

지적도면의 세계측지계 좌표변환 프로세스에 대한 연구 - 조정좌표의 활용을 통해서 -

Development of the Process of Coordinate Transformation of Local Datum Cadastral Map to the World Geodetic System - Using Adjusted Coordinate -

양철수¹⁾

Yang, Chul Soo

Abstract

This study is purposed on showing an effective process for coordinate transformation of cadastral maps, based on the local datum, in the World Geodetic System (WGS) for Cadastral Reform Project (CRP). The process follows three steps: coordinate adjustment, datum transformation and distortion modeling. The first procedure is that point coordinates on local datum has to be adjusted by those GPS observed point-to-point distances, using trilateration. Secondly, the adjusted coordinates need to be transformed to WGS by applying the Affine model, while the verification of the methodology is implemented under numerical experiments. To conduct this procedure, 195 points in the same coordinate origins in Seoul and 61 points in several different origins in Incheon are used in the estimation. As a result, there are less than 2cm coordinate differences between transformed coordinates and measured ones at everywhere. Also, it is remarkable that the transformation does not depend on either of the particular common points or the sizes of computed region. Therefore, this suggested methodology is expected to easily provide identifications and corrections for points-deviations for improved quality of the cadastral map by distortion modeling through CRP.

Keywords : Cadastral Reform Project, Cadastral Map, Local Datum, World Geodetic System, Adjusted Coordinate, Coordinate transformation

초 록

지적재조사사업에서는 지적도면을 세계측지계로 변환하는 작업을 추진하고 있다. 본 연구는 이 작업의 효율적 추진을 위한 목적으로 종래의 지적측량성과를 지역측지계 기반에서 조정하여 세계측지계로 좌표변환하는 프로세스를 개발하고 수치실험을 실시하였다. 이 프로세스는 조정좌표의 산출, 조정좌표의 좌표변환, 왜곡량모델링으로 이루어진다. 1단계로 지역측지계 기반의 조정좌표의 산출은 GPS관측의 점간기선거리를 이용하는 삼변망조정계산에 의하였고, 2단계로 조정좌표의 세계측지계 좌표변환은 Affine변환모델에 의하였다. 수치실험에서는 서울시에 소재하는 195점의 동일원점계열의 기준점뿐만 아니라 인천시에 소재하는 61점의 다른 원점계열의 기준점을 통합 활용하는 계산을 실시하였다. 그 결과 조정좌표를 이용하는 좌표변환계산은 특정 공통점의 선택에 관계없이 변환좌표와 관측좌표가 2cm 이내에서 일치하였다. 또, 조정좌표를 이용하는 좌표변환은 변환계산의 지역 범위를 달리하더라도 최종 결과에는 차이가 없었다. 본 연구의 조정좌표를 이용하는 방법은 변환계산의 지역 크기 및 공통점 선택에 무관하게 기준점오차 및 경계점의 왜곡량을 명확히 해주므로 지적재조사사업의 세계측지계 도면변환 과정에서 적합한 왜곡량 보정을 실시한다면 도면의 품질향상을 기할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 지적재조사사업, 지적도, 지역측지계, 세계측지계, 조정좌표, 좌표변환

Received 2014. 07. 09, Revised 2014. 08. 07, Accepted 2014. 08. 30

1) Member, Dept. of Real Estate, Hansung University(E-mail: ceosyang@gmail.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

「지적재조사에 관한 특별법」이 2012년 3월16일부터 시행됨에 따라 일제에 의해 1910년부터 시행된 토지조사사업 이후 100년 만에 전 국토에 대한 지적재조사사업이 실시되고 있다. 이 사업은 전 국토에 대한 전수측량이 아니라 3단계 사업으로 구분하여 시행하게 된다.

지적재조사사업 기본계획(2012)에 의하면, 1단계로 신규도시개발사업 등으로 개발이 예정된 지역으로서 전체필지의 약 13%에 해당하는 약 498만 필지에 대해서는 지적소관청이 별도의 비용을 들이지 않고, 도시개발사업 시행자의 비용 부담하에 신규측량을 통해 지적을 확정하게 된다. 2단계로 전체 필지의 약 15%에 해당하는 554만 필지의 지적불부합지에 대해서는 전수측량을 통해 지적을 정리한다. 3단계로 지적의 정확도가 양호한 지역에 대해서는 기존의 지역측지계 기준의 지적도면을 세계측지계로 변환하는 작업을 통해 지적을 작성하게 된다. 전체 필지의 약 72% 인 2701만 필지가 이에 해당한다.

지적재조사사업의 1·2 단계 사업은 사업지구에 대한 전수측량에 해당하므로 세계측지계기반의 기준점망 구축 운영, 최신의 측량기술 및 도면작성기법의 도입, 엄격한 작업공정의 확립 등에 의하여 정확한 토지경계를 수집·등록할 수 있다. 그러나 비용 절감을 위하여 채택한 3단계 사업에서 소기의 성과를 얻기 위해서는 몇 가지 고려할 사항이 있다.

첫째, 좌표변환에 의해 세계측지계 성과로 전환이 가능한 도면과 전환이 어려운 것으로 보이는 도면을 분류할 수 있는 기준의 확립이 필요하다. 지적재조사에 관한 특별법 시행규칙 제7조(지적재조사측량성과의 결정)에서는 기준점의 경우 3cm, 필지경계점의 경우 7cm 이내의 연결교차를 허용한다. 지적재조사사업에서 목표로 하는 정확도를 갖는 지적도면의 생산을 위해서는 그에 상응하는 원시도면을 이용하거나 원시자료의 오차를 추출하고 적절한 보정을 가함으로써 상응하는 정확도를 가질 수 있는 도면을 확보해야 한다.

둘째, 좌표변환의 프로세스가 간단하고 명확해야 한다. 이것은 좌표변환작업을 실시함에 있어 자료편집으로부터 결과작성에 이르는 작업 과정이 작업자의 주관적 개입을 최소로 하는 방법이어야 함을 의미한다. 좌표변환의 지역 범위 및 공통점 선정의 방법 등에 따라 좌표변환의 결과가 달라지는 등의 문제점을 최소화 할 수 있는 방법을 적용해야 한다.

셋째, 좌표변환결과의 갱신이 용이해야 한다. 좌표변환의 결과는 도해측량의 성과를 세계측지계 기반의 좌표로 전환한 것이므로 새로운 관측자료가 추가될 경우 적합한 시공간적 범위에서 변환결과의 수정 또는 갱신이 쉽게 이루어질 수

있어야 한다.

지적측량은 측량장비의 발달에 힘입어 작업이 편리해진 것은 있으나 도곽 단위의 측량 및 성과 작성, 종래의 필지경계선을 중시하는 관습과 현행에 의존하는 측량방법 등 토지조사사업의 기본 틀이 그대로 유지되어 왔다. 여기에서 기준점의 망실, 필요시 측량성과에 대한 오차의 강제 배분, 지적도면전산화 과정에서의 도곽 보정의 불완전성 등에 의하여 각종 오차가 누적되어 왔다. 기준점의 경우에는 토지조사당시의 성과와 국토지리정보원의 1·2차 정밀망조정성과 등이 혼재하고, 구조상각지역을 따로 관리하고 있는 등의 문제가 있다. 지적도면의 세계측지계 변환 작업은 이러한 특성을 감안해야 한다.

2. 경계점 좌표의 왜곡량

2.1 왜곡량 점검의 기준계

좌표변환에 의해 세계측지계 성과로 전환이 가능한 도면과 측량이 필요한 도면의 분류가 필요하다. 이 기준을 정하는 것은 원시성과의 품질 파악을 전제로 한다. 그런데, GPS에 의하여 세계측지계 기준의 좌표가 쉽게 구해지면서, 종래의 지역측지계 기반의 성과를 세계측지계로 변환한 좌표와 세계측지계 관측좌표를 비교하여 정확도 평가에 활용하기도 한다 (Song *et al.*, 2007; Cho *et al.*, 2008; Yun *et al.*, 2009). 그러나 좌표변환에 의한 경우에는 공통점 상호간의 부정합에 기인하여 생기는 인위적 왜곡을 피할 수 없다. 공통점을 어떻게 선택하느냐에 따라 변환결과가 달라지는 등 임의성이 크다. 이 때문에 좌표변환의 잔차가 지적측량성과의 오차라고 판정할 수 없다. 지적도면에는 세계측지계 등록성과가 없기 때문에 단지 오차를 추정하는 것이 가능할 뿐이다.

따라서 지적측량성과의 오차 점검은 현재까지 지적측량에서 채용해 온 체계에서의 정확한 측량성과와의 비교를 통해서 가능하다. 지적측량의 기속성에 의해 정해진 방법을 적용하여 오차를 정량화하고 오차 제거가 가능한 범위 등에 대한 기준을 마련할 수 있기 때문이다. 그래서 본 연구에서는 지적도면의 등록성과와 실제의 측량성과와의 차이를 왜곡량이라고 부르기로 한다. 실제의 측량성과란 관측치를 이용하여 도면 또는 지역 등 필요한 범위에서 조정계산을 통하여 구한 조정좌표를 말한다. 즉, 기준점 및 경계점 좌표의 왜곡량을 지역측지계에서의 등록성과 (x, y) 와 조정좌표 (x', y') 의 차이로서 성분별로 Eq.(1)로 표현한다. GPS 관측성과가 있는 점은 추후 좌표변환의 공통점으로 이용하게 된다.

$$\delta_x = x - x', \delta_y = y - y' \quad (1)$$

본 연구에서 측지계란 평면직각좌표계를 포함하는 개념이다. 지역측지계란 토지조사사업당시에 채용한 동경측량원점의 측지계 및 이와 다른 측량원점에 기반하는 측지계를 말한다. 지적측량에서는 동경측지계가 주축을 이루지만 별도의 지역측지계로서 11개소의 구소삼각원점이 있다. 이들 구소삼각원점 지역의 지적도는 특정의 경·위도 좌표를 평면직각좌표계의 원점으로 삼고 있다.

2.2 왜곡량 도출

지적측량의 경우 기준점성과는 상위 기준점과의 연결 측량에 의하여 결정된 수치좌표를 유지하지만 경계점 성과는 도면상에서 측도하고 관리하여 왔다. 따라서, 도면상 경계점에는 기준점측량의 오차뿐만 아니라 세부측량의 측도 오차 및 도면변형 등 도해측량의 문제가 복합되어 있다. 이들 각각이 독립이라면 경계점 좌표의 오차 δ_{tot} 은 다음으로 표현된다.

$$\delta_{tot}^2 = \delta_{cp}^2 + \delta_{bp}^2 \quad (2)$$

경계점 좌표의 오차 δ_{tot} 은 경계점의 등록성과와 측량으로 구한 경계점좌표와의 차이이고, 기준점오차 δ_{cp} 는 기준점의 등록성과와 측량으로 구한 기준점좌표와의 차이이다. δ_{bp} 는 경계점 등록오차로서 세부측량의 오차 및 도면의 신축·왜곡을 포함한다. 즉, 기준점오차를 제외한 나머지 오차를 모두 포함한다. 여기서 측량으로 구한 성과라 함은, 기준점의 경우 도면 전체 또는 지역 전체에 걸쳐 정합하는 성과를 말하며, 경계점의 좌표는 정합하는 기준점성과에 근거하는 것으로 한다.

기준점 관측에 의해 δ_{cp} , 경계점 관측에 의해 δ_{bp} 를 구한다. δ_{tot} 은 구역별로 특성의 경향을 보일 것으로 예상된다. 실제와 비교하여 일부 구역의 축소 또는 확대라든지 이동 및 회전을 수반하는 현상 등이다. 이러한 특징을 추출하기 위해서는 기준점뿐만 아니라 경계점에서도 필요한 측량성과를 확보해야 한다. 예를 들어, δ_{bp} 는 도곽선 부근 및 도로 등의 구역 경계점에서 특성의 경향을 보일 수 있으므로 이들 점에서의 관측자료 확보가 필요하다. 이들 관측점들은 무질서하게 분포하므로 공간모델링에 의해 임의의 점에서의 δ_{cp} 및 δ_{tot} 을 추정해야 한다.

δ_{tot} 에 포함되어 있는 기준점 오차 δ_{cp} 는 특이점을 제외하면 지역에 걸쳐 일정 값을 갖거나 비교적 완만한 공간적 경향을 가진다. 공간모델링에 의해 임의의 점에서의 δ_{cp} 를 제거함으로써 δ_{bp} 에는 기준점오차가 제거된 나머지 왜곡량 즉 세부측량의 오차 및 도면의 신축·왜곡에 의한 오차가 도출된다. 변환 활용이 가능한 도면의 파악은 δ_{bp} 의 평균제곱근오차

(RMS, Root Mean Square)를 점검하는 절차를 거치도록 한다. 도면 축척에 따른 경계점의 허용공차는 $0.3mm \times$ 도면축척분모 이므로, 예를 들어 1/600 도면이라면 RMS가 18cm 이 내인 도면을 변환 가능한 도면으로 판정한다.

왜곡량 점검의 공간적 범위는 지역 및 도면 특성에 따라 다르게 취할 수 있다. 1개 도면을 여러 구역으로 나누거나, 1개 도면을 1개 구역으로 취하거나, 또는 1개 읍면동 또는 1개 시군구를 묶어서 1개 구역으로 취급할 수 있다. 단, 구역이 커지면 기준점 오차의 지역적 경향이 다르고 세부측량 및 도면 특성에 의한 경계점의 왜곡량 δ_{bp} 파악이 복잡해진다. 따라서, 도면 단위로 작성해 온 지적측량의 특성 및 작업의 편의성을 고려하면 도면 단위로 정확도를 파악하고, 세계측지계 전환 작업도 도면 단위로 실시하는 것이 적절하다.

3. 좌표변환 프로세스

우리나라 전역에 대하여 좌표변환관계를 적용하여 지역측지계 좌표와 세계측지계 좌표의 경향적 차이를 보면, 평면직각좌표계에서 $100km \times 100km$ 격자인 경우 동서 및 남북 성분의 차이가 10cm를 넘지 않는다. 또, 동서 및 남북 성분이 거의 같은 값의 차이를 갖는다(Yang and Yang, 2012). 공간적 범위가 $10km \times 10km$ 이면 좌표 차이가 1cm 이내에서 일치하므로 지역측지계 도면과 세계측지계 도면은 합동에 가깝다. 즉, 이들 두 측지계에서 각 점들의 상대적인 위치관계는 거의 차이가 없다.

따라서 각각의 측지계로 표현한 점의 좌표를 참값과 오차로 분리할 경우 참값 간에는 상사형(conformal)의 좌표변환관계가 성립한다. 지역측지계에서 모든 기준점이 참값의 조정좌표를 가지면 조정좌표의 좌표변환계산은 특정 공통점의 선택에 관계없이 동일한 변환결과를 가진다. 이 경우, 지역측지계에서의 조정좌표에 대한 왜곡량은 세계측지계에서의 왜곡량으로 볼 수 있다.

기준점의 조정좌표를 이용하는 세계측지계 변환모델을 도면의 경계점에 적용하면 조정된 기준점에 기초하는 경계점의 세계측지계 변환좌표가 구해진다. 그런데 경계점의 등록성과는 기준점의 조정좌표에 근거하여 정해진 것이 아니다. 세부측량에 이용한 기준점좌표의 오차 δ_{cp} 에다 세부측량의 오차 및 도면특성에 의한 오차 δ_{bp} 가 포함되어 있다. 즉, 지역측지계에서 조정좌표의 기준점을 이용한 무결점의 경계점 측량성과와 비교하여 $\delta_{cp} + \delta_{bp}$ 만큼 벗어난 위치에 있다. 이 벗어난 위치는 실제 문제로서 지적측량의 공차를 감안하면 1/1200 축척의 도면이라 해도 1m 이내이다. 이 크기는 좌표변환관계에

의해 세계측지계에 그대로 전달된다. 즉, 지역측지계에서의 왜곡량과 세계측지계에서의 왜곡량을 동일시할 수 있으며, 이 왜곡량은 조정기준점의 좌표변환관계를 이용한 경계점의 좌표변환성과와 GPS관측성과의 차이로 구할 수 있다.

도면 경계점의 정확한 왜곡모델을 만들기 위해서는 도곽선 인근의 경계점 및 구역을 대표하는 점들에서의 GPS 관측자료를 확보해야 한다. 이러한 자료는 작업계획과정에서 가능한 범위에서 충분히 확보하도록 설계한다. 뿐만 아니라 작업종료 단계에서 검사점 측량을 통하여 확보한 자료를 추가 활용함으로써 왜곡모델의 품질 향상을 기할 수 있게 한다.

따라서 본 연구에서 제시하는 지적도면의 세계측지계 변환 작업은 다음의 3가지 프로세스로 구성된다(Fig.1). 첫째, GPS 관측이 실시된 기준점을 대상으로 지역측지계 기반에서 삼변망조정계산방법 등에 의하여 조정좌표를 구하여 등록성과의 정확도를 점검하고 세계측지계와의 좌표변환관계를 구한다. 둘째, 조정좌표의 세계측지계좌표변환관계를 경계점에 적용하여 지역측지계의 조정 기준점에 기초하는 세계측지계 변환좌표를 구한다. 셋째, 경계점좌표의 왜곡량은 변환좌표와 관측좌표의 차이로 나타나므로, 특히 경계점에서 세계측지계 관측자료를 최대한 확보하여 왜곡량에 대한 공간모델링을 실시하고 가능한 범위에서 보정한다.

경계점의 왜곡량을 제거하면 원래 기준계에서 점의 좌표가 달라지는 것이므로 점간 상대 위치가 달라진다. 만일 왜곡량을 각 점의 오차로 보고 제거하는 경우라면 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」의 직권에 의한 등록사항정정이 가능하다는 것을 전제로 한다. 따라서 좌표변환을 할 지역에 대해서는 최종 단계에서 등록성과의 왜곡량에 대한 처리 지침을 정해야 한다. 왜곡량을 모두 제거할 것인지, 적정 수준의 한도를 정하여 보정할 것인지를 말한다. 적정수준의 한도라 함은 지적측량의 공차 범위가 될 수 있다.

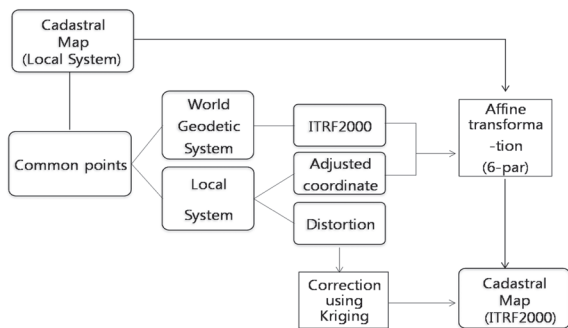


Fig. 1. The main procedure of coordinate transformation of cadastral maps based on local datum to the World Geodetic System(ITRF2000)

4. 기준점성과의 조정계산

본 연구에서는 지역측지계에서 정합하는 기준점의 조정좌표를 이용하는 방법을 주요 토픽으로 삼고 있다. 기준점의 왜곡량을 직접 파악할 수 있을 뿐만 아니라 좌표변환관계를 적용하여 경계점의 왜곡량을 구할 수 있기 때문이다.

GPS관측성과를 이용하여 지역측지계에서의 기준점성과를 구할 경우에는 삼변망조정계산 방법의 적용이 쉽다. 삼변망조정계산에서는 점간 경사거리를 평면직각좌표계상의 거리로 변환 활용하여 각 점의 좌표를 구한다. 각 점의 좌표를 미지수로 두고 이들 좌표로부터 계산되어 나오는 계산거리와 실측의 점간거리가 최대한 부합하도록 각 점의 좌표를 조정하는 방법이다. 실제 계산은 조정계산 알고리즘이 비선형적이고, 계산이 이루어지는 좌표계가 지역측지계의 평면직각좌표계이므로 다음의 과정을 적용한다(Yang et al., 2007).

- ① GPS 관측에 의한 점간거리를 수평면에 전개하여 수평거리를 구한다. 이 과정에서 필요한 두 점의 표고는 GPS관측의 타원체고도와 지오이드고의 차이로 구한다. 지오이드고는 지오이드모델을 이용하여 구한다.
- ② 수평거리에다 평면투영에 따른 거리증대율을 적용하여 평면투영거리를 구한다.
- ③ 조정계산점의 초기추정좌표는 조정계산의 해당지역에 위치하는 기준점의 등록좌표 또는 좌표변환에 의하여 구한 좌표를 이용한다.
- ④ 점간거리와 추정좌표를 이용하여 관측방정식을 수립하고, 최소제곱법에 의해 각 점의 추정좌표에 의한 계산거리와 실측자료에 바탕한 점간거리의 차이가 최소가 되도록 추정좌표의 수정량을 구한다.
- ⑤ 추정좌표에 수정량을 가하면서 수정량의 변동이 미소값에 수렴하도록 ④의 과정을 반복 수행한다.

삼변망조정계산의 적용실험은 대한지적공사 지적연구원의 「지적재조사사업의 기준점 활용 방안 연구 - 우리나라 전역의 지적기준점 성과 통일(2005)」, 「지적측량기준점의 성과통일 및 활용방안 연구(2006)」, 「기타원점지역 지적측량기준점의 성과통일 연구(2006)」 등에서 다양하게 이루어졌다. 우리나라 전역, 광역시도 범위의 지역뿐만 아니라 기타원점 지역을 대상으로 각각의 지역에 대응하는 지역측지계 기반의 지적측량기준점의 조정좌표를 도출하였다.

기타원점 지역의 경우에는 원래의 기타원점계열의 조정좌표뿐만 아니라 그 지역에 해당하는 통일원점계열의 조정좌표를 산출하였다. 관측점간의 변장을 이용하는 계산에 의하므로 해당 지역의 기준점 좌표와 평면투영의 특성을 고려해주면

각 원점 계열의 조정좌표를 쉽게 구할 수 있다. 기준점성과의 오차는 등록성과와의 차이로 추정되므로 각각의 원점계열별 왜곡량 추출이 쉽다.

5. 조정좌표의 좌표변환

삼변망조정계산 등에 의해 지역측지계에서 조정좌표와 왜곡량의 분리가 가능할 경우 이들을 세계측지계로 변환하는 작업이 간편해진다. 왜곡이 없는 지역측지계의 기준점망과 이에 대응하는 세계측지계의 기준점망은 거의 합동이므로 어떤 공통점을 이용하던 동일한 변환성과를 얻을 수 있기 때문이다. 즉, 공통점의 개수 및 분포와 무관하게 동일한 변환성과를 얻을 수 있다는 것이다. 좌표변환계산이 특정의 공통점에 영향을 받지 않는다면 변환지역 전체를 통하여 세계측지계에서의 왜곡량은 지역측지계의 왜곡량과 차이가 없다. 또, 좌표변환파라미터의 선형결합을 이용하는 순차적 변환계산에 의하여 동일한 결과를 얻을 수 있으므로 다양한 검증이 가능하다.

세계측지계와 지역측지계를 정의하는 요소가 다르고 평면 직각좌표의 원점 위치가 다르다는 것을 고려하면 2차원평면 좌표계에서 지역측지계와 세계측지계간의 좌표변환모델로서는 6변수의 Affine 변환이 실용적이다. Affine모델은 비상사(non-conformal) 모델이므로 좌표축 각각에 대하여 다른 회전각과 다른 값의 축척변화를 고려할 수 있다. 이 때문에 서로 다른 측지계 및 평면직각좌표계 간의 변환작업에 유리하고 적용범위가 넓다.

Affine 변환은 지역측지계에서의 조정좌표를 (x', y') 라고 하고 이에 대응하는 세계측지계 변환좌표를 (x'', y'') 이라 하면

$$x'' = \Delta x' + S_x \cdot x' - S_y \cdot \theta_y \cdot y' \tag{3}$$

$$y'' = \Delta y' + S_x \cdot \theta_x \cdot x' + S_y \cdot y' \tag{4}$$

여기서 $\Delta x', \Delta y'$ 은 두 좌표계간의 평행이동을 나타내는 것으로 상수이며 $S_x, S_y, \theta_x, \theta_y$ 는 각각 x 축 및 y 축 방향의 축척 변화 및 회전 변화를 나타낸다.

역변환은 다음의 식으로 표현된다. GPS관측으로부터 구한 세계측지계 좌표를 지역측지계의 조정좌표를 점검하는 데에 활용할 수 있다.

$$x' = [S_y(x'' - \Delta x') + S_x \cdot \theta_y(y'' - \Delta y')] / S_x S_y \tag{5}$$

$$y' = [S_x(y'' - \Delta y') - S_y \cdot \theta_x(x'' - \Delta x')] / S_x S_y \tag{6}$$

또, 두 좌표계간의 좌표변환계산 결과는 필요시 각 단계별

좌표변환파라미터의 선형결합을 이용하여 구할 수 있다. 예를 들어 지역원점좌표(A)를 세계측지계좌표(C)로 변환할 경우의 좌표변환파라미터는 A(지역원점좌표) => B(통일원점좌표) => C(세계측지계좌표)의 단계에서 구한 좌표변환파라미터의 선형결합으로 나타난다. 좌표변환계산의 결과는 A=>C로 직접 변환한 것이나 A=>B=>C로 순차적으로 변환한 것이나 같다. S_x, S_y 는 1에 가깝고, θ_x, θ_y 는 0에 가깝다는 것을 가정하면 이들 간에는 다음의 관계가 있다.

$$\Delta X_{AC} = \Delta X_{BC} + \Delta X_{AB} \cdot S_{X_{BC}} - \Delta Y_{AB} \cdot S_{Y_{BC}} \cdot \theta_{Y_{BC}} \tag{7}$$

$$\Delta Y_{AC} = \Delta Y_{BC} + \Delta Y_{AB} \cdot S_{Y_{BC}} + \Delta X_{AB} \cdot S_{X_{BC}} \cdot \theta_{X_{BC}} \tag{8}$$

$$S_{X_{AC}} = S_{X_{AB}} \cdot S_{X_{BC}} \tag{9}$$

$$S_{Y_{AC}} = S_{Y_{AB}} \cdot S_{Y_{BC}} \tag{10}$$

$$\theta_{X_{AC}} = \theta_{X_{AB}} + \theta_{X_{BC}} \tag{11}$$

$$\theta_{Y_{AC}} = \theta_{Y_{AB}} + \theta_{Y_{BC}} \tag{12}$$

6. 수치실험

6.1 통일원점계열지역

조정좌표를 이용하는 좌표변환계산의 특성을 파악하기 위하여 서울특별시 및 인천광역시를 대상으로 변환 계산을 지역 크기 및 원점계열의 차이를 고려하는 수치실험을 실시하였다.

서울특별시의 경우 전체 지역에 분포하는 지적삼각점 195점에 대하여 지역측지계 기준의 조정좌표를 산출하고, 좌표변

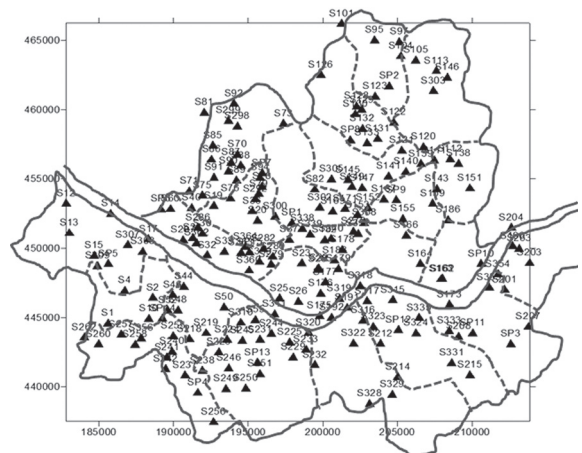


Fig. 2. Distribution of cadastral control points over Seoul metropolitan city

Table 1. Coordinates of cadastral control points of World Geodetic System and local datum. The adjusted coordinate of local datum is obtained by adding the correction(dx, dy) to the registered. Unit in meters

District	Point name	World Geodetic System		Local Datum			
				Registered		Correction	
		x	y	x	y	dx	dy
Kuro	S1	444951.067	185678.445	444645.13	185607.76	-0.02	-0.19
	S52	445878.387	189686.702	445572.48	189616.06	-0.03	-0.22
	S240	442919.991	189969.031	442614.16	189898.17	-0.12	0.01
	S257	444130.355	186571.086	443824.45	186500.38	-0.05	-0.16
	S258	443407.199	187500.286	443101.24	187429.58	0.00	-0.16
	S260	443438.734	185052.776	443132.88	184981.97	-0.11	-0.07
	S262	443928.570	184100.863	443622.71	184030.00	-0.10	-0.01
	S356	443865.399	187906.072	443559.46	187835.39	-0.01	-0.18
	SP14	445295.606	189334.044	444989.62	189263.19	0.04	0.00
Gumcheon	S237	441188.642	190841.789	440882.82	190771.18	-0.13	-0.24
	S241	442470.075	189628.059	442164.28	189557.32	-0.16	-0.11
	S242	441649.610	189540.513	441343.79	189469.77	-0.14	-0.11
	S256	437827.436	192749.156	437521.47	192678.39	0.00	-0.06
	SP4	439945.572	191692.731	439639.55	191621.91	0.06	-0.02
Yeungdengpo	S44	447603.468	190770.929	447297.52	190700.23	0.02	-0.16
	S46	446994.626	190009.337	446688.64	189938.67	0.05	-0.20
	S48	445904.518	190363.137	445598.56	190292.56	0.02	-0.28
	S50	446102.384	193448.880	445796.47	193378.05	-0.02	-0.02
	S218	443811.793	191140.630	443505.87	191069.87	-0.02	-0.09
	S219	444250.848	192247.218	443944.91	192176.49	0.00	-0.12
Gwanak	S223	442864.866	193108.153	442558.96	193037.32	-0.04	-0.01
	S224	443758.418	193673.940	443452.51	193603.17	-0.03	-0.07
	S246	441716.110	193775.249	441410.17	193704.46	-0.01	-0.05
	S249	440212.859	193585.060	439906.87	193514.24	0.04	-0.01
	S250	440255.376	194898.277	439949.32	194827.50	0.11	-0.05
	S251	441291.564	195870.080	440985.63	195799.33	-0.01	-0.08
	SP13	442111.059	195701.137	441805.08	195630.34	0.04	-0.03
Dobong	S101	466549.922	201323.977	466244.12	201253.07	-0.04	0.04
	S204	451839.682	212698.773	451533.73	212627.82	0.08	0.16
	S13	451463.968	183104.021	451158.10	183033.13	-0.06	-0.01
	S81	460141.612	192121.098	459835.71	192050.19	0.02	0.02
	S215	441219.253	209918.355	440913.39	209847.59	-0.05	-0.02

환계산은 지역 크기 및 공통점을 달리하는 데에 따른 변환좌표의 변동량을 조사하였다. 지적삼각점 195점의 지역측지계 성과는 종래의 지상측량방식에 의하여 정해진 것으로 현재 지적측량에 사용하고 있으며, 세계측지계 좌표는 서울특별시

가 세계측지계 전환을 위한 측량기준점정비사업을 통하여 결정한 성과이다(Seoul Metropolitan City, 2007). Fig.2은 이들 지적삼각점의 분포를 나타낸다.

조정좌표의 산출은, 1차로 195점에 대한 자유망조정계산

Table 2. 6-parameter of 2-D Affine transformation from adjusted local datum coordinate to the World Geodetic System, with different common points and regional scales

Region(Number of points)	ΔX (m)	ΔY (m)	θ_x (sec)	θ_y (sec)	S_x	S_y
All over Seoul(177)	307.988	70.633	0.431	0.427	0.9999963	0.9999963
4 districts (27)	307.629	70.400	0.565	0.057	0.9999963	0.9999961
Kuro(9)	308.355	71.134	0.184	0.221	0.9999950	0.9999965
Yeungdengpo(6)	307.630	70.331	0.422	0.276	0.9999968	0.9999980
Gumcheon(5)	306.844	69.206	0.712	-0.469	0.9999970	1.0000006
Kwanak(7)	307.407	70.053	0.624	0.341	0.9999974	0.9999972

을 실시하여 등록좌표와 조정좌표의 변동이 큰 18점의 특이점을 파악하고, 2차로 이들 18점을 제외한 나머지 177점에 대하여 조정좌표를 재산출하였다. Table 1. 은 지적기준점의 세계측지계 좌표 및 지역측지계에서의 등록좌표와 조정 값(dx, dy) 을 나타낸다. 지역측지계에서의 조정좌표 (x', y') 는 등록좌표 (x, y) 에다 조정 값을 더한 것이 된다.

좌표변환은 서울 전역을 대상으로 하는 계산, 1개 자치구를 대상으로 하는 계산 등 지역 크기 및 공통점 분포에 따른 차이를 조사하였다. 그 결과, 서울시 전역의 177점을 일괄 변환한 것, 각 자치구별로 분리하여 해당 지역에 속하는 점을 변환한 것, 그리고 금천·구리·관악·영등포 4개 자치구를 1개 지역으로 취급하여 변환한 것이나 세계측지계 변환좌표와 관측좌표의 차이는 모두 1cm 이내에 속하였다. 등록성곽을 이용할 경우 등록성곽간의 불부합에 따라 어떤 점을 공통점으로 선정하느냐에 따라 결과가 달리 산출되는 것과 크게 대비된다.

Table 2. 는 해당 계산의 좌표변환파라미터를 나타낸다. 변환파라미터에 차이가 있는 것은 수치계산상의 특성에 의한 것일 뿐 Eqs.(3) and (4)에 의해 어떤 파라미터를 채용하든 간에 동일한 변환계산결과가 기대된다. 예를 들어 영등포구에 속하는 S44, S46, S48 등의 점에 대하여 서울시 전역의 변환파라미터를 적용한 것이나 구로구 및 관악구 등의 변환파라미터를 적용하여 구한 것이나 변환결과가 같아야 한다는 것이다. 더 나아가 서울 외곽의 S101, S204 등에 대한 것도 마찬가지이다. 조정좌표를 이용하는 좌표변환계산에서는 공통점의 개수 및 지역 분포 등에 거의 영향을 받지 않으므로 어떤 변환파라미터를 사용하던 간에 동일한 결과가 나오는 것이 이상적이기 때문이다.

실제로 변환계산의 결과는 4개 자치구의 범위에 속하는 점에서는 Table 2.의 어떤 파라미터를 사용하던 2cm 이내에서 일치하였다. 뿐만 아니라 4개 자치구에서 멀리 떨어져 분포하는 서울 외곽의 S101, S204, S13, S81, S215 에 대한 변환계산

에서도 한 가지 경우를 제외하고 모두 2cm 이내에서 일치하였다. 한 가지 경우란 금천구의 변환파라미터 적용의 경우로서 S101에서 7cm, S204점에서 10cm 차이가 검출되었다. 이 차이는 특별히 일부 지역에 국한하여 처리한 변환파라미터를 서울 전역의 점에 적용할 경우 예상되는 차이의 최댓값으로 볼 수 있다.

6.2 기타원점계열지역

앞의 수치실험은 단일 원점의 양호한 기준점 체계를 운영하고 있는 지역을 대상으로 한 것이다. 그래서 이번에는 확연히 다른 원점계열의 기준점에 대하여도 동일한 프로세스를 적용할 수 있는지를 테스트하였다. 다른 원점계열의 측량성곽과 상호 연결 조정하고, 이들을 세계측지계로 변환하는 수치실험을 실시하였다.

수치실험은 계양, 가리, 중부원점 지역이 혼재하는 인천광역시를 대상으로 하였다. Fig.3는 이 지역의 원점계열별 지적삼각점 분포를 나타낸다. 서구·계양구·부평구는 계양원점

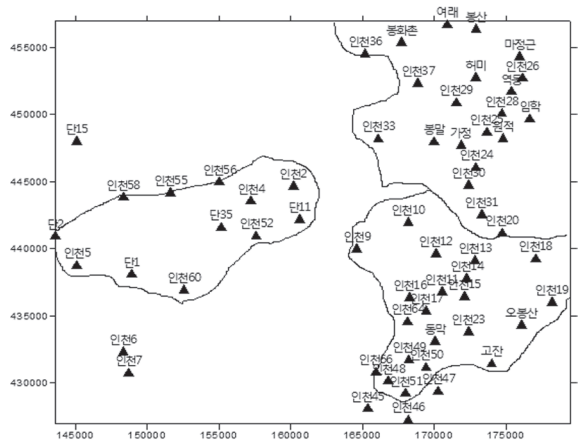


Fig. 3. Distribution of cadastral control points over Incheon

계열, 남동구 · 남구 · 동구 · 연수구는 가리원점계열, 영종도는 중부원점계열에 속한다. 이들 각기 다른 원점계열 지역을 3매의 특성이 다른 지적도면으로 간주하여 서울특별시를 대상으로 한 것과 유사한 작업 과정을 적용하였다. 수치실험에 사용한 자료는 인천광역시의 계양, 가리 및 중부 원점계열에 속하는 지역의 기준점 등록성과와 GPS관측성과이다. Table 3은 지적기준점의 세계측지계 좌표 및 원점계열별 등록좌표와

조정 값(dx, dy) 을 나타낸다. 원점계열별 조정좌표 (x', y') 는 등록좌표 (x, y) 에다 조정 값을 더한 것이 된다.

원점계열별 조정좌표 산출은 1차로 초기 추정좌표를 등록좌표로 두고 GPS관측의 점간기선거리를 각 원점계열별 평면거리로 전환하여 좌표에 의한 계산거리와 일치하도록 처리하는 삼변망조정계산에 의하였다. 다음으로, 이웃하는 다른 원점계열 지역의 점에 대해서는 1차의 자유망조정계산에서 구

Table 3. Coordinates of cadastral control points of World Geodetic System and 3 different local datum. The adjusted coordinate of each local datum is obtained by adding the correction(dx, dy) to the registered. Unit in meters

Point name	World Geodetic System (x,y)	Local Datum					
		Jungbu		Gari		Kyeyang	
		Registered (x,y)	(dx,dy)	Registered (x,y)	(dx,dy)	Registered (x,y)	(dx,dy)
Obongsan	434681.397 176162.507	434375.48 176092.21	0.01 0.10	-1853.24 -12091.37	-0.14 -0.02	×	×
Dongmak	433487.549 170138.764	433181.79 170068.56	-0.17 -0.01	-3055.92 -18112.84	-0.21 -0.50	×	×
Gozan	431814.606 174067.406	431508.82 173997.22	-0.14 -0.01	-4722.94 -14181.86	-0.32 -0.38	×	×
Incheon10	442357.121 168253.262	442051.14 168182.80	0.07 0.20	5810.66 -20012.01	-0.05 0.05	×	×
Incheon15	436802.187 172170.076	436496.50 172099.80	-0.23 0.06	261.63 -16086.99	-0.13 0.05	×	×
Incheon22	439586.405 178984.326	439280.49 178914.08	0.04 0.04	3055.83 -9276.73	-0.03 -0.10	×	×
Yeokdong	452080.273 175461.877	451774.32 175391.63	0.11 -0.02	×	×	1643.93 674.43	0.14 0.14
Majunggun	454692.279 176029.419	454386.35 175959.24	0.10 -0.10	×	×	4257.38 1234.96	0.17 0.26
Bongmal	448354.499 170062.761	448048.43 169992.54	0.19 -0.05	×	×	-2095.75 -4714.76	-0.15 0.08
Heomi	453216.769 172986.606	452820.99 172918.04	-0.08 -1.72	×	×	2683.87 -1803.52	0.16 0.08
Wonjeok	448596.292 174853.797	448290.26 174783.37	0.17 0.17	×	×	-1841.47 75.87	-0.02 -0.19
Incheon28	450447.864 174776.329	450141.54 174706.23	0.47 -0.17	×	×	9.85 -6.27	0.01 -0.40
Dan1	438471.948 148987.896	438166.08 148917.86	-0.13 -0.28	×	×	×	×
Dan2	441297.881 143666.596	440992.22 143596.55	-0.36 -0.27	×	×	×	×
Dan11	442562.183 160694.946	442256.28 160624.71	-0.04 -0.05	×	×	×	×
Dan15	448373.479 145180.512	448067.25 145110.60	0.24 -0.45	×	×	×	×
Dan35	441959.662 152213.767	441653.62 155143.51	0.11 -0.05	×	×	×	×

한 점의 좌표를 고정하고 이들 점과 연결하는 망조정계산에 의하여 전체 지역을 해당 원점계열의 성과로 산출하였다.

예를 들어 가리원점계열의 조정성과를 구하는 계산이라면, 1차로 가리원점계열 지역의 17점에 대하여 조정좌표를 구하고, 2차로 이들 중에서 2점 이상을 망조정계산의 고정점으로 삼아 나머지 계양계열 19점, 중부계열 25점을 연결 조정하는 계산에 의해 전 지역의 기준점좌표를 가리원점계열의 좌표로 산출하는 작업이다. 단, 이 과정에서 점간기선거리는 가리원점계열의 평면거리로 전환하여 조정계산에 이용하였다. Table 3은 원점계열별 등록좌표 및 조정좌표를 나타낸다. 원점계열별 조정좌표 (x', y') 는 등록좌표 (x, y) 에다 조정 값을 더한 것이 된다. 참고로 Table 3의 자료는 Yang and Jin(2008)이 발표한 논문에서 수록되어 있음을 밝힌다.

세계측지계 변환계산은 다음 두 가지 방법을 실시하였다. 하나는 각 지역의 원점계열별 성과를 곧바로 세계측지계로 변환하는 것이고, 다른 하나는 순차변환에 해당하는 것으로 기타원점계열의 조정좌표를 중부원점의 조정좌표로 변환한 것을 세계측지계로 변환하는 방법이다. 수치실험은,

- ① Table 3의 가리원점계열 및 계양원점계열의 조정좌표를 세계측지계로 변환하였다.
- ② Table 3에서 가리원점계열 및 계양원점계열의 기준점에 대하여 인천광역시 전역 범위에서 단일의 중부원점계열의 성과로 조정 산출한 것을 세계측지계로 변환하였다.

Table 4는 수치실험의 좌표변환계산 파라미터를 나타낸다. Table 4에서 “가리=>세계”는 앞 ①에서 가리원점계열의 성과를 곧바로 세계측지계로 변환한 것을, “중부=>세계”는 ②에서 가리원점지역의 중부원점 조정좌표를 세계측지계로 변환한 것을 나타낸다. “가리=>중부”는 가리원점계열의 조정좌표와 중부 원점계열 조정좌표 간의 변환관계를 나타내는 것으로 순차변환과 관련되어진다. 마찬가지로 하단의 “계양=>세계”, “중부=>세계”, “계양=>중부”는 계양원점지역에 해당하

는 변환관계를 나타낸다.

조정좌표를 이용하는 좌표변환계산의 일관성이 유지된다면 다음 3가지 경우의 변환결과는 모두 같아야 한다. 첫째, ①에서 지역별 조정좌표를 세계측지계로 변환한 것, 둘째, ②에서 지역을 포함하는 광역의 조정좌표를 세계측지계로 변환한 것, 그리고 셋째 경우로서 지역별 조정좌표를 광역의 조정좌표로 변환하고 그 결과를 세계측지계로 변환할 경우이다. 즉 순차적 변환에 해당한다. 실제 변환계산의 결과는 모두 1cm 미만의 차이로 일치하였다. 이것은 좌표변환파라미터간의 상호관계를 나타내는 Eqs.(7)~(12)으로 확인 가능하다.

조정좌표를 이용하는 변환은 곧바로 세계측지계로 변환하는 것이나 순차적으로 변환하는 것이나 변환계산의 결과는 같다. 개별 도면의 특성을 고려하여 각 도면단위로 조정된 성과를 전체지역의 성과에 맞도록 변환한 결과를 이용하는 것이나 개별도면별로 곧바로 변환하는 것이나 좌표변환계산의 결과는 같다는 의미이다.

지역측지계에서 각 도면별 조정좌표와 지역조정좌표의 차이를 dx_{12} 라 하면 dx_{12} 는 개별도면을 지역에 일치시키기 위한 변환량이다. 지역조정좌표의 세계측지계 변환량을 dx_{23} 라 하면 개별도면을 세계측지계로 직접 변환시의 변환량 dx_{13} 은 두 가지 과정이 더해진 것이다. f_{13}, f_{12}, f_{23} 를 각각 $dx_{13}, dx_{12}, dx_{23}$ 해당하는 좌표변환파라미터라 하면 f_{12} 는 지역조정기준점에 대한 도면별 조정기준점의 상대적 이동 및 회전을 나타낸다. 지역별 기준점 경향 f_{12} 가 세계측지계 변환시 f_{13} 에 포함되어 처리된다. 좌표변환파라미터의 선형적 결합관계를 이용하면 f_{13} 와 f_{23} 로부터 f_{12} 를 도출하여 지역기준점망의 경향을 파악할 수 있다는 것과 같다.

본 연구의 수치실험에서는 2차원의 좌표변환모델로서 Affine 모델에 의한 변환관계를 적용하였으나 4변수의 Conformal 변환을 적용해도 거의 동일한 결과가 나온다. 이러한 결과는 Table 4의 좌표축 스케일 변화를 나타내는 S_x ,

Table 4. Step by step datum transformation from Gari and KyeYang to World Geodetic System

from=>to	6-parameters					
	ΔX (m)	ΔY (m)	S_x	S_y	θ_x (sec)	θ_y (sec)
Gari=>Jungbu	436211.035	188186.499	1.0000056	1.0000061	304.197	304.314
Jungbu=>WGS	308.355	69.199	0.9999961	0.9999956	0.844	0.884
Gari=>WGS	436516.883	188256.657	1.0000018	1.0000017	305.015	305.195
KyeYang=>Jungbu	450132.130	174712.709	1.0000054	1.0000065	542.344	542.744
Jungbu=>WGS	308.403	68.805	0.9999961	0.9999965	0.948	0.958
KyeYang=>WGS	450437.982	174782.976	1.0000016	1.0000030	543.292	543.702

S_y 의 크기가 거의 같고, 좌표축의 회전을 나타내는 θ_x, θ_y 가 거의 같다는 것에서 확인할 수 있다. 수치실험의 특징할만한 사항은 원점계열이 다르다 해도 조정좌표를 이용하는 좌표변환은 좌표변환의 공통점 선정시 계산 점수 및 지역 분포에 무관하게 동일한 변환결과가 산출된다는 것이다. 6변수를 구하는 문제이므로 개념상 3점 이상이 계산에 들어가야 하며, 실제 문제에서 지역에 넓게 분포하는 4점을 선택하는 것으로 매우 안정적 결과가 산출되었다.

한편, 세계측지계 변환파라미터를 보면 가리 계양 원점계열의 경우 좌표축 회전각이 매우 크고, 축척계수가 1보다 크다는 특징이 있다. 이것은 투영원점의 위치가 서쪽으로 크게 이동되어 있는 것과, 축척원점의 위치 및 방위각이 원점계열별로 천문측량을 실시하여 정한 것이라는 데에 기인한다. 본 연구의 가리 및 계양 계열과 중부원점계열의 방위각 차이가 각각 5분04초 및 9분02초 이지만 대구 지역의 구암계열은 동부원점계열과 비교하여 방위각 차이가 14분24초에 달한다는 연구가 있다(Kwon, 2013)

8. 경계점 적용과 왜곡 보정

기준점 조정좌표의 세계측지계 변환관계를 나머지 점들에 적용하면 조정 정비된 기준점에 근거한 세계측지계 변환좌표가 산출된다. 좌표변환계산 Eq.(3)~(4)에 들어가는 $S_x, S_y \approx 1$ 이고, $\theta_x, \theta_y \approx 0$ 이므로 지역측지계에서의 왜곡량이 세계측지계에 그대로 전파된다. 즉, 지역측지계에서의 왜곡량과 세계측지계에서의 왜곡량을 동일시 할 수 있다. 따라서 경계점의 왜곡량은 세계측지계에서 GPS 관측좌표와 등록성과의 변환좌표의 차이로 구할 수 있다.

경계점의 왜곡량에는 기준점측량의 오차, 세부측량의 오차 및 지적도면의 신축 왜곡에 의한 영향 등이 혼합되어 있다. 이러한 왜곡량 파악을 위해서는 특히 구역경계점 및 도면 접합의 경계에서의 측량 자료 확보가 필요하다. 명확하게 식별되는 경계점에 대하여 기준점 조정성과의 좌표변환관계를 적용하여 변환좌표를 구하고, 이들 점에 대한 GPS 관측 또는 항공사진측량의 세계측지계 성과를 확보함으로써 왜곡량을 정량화하는 작업이 수반되어야 한다. 항공사진을 이용하면 구역별 왜곡량 경향 파악에 필요한 경계점 선정이 용이하다.

경계점 왜곡량은 점간 거리 및 방향 등에 관계하므로 공간모델링 방법으로서 지구과학에서 퇴적, 침하, 융기 등의 연구에 널리 사용하는 크리깅(Kriging) 보간을 채택한다. 크리깅 보간은 관심 지점의 특정 값을 이미 알고 있는 주위 값들의 가중선형조합으로 예측하는 방법이다. 크리깅 보간은 가

중치 결정을 위해 예측 값과 참값 사이의 오차가 최소가 되도록 하며(minimum variance) 추정 값이 편향되지 않는 조건(unbiased)을 적용한다.

크리깅 보간의 중요한 특징 중의 하나가 정확성(exactitude)이다. 이미 자료 값이 주어진 점에 대해 크리깅 보간에 의해 값을 예측하면 정확하게 그 값이 재생된다. 자료의 불규칙 분포에 의해 생기는 군집(data clustering)에 대해서는 군집의 각점에 대하여 중량을 적게 부여함으로써 하나의 점인 것처럼 취급할 수 있다. 또, 공간적 평균값의 차이 또는 경향 값(planar trend)을 미리 제거하지 않고 처리할 수 있으므로 작업이 간편하다. 단, 새로운 지점에서 값을 예측할 때마다 가중치를 재계산해야 하므로 계산량이 팽대해진다는 결점이 있다(Choi, 2007).

한편, 일반회귀식은 예측오차의 제곱을 최소로 하는 추정식이다. 하나의 추정식이 정해지면 이를 바탕으로 값을 예측하지만 주어진 자료를 그대로 예측하지 못한다. 회귀식 내삽의 결과는 큰 값은 저평가(underestimate the highs)하고, 작은 값은 고평가(overestimate the lows)하는 경향이 있다. 일본 국토지리원이 격자점의 좌표변환 값을 크리깅 보간에 의해 구하였음은 참고할만하다(Tobita, 2004).

9. 결론

본 연구에서는 지역측지계에서 기준점의 조정좌표를 구하고 경계점의 왜곡량을 정량화하는 것을 중요한 문제로 삼고 출발하였다. 기준점의 조정좌표를 구하면 기준점의 왜곡량이 파악되고 경계점에 미치는 영향을 추정할 수 있기 때문이다. 수치실험에서는 지역별 원점계열별 조정좌표를 GPS 관측성과를 이용하는 삼변망조정계산에 의해 구하고 조정좌표 상호간 및 세계측지계좌표와의 좌표변환의 특성을 조사하였다. 그 결과 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표 간에는 상호정합하는 변환이 가능하였다.

도면별 조정·변환과 지역별 조정·변환의 수치실험결과는 지적측량성과의 세계측지계변환은 도면단위의 작업이 효율적임을 나타낸다. 순차별 변환과정에서 보았듯이 도면별 성과와 지역 성과의 차이가 평행이동 및 회전으로 나타나며, 이는 개별 도면의 세계측지계 좌표변환과정에 포함되어 처리된다. 또, 도면별 조정·변환 작업은 도해지적측량의 토대가 되는 도근점 등 도면단위의 측량기준점망과 개별도면의 신축·왜곡 등의 특성을 반영시키기에 유리하다. 지역 단위로 처리할 경우에는 후속 작업에 의해 도면 각각의 특징을 개별화하여 처리하는 작업이 따라주어야 하지만 개별 특성을 갖는 도

면으로 이루어진 지역을 하나의 모델로 표현하기 어렵다는 문제가 있다.

도면별 변환이든 지역별 변환이든 본 연구의 좌표변환프로세스는 시·군·구 지역 범위의 조정좌표를 산출·활용하는 것을 기본으로 삼는다. 도면별 변환 작업의 경우 시군구 등 검사기관에서는 시·군·구 전역에 걸쳐 작성해 놓은 조정좌표와 사업수행자가 실시한 도면별 기준점 조정좌표가 평행이동과 회전에 의해서 일치하는지 점검하는 것에 의해 도면별 망조정 결과를 평가할 수 있다. 또, 조정좌표의 세계측지계 변환파라미터를 고시함으로써 세계측지계 관측자료와 지역측지계의 조정좌표를 상호 점검하는 데에 활용할 수 있다. 지상측량에 의할 경우 지역의 조정좌표가 있는 점과의 연결에 의해 지역성과를 산출하고 이를 세계측지계로 변환하여 비교하고, GPS 관측의 세계성고가 얻어지면 변환파라미터를 이용해서 지역의 조정좌표와 합치하는지 점검할 수 있기 때문이다.

좌표변환계산은 등록성고를 세계측지계로 변환하는 작업이 일반적이다. 그러나 등록성고를 이용하는 변환에서는 공통점 선택에 따라 좌표변환의 결과가 달라지는 문제가 있다. 이 때문에 공통점 선정에 관한 복잡한 작업공정을 거치지만 기본적으로 등록성고의 오차에 기인하는 좌표변환결과의 불확실성 및 임의성을 해소할 수 없다는 문제에서 벗어날 수 없다. 본 연구에서는 지역측지계에서 조정좌표를 이용하는 방법에 의해 문제를 극복하였다.

또, 조정좌표를 이용하는 프로세스는 필요한 시공간적 범위에서 현재의 지역측지계 도면 및 세계측지계 도면의 품질을 점진적으로 향상시킬 수 있게 한다. 왜곡량은 세계측지계의 것이나 지역측지계의 것이나 차이가 없다. 이것은 기타원점계 열이라 해도 Table 4의 변환관계를 적용해보면 왜곡량의 차이가 기껏해야 0.3%에 불과하다는 것으로 확인할 수 있다. 등록성고가 있는 경계점에서 새로운 관측성고를 얻었을 경우 이미 이전 단계에서 구해놓은 조정좌표가 있는 점과 연결함으로써 경계점의 조정좌표와 왜곡량을 추출할 수 있다. 달리 말하면, 경계확인 등을 위한 측량 신청에 따라 현재의 도면에 근거하여 측량작업을 해나가는 과정에서 왜곡량을 가시화하면서 점차 높은 세밀도의 왜곡량을 구할 수 있다는 의미이다. 따라서 경우에 따라서는 지역측지계 도면의 품질을 점진적으로 향상시켜나감에 따라 자료가 충분히 축적되는 시점에서 왜곡량 보정을 실시한 도면을 변환하여 세계측지계 도면으로 만드는 계획을 추진할 수 있다.

경계점의 왜곡량을 보정하면 원래 기준계에서 점의 좌표가 달라지는 것이므로 점간 상대 위치가 달라진다. 따라서 좌표변환을 할 지역에 대해서는 최종 단계에서 등록성고의 왜곡

량에 대한 처리 지침을 정해야 한다. 왜곡량을 모두 제거할 것인지, 적정 수준의 한도를 정하여 보정할 것인지를 말한다. 적정수준의 한도라 함은 지적측량의 공차 범위가 될 수 있다. 이 경우 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」의 직권에 의한 등 록사항정정이 가능하다는 것을 전제로 한다.

알림의 글

본 연구는 2011년도에 대한지적공사 공간정보연구원에서 수행한 「지적측량성고의 세계측지계 전환에 관한 연구」를 발전시킨 것임을 알려드립니다.

References

- Cho, J. K., Choi, Y. S., Kwon, J. H., and 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 GeoSpatial Information System*, Vol. 16, No. 3, pp. 79-85. (in Korean with English abstract)
- Choi, J. G. (2007), *Geostatistics*, Sigma Press, Seoul. (in Korean)
- Kwon, K. U. (2013), A study on transformation of world geodetic coordinate system in the region of Guam origins, *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Vol. 29, No. 1, pp. 213-225. (in Korean with English abstract)
- Seoul Metropolitan City (2007), *Final Report on Cadastral Control point improvement for World Geodetic System*, Seoul.
- Song, D. S., Yun, H. S., Jang, E. S., and Kim, T. W. (2007), Optimal national coordinate system transform model using national control point network adjustment results, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 25, No. 6-2, pp. 613-623. (in Korean with English abstract)
- Tobita, M. (2004), *World Geodetic System and Coordinate Transformation*, Japanese Surveying Association, Tokyo. (in Japanese)
- Yang, C. S. and Jin, J. R. (2008), A study on computation of unified coordinate of cadastral control points over the field with different surveying origins, *Journal of the Korean*

- Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 16, No. 3, pp. 3-13. (in Korean with English abstract)
- Yang, C. S., Kang, S. K., Jung, R. J., Kim, Y. H., and Lee, M. S. (2007), Computation of Bessel coordinates of cadastral control points by trilateration adjustment of GPS baseline measurements, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol. 15, No. 3, pp. 41-49. (in Korean with English abstract)
- Yang, C. S. and Yang, G. O. (2012), A study on the distance and land area change in cadastral surveying for World Geodetic System, *Journal of the Korean Society of Cadastre*, Vol. 28, No. 2, pp. 81-89. (in Korean with English abstract)
- Yun, S. J., Park, J. H., and Park, J. K. (2009), Accuracy comparison as world geodetic datum transformation of 1/1000 digital map, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 27, No. 2, pp. 169-175. (in Korean with English abstract)