

3변수를 이용한 지적공부의 세계측지계 변환 연구

A Study on the World Geodetic System Transformation of Cadastral Record Using by Three parameters

정완석* · 강상구**

Jung, Wan-Suk · Kang, Sang-Gu

초 록

지적공부의 세계측지계 변환은 토지소유자의 재산권 보호와 직접적인 관련이 있기 때문에 좌표변환에 따른 공부상의 경계와 면적변화를 최소화할 수 있도록 해야 한다. 하지만 일반적으로 수학적 변환식을 이용한 좌표변환은 지적도면의 형상을 변환 전·후에 정확하게 유지하기는 매우 어렵다. 현재 지적재조사 사업의 좌표변환 모델은 Helmert 변환방식에 의한 4개 변수를 이용하고 있으며 이중 축척계수는 동일 필지내에 경계점 간 상대적인 위치의 변화와 면적변동에 가장 민감한 영향을 미친다. 본 연구에서는 경계점 좌표등록지역 지적공부의 세계측지계 좌표변환 시 토지소유권과 관련이 있는 경계점에 대한 오차를 공차 범위 내에 유지시키면서 면적의 변화가 없도록 축척계수를 고정할 수 있도록 Helmert 변환식을 응용한 3변수변환 방법을 제시하였다.

주요어: 지적재조사사업, 세계측지계 변환, Helmert 변환, 축척계수, 3변수 변환

ABSTRACT

The world geodetic system transformation of cadastral record have to minimize differences of boundary and area being in cadastral record according to transformation for that is direct connected with the land owner and property protection. However it is very difficult to accurately maintain the before and after transformation because coordinate transformation is generally using a mathematical

* 인하대학교 대학원 박사과정, 제1저자(E-mail : jws02@lx.or.kr)

** 대한지적공사 공간정보연구원 기술연구실 책임연구원, 교신저자(E-mail : sgukang@lx.or.kr)

conversion formula. At present, Helmert model by using 4-parameter is official coordinate transformation model for Cadastral Resurvey Project but scale factor is most sensitive to changes of area and relative position in the same parcel.

In this study, it was proposed 3-parameter method using by scale factor fixing through the application of a Helmert in order to avoid changing the area difference and keeping the error within the tolerance range of the boundary which is related to the boundary point coordinate region.

Keywords: Cadastral Resurvey Project, World Geodetic System Transformation, Helmert Transformation, Scale Factor, 3-parameter Transformation

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

지적은 국토의 전반에 걸쳐 일정한 사항을 국가 또는 국가의 위임을 받은 기관이 등록하여 이를 국가 또는 국가가 지정하는 기관에 비치하는 기록이라고 할 수 있다. 범규상 지적은 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」 제1조에 따르면 “측량 및 수로조사의 기준 및 절차와 지적공부의 작성 및 관리 등에 관한 사항을 규정함으로써 국토의 효율적 관리와 해상교통의 안전 및 국민의 소유권 보호에 기여함을 목적으로 한다.” 라고 규정하고 있다. 즉, 지적공부의 작성 및 관리 등에 관한 사항을 규정함으로써 국토의 효율적 관리와 국민의 소유권 보호를 목적으로 국가공권력에 의하여 이를 일정한 장부에 등록·관리하는 것으로 볼 수 있다.¹⁾

지적재조사사업의 일환으로 추진되고 있는 지

적공부 세계측지계 변환은 「지적재조사기본계획」에 근거하여 전국의 3,753만 필지 중에 지적불부합지를 제외한 지적부합지 2,701만 필지를 대상으로 2013~2020년까지 세계측지계 변환을 추진하고 있다. 국토교통부에서는 지적공부 세계측지계 좌표변환을 위해 추진계획을 수립하고 ‘지적공부의 세계측지계 변환선행사업 기준’을 마련하였으며 전국 10개 광역시·도, 30개 시·군·구, 188개 지구를 대상으로 '13년 지적공부의 세계측지계 변환 선행사업'을 추진하였다. 또한 '14년~'15년에는 지자체 공무원이 직접수행 형태로 세계측지계 변환을 계획하고 있다.

「지적공부 세계측지계 변환 종합계획의 기본방향」은 토지소유권 보호를 위하여 좌표변환 후 지적공부의 등록사항인 토지경계·면적변화를 최소화하여 토지소유자 및 이해관계인의 권리보호를 목적으로 하고 있다. 하지만 현재 지적공부의 세계측지계 변환사업에서는 ‘지적공부 세계측지계

1) 지적학, 김영학, 이왕무, 이동현, 김남식, 신광문화사 pp.19.

변환 규정'에 따라 Helmert 변환방법과 평균편차 방법을 순차적으로 적용하여 변환토록 하고 있으며 Helmert 변환은 축척계수의 영향으로 동일 필지내에 경계점 간 상대적인 위치의 변화로 면적변동이 불가피하다.

일반적인 수학적 변환식을 이용한 좌표변환은 지적도면의 형상과 크기를 변환 전·후에 정확하게 유지하기가 매우 어렵다. 따라서 세계측지계 변환 종합계획의 기본방향에 부합되고 현재 진행중인 세계측지계 변환사업에 적용할 변환방안에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 좌표변환의 면적 변화 영향을 최소화하기 위해 Helmert 변환계수 중 축척계수를 고정하는 방안을 채택하여 그 실효성을 검증하고 3변수 변환의 타당성을 제시하였으며 이 방법을 현업에 적용시킴으로써 면적변화가 없는 세계측지계 변환업무가 수행될 것으로 기대된다.

1.2. 연구범위 및 방법

본 연구는 지적공부 세계측지계 변환 종합계획의 기본방향에서 제시한 좌표변환 후 지적공부의 등록사항인 토지경계·면적변화를 최소화하기 위하여 경계점에 대한 허용오차 범위를 만족하면서 면적에 대한 변화가 없도록 Helmert 변환식에 축척계수를 고정한 3변수 변환방안을 제시하고자 하였다.

본 연구의 주된 절차와 방법은 다음과 같다. 첫째, 2차원 상사변환방식인 Helmert식에서 변환계수를 결정하는 수학적 절차와 변수 간의 상관관계를 분석하여 축척계수를 고정하고 회전과 원점 이동만을 고려한 3변수 변환계수를 결정하는 방법을 제

시하였다.

둘째, 경계점과 상관성이 매우 높은 지적기준점을 이용하여 구역의 범위와 축척계수가 서로 다른 대상지역에서 Helmert 변환식과 3변환방식으로 각각 좌표변환을 수행하고 실측한 좌표와 변환방법 차이를 상호 비교하였다.

마지막으로 실질적인 현장 검증을 위해 지적확정측량지구에 3변환계수를 적용하여 변환된 결과와 현장검증측량 결과를 비교하여 정확성 여부를 확인하였다.

3변환계수 산출과 기준점 변환 실험은 Matlab 프로그램을 이용하였으며, 경계점좌표등록지역은 세계측지계 좌표변환 선행사업에서 사용하였던 좌표변환프로그램(Landy-1)을 사용하였다.

2. 세계측지계 좌표변환 정확도 검토

2.1. 지적측량성과의 허용범위

세계측지계 좌표변환 결과의 정확도 검증은 일필지 경계점을 현지에 복원하고 세계측지계 좌표를 실측하여 변환결과와 비교하는 것이다. 도면의 일필지 경계검증은 네트워크 RTK 위성측량 및 단일기준국 RTK 위성측량 또는 토털스테이션 측량 방법으로 사업지구 내 동, 서, 남, 북, 중앙의 5구역에서 실시한다. 실측된 경계점 좌표와 변환 좌표의 차이이에 대한 성과 인정범위는 「지적측량시행규칙」 제27조의 규정에 따르도록 하고 있어 관련 규정을 검토하였다.

「지적측량시행규칙」 제27조에서 경계점에 대한 지적측량성과의 결정은 지적측량성과의 검사성과

의 연결교차가 경계점좌표등록지역에서는 0.1m 이고 도해지역에서는 3M/10 밀리미터(M: 축척분모)로 규정하고 있다. 따라서 세계측지계 변환 후 경계점좌표등록지역은 변환 전 일필지 경계점을 현장에 복원하고, 세계측지계로 실측한 성과와 변환된 성과의 차이를 비교하여 차이가 10cm 이내의 범위를 만족하여야 하는 것이다.

〈표 1〉 「지적측량시행규칙」 제27조

제27조(지적측량성과의 결정) ① 지적측량성과와 검사성과의 연결교차가 다음 각 호의 허용범위 이내일 때에는 그 지적측량성과에 관하여 다른 입증을 할 수 있는 경우를 제외하고는 그 측량성과로 결정하여야 한다.

4. 경계점
 가. 경계점좌표등록부 시행지역 : 0.10미터
 나. 그 밖의 지역 : 10분의 3밀리미터 (M은 축척분모)

2.2. 면적 허용오차

세계측지계 좌표변환 면적은 전·후 좌표면적을 비교·분석하여 면적의 차이가 있는 경우에는 기존 지적공부 면적으로 결정하도록 하고 있다. 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에서 토지이동은 토지의 표시를 새로 변경 또는 말소하는 것을 말하고 있고, 토지의 표시란 지적공부에 토지의 소재·지번·지목·면적·경계 또는 좌표를 등록한 것을 말한다. 세계측지계 좌표변환도 변환 전에 지적공부에 등록된 지역측지계 경계점의 좌표가 세계측지계 좌표로 변경하여 지적공부에 등록하는 것이므로 토지이동에 해당된다.

현행 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」에서 토지이동에 대한 면적오차 규정은 시행령 제19조에 등록전환이나 분할에 따른 면적 오차의 허용범

위 및 배분 등에 규정하고 있다. 이 중에서 경계점좌표등록지역에 해당되는 내용은 토지를 분할하는 경우에 면적을 정하는 방법을 다루고 있다. 경계점좌표등록부에 등록하는 지역의 토지 면적은 좌표면적으로 산정하고 있으며, 최소단위는 0.1m²로 하고 있다. 또한 토지이동의 사유로 면적을 산정하는 경우에는 면적 증·감이 없도록 하고 있는데 이것은 면적증감이 0.1m²를 초과할 수 없다는 것이며, 이 수치는 면적을 산정할 때 계산단위의 단수차이에 따른 영향정도라고 할 수 있다.

〈표 2〉 「측량·수로조사 및 지적에 관한법률 시행령」 제19조2의 2항

제19조(등록전환이나 분할에 따른 면적 오차의 허용범위 및 배분 등) 제2의 2항

② 경계점좌표등록부가 있는 지역의 토지분할을 위하여 면적을 정할 때에는 제1항제2호나목에도 불구하고 다음 각 호의 기준에 따른다.

1. 분할 후 각 필지의 면적합계가 분할 전 면적보다 많은 경우에는 구하려는 끝자리의 다음 숫자가 작은 것부터 순차적으로 버려서 정하되, 분할 전 면적에 증감이 없도록 할 것
2. 분할 후 각 필지의 면적합계가 분할 전 면적보다 적은 경우에는 구하려는 끝자리의 다음 숫자가 큰 것부터 순차적으로 올려서 정하되, 분할 전 면적에 증감이 없도록 할 것

3. 좌표변환 모델 고찰

좌표변환이란 공간상의 절대위치는 변하지 않으며, 하나의 측지기준계를 기준으로 정의된 지구표면상의 점을 다른 측지계로 표현하기 위하여 기존 측지계에 이동이나 회전 등에 변화를 주어 변환 대상이 되는 측지계와 일치시키는 것이다. 지적공부의 세계측지계 변환은 동경측지계와 세계측지계 상호 간의 변환을 의미하며, 동경측지계에서 세

계측지계로의 변환을 정변환이라 하고 그 반대의 경우를 역변환이라 한다.

측지계의 좌표변환 모델은 변환차원에서 2차원 변환과 3차원변환으로 구분되고, 변환요소에 따라 등각변환과 부등각변환이 있으며, 변환모델은 Helmert 4변환모델, Affine 6변환모델, Helmert 7 변환모델, Bursa-Wolf 모델, Molodensky-Basekas 모델, Veis 모델 등이 있다.²⁾

3.1. Helmert 변환모델

2차원 등각변환인 Helmert 변환은 두 개의 서로 다른 평면좌표시스템에서 축척, 회전, 원점 이동량을 결정하고 상호 변환하는 방법이다. 두 좌표시스템에서 축척은 차원을 동일하게 하고, 회전은 두 축이 평행하도록 기준축을 만들며, 이동량은 두 좌표시스템의 공통원점을 만들게 된다.

좌표변환은 먼저 2개 이상의 지역좌표와 세계좌표를 가지고 있는 공통점에서 4개의 상수인 a, b, c, d를 구한 다음에 이것을 구하고자 하는 지역좌표계에 적용하여 세계측지계 좌표로 변환을 수행하는 것이다. 4개의 상수는 $S\cos\theta = a$, $S\sin\theta = b$, $T_X = c$, $T_Y = d$ 로 정의되고, 축척변환과 회전변환 및 원점이동의 순으로 수식을 만들 수 있다.

3.1.1. 축척변환

축척은 하나의 좌표시스템에서 계산된 선분의 길이를 변환하고자 하는 좌표시스템의 길이와 동일하게 하는 것이며 축척계수(S)의 곱으로 계산된다.

따라서 축척변환된 x' 와 y' 는 다음과 같다.

$$S = \frac{AB}{ab} = \frac{\sqrt{(x'_B - x'_A)^2 + (y'_B - y'_A)^2}}{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}}$$

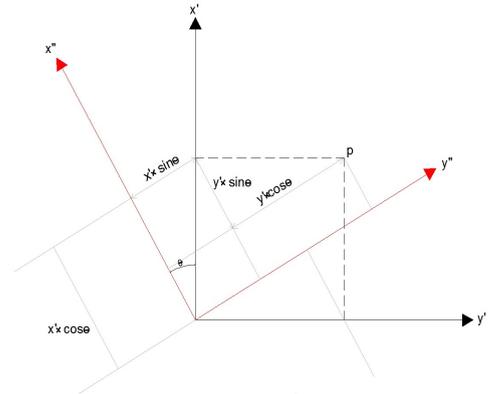
$$x' = S \times x, y' = S \times y \quad (2.1)$$

3.1.2. 회전변환

두 좌표계 간에 θ 만큼 회전량을 구하게 되면 x' , y' 좌표계에서 X' , Y' 으로의 회전변환은 다음과 같다.

$$X' = x' \times \cos\theta - y' \times \sin\theta \quad (2.2)$$

$$Y' = x' \times \sin\theta + y' \times \cos\theta$$



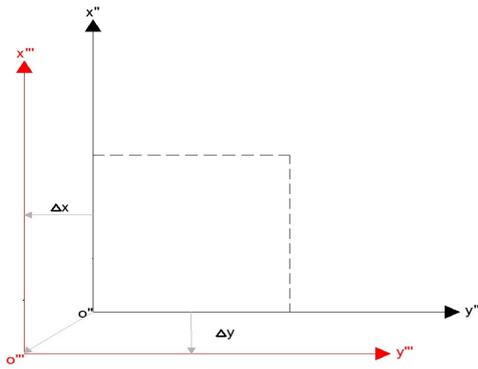
[그림 1] 회전변환

3.1.3. 원점이동

마지막으로 두 개의 서로 다른 좌표계의 원점을 일치시키게 된다. 두 좌표계에서 X, Y 축으로 T_X , T_Y 만큼 이동하면 다음과 같다.

$$X = X' + T_X \quad \text{그리고} \quad Y = Y' + T_Y \quad (2.3)$$

2) 정완석, 강상구(2013). 「지적재조사사업을 위한 지적측량성과 활용방안」



[그림 2] 원점이동

식(2.1), (2.2), (2.3) 이 결합하고

$$X = (S \cos \theta)x - (S \sin \theta)y + T_X \quad (2.4)$$

$$Y = (S \sin \theta)x + (S \cos \theta)y + T_Y$$

$S \cos \theta = a$, $S \sin \theta = b$, $T_X = c$, $T_Y = d$ 로 놓고 잔차 방정식을 추가로 정의하면 다음과 같은 관측방정식이 된다.

$$ax - by + c = X + v_X \quad (2.5)$$

$$ay + bx + d = Y + v_Y$$

3.2. Helmert모델 일반화

2차원 등각 좌표변환을 위한 기본 관측방정식은 4개의 미지수 (a, b, c, d)를 가지고 있기 때문에 2개의 기준 좌표만 있으면 해결할 수 있다. 두 개 이상의 좌표를 가지고 있는 경우에 관측방정식은 다음과 같이 표현되고 최소제곱법에 의하여 계산 된다.

$$ax_1 - by_1 + c = X_1 + v_{X1} \quad (2.6)$$

$$ay_1 + bx_1 + d = Y_1 + v_{Y1}$$

$$ax_2 - by_2 + c = X_2 + v_{X2}$$

$$ay_2 + bx_2 + d = Y_2 + v_{Y2}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$ax_n - by_n + c = X_n + v_{Xn}$$

$$ay_n + bx_n + d = Y_n + v_{Yn}$$

식(2.6)을 행렬로 표현한다면 아래와 같다.

$$AX = L + V$$

$$\text{여기서 } A = \begin{bmatrix} x_1 - y_1 & 1 & 0 \\ y_1 & x_1 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n - y_n & 1 & 0 \\ y_n & x_n & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ \vdots \\ X_n \\ Y_n \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} v_{X1} \\ v_{Y1} \\ \vdots \\ v_{Xn} \\ v_{Yn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

식(2.7) 에서 X 행렬의 미지수 (a, b, c, d) 결정은 잔차의 제곱의 합이 최소가 되도록 가장 적합한 계수를 산출하기 위한 최소제곱법은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X = (A^T A)^{-1} \times A^T L \quad (2.8)$$

최소제곱조정 후 축척계수 S와 회전각 θ 는 다음 식에 의해서 계산 된다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{b}{a} \quad S = \frac{a}{\cos \theta} \quad (2.9)$$

4. 3변수 변환모델 정립

3변수 변환계수는 2차원 Helmert 변환식에 적용하는 축척계수, 회전, 원점이동에서 축척계수를 고정하고 회전과 원점이동만을 고려한 변환계수이다. 3변수 변환모델은 축척계수를 고정하기 때문에 2차원 Helmert 모델에서 축척계수를 적용시킨 이후에 계산된 원점이동량과 축척계수를 적용하지 않은 3변수 변환모델 원점이동량은 차이가 생기게 마련이다. 따라서 2차원 Helmert 변환식에서 구해지는 원점이동량을 3변수 변환모델에 그대로 적용할 경우에는 과대 오차가 발생하게 되는데 이러한 잔여오차가 최소가 될 수 있도록 하기 위해서 원점이동량에 발생된 오차의 중심값을 적용시킨 방법으로 3변수 변환모델을 정립하였다.

지적공부 지역좌표계를 세계측지계로 변환하는 과정에서 면적변화에 영향을 미치는 파라미터는 축척계수가 축척계수이다. '1' 보다 큰 계수를 가지고 있을 경우에는 면적이 증가하고, 반대의 경우는 면적이 감소하게 된다. 따라서 면적변화가 없도록 좌표변환을 수행하고자 할 때는 축척계수가 '1'이 되어야 한다.

따라서 축척계수를 '1' 로 고정하면 $S=1$ 이 되고 식(2.9)에서 구한 회전각 θ 을 이용하여 식(2.5)의 a와 b는 $a' = \cos\theta$, $b' = \sin\theta$ 가 되어 좌표변환식은 (2.10)과 같이 정의할 수 있다.

$$X = a'x - b'y + c + v_X \quad (2.10)$$

$$Y = a'y + b'x + d + v_Y$$

이때 식(2.5)의 a와 b를 결정할 때 영향을 미쳤던 축척변화가 무시되게 되므로 식(2.10)에서 잔여

오차 (v_X, v_Y)는 동일한 값을 취하지 못하고 서로 차이가 생기게 되며, 새로운 잔여오차(v'_X, v'_Y)가 발생하게 되어 최종 변환식은 (2.11)과 같이 표현할 수 있다.

$$X = a'x - b'y + c + v'_X \quad (2.11)$$

$$Y = a'y + b'x + d + v'_Y$$

이때 잔여 오차인 v'_X, v'_Y 는 a', b' 를 구하는 것과 같은 방법인 축척계수를 적용하여 수식으로 구할 수 없고 원점이동량(T_X, T_Y)에 편차로 작용하게 되며, 이 값은 편차의 중심값으로 계산할 수 있다. 즉, 식(2.10)에 의한 변환결과와 실측좌표 간 중심점의 차이를 추가로 적용하게 되면 $v'_X = v_X + \text{cent}(\Delta x)$, $v'_Y = v_Y + \text{cent}(\Delta y)$ 가 되어 최종변환식은 다음과 같이 된다.

$$X = a'x - b'y + c + v_X + \text{cent}(\Delta x) \quad (2.12)$$

$$Y = a'y + b'x + d + v_Y + \text{cent}(\Delta y)$$

5. 좌표변환 실험

본 연구에서는 2차원 Helmert 변환식에 축척계수를 고정하고 3변수 변환식을 정립하였으며, 지적공부 세계측지계 좌표변환에 제시한 모델의 활용 가능성 여부를 파악하고자 기준점에 대한 변환 실험과 경계점에 대한 변환 실험을 수행하였다.

기준점 변환 실험은 구역의 범위와 축척계수가 서로 다른 대상지역에서 2차원 Helmert 변환식과 3변환방식으로 각각 좌표변환을 수행하고 실측한 좌표와 변환방법 차이를 상호 비교하였다.

〈표 3〉 서울특별시 지적기준점 Helmert 변환계수

a	b	c	d
1.000001979366971	0.000002876620783	100305.5670623167	69.164093434810638

〈표 4〉 서울특별시 지적기준점 3변수 변환계수

a1	b1	c1	d1
0.999999999995863	0.000002876615063	100306.46208458091	69.556365394237218

또한 〈표 3〉의 좌표변환 계수를 이용하여 축척과 회전량을 계산하면 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{b}{a} = 0.000002876615063$$

$$S = \frac{a}{\cos\theta} = 1.000001979371108$$

그리고 축척계수 S='1'로 고정하여 회전에 대한 변환계수를 재계산하면

$a_1 = \cos\theta = 0.999999999995863$, $b_1 = \sin\theta = 0.000002876615063$ 로 구해지며, 원점의 이동은 Helmert 변환계수 결과인 c, d를 이용하여 좌표변환을 수행하였다.

좌표변환한 성과를 서울시 지적기준점 실측성과 비교하여 편차의 중심값을 계산하였으며 그 결과 X 방향으로 0.895m 와 Y방향으로 약 0.392m 추가 원점이동이 필요하게 되었다. 이 계수를 c, d에 적용하여 원점이동량(c1, d1)을 계산하였고, 최종 산출된 3변수 변환계수는 〈표 4〉와 같다.

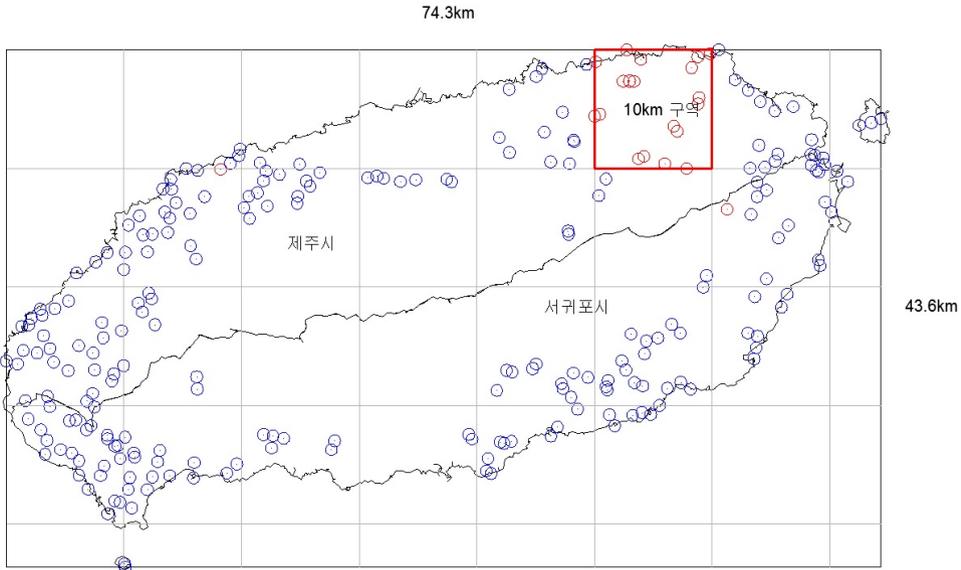
2차원 Helmert와 3변수 변환계수를 서울특별시 지역좌표계 기준점 307점에 적용하여 변환한 다음 그 결과를 실측된 세계좌표와 비교하여 좌표차이 평균, 절대값 평균, 표준편차 및 오차 최대값을

산출하였다. 〈표 5〉는 307점에 대한 실측성과를 기준으로 하여 2차원 Helmert와 3변수 변환모델 변환성과 차이를 구하여 비교한 통계이다.

변환결과는 각 항목별로 비교적 유사하지만 Y 방향에서 3변수 변환 오차의 최대값이 Helmert 변환에 비해 0.016m 증가하였으며 허용오차 범위를 약간 초과하는 현상을 보였다. 이러한 결과는 필지변화에 직접적으로 영향을 미치지 때문에 과대오차가 발생한 일부기준점을 제거하여 변환 작업을 재수행하고 최종적으로 현지검증을 통하여 성과를 확인함으로써 면적의 변화가 없이 3변수 변환에 의한 세계측지계 변환이 가능할 것으로 판단된다.

〈표 5〉 서울특별시 지적기준점 변환결과 비교

항 목	단위(m)			
	실측성과 - Helmert 변환		실측성과 - 3변수 변환	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
평 균	0.000	0.000	-0.004	-0.002
절대값평균	0.027	0.041	0.026	0.043
표준편차	0.034	0.048	0.032	0.052
최대 값	0.088	0.095	0.084	0.111



[그림 4] 제주특별자치도 기준점 배치도

5.1.2. 제주특별자치도 기준점 변환 실험

통계연보 자료에 따르면 2013년 말 현재 제주특별자치도 면적은 약 1,849.3km²으로 서울특별시 면적의 약 3배가 된다. 제주특별자치도의 기준점 변환 실험은 대상지역의 크기를 넓혀 3변수 변환 가능성을 확인하고자 하였다.

제주특별자치도 지적기준점 255점은 기준점 고도화사업을 통하여 세계측지계를 산출한 공통점을 대상으로 하였다.

제주특별자치도 공통점에 대한 Helmert 변환식에 의하여 계산된 변환계수는 <표 6>과 같다.

제주특별자치도 지적기준점에서 계산된 계수를

이용하여 축척과 회전량을 계산하면 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{b}{a} = 1.000016271153619$$

$$S = \frac{a}{\cos\theta} = -0.000003053017258$$

서울특별시와 마찬가지로 축척계수 S='1'로 하여 회전에 대한 변환계수는

$a_1 = \cos\theta = 0.999999999995340$, $b_1 = \sin\theta = -0.000003053017258$ 로 구해지며, 원점의 이동은 Helmert 변환계수 결과인 c, d를 이용하여 좌표변환을 수행하였다.

<표 6> 제주특별자치도 지적기준점 Helmert 변환계수

a	b	c	d
1.000016271148958	-0.000003053066965	50304.260566682271	72.689172890968621

〈표 7〉 제주특별자치도 지적기준점 3변수 변환계수

a1	b1	c1	d1
0.999999999995340	-0.000003053017258	50304.841280975015	75.280433755258855

좌표변환한 성과를 제주특별자치도 지적기준점 실측성과 비교하여 편차의 중심값을 계산하였으며 그 결과 X 방향으로 0.581m 와 Y 방향으로 약 2.591m 추가 원점이동이 필요하게 되었다. 이 계수를 c, d에 적용하여 원점이동량(c1, d1)을 계산하였고, 최종 산출된 3변수 변환계수는 〈표 7〉과 같다.

2차원 Helmert와 3변수 변환계수를 제주특별자치도 지역좌표계 기준점 255점에 적용하여 결과를 비교하면 3변수 변환결과 오차는 X방향으로 -0.361~0.361m 의 범위에 분포하고 Y 방향으로 -0.643~0.643m의 범위에서 분포하고 있어 허용오차범위를 크게 초과하는 결과를 보였으며, 2차원 Helmert에 비하여 표준편차도 크게 계산되었다.

2차원 Helmert 결과는 X방향에서 0.073m와 Y 방향 0.054m로 3변수 변환에 비해 양호한 결과를 보였으나, 축척계수가 1,000016271153619로 나타났다. 이 축척계수를 적용할 경우 필지면적이 2000㎡에서 0.065㎡ 증가하는 결과로 단순처리하면 0.1㎡에 해당되어 경계점좌표등록지역에서 세계측지계좌표변환에 적용하기에는 무리가 있다.

〈표 8〉은 제주특별자치도 지적기준점 실측성과를 기준으로 2차원 Helmert와 3변수 변환모델 변환성과 차이를 구하여 비교한 통계이다.

제주특별자치도 연구지역 기준점은 남북방향으로 43,621.12m, 동서방향으로 74,337.93m로 분포되어

있고, 지역측지계좌표와 세계측지계좌표 간의 축척계수는 '1,000016271153619'이다. 3-parameter 변환계수의 편차가 X방향으로 -0.361 ~ 0.361m 이고 Y 방향으로 -0.643 ~ 0.643m이기 때문에 지적측량시행규칙에서 요구하는 0.10m의 범위를 초과하고 있다. 따라서 대상지역 크기를 축소하여 3변수 좌표변환 적용가능성을 실험하였다. 실험지역은 [그림 4]와 같이 10km의 범위를 격자로 구성하고 좌표변환을 수행하였다. 제주특별자치도 10km 범위 지적기준점 실측성과와 2차원 Helmert 및 3변수 변환모델 변환성과 차이를 구하여 비교한 통계는 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 제주특별자치도 지적기준점 변환결과 비교
단위(m)

항 목	실측성과 - Helmert 변환		실측성과 - 3 변수 변환	
	△X	△Y	△X	△Y
평 균	0.000	0.000	0.021	-0.056
절대값평균	0.014	0.025	0.152	0.356
표준편차	0.020	0.029	0.173	0.382
최대 값	0.073	0.054	0.361	0.643

2차원 Helmert에서 제주특별자치도 10km 지적기준점 변환결과는 전체지역을 대상으로 변환한 결과와 마찬가지로 양호한 결과를 보였으나 축척계수가 '1,000018832675503'로 산출되고 필지면적 2000㎡에서 0.075㎡ 증가하는 결과로 오히려 면적오차가 커지는 현상을 보였다. 3변수 변환은

축척계수를 '1'로 적용하여 변환 전·후 면적차이가 없으며, 변환결과는 허용오차를 약간 초과하였으나 전체지역의 변환결과에 비해 크게 향상되었다. 따라서 지역의 특성을 고려하여 변환대상 크기를 조절하면 3변수 변환식의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

〈표 9〉 제주특별자치도 10km 범위 지적기준점 변환 결과 비교

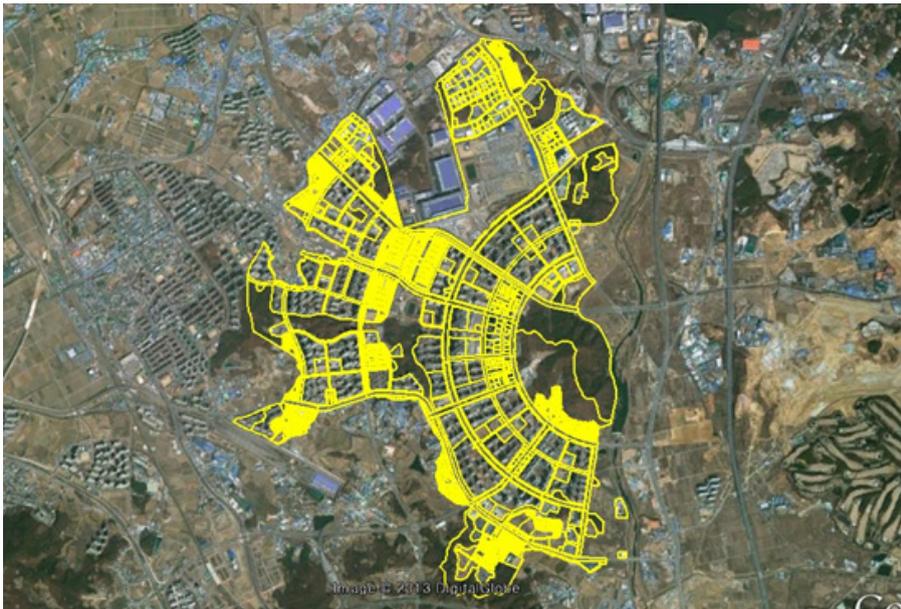
단위(m)

항 목	실측성과 - Helmert 변환		실측성과 - 3 변수 변환	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
평 균	0.000	0.000	0.002	-0.003
절대값평균	0.012	0.033	0.055	0.060
표준편차	0.015	0.036	0.064	0.070
최대 값	0.030	0.074	0.111	0.119

5.2. 경계점 좌표변환 실험

세계측지계 변환은 경계점좌표등록지역을 우선 하여 좌표변환이 수행되며, 경계점좌표등록지역은 도시개발사업 등에 따라 지적확정측량이 완료된 개별 지구를 의미한다. 따라서 실제 사업이 수행되는 지적확정측량지구에 3변수 변환식을 적용한 결과와 현장검증측량결과를 비교하여 정확성 여부를 판단하였다.

실험대상은 경기도 화성시에 위치한 경계점좌표등록지역으로 필지 수 3079필에 대장면적 8,282,218.6㎡이며 좌표면적은 8,282,220.3이다. 대장면적과 대장면적 합계의 차이는 필지별 면적 산정의 단수차이다. 변환 실험은 Matlab에서 구해진 3변수 변환계수를 Landy-1프로그램에 적용하여 실측한 데이터와 비교하였다.



[그림 5] 경계점변환 실험지역

변환에 이용된 공통점 29점의 2차원 Helmert 변환 계수는 $a=0.999995870879527$, $b=-0.000004506883227$, $c=100306.691118158$, $d=73.6531779252106$ 로 구해졌으며, 축척계수는 $S=0.99999588360489$ 이다. 3변수 변환 계수는 $a=0.99999999991159$, $b=-0.000004205116914$, $c1=100305.04630871228$, $d1=72.686874977647676$ 이다. 지적기준점 실측성과를 기준으로 각 방법별 기준점 변환성과를 비교한 통계는 <표 10>과 같다.

<표 10> 지적기준점 변환결과 비교

항 목	실측성과 - Helmert 변환		실측성과 - 3 변수 변환	
	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
평 균	0.000	0.000	0.008	-0.008
절대값평균	0.018	0.012	0.019	0.017
표준편차	0.025	0.020	0.027	0.020
최 대 값	0.082	0.073	0.077	0.048

단위(m)

<표 11> 경계점 정확도 비교

번호	실측좌표		3 변수 변환좌표		오 차	
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY
1	509899.820	206268.673	509899.773	206268.705	0.047	-0.031
2	509898.610	206260.763	509898.563	206260.795	0.047	-0.031
3	509888.191	206249.619	509888.123	206249.665	0.068	-0.046
4	509881.830	206258.283	509881.783	206258.315	0.047	-0.032
5	509875.910	206259.233	509875.863	206259.265	0.047	-0.032
6	509857.541	206245.752	509857.493	206245.785	0.047	-0.032
7	509845.528	206236.947	509845.473	206236.975	0.055	-0.028
8	509833.012	206227.732	509832.953	206227.785	0.058	-0.053
9	509828.172	206224.182	509828.113	206224.235	0.058	-0.053
10	509822.861	206235.172	509822.803	206235.225	0.058	-0.053
11	509826.861	206238.102	509826.803	206238.155	0.058	-0.053
12	509839.898	206247.697	509839.843	206247.725	0.055	-0.028
13	509852.930	206257.252	509852.883	206257.285	0.047	-0.032
14	509857.350	206260.492	509857.303	206260.525	0.047	-0.032
15	509868.780	206268.883	509868.733	206268.915	0.047	-0.032
16	509869.690	206274.823	509869.643	206274.855	0.046	-0.032
17	509860.260	206287.683	509860.214	206287.715	0.046	-0.032
18	509877.120	206290.066	509877.064	206290.105	0.057	-0.039
19	509885.020	206288.806	509884.964	206288.845	0.057	-0.038
20	509898.355	206298.578	509898.284	206298.625	0.071	-0.047

5.2.1. 경계점 정확도 분석

경계점 정확도 실험은 3변수 변환계수를 Landy-1에 적용하여 지역좌표계 경계점을 세계측지계로 변환하고 대상지역 일부 지역의 경계점 20점에서 현장검증측량을 통하여 실측된 좌표와 변환된 좌표의 차이를 비교하였다. 검증측량은 지역좌표계 경계점을 현장에 복원하고, 복원된 경계점을 세계측지계 기준점에서 실측하여 그 결과를 비교하기 위한 기준좌표로 구성하였다.

정확도 분석결과 절대치 평균은 X방향에서 0.053m, Y방향에서 0.038m이며, 표준편차는 X방향에서 0.007m, Y방향에서 0.009m이다. 경계점의 최대오차는 X방향에서 0.071m, Y방향에서 0.053m로 「지적측량시행규칙 제27조」 경계점좌표등록부 시행지역에서 지적측량성과 인정범위인 0.10m를 만족하였다. 현장검증측량을 통한 실측좌표와 3변수 변환좌표의 차이를 비교한 결과는 <표 11>과 같다.

5.2.2. 면적변화 분석

실험대상지역 3079필에 대한 좌표변환은 지역좌표계 기반 도면을 2차원 Helmert 변환계수와 3변수 변환계수를 각각 적용하였으며, 변환 전·후 필지별 및 전체 지구 면적변화를 분석하였다. 그 결과는 <표 12>와 같다.

2차원 Helmert 변환에서 면적변화가 0.1㎡를 초과하는 필지는 129필이었으며 이러한 결과는 면적이 12205.0㎡를 초과하는 필지부터 발생하였다. 또한 551,035.1㎡ 면적을 가지고 있는 필지에서 4.5㎡ 면적변화로 가장 큰 차이를 보였으며 대상지구 전체 면적변화는 68.5㎡이었다.

분석결과를 종합해 보면 3변수 변환계수가 적용된 필지별 면적변화는 없었으며, 전체필지의 합계에서 0.1㎡차이를 보였으며 이것은 계산 단수차이에 의해서 발생된 것이라 판단된다.

<표 12> 실험지구 필지 좌표변환 면적비교

(단위: ㎡)

필지수량	3079 필	3 변수(C)	8,282,200.2
대장면적	8,282,218.6	A-B	68.5
좌표면적 (A)	8,282,220.3	A-C	0.1
Helmert (B)	8,282,151.8	B-C	68.6

6. 결론

지적공부 세계측지계 변환 종합계획의 기본방향은 토지소유권 보호를 위하여 좌표변환 후 지적공부의 등록사항인 토지경계·면적변화를 최소화하여 토지소유자 및 이해관계인의 권리를 보호하는 것이다. 세계측지계 좌표변환 도면의 일필지 경계검증의 성과 인정범위는 「지적측량시행규칙」 제27조의 규정에 따르도록 되어 있으며, 토지이동의 사유로 면적을 산정하는 경우에는 면적 증감이 없도록 하고 있다.

본 연구는 지적공부 세계측지계 좌표변환 후 경계점에 대한 허용오차 범위를 만족하면서 면적에 대한 변화가 없도록 변환 방법을 모색하는 데 있다.

이를 위하여 2차원 상사변환식인 Helmert 변환식에서 축척계수를 고정하고 회전과 원점이동만을 고려한 3변수 변환계수를 적용하는 방법을 제시하였고, 구역의 범위와 축척계수가 서로 상이한 지역의 지적기준점을 대상으로 Helmert 변환식과 3변수 변환식을 각각 적용하여 좌표변환을 수행한

다음 지적확정측량지역의 경계점에 대한 좌표변환값과 현장검증측량에 의한 좌표값을 비교하여 그 차이를 분석하였다.

그 결과 서울특별시 전 지역과 제주특별자치도 10km격자 범위 내에서 허용오차를 약간 초과하였으며 지적확정측량 단위지역에서는 면적의 변화 없이 경계점과 검증측량결과가 허용오차 이내인 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 제시한 3변수 변환방법이 지적공부 좌표변환 사업에 활용될 수 있음을 시사한다.

【참고문헌】

- 김영학·이왕무·이동현·김남식, 지적학, 신광문화사, pp.19.
- 정완석·강상구(2013), 「지적재조사사업을 위한 지적측량성과 활용방안」대한지적공사 “지적”, 통권 제 367호(제43권 제2호)
- 국토해양부(2012), 「지적재조사사업의 효율적 시행 방안 연구」, 국토해양부.
- 국토해양부(2013), 「지적재조사기본계획, 국토해양부고시 제2013-122호」.
- 국토교통부(2014), 「지적공부 세계측지계 변환 종합 계획수립(2014~2020)」, 국토교통부.
- 은평구·관악구(2013), 「경계점좌표등록지역 세계측지계 변환 선행연구」, 은평구·관악구.
- C. D. GHILANI, P. R. WOLF, ADJUSTMENT COMPUTATIONS SPATIAL DATA ANALYSIS fourth EDITION, 2006