

# 개발도상국에 적합한 지적도면의 세계측지계 변환체계 연구

## A study on datum transformation of cadastral maps to World Geodetic System for developing countries

송원호\* · 양철수\*\*  
Won-Ho Song, Chul-Soo Yang

### Abstract

This paper presents a method to improve the quality of cadastral maps and produce continuous maps using coordinate transformation calculations in developing countries. To convert a local geodetic map into a world geodetic map, the following steps were implemented: first, the adjustment coordinates of common points in local geodetic coordinate system were calculated by the trilateral network adjustment calculation; second, adjusted maps were created by revising the local geodetic maps to fit the adjustment coordinates; third, a conversion relationship between the adjustment coordinates and the world geodetic coordinates was derived; and fourth, the coordinate transformation relationship was applied to the adjusted maps to convert it into a world geodetic coordinate system. The adjustment coordinates in local geodetic coordinate system, which are common points for the coordinate transformation calculation, play a role in improving the accuracy of the coordinate transformation calculation and the quality of the maps. This paper is expected to contribute to the transformation of local geodetic coordinate maps to the world geodetic coordinate maps and the improvement of maps quality in developing countries.

Keywords: Trilateral Adjustment, Coordinate Transformation, Improve Cadastral Map Quality, World Geodetic System

## 1. 서론

### 1.1. 연구 배경 및 목적

대부분의 개발도상국 지적도는 아직도 부정확한 토

지 경계와 열악한 지적 시스템으로 인해 지적제도 운영에 많은 어려움이 있다. 여전히 종이 기반 지적도를 사용하며, 디지털 전환이 이루어지지 않은 상태이고 종이 지적도 또한 낙후한 상태로 정확한 정보의 보존을 위해 디지털화가 시급한 상황이다. 일부 국가에서

\* LX공간정보연구원 국토정보연구실장(whsong@lx.or.kr)

\*\* 랜드맵스 대표(ceosyang@landmaps.net)

는 GNSS와 GIS 같은 현대 기술을 도입하여 지적도 개선을 시도하고 있으나 내재된 측량 기술과 인프라가 부족하여, 토지 소유권 분쟁이 빈번하고 효율적인 토지 관리가 어려운 상황에 있다. 우리나라의 경우라 해도 도면의 자료정비 사업에 큰 비용이 소요되고 있으며 표준화된 절차에 따라 체계적으로 도면정보 관리를 수행할 수 있는 체계가 미흡한 형편에 있다(백규영, 최윤수, 2020).

우리나라는 지적재조사사업의 일환으로 지역측지계 기반의 지적도면을 세계측지계 기반의 좌표체계로 변환하는 사업을 추진하였다. 2016년에 「지적공부

세계측지계 변환규정」(이하 「규정」이라 함)을 고시하면서 시작한 이 사업은 도해지역에 대한 작업이 완료된 후 수치지역의 세계측지계 변환작업이 추진되었다. 「규정」은 수치지역의 필지경계점에 대해서는 종래의 관측데이터에 기초하여 세계측지계 좌표를 구하도록 정하고 있다. 그러나, 당시의 모든 데이터와 측량기준점이 보존되어 있다 하더라도 작업 효율성이 매우 낮고, 일부 기준점이 망실된 지역이라면 경계점 좌표의 계산이 불가능한 형편에 처할 수 있다(권윤영 외, 2018). 이러한 현실은 개발도상국에서 더 심화될 것으로 보인다.

Table 1. World Geodetic Datum Conversion of Major Developing Countries

Nation	Local Coordinate System	World Geodetic Coordinate System	Years	Source
Indonesia	Datum Indonesia 1974 (DI-1974)	Datum Geodesi Nasional 1995 (DGN-1995,WGS84), SRGI2013 <sup>1)</sup>	1995, 2013~	Hasanuddin Z. Abidin, 2016
Brazil	Córrego Alegre, Astro Datum Chuá, South American Datum 1969(SAD69)	SIRGAS2000	2005~	Vivian de Oliveira Fernandes, 2010
Kenya	Universal Transverse Mercator (UTM, Clarke 1880)	KENREF network(ITRF)	2005~	Sammy Mwangi Matara, 2022
Nigeria	Nigerian Primary Triangulation Network(Clarke 1880)	Nigerian Geocentric Datum (NGD2012)	2012~	Peter C. NWILO, 2013
Vietnam	Hanoi-72	VN-2000 (WGS84 Compatible)	2000, 2007~	Hoa Pham Thi, 2019
South Africa	Cape Datum	Hartebeesthoek94	1999~	Richard Wonnacott, 1999
China	Beijing 1954	CGCS2000(WGS84 Compatible)	2008~	Wen Hanjiang, 2012
Mexico	NAD27 datum	ITRF92(epoch 1988), ITRF2000(epoch 2004)	1993~	Guido Alejandro Gonzalez Franco, 2006
Myanmar	Indian 1954	Myanmar Datum 2000	2000~	Ministry of Natural Resources & Environmental Conservation, 2016
Laos	Indian 1954,1960, Vientiane Datum 1982	LAO97(Krassovsky)	1997~	Kari Suominen, 2011
Cambodia	Indian 1960 UTM Zone 48N, CGD03(Cambodia Geodetic Datum 2003)	CGD03(Cambodia Geodetic Datum 2003, ITRF96), CGD09(ITRF2005)	2003~	Meas Bunthoeun, 2016
Kyrgyzstan	SK-63	Kyrg-06(GRS80)	2010-	Huan Fan. 2015
Tunisia	Voirol, Isolated, Carthage 1934 Europe50, South Sahara, Carthage 1986	NTT(New Tunisia Treiahgurlatin) Coordinate System (Carthage 1984)	2009~	LX. 2017

많은 개발도상국은 외부의 지원 또는 자체적으로 세계측지계 변환을 도입하였다. 국가 측지계를 세계측지계로 변환하는 것은 세계측지계 변환에 따른 도면변환 작업과 이에 부가되는 다양한 기술적, 경제적, 행정적 문제를 해결해야 하기에 어려움이 있다. 아래는 표1은 주요 국가별 세계측지계 변환 현황을 나타낸다.

세계측지계 변환 후 기존에 사용된 지역측지계와 세계측지계 간의 좌표 변환 작업이 필요하다. 이는 과거의 지리 정보나 도면을 새로운 좌표계에 맞게 변환하는 작업을 수반하며 변환 과정에서 좌표 오류나 부정확성 문제를 해결해야 하므로 상당한 노력이 필요하다.

지적측량기준점과 필지경계점의 모든 GNSS 관측성과는 지적도면의 품질향상에 활용할 수 있는 소중한 정보이다. 종래의 지적도면을 세계측지계 도면으로 변환하는 작업이라면 종래의 관측성과를 되도록 GNSS 관측성과에 맞도록 처리해야 하지만, 기 실시된 도해지적도면의 세계측지계 변환의 경우에는 이러한 개념이 적용되지 않았다. 공통점 선정의 가변성, 단일의 상사형좌표변환모델 채용 및 변환계산 결과의 평가, 새로운 자료의 축적에 따른 변환결과 업데이트 등에 대한 엄격한 기준이 강조되지 않았다. 원본도면을 그대로 세계측지계로 옮겨가려는 시도이지만 도리어 도면의 품질을 저하시킬 수 있다(김근배 외, 2019).

구도면을 새로운 세계측지계 도면으로 변환하는 작업은 대부분 “선변환 후보정” 방법을 취하고 있다. 먼저 일단의 지역을 대상으로 지역측지계와 세계측지계 간의 변환관계를 구해 지역 내의 도면에 일괄 적용하고, 지역의 변환계산 경향에서 벗어나는 구역에 대해서는 구역별로 평균이동보정을 실시한다. 그러나, 이러한 방식의 작업은 변환계산의 특성에 의해 지역 및 구역 간 경계의 불합치를 심화시킬 수 있다(김창환 외, 2016).

지적측량에서는 원점별 측량기준점망의 특성, 인접

도면 간의 관계, 그리고 도면 자체의 특성을 파악하고 보정하는 것, 필지경계의 결정 등은 기존의 좌표체계에서 처리하는 것이 유리하다. 기존 도면에서 우선 보정을 하고 보정한 도면을 좌표변환 하는 것이 성과결정 측면에 유리할 수 있다. 즉 “선보정 후보정<sup>2)</sup>” 방식이 “선변환 후보정” 방식에 비해 작업측면에서 유리하여 고품질의 결과물을 기대할 수 있다는 것이다.

본 연구는 우리나라에서 실시한 세계측지계 변환작업의 성과 및 문제점에 기초하여 개발도상국에 적합한 세계측지계 변환의 작업공정을 제시한다.

## 2. 작업공정

### 2.1. 개요

본 연구에서는 개발도상국별 특성에 맞도록 좌표변환 계산을 수행한다. 해당 국가별로 최소 공간적 범위로 정하는 구역을 정하는 데에서 시작하여 고품질의 연속도면의 작성을 도모하고자 한다. 구역이란 동일한 지적측량특성을 가진 공간적 범위를 말한다. 수치 지역이라면 지구계, 도해지역이라면 도면(또는 블록) 단위를 구역으로 취급할 수 있다.

“선보정 후보정”의 세계측지계 좌표변환 작업을 개발도상국에 적용하기 위한 작업은 크게 3단계로 구분할 수 있다. 1단계는 개발도상국의 지역별 행정구역을 대상으로 1/5000이하의 도면에 적용할 파라미터를 구하는 것을 목표로 한다. 이 작업은 첫째, 행정구역 단위 규모의 지역에서 3점 이상의 유용한 공통점을 확보하고, 둘째, 공통점의 GNSS 관측성과를 이용하여 각 구역별 지역측지계 조정좌표를 산출하며, 셋째, 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표의 변환관계를 도출하는 것으로 요약된다.

2단계는 구역을 대상으로 한다. 앞의 작업에서 구한 구역별 조정좌표를 이용하는 것으로, 첫째, 각 구역별

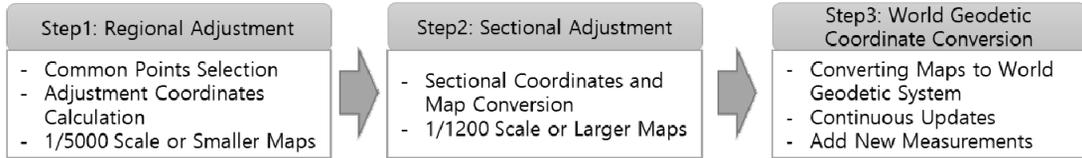


Figure 1. Overview of Work Procedure

로 공통점의 등록좌표와 조정좌표의 좌표변환관계를 구하고, 둘째, 구역별 좌표변환관계를 구역 내의 모든 필지에 적용하여 기존 성과를 보정하고, 셋째, 구역별 좌표변환의 결과 생기는 인접 구역 간 이격·중첩을 보정하여 보정도면을 작성한다. 이로써 2단계 작업의 결과물은 지역측지계에서 품질이 향상된 연속도면이 될 수 있다. 개발도상국에 효과적으로 진출하기 위해서는 이렇게 산출된 좌표변환 성과와 보정도면과의 관계를 체계적으로 유지 및 관리하기 위한 시스템을 표준화하는 것이 필요하다.

3단계는 1단계에서 구한 지역별 좌표변환 관계를 적용하여 2단계 결과물인 보정도면을 세계측지계 도면으로 변환하고 업데이트하는 과정이다. 지역측지계 또는 세계측지계 기반에서 새로 관측되는 데이터를 추가 활용함으로써 도면의 최신성을 유지토록 한다. 정보의 최신성을 효율적으로 유지하기 위해서는 기존

도면과 변환도면, 기준점 등의 레이어를 분리 운영하는 시스템적 기법이 필요하다.

Figure 1은 지적도면의 세계측지계 좌표변환 과정을 설명하는 흐름도이다. 모든 작업은 도해지역과 수치지역에 동일하게 적용할 수 있다.

1단계 작업에서 GNSS 측위결과를 이용하여 지역별로 공통점의 지역측지계 조정좌표를 산출하는 것은 삼변망조정계산에 의한다(양철수 외, 2024). 지역에 속하는 각 구역마다 3점 이상의 공통점을 확보하여 지역을 대표하는 공통점으로 선정하고, 이들 공통점에 대하여 점간거리에 맞도록 지역측지계 기준의 조정좌표를 구한다.

아래는 브라질의 사례로 기준점 선점과 변환파라미터 계산, 기준점 변환 후 잔차를 나타낸다.

이렇게 구한 지역측지계 기준의 조정좌표는 두 가지 역할을 담당한다. 하나는 구역별로 도면의 품질

Table 2. Local and World Geodetic Coordinates in Brazil Source: Vivian de Oliveira Fernandes, 2010

No.	Cartesian coordinates - SAD-69			Cartesian coordinates - SIRGAS2000		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	3388872.590	-4580847.658	-2857576.200	3388805.253	-4580843.813	-2857614.462
2	3451979.331	-4518009.827	-2880848.100	3451911.981	-4518005.900	-2880886.320
3	3443293.330	-4517430.603	-2891904.000	3443225.980	-4517426.700	-2891942.190
4	3550613.051	-4418513.326	-2916433.000	3550558.565	-4418525.500	-2916481.330
5	3586289.026	-4426360.152	-2860736.000	3586289.027	-4426360.176	-2860736.023

Table 3. Coordinate Transformation Parameter between SAD-69 and SIRGAS Source: Vivian de Oliveira Fernandes, 2010

Translation			Rotation			Scale factor(ppm)
Tx(ox)	Ty(oy)	Tz(oz)	Rx(ox)	Ry(oy)	Rz(oz)	
-65.4281±0.3311	0.7623±0.3332	-31.5961±0.2933	0.6225±0.0010	-0.4512±0.0001	-0.0313±0.0001	1.0000±0.0000

Table 4. Conversion Residuals between SAD-69 and SIRGAS Source: Vivian de Oliveira Fernandes, 2010

No.	V (X)m	V (Y)m	V (Z)m
1	0.0035	-0.0045	-0.0129
2	0.0034	-0.0245	-0.0328
3	0.0234	-0.0442	-0.0029
4	0.0133	-0.0045	-0.0128
5	0.0335	-0.0044	-0.0026
Averages	0.01542	-0.01642	-0.0128

을 향상시켜 보정도면을 작성하는 것이고, 다른 하나는 보정도면을 세계측지계로 변환시키는 데에 활용된다. 이러한 지역별 조정성과는 1/5000이하의 도면에 적용할 수 있다.

2단계의 구역별 작업의 특징은 다음과 같다. 첫째, 구역별로 공통점의 등록좌표가 조정좌표에 근접하도록 좌표변환관계를 구하고 이 관계를 구역의 모든 점에 적용한다는 것은 시·군·구 범위에서 조정좌표로 구성되는 지역기준점망에 부합하도록 구역의 변위를 보정한다는 것에 해당한다. 둘째, 구역별 좌표변환의 결과 드러나는 인접 구역 간의 이격·중첩을 보정한다는 것은 각 구역이 공유하는 최외곽점의 좌표를 새로이 하나로 정하고 이에 부합하도록 구역 내부의 모든 점을 보정하는 것으로 연속도면 작성을 목표로 한다. 이 과정에서는 구역의 특정점을 중요시할 수 있게 한다. Figure 2는 보정도면작성 과정을 나타낸다.

3단계의 지적도면의 세계측지계 변환에서 특히 중요시해야 할 것은 변환작업 후의 도면 업데이트이다. 새로운 자료가 축적될 때마다 양쪽 도면을 동일 품질로 향상시키도록 하는 이 작업은 두 측지계 도면에 대

한 정역의 좌표변환관계를 적용하는 것으로 해결할 수 있다. 새로운 관측자료로서 GNSS 관측점이 추가되는 경우라면 해당 공통점에 속하는 세계측지계 도면을 역변환하여 지역측지계 도면을 업데이트한다. 지역측지계 기준으로 지상 관측점이 추가되는 경우라면 보정도면에 기초하여 측량성고를 작성하고 이를 좌표 변환하여 세계측지계 도면을 업데이트 할 수 있다. 정역의 좌표변환을 활용하는 것은 선형적 좌표변환모델을 채용하는 것으로 가능하다.

## 2.2. 기술적 특징

본 연구에서 제시하는 작업공정은 다음의 2가지 기술적 요소에 의해 안정적이고 효율적 결과를 도출할 수 있다. 첫째, 지역 전체를 총괄하는 공통점의 조정좌표는 한번 정해놓은 그 값이 유지된다. 따라서, 지역의 모든 공통점에 대한 조정좌표와 세계측지계좌표와의 변환관계, 즉 1차 변환관계 역시 재계산을 요하지 않고, 한번 정해진 것을 후속 작업에 계속 적용한다는 것이다. 이러한 변환관계 및 파라미터와 각각의 적용구역의 설정 및 관리 등을 할 수 있도록 시스템 측면에서

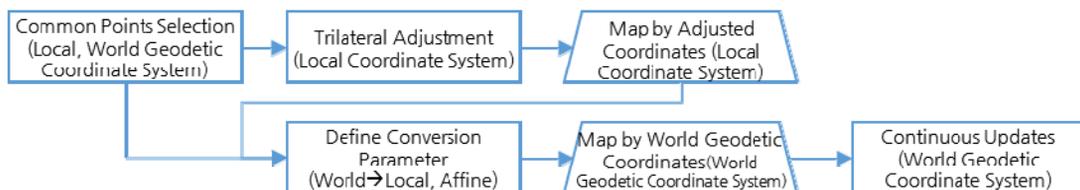


Figure 2. Coordinate Transformation Procedure of Cadastral Map

의 지원은 필수적이다.

둘째, 공통점의 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표 간의 변환계산은 부등각변환모델(Affine transform)에 의하며, 이 계산에서는 중요도 또는 사용빈도를 기초로 각 공통점에 가중치를 다르게 부여하여 특정 공통점을 중요시하거나 배제할 수 있다.

여기서 강조되어야 할 것은, 지역 범위에서 조정좌표를 세계측지계 기준으로 변환하는 1차변환계산은 한 번으로 종료되지만, 도면 업데이트와 관련하여 구역 내 공통점의 등록좌표와 조정좌표 간의 변환관계, 즉 2차 좌표변환계산은 지속적으로 갱신 적용된다는 것이다. 도근점이든 필지경계점이든 공통점이 추가될 경우 좌표변환 관계를 갱신 적용함으로써 구역 내의 기존 성과를 조정좌표에 근거하는 성과에 더 접근하도록 업그레이드한다는 것이다. 이때 추가되는 공통점의 조정좌표를 산출함에 있어서는 지역의 조정계산에서 산출한 기존 공통점의 조정좌표를 고정하는 계산에 의한다. 이것은 삼변망조정계산의 고정조정계산에 해당한다. 이로써 기존 공통점의 조정좌표는 그대로 유지하되, 새로운 공통점의 조정좌표는 기존 공통점의 조정좌표와 정합하게 된다(양철수, 2014).

본 연구의 특징은 전역계산에서 구한 조정좌표와 좌표변환 관계를 모든 작업공정에서 그대로 활용한다는 것인데, 여기에는 다음의 전제조건이 있다. 조정좌표가 전역에서 상호 정합해야 하므로 조정좌표의 계산에 GNSS 관측성고를 활용하는 경우라면 이들 GNSS 성과가 상호 정합해야 한다는 것이다. 따라서, 여러 관측세션의 데이터를 사용하는 경우라면 세션 간 관측 환경의 차이 및 기선해석 시에 설정한 파라미터를 확인하여 GNSS 성과가 상호 정합하는지 점검해야 한다. 기선해석의 기점이 되는 GNSS상시관측소의 좌표, GNSS측지기준계인 ITRF좌표계의 변동 등에 대해서는 세심한 점검이 필수적이다.

GNSS 성과가 부정합하면 후속의 모든 작업결과에 부정적 영향을 끼친다. 따라서, 좌표변환작업을 실시

하기 위한 이전의 계획 단계에서 각 구역별로 최소 1 점씩을 선정하여 가능한 한 동일 세션의 관측 및 자료 처리를 통하여 정합하는 GNSS 성과를 확보할 수 있어야 한다. 새로운 관측성고를 이용하면 기존의 관측 성과를 점검 보정할 수 있다.

### 3. 적용 기술

#### 3.1. 삼변망조정계산

삼변망조정계산은 지역에 속하는 모든 공통점을 대상으로 지역측지계 기준의 조정좌표를 구하는 계산이다. 조정좌표란 세계측지계 좌표로부터 도출한 점간 관측거리에 정합하는 지역측지계 기준의 평면직각좌표(x, y)를 말한다. 조정좌표는 지역의 좌표변환관계를 구하고 도면별 보정도면을 작성하는 데에 활용된다.

삼변망조정계산은 지역측지계 기준 평면직각좌표계상에서의 거리를 관측치로 이용한다. GNSS 관측결과인 세계측지계 좌표를 이용하여 점간 경사거리를 구하고, 이로부터 베셀타원체면상의 거리를 구하고 평면투영에 따른 거리 즉 관측치로서의 평면거리를 산출한다. 조정계산은 관측 좌표평면거리에 합치하도록 관측점의 좌표를 결정하게 된다.

삼변망조정계산은 다음의 특성을 갖게 한다. 첫째, 조정계산시 지역의 중심부를 조정좌표계의 원점(0, 0)으로 설정한다. 이러한 설정은 관측거리를 평면직각좌표계에서의 평면거리로 환산함에 있어 두 점 간의 상대 위치에 따라 달라지는 점간거리증대율의 변화를 최소화한다. 조정계산 전역에 걸쳐 점간 평면거리의 균질성을 강화하는 것이므로, 넓은 지역에 걸쳐 점간 거리에 정합하는 기준점 좌표를 결정할 수 있다. 둘째, 지역의 특정 점에 대해서는 변동이 없도록 고정하는 계산처리를 할 수 있고, 셋째, 구속조건에 의해 지역망

전체의 형상을 유지하는 해를 구할 수 있다. 이로써 측량 관측점의 좌표를 지역의 측량체계에 알맞게 결정할 수 있다.

삼변망조정계산은 비선형방정식이어서 반복계산에 의해 수렴하는 해를 구하게 되므로 계산량이 많다. 지역의 많은 공통점을 처리해야 하는 경우에는, 우선 구역을 대표하는 점들의 좌표를 자유계산 방법으로 구하고, 다음으로 그 점들을 고정하여 나머지 점들의 좌표를 계산하는 고정계산 방법에 의해 전 지역에 걸쳐 정합하는 좌표를 구할 수 있다.

Figure 3은 삼변망조정계산에서 조정좌표계 설정의 개요를 나타낸다. 계산 지역의 중심을 원점으로 하는 새로운 좌표계를 설정한 것이다. 조정계산은 새로운 원점의 성과로 통일하여 실시하고 조정계산의 출력좌표는 투영계산에 의해 동부원점, 중부원점 등 원래의 실용 평면직각좌표로 환산 출력한다.

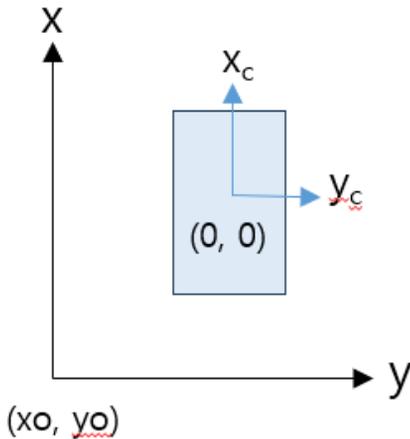


Figure 3. Trilateral Adjustment Coordinate System, Transformation Origin is set to Center of the Region

### 3.2 좌표변환계산

좌표변환관계에서는 공통점의 지역측지계 조정좌

표와 세계측지계 좌표의 변환관계를 도출한다. 양쪽 두 측지계의 좌표를 가진 공통점 간의 변환관계를 적용하여 그 외 다른 점들의 변환좌표를 구하게 된다.

「규정」에서는 4변수 Helmert 변환모델을 채용하고 있다. 이것은 상사형 변환이므로 도면의 형상을 유지한다. 종래의 도면을 최대한 그대로 세계측지계로 옮겨가는 데에 적합하다. 그러나 목표좌표계인 세계측지계 성과가 정확하다면 최대한 이에 근접토록 함이 마땅하다. 잘 정비된 틀에 맞도록 가져가는 것이므로 원도면에 내재된 오류를 보정될 수 있다. 따라서 좌표변환모델은 6변수의 비상사변환모델(Affine)을 채용하였다.

우리나라 전역에 대하여 좌표변환관계를 적용하여 지역측지계 좌표와 세계측지계 좌표의 경향적 차이를 보면, 평면직각좌표계에서 100km×100km 격자의 경우 동서 및 남북 성분의 차이가 10cm를 넘지 않는다. 또, 동서 및 남북 성분은 거의 같은 값의 차이를 갖는다(Yang and Yang, 2012). 공간적 범위가 10km×10km 이면 좌표 차이가 1cm 이내에서 일치하므로 지역측지계 도면과 세계측지계 도면은 합동에 가깝다. 즉, 이들 두 측지계에서 각 점들의 상대적인 위치관계는 거의 차이가 없다. 특히 Affine 모델은 비상사형(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(Yang CS, 2014).

즉, 변환차이가 작고 합동에 가까운 세계측지계 도면변환에서는 Affine모델이 필지에 보다 부합하는 결과를 가져온다. 아래는 한 필지를 대상으로 Helmert 변환과 Affine변환을 수행한 결과의 예이다.

Helmert변환결과 표준편차는 X:0.0096, Y:0.01004, Affine변환결과 표준편차는 X:0.0076, Y:0.00875이다. Helmert변환결과 RMSE는 0.0134 Affine변환결과 RMSE는 0.0111이다. 즉, 부합정도와

Table 5. Coordinate Transformation Result of a Parcel

No	Local_X	Local_Y	World_X	World_Y	Helmert_X	Helmert_Y	$\Delta X$	$\Delta Y$	Affine_X	Affine_Y	$\Delta X$	$\Delta Y$
1	348684.2	228924.9	348991	228996.3	348991.0	228996.3	<b>0.00</b>	<b>-0.01</b>	348991.0	228996.3	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
2	348689.7	228938.9	348996.5	229010.3	348996.5	229010.3	<b>-0.01</b>	<b>0.00</b>	348996.5	229010.3	<b>-0.01</b>	<b>0.01</b>
3	348674.0	228975.1	348980.7	229046.5	348980.7	229046.4	<b>-0.01</b>	<b>-0.01</b>	348980.7	229046.4	<b>0.00</b>	<b>-0.01</b>
4	348668.7	228994.7	348975.4	229066.0	348975.4	229066	<b>-0.01</b>	<b>-0.01</b>	348975.4	229066.0	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
5	348640.9	229058.5	348947.6	229129.8	348947.6	229129.8	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	348947.6	229129.8	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>
6	348511.0	229006.2	348817.7	229077.5	348817.7	229077.5	<b>-0.02</b>	<b>0.01</b>	348817.7	229077.5	<b>-0.01</b>	<b>0.00</b>
7	348541.8	228935.4	348848.5	229006.8	348848.5	229006.7	<b>0.01</b>	<b>-0.01</b>	348848.5	229006.7	<b>0.01</b>	<b>-0.02</b>
8	348552.5	228918.3	348859.3	228989.6	348859.3	228989.6	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	348859.3	228989.6	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>
9	348568.1	228882.6	348874.8	228954.0	348874.8	228954.0	<b>0.00</b>	<b>0.01</b>	348874.8	228954	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>
10	348582.1	228877.1	348888.8	228948.5	348888.8	228948.5	<b>-0.01</b>	<b>0.01</b>	348888.8	228948.5	<b>-0.01</b>	<b>0.00</b>
11	348629.9	228898.0	348936.6	228969.3	348936.6	228969.3	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>	348936.6	228969.3	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>
12	348647.1	228908.8	348953.8	228980.1	348953.8	228980.1	<b>0.02</b>	<b>0.00</b>	348953.8	228980.1	<b>0.01</b>	<b>0.00</b>
13	348684.2	228924.9	348991.0	228996.3	348991.0	228996.3	<b>0.00</b>	<b>-0.01</b>	348991.0	228996.3	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>

표준편차 모든 면에서 국지적 변환에는 Affine이 보다 실용적이다.

Figure 4는 지역좌표계 필지를 세계좌표계 필지로 좌표변환 할 때 Helmert 및 Affine변환 결과를 나타낸다. Helmert변환은 translation이 같고, Rotation이

없으므로 Scale만 적용받는다. 반면 Affine은 Scale과 Rotation, Shear가 적용받아 보다 필지에 부합하는 변환계산을 한다.

Figure 5는 좌표변환계산의 흐름도를 나타낸다. 공통점 좌표의 변환관계는 두 가지 관계를 도출한다. 하

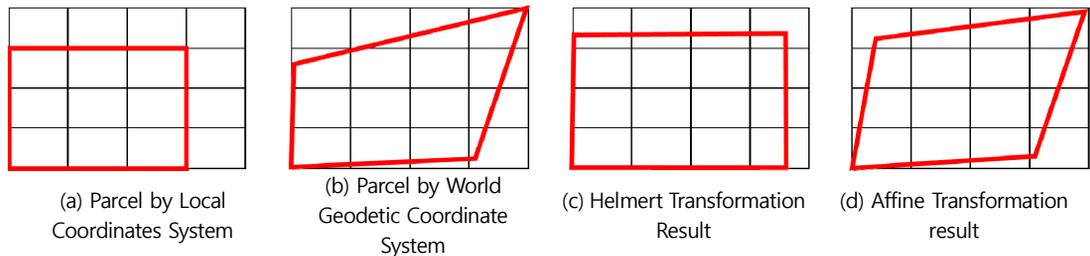


Figure 4. Helmert and Affine Transformation

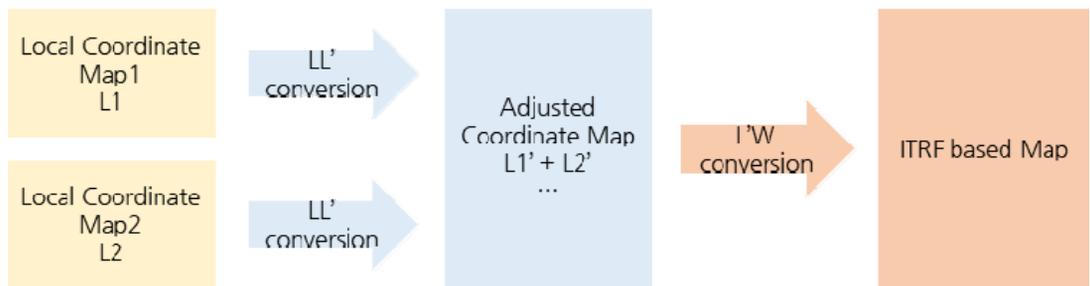


Figure 5. LL' Coordinate Conversion and L'W Coordinate Conversion of Local Coordinate Map

나는 시·군·구 등 변환지역 전역에서 지역측지계와 세계측지계의 변환관계(이하, “L’W지역변환”이라 함)이고, 다른 하나는 도면(또는 지구)에서의 지역측지계 상호간의 변환관계(이하, “LL’도면변환”이라 함)이다. L’W지역변환은 지역의 모든 공통점을 대상으로 조정좌표(L)와 세계좌표(W)와의 관계를 구한다. LL’도면변환은 각 도면별로 해당 도면에 속하는 모든 공통점을 대상으로 등록좌표(L)와 조정좌표(L)와의 관계를 구한다.

좌표변환관계를 도출함에 있어서는 공통점마다 중량을 다르게 적용할 수 있다. 개별 도면을 대상으로 하는 LL’도면변환의 경우에는 특정 공통점을 중시하거나 영향을 최소화하는 처리를 한다. 지역의 측량체계를 고려하여 사용빈도가 많은 점에 대해서는 중량을 크게 부여하고 위치가 불명확한 점 등에 대해서는 중량을 작게 부여할 수 있다. 이를 지원하기 위한 시스템적 요소도 고려되어야 할 것이다.

### 3.3 삼변망조정계산과 좌표변환계산의 정합성

모든 공통점의 조정좌표가 세계측지계 좌표에 정합하도록 도출된 경우라면 조정좌표를 세계좌표로 변환한 결과와 변환에 사용한 세계좌표는 차이가 없다. 즉, 좌표변환의 잔차가 0 이 된다. 세계측지계 좌표를 조정좌표로 역변환하여 비교하더라도 결과는 같다.

Figure 6는 조정된 좌표<sup>3)</sup>와 변환된 좌표<sup>4)</sup>의 정합을 확인하기 위한 것으로서, 서울특별시 은평구의 동서 및 남북 3km 지역에 소재하는 817점의 공통점(도근점)에 대한 수치계산의 결과를 나타낸다. 그림의 벡터 표시는 각 점에서 변환된 좌표와 조정된 좌표의 차이를 나타낸다. 좌상단의 화살표로 표시한 벡터의 크기는 1cm로서 그림을 보면 거의 모든 점에서 좌표변환의 잔차가 1cm 이내로서 0에 근접한다고 볼 수 있다.

세계좌표에 정합하는 조정좌표를 도출 활용한다는 것은 모든 보정작업을 지역측지계 상에서 수행하고 최종 결과를 세계측지계로 변환하는 “선보정 후변환”

작업이 가능함을 나타낸다. 한편 조정좌표의 계산에 많은 시간이 소요된다는 우려가 있으나 3th Gen Intel(R) Core(TM) i7-1360P 2.20 GHz 스펙의 노트북을 이용한 경우 5초 정도의 소요시간에 불과하였다. 계산 소프트웨어의 작성은 파이썬(python) 언어에 하였다.

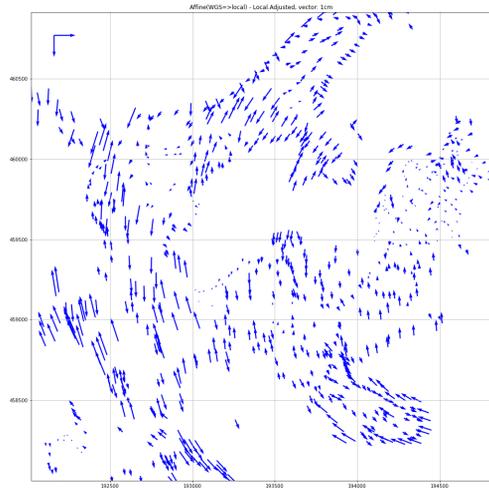


Figure 6. Residuals between Adjusted Coordinates and Transformation Coordinates for the Regional Common Points(Transformation Coordinates-Adjusted Coordinates)

## 4. 보정도면 작성 - 도곽변위의 검출과 보정

보정도면이란 세계측지계 좌표변환에 들어가기에 앞서 지역측지계 도면의 오류를 보정한 도면을 의미한다. 도면 또는 구역 단위로 공통점의 조정좌표에 맞도록 등록좌표를 보정하여 지역측지계 도면의 품질을 개선하는 작업이다. 이 작업은 도면성과의 보정으로 이루어진다. 원본도면에 전개된 측량성과에 대하여 조정좌표를 참조하여 도면별로 1차 보정도면을 작성하고, 작성된 1차 보정도면에 대하여 인접도면과 연속

하는 도면으로 작성하기 위한 2차 보정을 실시한다.

1차 보정도면을 작성하는 작업은 도면별로 공통점의 등록좌표(L)와 조정좌표(L')와의 변환관계(LL'도면변환)를 도면의 모든 점에 적용하는 것이다. 지역의 조정좌표에 맞게 도면을 변환하면 도곽점의 변위를 가진 도면이 된다. 도곽점은 변경할 수 없는 값이므로 도곽점을 복제한 도면경계점으로 인식할 수 있다. 도면경계점은 도면의 최외곽에 위치하므로 변환계산의 영향을 가장 크게 받는다. 따라서, 도면경계점 좌표의 변위는 해당 입력도면이 지역 기준의 도면에서 벗어나는 최대변위가 된다.

개발도상국 중 도곽이 부재한 도면의 경우는 변환 전 도면범위를 포괄하는 도곽을 일정한 규칙에 의해 구획하고 작업할 수 있다.

도면경계점 좌표 변위의 크기는 입력도면의 품질을 판단할 수 있는 중요한 지표이다. 이것은 공통점 좌표의 잔차로 변환결과의 적부를 판정하는 것과 크게 다르다. 도면 단위의 평가로서 도면의 총체적 특성을 판단할 수 있기 때문이다. 도면경계점 좌표 변위의 허용범위는 측량 오차 등으로 정할 수 있다. 허용범위를 벗어나는 도면에 대해서는 새로운 공통점을 추가하는 등의 처리를 통해 해당 도면을 점검하여 별도 처리 여부를 결정한다.

2차 보정도면을 작성하는 작업은 1필지가 도곽선에

나닌 필지 등 1필지화가 필요한 필지를 대상으로 한다. 보정방법은 1차 보정방법과 동일하나 구역을 포괄하는 조정좌표를 이용하여 원근투영(perspective projection) 또는 Helmert 변환에 의해 인접하는 도면을 2차 보정도면으로 이어 지역의 연속도면을 작성할 수 있다.

Figure 7은 지역측지계 기준 보정도면 작성의 개념을 설명한다. Figure 6(a)는 입력도면, Figure 6(b)는 1차 보정도면, Figure 6(c)는 2차 보정도면을 나타낸다. Figure 6(a)의 입력도면은 부정합 기준점에 기초하여 작성된 도면이다. Figure 7(b)의 1차 보정도면은 도면의 등록좌표와 조정좌표와의 변환관계를 입력도면의 모든 점에 적용하여 도면경계점을 포함하여 작성한다. 1차 보정도면은 기준점 오류 보정에 따른 도면이며 2차 보정도면은 도면간 정합보정을 한 연속도면을 의미한다.

## 5. 세계측지계 변환

### 5.1. 변환결과 검증

도면변환의 최종 작업은 지역측지계 기준의 보정도면을 세계측지계 도면으로 변환하고 계산결과의 적합성을 검증하는 것이다. 세계측지계 도면으로 변환하

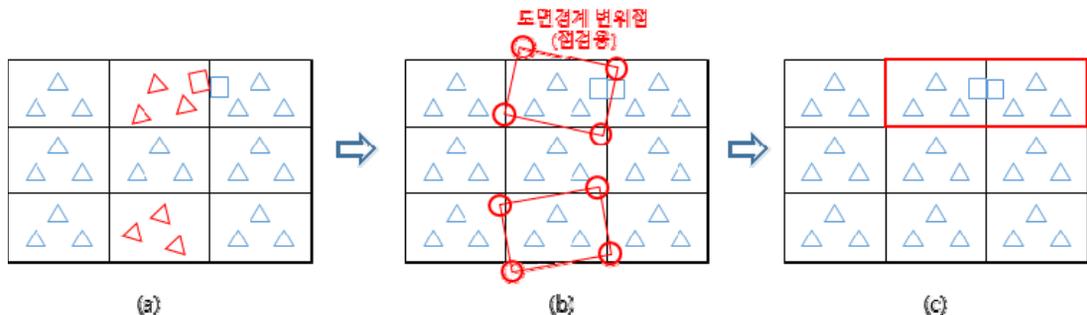


Figure 7. Adjusted Map by Local Coordinate System (a) Input Mpa (b) 1st Adjusted Map (c) 2nd Adjusted Map

는 작업은 다음 두 가지 방법에 따를 수 있다. 하나는 모든 공통점을 이용하여 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표간의 변환관계(L'W지역변환)를 구해 모든 보정도면에 한꺼번에 적용하는 것이고, 다른 하나는 각각의 보정도면 또는 그 주변의 일부 공통점들로부터 변환관계(L'W도면변환)를 구해 각각의 도면별로 적용해나가는 방법이다.

두 가지 변환계산의 결과는 같다. 이것은 삼변망조정계산의 결과인 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표가 정합하는 데에 기인한다. GNSS 관측 결과를 이용하여 구한 조정좌표는 세계측지계 좌표의 반사체이기 때문이다. 따라서 임의의 공통점을 변환계산에 활용하더라도 조정좌표를 세계측지계로 변환하면 좌표변환의 잔차가 거의 0이 된다. 공통점의 지역측지계 조정좌표가 잔차없이 세계측지계 좌표로 변환되기 때문이다.

작업결과의 적합성을 검증하는 또 하나의 유효한 수단은 좌표변환계산의 가역성이다. 세계측지계 도면을 역방향으로 좌표변환하면 지역측지계의 보정도면과 일치한다. 정변환의 경우와 마찬가지로 임의의 공통점의 세계측지계 좌표를 역변환하면 조정좌표가 그대로 도출되는 것으로 확인할 수 있다. 좌표변환계산의 정·역 변환관계는 변환 전·후 도면의 반사적 업데이트에 활용된다.

지역 크기를 달리하더라도 변환결과가 같아야 한다는 것은 본 연구에서 제시하는 작업과정이 정확하게 작동되는지 검증할 수 있게 한다. 작업 종료 후 최종 결과로부터 임의의 지역을 샘플링하여 보정도면을 세계측지계 도면으로 변환하여 정합성을 확인하거나 역으로 세계측지계 도면을 변환하여 지역측지계의 보정도면과 정합하는지 확인하는 것이다. 이로서 조정계산과 보정도면의 작성, 좌표변환관계 등 일련의 과정에 대한 적합성을 점검할 수 있다.

실제 업무처리와 관련지어 보면, 지역을 커버하는 공통점의 조정좌표를 구하고, 세계측지계 좌표와의

변환관계를 구해 놓은 것으로 후속 작업의 결과를 평가할 수 있으므로 작업 관리가 용이하다. 한번 정한 공통점 데이터를 보정도면의 작성에 활용하고, 작성한 보정도면을 세계측지계 도면으로 변환하고, 변환결과와의 적합성을 평가하는 데에까지 이르기 때문이다.

## 5.2. 도면 업데이트

좌표변환작업이 완전 종료되기 이전 단계에는 지역에 따라 종래의 도면과 세계측지계 도면을 혼용해야 하는 경우가 발생한다. 이러한 상황에서 새로운 관측자료가 추가될 경우라면 두 측지계 도면 간에 적합한 업데이트를 수행할 수 있어야 한다. 도면변환 작업이 종료되었다 해도 종래의 도면을 업데이트해 나가는 것이 이상적이다.

현실적으로 지적도면의 세계측지계 변환에는 오차가 있으므로 도면과 현장 간에는 부분적으로 크고 작은 위치의 불부합이 있을 수 밖에 없다. 부분적 위치의 불부합은 이웃 필지에 전파되어 더 큰 불부합을 발생시키는 요인이 된다. 따라서 세계측지계 변환도면을 지적측량 현장에 적용함에 있어서는 초기부터 오류 발생 상황을 면밀히 모니터링하여 필요한 부분은 재측량(기준점의 세계좌표 취득 포함) 등을 통해 정비를 시행하여야 한다(원영길·홍성언, 2023).

관측자료의 추가에 따른 업데이트는 도면 단위로 수행한다. 업데이트 작업은 보정도면과 세계측지계 도면과의 가역적 변환관계를 이용한다. 좌표변환계산의 가역성을 이용하면 두 측지계 도면을 동일 수준으로 품질 향상시킬 수 있으며, 누적 업데이트를 통해 지역 전체의 완성도를 높일 수 있다.

새로운 GNSS 관측점이 추가되는 경우라면 해당 공통점이 속하는 세계측지계 도면을 역으로 좌표변환하여 지역측지계 도면을 업데이트할 수 있다. 지상측량 관측점이 추가되는 경우에는 보정도면 기반의 측량성

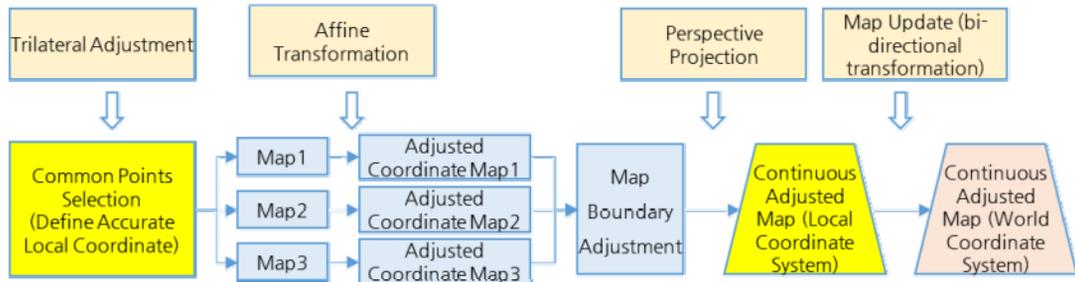


Figure 8. Continuous Map Making and Update Procedure

과를 작성하고 이 도면을 변환하여 세계측지계 도면으로 할 수 있다. Figure 8은 앞서 기술한 작업과정을 종합하여 나타낸다.

## 6. 미세조정

본 연구의 세계측지계 도면은 공통점의 좌표변환과 도면경계점의 변환을 통하여 작성된 하나의 연속된 수치도면이라 할지라도 인접도면에 걸친 필지의 경우 미세한 필지경계선 접합오류가 발생할 수 있다. 필지 경계선의 이동은 필지의 형상을 변화시키고 필지면적의 변동을 가져온다. 경계점 위치와 필지형상 그리고 필지면적은 따로 떼어서 취급할 수 없다. 공부상 필지면적은 필계점의 위치에 근거하여 계산된 것으로 측량 당시의 필계점 성과에 가장 합치하기 때문이다. 따라서 공부면적에 맞게 도곽에 나눈 필지의 필계점의 위치를 법이 정한 범위내에서 미세조정하고 접합할 수 있어야 일련의 과정이 이상적으로 마무리된다.

이와 관련해서는 최소제곱법에 의한 수치실험 결과를 참고할 만하다(양철수, 2023). 계산에 들어가는 모든 필지에 대하여 경계점좌표로 계산되는 필지의 계산면적과 공부면적이 일치하도록 모든 경계점좌표의 보정량을 일시에 구하는 방법이다. 이 과정에서는 특정 필지의 경계점 또는 구역을 구분짓는 경계점의 특성을 반영할 수 있다. 예를 들어, 도로 양편에 위치하는 경계점의 경우 좌표변동이 없도록 하는 것이다. 특

정 경계점을 고정하는 처리를 활용하면 구역별 조정 후 구역간 접합이 가능하므로 넓은 지역에 걸쳐 필지의 경계점좌표와 면적이 합치하는 고품질의 연속도면을 작성할 수 있다.

## 7. 결론 및 논의

본 연구는 개발도상국 지적도면을 대상으로 세계측지계로 변환함에 있어, 작업과정에서 지적도면의 품질향상이 이루어져야 하고, 작업 후 변환결과의 업데이트가 용이해야 한다는 것을 목표로 하였다. 이 작업은 (1) 삼변망조정계산에 의해 공통점의 지역측지계 조정좌표를 구하는 단계, (2) 부등각사상변환에 의해 공통점의 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표의 변환관계를 구하는 단계, (3) 공통점의 조정좌표에 맞도록 지역측지계 도면을 보정하는 단계, (4) 공통점의 변환관계를 적용하여 보정도면을 세계측지계 도면으로 변환하는 단계 및 (5) 새로운 자료의 축적에 따라 도면을 업데이트하는 단계로 구성된다.

변환에 앞서 물리적으로 노후된 종이도면의 품질을 향상시키는 기술은 공통점의 정확한 지역측지계 좌표의 산출에 기초한다. 지역을 구성하는 각 도면 별로 3점 이상의 공통점을 확보하고, 이들 점에서의 세계측지계 좌표를 이용하여 점간거리와 좌표가 정합하는 지역측지계 조정좌표를 산출 활용하는 것을 특징으로 한다. 기존의 등록 성과를 조정좌표에 최대한 접근토

록 함으로써 기존 도면의 품질향상을 기하는 것이다. 이 기술은 삼변망조정계산과 부등각사상변환에 의한 좌표변환 계산을 병합 활용하는 것으로 구현한다.

본 연구에서 제시하는 작업공정은 다음의 2가지 기술적 요소에 의해 안정적이고 효율적 결과를 도출할 수 있다. 첫째, 개발도상국 행정구역의 지역 전체를 총괄하는 공통점의 조정좌표는 한번 정해놓은 그 값이 유지된다. 따라서, 지역의 모든 공통점에 대한 조정좌표와 세계측지계좌표와의 변환관계, 즉 1차변환관계 역시 재계산을 요하지 않고, 한번 정해진 것을 후속 작업에 계속 적용한다는 것이다. 둘째, 공통점의 지역측지계 조정좌표와 세계측지계 좌표 간의 변환계산은 부등각변환모델(Affine transform)에 의하며, 이 계산에서는 중요도 또는 사용빈도를 기초로 각 공통점에 가중치를 다르게 부여하여 특정 공통점을 중요시 하거나 배제할 수 있다.

이를 바탕으로 하는 “선보정 후변환” 작업 방법은 수치지역에 대한 좌표변환에 엄밀을 기하기 위한 방안으로서, 특히 개발도상국 행정구역 등 일정 지역 범위에서 인접 구역 또는 지구계 간의 이격 중첩을 최소로 하는 도면 작성을 도모한다. 세계측지계 변환 이전 /이후의 보정도면과 변환도면을 상호 유기적으로 업데이트할 수 있는 기술은 기 제작된 도해지역 도면의 품질향상에도 적용할 수 있다. 이로써 도해지역과 수치지역이 합치하는 작업을 지속하면, 궁극적으로는 해당 국가 전역에 걸쳐 정합하는 세계측지계 도면을 작성할 수 있다.

그러나, 구역 또는 지역 간 경계선을 일치시킨다 해도 양쪽 구역 또는 지역에 걸치는 필지 경계선이 보존되는 것은 아니다. 본 연구의 세계측지계 도면은 공통점의 좌표변환과 도곽점의 변환을 통하여 작성된 하나의 연속된 수치도면이지만, 인접도면에 걸친 필지의 경우 필지경계선이 어긋나 있다. 따라서 해당 국가의 법제도가 정한 공부관리 지침에 부합하도록 정한 범위 내에서 필계점의 위치를 조정하고 접합하는 작

업이 뒤따라야 일련의 과정이 마무리된다. 경계점좌표와 필지면적 간의 관계 또한 경계점조정계산을 실시하여 지역 전역에 걸쳐 명실상부한 고품질의 연속도면이 작성될 것으로 기대한다.

본 논문에서 제시한 방법이 체계화 된다면 개발도상국의 지적제도 개선 및 지적도면 품질향상에 대한 표준화된 절차가 될 수 있다.

본 연구의 한계로는 실제 개발도상국의 지적도면을 대상으로 세계측지계 변환실험을 수행하지 못한 한계로 인해 개발도상국이 직면하고 있는 다양한 사례를 경험하지 못하였고 개발도상국 전체의 세계측지계 변환을 대표하기는 어렵다는 한계가 있다. 향후 후속 연구에서는 실제 개발도상국의 지적도면을 대상으로 다양한 유형의 특성과 세부 요인들을 고려한 분석이 필요한 것으로 판단된다.

- 주1. SRGI2013: SistemReferensiGeospasialIndonesia2013
- 주2. “선보정 후변환” 방식이란 기존의 측량과 도면체계 상에서 자료를 정비하는 데에서 출발한다. GNSS 성과를 최대한 활용하여 기존 체계상에서 기준점 성과를 정비하고, 기준점 성과에 맞게 도면성과를 보정 후 공통점을 최대한 활용하여 도면 단위 또는 구역 단위로 도면의 품질을 향상시켜 세계측지계 도면으로 변환하는 것이다.
- 주3. 모든 공통점을 일시에 조정계산하여 구한 지역측지계 좌표
- 주4. 세계측지계 좌표를 Affine 변환모델로써 지역측지계 좌표로 변환한 좌표

## 참고문헌

## References

- 권윤형, 임재형, 윤희천. 2018. 수치지역과 구소삼각지역의 세계측지계 좌표변환에 관한 연구. 한국지적학회지, 34(1):19-33. DOI : 10.22988/ksc.2018.34.1.002
- Yoon-Young Kwon, Jae-Hyoung Lim, Hee-Cheon Yun. 2018. Coordinate Transformation of

- Cadastral Map according to World Geodetic System Transformation. Journal of Korea Society of Cadastre, 34(1):19-33
- 김근배, 정구하, 전정배. 2019. 지적공부의 세계측지계 변환에 따른 문제점 및 개선방안, 지적과 국토정보, 49(2):123-134
- Geun-Bae Kim, Gu-Ha Jeong, Jeong-Bae Jeon. 2019. Problems and Improvement Measures for the transformation of World Geodetic System. Journal of Cadastre & Land Informatics, 49(2):123-134
- 김창환, 이원희, 서민식. 2016. 지적도 세계측지계 변환을 위한 공통점 적용의 문제점 및 개선방안에 관한 연구, 한국지적정보학회지, 18(2):61-71
- Chang-Hwan Kim, Won Hui Kim, Min Sik Seo. 2016. A study on Improvement and Problem of Application method using common points for the World Geodetic Coordinate Transformation of Cadastral map. Journal of Korean Cadastre Information Association, 18(2):61-71
- 원영길, 홍성언. 2023. 세계측지계 변환성과를 이용한 지적측량의 오류 유형 분석, 한국지적학회지, 39(3):155-166. DOI : 10.22988/ksc.2023.39.3.011
- Won, Young Gil & #8228; Hong, Sung Eon. 2023. Error Type Analysis of Cadastral Surveying Using World Geodetic System Transformation Results. Journal of Korea Society of Cadastre, 39(3):155-156
- 백규영, 최운수. 2020. 지적 입야도 자료정비 사업의 문제점 및 개선방안 연구, 지적과 국토정보, 50(1): 63-73. DOI : 10.22640/lxsiri.2020.50.1.63
- Baek KY, Choi YS. 2020. A study on the Problems and Improvement Plan of Cadastral Map Data Maintenance Project. Journal of Cadastre & Land Informatics, 50(1):63-73.
- 양철수, 강상구, 송원호, 이원희. 2024. 좌표변환 공통점의 지역측지계 조정좌표 산출. 지적과 국토정보, 54(1):103-115. DOI: 10.22640/LXSIRI.2024.54.1.103
- Yang CS. 2024. Calculation of Local Coordinate of Common Points for Coordinate Transformation by Trilateral Adjustment. Journal of Cadastre & Land Informatics, 54(1):103-115
- 양철수. 2023. 지적재조사사업의 필지면적 차이를 최소화하는 조정계산 방법 연구. 한국지적정보학회 추계논문발표회
- Yang CS. 2023. Parcel boundary point Adjustment to minimize differences area error for cadastral resurvey projects. Korean Cadastral Information Society Fall Conference
- 양철수. 2014. 지적도면의 세계측지계 좌표변환 프로세스에 대한 연구. 한국측량학회지, 32(4-2):401-412. DOI : 10.7848/ksgpc.2014.32.4-2.401
- Yang CS. 2014. Development of the Process of Coordinate Transformation of Local Datum Cadastral Map to World Geodetic System. Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography, 32(4-2):401-412
- LX한국국토정보공사. 2017. 튀니지 토지관리 인프라 혁신 마스터플랜 수립. 국토교통부
- LX, 2017, Master Plan for Tunisia's Land Management Infrastructure Innovation. Ministry of Land, Infrastructure and Transport
- Meas Bunthoeun, 2016, Geodetic Network in Cambodia. Geospatial and GNSS CORS Infrastructure Forum
- Guido Alejandro Gonzalez Franco, 2006, Change from ITRF92 Epoch 1988.0 to ITRF2000 Epoch

- 2004.0 in Mexico, XXIII FIG Congress
- Huaan Fan, Akylbek Chymyrov. 2015. Coordinate transformation between SK-63 and ITRF in Kyrgyzstan. GISCA 2015
- Wen Hanjiang, 2012, Modernization of National Geodetic Datum in China. Nineteenth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific, UNITED NATIONS E/CONF.102/IP.16
- Mohammed Abdur Rouf Howlader, 2011, Geodetic Infrastructure and Reference Frame of Bangladesh. Survey of Bangladesh
- Yoon-Young Kwon, Jae-Hyoung Lim, Hee-Cheon Yun. 2018. Coordinate Transformation of Cadastral Map according to World Geodetic System Transformation. Journal of Korea Society of Cadastre, 34(1):155-156. DOI: 10.22640/LXSIRI.2019.49.2.123
- Sammy Mwangi Matara, 2022, A Review of the History and Development of the Kenyan Geodetic Reference Frame, FIG Congress 2022
- Ministry of Natural Resources & Environmental Conservation, 2016, Current Work Flows of Survey Department. Myanmar Spatial Data Platform Conference
- Peter C. Nwilo, 2013, The Nigerian Geocentric Datum (NGD2012): Preliminary Results. FIG Working Week 2013
- Vivian de Oliveira Fernandes, 2010, Implications for the Adoption of Global Reference Geodesic System SIRGAS2000 on the Large Scale Cadastral Cartography in Brazil, FIG Congress 2010
- Kari Suominen, 2011, Strengthening National Geographic Services in Lao PDR, FIG Working Week 2011
- Hoa Pham Thi, 2019, Determination of the relationship between Vietnam national coordinate reference system (VN-2000) and ITRS, WGS84 and PZ-90. ISGNSS 2018. DOI: 10.1051/e3sconf/20199403014
- Richard Wonnacott, 1999, The Implementation of the Hartebeesthoek94 Co-ordinate System in South Africa, Survey Review
- Hasanuddin Z. Abidin, Susilo Susilo, Irwan Meilano. 2016. On the Development and Implementations of the New SemiDynamic Datum for Indonesia. IAG 150 Years. DOI: 10.1007/1345\_2015\_83
- 
- 2024년 10월 24일 원고접수(Received)  
2024년 11월 8일 1차심사(1st Reviewed)  
2024년 11월 22일 2차심사(2st Reviewed)  
2024년 12월 6일 게재확정(Accepted)

## 초 록

개발도상국을 대상으로 좌표변환계산을 활용하여 지적도면의 품질을 향상하고 연속도면을 작성하는 방법을 제시하였다. 지역측지계 도면을 세계측지계 도면으로 변환 작성하는 데에 있어, 첫째, 삼변망조정계산에 의해 공통점의 지역측지계 조정좌표를 산출하는 단계, 둘째, 조정좌표에 맞도록 지역측지계 도면을 보정하여 보정도면을 생성하는 단계, 셋째, 조정좌표와 세계측지계 좌표의 변환관계를 도출하는 단계, 넷째, 좌표변환관계를 보정도면에 적용하여 세계측지계 도면으로 변환하는 단계를 구현하였다. 비상사모델을 채용한 좌표변환계산의 공통점인 지역측지계 조정좌표는 좌표변환계산의 엄밀을 기하고 도면의 품질향상을 도모하는 역할을 한다. 본 논문은 개발도상국의 지역측지계 도면의 세계측지계 변환, 또는 도면의 품질향상에 기여할 것으로 기대한다.

---

주요어 : 삼변망조정, 좌표변환, 지적도면의 품질향상, 세계측지계