계측지계로의 기본 변환

세계측지계로의 기본 변환은 지역측지계의 평면직각좌표를 지역측지계의 경위도로 변환하고, 지역측지계의 경위도를 3차원 직각지심좌표로 변환하고, 지역측지계의 3차원 직각지심좌표를 세계측지계의 3차원 직각좌표로 변환한 후, 세계측지계의 경위도를 세계측지계의 평면직각좌표로 변환하여야 한다.

국가변환계를 이용한 세계측지계로의 기본 변환은 3차원 직각지심좌표를 기준으로 하기 때문에 그림 1과 같이 여러 단계의 복잡한 변환과정을 거쳐야 하며 변환 후에도 추가적인 왜곡량 모델링이 필요하다는 단점이 있다.

2.3 왜곡량 모델링 및 보정

1/1,000수치지형도는 제작 당시에 사용한 기준점성과의 특성 등이 있어 기본 변환만으로는 정확도 확보가 불가능하므로 위치정확도를 확보하기 위해 세계측지계로 기본 변환한 후 잔여 왜곡량 모델링을 통하여 결정된 왜곡량을 보정하여야 한다.

왜곡량에 대한 모델링을 위해 각 축방향(X,Y)별로 최소 제곱 폴로케이션을 사용하도록 되어 있다. 이를 위해 각 축별로 공분산함수를 결정해야 하며 이 공분산 함수는 주어진 왜곡량 정보로부터 구하게 된다. 즉, 공통점의 개수가 많을수록 정확한 구해진 공분산 함수의 정확도는 향상될 수 있으나 계산과정이 복잡하다는 단점이 있다. 뿐만 아니라 최종 왜곡량 모델링 값이 1/1,000수치지형도 도곽에 해당하는 점들에 대해 산출되므로 1/1,000수치지형도의 최종 변환을 위해서는 추가적인 보정이 필요하다.

또한 좌표변환지침에 의하면 평면직각좌표의 각 축별 왜곡량이 표준편차(±σ)보다 3배(±3σ) 이상의 차이가 나타나는 경우 비정상점으로 판단하고 있지만 원래 기준점의 요구수평 정확도를 고려하여 비정상점 여부를 판단하는 것이 타당한 것으로 사료된다.

3. 좌표변환 방법 분석

3.1 Affine변환의 효용성 분석

2차원 Affine변환은 지역이 비교적 넓지 않은 곳에서의 좌표변환을 2개의 원점 이동, 2개의 스케일 요소, 그리고 1개의 회전각과 1개의 skew각으로 수행하는 것으로 관측 방정식은 수식 (1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_f \\ y_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} x_f \\ y_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m & y_m & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & x_m & y_m & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \\ a_{21} \\ a_{22} \\ x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 x_m, y_m 은 지역측지계 평면직각좌표, x_f, y_f 은 세계측지계 평면직각좌표를 의미하며 $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ 및 x_0, y_0 는 추정할 파라미터이다.

Affine 변환계수는 지역측지계 평면직각좌표와 세계측지계 평면직각좌표를 이용하여 직접 계산이 가능하며 국가 변환계수를 이용한 세계측지계 좌표변환 방법에 비해 절차 및 계산이 간단하다는 장점이 있다. 본 절에서는 Affine변환이 세계측지계 좌표변환에 사용 가능 여부를 판단하기 위해 의왕시의 공통점 자료를 이용한 변환분석을 수행하였으며 총 86개의 공통점을 사용하였다. 여기서 공통점은 수치지형도 제작당시에 사용된 기준점에 대

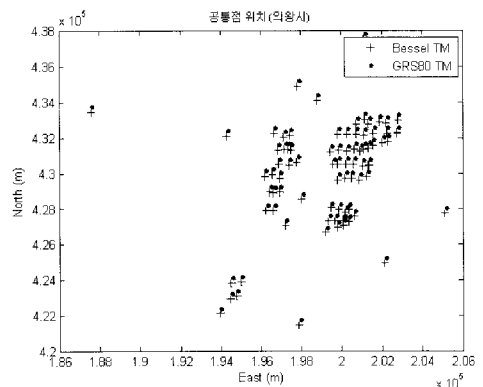


그림 2. 의왕시 공통점의 위치

해 지역측지계 및 세계측지계 성과를 모두 가지고 있는 지점을 말한다(국립지리정보원, 2005). 그림 2는 의왕시 공통점의 위치는 나타내며 십자모양은 지역측지계 평면직각좌표, 점은 세계측지계 평면직각좌표를 각각 나타낸 것이다. 공통점의 분포 범위는 대략 16km×16km 이다.

표 1은 86개의 의왕시 공통점을 이용하여 산출된 Affine변환계수를 나타내며, 이를 이용하여 변환을 수행한 결과와 세계측지계 평면직각좌표 사이의 차이, 즉 왜곡량은 그림 3과 같다. 그림 3에서 원으로 표시된 점은 비상사점으로 간주하여 제거하였다.

표 1. 산출된 Affine변환 계수

변환계수	값
a_{11}	0.99999
a_{12}	0.00003
a_{21}	-0.00003
a_{22}	0.99999
x_0	305.86 (m)
y_0	86.54 (m)

그림 3에서 보는 바와 같이 왜곡량의 평균은 '0', 표준편차는 1cm 정도로 나타났으며 공통점에 해당하는 왜곡량의 크기가 충분히 작기 때문에 추가적인 왜곡량 모델링이 필요하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 Affine변환을 세계측지계 좌표변환에 사용하여도 정확도 측면에서 무방하다는 것을 알 수 있다.

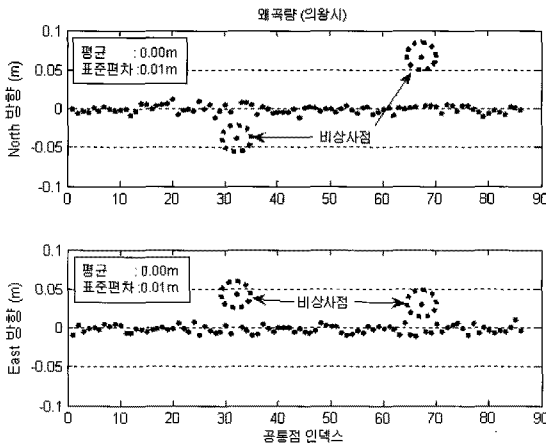


그림 3. Affine 변환 후 왜곡량

3.2 비상사점의 제거를 위한 허용오차의 결정

비상사점의 존재는 Affine변환을 이용한 경우 뿐만 아니라 국가변환계수를 이용한 세계측지계 좌표변환에도 정확도 및 신뢰도에 영향을 줄 수 있다. 따라서 공통점의 왜곡량이 모든 공통점과 비교하여 기준 이상을 초과하는지를 분석하여 비상사점 여부를 판단하여야 한다. 이때 왜곡량을 분석하여 비상사점으로 판단하기 위한 허용오차에 대한 기준이 필요한데, 본 연구에서는 각 방향(North, East)별 허용오차의 기준을 국토지리정보원에서 고시한 정밀1, 2차 기준점측량내규를 근거로 결정하였다. 즉, 국가기준점 혹은 도시기준점과 같은 공공기준점은 정밀1, 2차 기준점측량내규에 제시된 수평위치 정확도($\leq 3cm$)를 확보한 상태로 가정할 것이다.

따라서 각 방향에서의 허용오차(σ_N, σ_E)는 허용오차의 크기가 같으며 ($\sigma_N = \sigma_E$) 서로 상관관계가 없다는 가정 하에 다음 수식 (2)와 같이 표현이 가능하다.

$$\sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_E^2} \leq 3cm \Rightarrow \sigma_N \leq 2.12cm, \sigma_E \leq 2.12cm \quad (2)$$

위의 식을 근거로 각 방향별 기준점의 허용오차를 계산하면 그 크기는 약 2.1cm이다. 또한 각 방향별 왜곡량은 세계측지계 좌표와 Affine변환 후 좌표의 차이로 정의하고 있기 때문에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{North방향 왜곡량, } N_D = N_G - N_a$$

$$\text{East방향 왜곡량, } E_D = E_G - E_a$$

N_G : 세계측지계 North 방향 좌표

N_a : Affine변환 후 North 방향 좌표

E_G : 세계측지계 East 방향 좌표

E_a : Affine변환 후 East 방향 좌표

따라서 North, East 방향의 왜곡량에 대한 허용오차($\sigma_{N_D}, \sigma_{E_D}$)는 오차전파를 통해 다음과 같이 계산된다.

$$\sigma_{N_D} = \sqrt{\sigma_{N_G}^2 + \sigma_{N_a}^2} = 3cm, \sigma_{E_D} = \sqrt{\sigma_{E_G}^2 + \sigma_{E_a}^2} = 3cm \quad (3)$$

여기서 $\sigma_{N_G}, \sigma_{N_a}, \sigma_{E_G}, \sigma_{E_a}$ 는 각각 아래첨자가 가리키는 좌표값의 오차크기를 나타낸다. 식 (3)에서 보듯이 각 축 별 허용오차는 3cm로 이를 초과하는 경우 비상사점으로 간주하여 제거해야 한다.

비상사점의 존재 여부는 먼저 Affine변환을 수행 한 후 각 방향에 대한 왜곡량이 허용오차 범위 내에 존재하는지를 확인함으로써 알 수 있으며 확보된 공통점을 이용하여 Affine변환을 수행 한 후 비상사점이 존재하면 비상사점을 제거한 후 다시 Affine변환을 수행하여 최종 변환계수를 산출하는 것이 타당하다.

3.3 구성과/신성과가 혼재하는 경우의 세계측지계 좌표변환

각 지자체별로 확보하고 있는 공통점은 각각 구성과 혹은 신성과로만 이루어져 있는 경우와 구성과 및 신성과가 혼재되어 있는 경우로 크게 나눌 수 있다. 구성과만 존재하는 경우 혹은 신성과만 존재하는 경우 성과의 일관성은 유지되고 있기 때문에 국가변환계수 혹은 Affine변환을 사용하여 세계측지계로의 좌표변환 시 신뢰할 수 있는 수준의 변환정확도를 확보할 수 있다(이현직 등, 2007). 하지만 구성과와 신성과가 혼재되어 있는 지역의 경우 구성과와 신성과 사이에 일관성을 유지하기 어려우며 따라서 변환 후 요구정확도 또한 확보하기 어렵다. 본 절에서는 구성과와 신성과가 혼재하는 경우에 대한 변환분석을 통해 적절한 변환방안을 제시하고자 한다.

분석을 위해 총 593점의 원주시 공통점 자료를 사용하였으며 원주시 공통점의 경우 각점에 대해 구성과 및 신성과가 동시에 확보되어 있다. 구성과와 신성과가 혼재되어 있는 경우를 가정하기 위해 공통점을 홀수와 짝수로 나누어 후 홀수에 해당되는 공통점은 구성과를, 짝수에 해당되는 공통점은 신성과를 이용하여 Affine변환을 수행하였다.

그림 4는 구성과와 신성과를 혼용하여 사용했을 경우

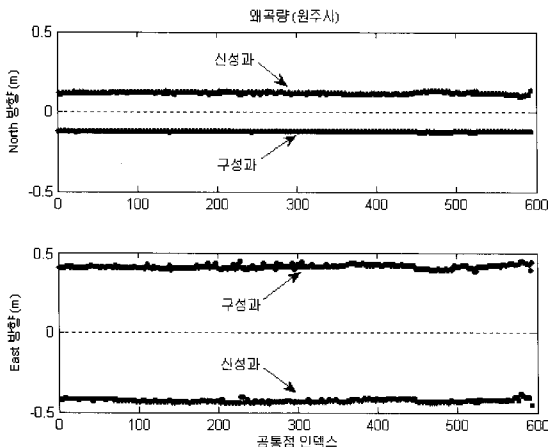


그림 4. 구성과/신성과 혼용시 각 방향별 왜곡량

각 방향별 왜곡량을 나타낸 것으로 구성과와 신성과에 해당하는 왜곡량은 일정한 편이를 보이고 있으며 모든 공통점의 왜곡량 크기가 허용오차(<3cm) 범위 밖에 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 구성과 및 신성과의 공통점 분포가 어느 지역에 한쪽으로 치우쳐 있는 경우에도 유사할 것으로 판단된다.

따라서 구성과와 신성과가 혼재하는 지역에서는 수치지형도의 이력을 확인하여 구성과 혹은 신성과를 이용하여 제작되어졌는지에 대한 분석을 한 후 구성과에 의한 수치지형도인 경우는 구성과 공통점만을 변환에 사용하고 신성과에 의한 수치지형도인 경우 신성과 공통점만을 사용하여 세계측지계 좌표변환을 실시해야 한다.

3.4 공통점수량 조정 방안

1/1,000수치지형도의 세계측지계 좌표변환을 위해서는 일정수량 이상의 공통점이 확보되어야 한다. 이를 위해 국토지리정보원에서 발표한 "1/1,000수치지형도 좌표계변환 표준작업지침(Ver 1.0)"에서는 최소 확보 공통점 수량을 다음과 같이 규정하고 있다.

$$\text{공통점 수량} = 10\text{점} + (\text{도엽수} \times 0.25\text{km}^2 / 1\text{km}^2)\text{점} : 10\text{점} + 4\text{도엽 당 1개의 공통점}$$

서울시의 경우 1/1,000수치지형도 약 2100도엽을 기준으로 공통점 수량을 계산하면 총 535점에 해당된다. 이 수량은 측량비용 대비 효용(변환정확도) 측면에서 과다하게 책정된 경우일 수도 있다. 따라서 본 절에서는 공통점의 수량 변화가 변환된 좌표의 정확도에 미치는 영향을 분석함으로써 보다 적절한 공통점 수량을 제시하였다.

공통점의 수량 변화가 변환 후 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위해 의왕시 전체 공통점(총 86점) 중 비상사점에 해당하는 2점을 제거한 후 무작위로 42점을 선택하여 검증점으로 사용하였으며 나머지 42점은 변환계수 산출을 위한 공통점으로 사용하였다. 공통점의 수량을 줄여가며 Affine변환계수를 산출한 후 산출된 변환계수를 검증점의 지역측지계 평면직각좌표에 적용하여 변환을 수행하였다. 변환된 검증점의 좌표는 세계측지계 평면직각좌표의 차이에 대한 RMS 오차를 계산하여 변환정확도를 분석하였다. 공통점 수량변화를 위해 편중점의 제거 범위를 증가시켰으며 이때 공통점의 수량변화는 표 2와 같다.

표 2. 공통점 수량 변화

편중점 제거 반경 (m)	공통점 수량
100	38
500	31
900	22
1300	14
1700	11
2100	8
2500	7

그림 5는 공통점 수량 감소에 따른 RMS오차를 나타낸 것으로 공통점 수량 감소에 따른 정확도의 변화는 거의 없는 것으로 보아 표준변환지침상의 최소 확보 공통점 수량보다는 적게 사용하여도 변환정확도에는 거의 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다(최대 RMS오차 ≤ 6mm).

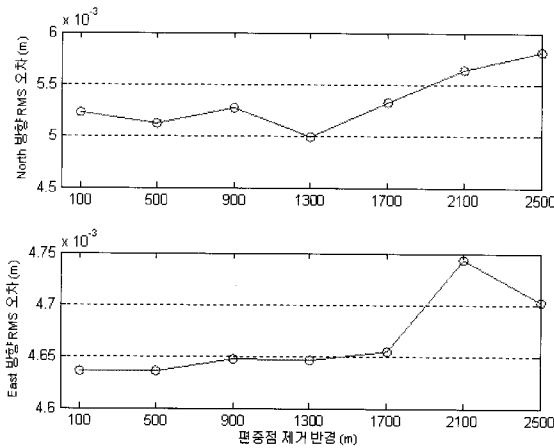


그림 5. 편중점 제거 반경에 따른 각 방향별 RMS 오차 변화

따라서 공통점 수량의 조정을 통해 측량비용의 감소를 유도함으로써 세계측지계 전환 활성화에 기여할 것으로 판단된다. 이론적으로 Affine변환계수의 산출을 위해 최소 3점의 공통점이면 충분하나 좌표변환의 안정성 등을 동시에 고려할 때 좌표변환을 위한 최소 공통점 수량은 다음과 같이 조정하여도 무방할 것으로 사료된다.

공통점 수량 = 10점 + (도엽수 × 0.25km² / 4km²)점 : 10점 + 16도엽 당 1개의 공통점

4. 결론

본 연구에서는 세계측지계 전환의 효율적인 추진을 위해 세계측지계 좌표변환과 관련된 표준변환지침을 분석하였으며 이로부터 좌표변환 절차 중 유연성을 확보할 수 있는 방안을 제시하였다. 먼저 국가변환계수를 이용한 세계측지계 좌표변환 방법보다 간편한 Affine변환의 세계측지계 좌표변환 적용 가능성을 분석하였다. 이때 의왕시 공통점 자료를 사용하였으며 왜곡량의 정량적 분석을 통해 Affine변환 결과도 충분한 정확도를 얻을 수 있음을 보였다. 또한 좌표변환 결과의 신뢰성에 영향을 미치는 비상사점의 제거를 위해 정밀1,2차기준점측량내규에 규정된 수평정확도를 기준으로 North, East 각 방향별 허용오차(≤3cm)를 제시하였다. 구성과와 신성과가 혼재되어 있는 지역의 세계측지계 좌표변환을 위해서는 구성과 혹은 신성과를 분리하여 좌표변환을 실시해야 충분한 변환정확도를 얻을 수 있는 것으로 판단되며 공통점 수량 변화에 따른 변환정확도 분석을 통해 16도엽당 한 개의 공통점을 확보하여도 충분한 정확도를 얻을 수 있었다.

참고문헌

건설교통부 국토지리정보원 (2005), 1/1,000수치지형도 좌표계변환 표준 작업지침(Ver 1.0)
 건설교통부 국토연구원 (2007), 국가공간정보에 대한 세계측지계의 체계적 적용방안
 윤희식, 김대경, 송동섭 (2004), 최적 좌표변환파라미터 결정을 위한 좌표변환 모델의 비교, 대한토목학회지, 대한토목학회, 제 24권, 제 3D호, pp.455-461
 이상준 (2005), 세계측지 좌표계도입을 위한 국지적 좌표변환계수값에 관한 연구, 석사학위 논문, 서울시립대학교, pp.29~37
 이현직, 유지호 (2007), 국가측지좌표계 전환에 따른 변환계수 결정 및 도시기반정보 데이터베이스 변환-원주시를 대상으로-, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 25권, 제 2호, pp.141-148
 임일식, 이민석, 이석배, 김병국 (2003), 세계측지계 도입에 따른 지적측량 기준점의 지역좌표 변환에 관한 연구, 한국지적학회지, 한국지적학회, 제 19권, 제2호, pp.159-172
 조재관, 최윤수, 권재현, 이보미 (2008), GIS 기본도 및 DB의 세계측지계 좌표변환 정확도 분석에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 16권, 제 3호, pp.79-85