

# 국가 GIS와 연계를 위한 지적기준점의 세계측지계 변환 실험

## Experiments on Transform of Cadastral Control Points to the New Korea Geodetic Datum for Connecting with National Geographic Information System

송동섭<sup>1)</sup> · 윤홍식<sup>2)</sup> · 황진상<sup>3)</sup>

Song, Dong Seob · Yun, Hong Sic · Hwang, Jin Sang

### Abstract

Cadastral control points in Korea are referred to various origins, for example an early separated small triangulation, a separated small triangulation, a separated control surveying origin and an unified origin. Cadastral map with early separated small triangulation origin have difficulties to connect with national GIS data by referred an unified origin. We determined transformation parameters from old origin to unified origin using 2D conformal transformation method. To evaluate of transformation accuracy, we compared with GPS field surveying results. And we experiment on coordinate transformations with unified results between the local geodetic datum and the new Korea geodetic datum.

Keywords : Cadastral control point, New Korea Geodetic Datum, 2Dimensional Conformal Transformation

### 초 록

우리나라의 지적기준점은 구소삼각원점, 특별소삼각원점, 특별도근측량원점 및 통일원점 등 다양한 원점체계를 기준으로 하고 있다. 이러한 다양한 원점체계를 가진 수치지적도는 통일원점을 기준으로 하는 국가 GIS 데이터와의 연계에 어려움을 가지고 있다. 본 연구에서는 구소삼각원점에 기준한 지적기준점 성과를 통일원점을 기준한 성과로 변환하기 위한 실험을 실시하였다. 변환 방법은 2차원 등각변환에 의한 변환 매개변수를 산출하고 이를 적용하여 간접변환한 성과를 GPS로 측량한 성과와 비교하였다. 또한 통일원점 기준의 지적기준점 성과를 세계측지계 기준의 성과로 변환하기 위한 최적합 실험을 실시하였다.

핵심어 : 지적기준점, 세계측지계, 2차원 등각변환

## 1. 서 론

현재 국내 측량체계는 측지측량과 지적측량으로 이원화되어 있으며 제도적으로 측량법과 지적법을 별도로 제정하여 시행·운영하고 있다. 전 세계가 단일 좌표체계로 전환해 가고 있는 국제적인 흐름에서 좌표체계가 이원화되어 운영되는 것은 국가적인 측면에서 볼 때 효율적인 국토관리와 각종 공간정보 취득이 일원화 되지 못하는 것을 의미한다. 종전의 측량법에서는 2007년부터 세계측지

계를 전면 사용하도록 되어 있었으나 일부기관에서 준비가 미흡하여 전면 사용하기가 곤란함에 따라 전면 적용시점 연장을 위해 측량법을 개정(법률 제8071호, 2006.12.20)한 바 있다. 개정된 법률에 따라 실질적인 효력이 발생하도록 측량법 부칙 제2항의 경과조치 규정에 의거 세계측지계 전면 사용시점을 3년 연장되도록 고시하고 있다. 따라서 국가 좌표체계가 세계좌표계로 전환되는 이 시점이 지적 분야의 기준점체계를 새로운 좌표체계로 전환하기 위한 기회이며, 지형도와 지적도에 통일된 좌표를 부여하여

1) 정희원 · 성균관대학교 과학기술연구소 책임연구원, 공학박사(E-mail:frydom@skku.edu)

2) 연결저자 · 정희원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 부교수, 공학박사(E-mail:yoons@skku.edu)

3) 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, 공학석사(E-mail:gpsboy@geo.skku.ac.kr)

국가지리정보(NGIS)의 기본 자료로 활용될 수 있는 연구가 필요하다. 본 연구는 국가 좌표체계를 세계좌표계로 전환하고자 하는 국가적 정책에 부흥하고 지적 분야에 세계측지계 도입을 통해 수치지적도와 국가 GIS 데이터인 수치지형도를 동일 좌표체계로 표현하기 위한 지적기준점의 전환 기초 연구 결과를 제시함을 목적으로 한다.

## 2. 기준점 체계의 이원화

우리나라 평면위치의 기준이 되는 삼각점은 주로 일제 시대에 설치되어 그 후 6.25 전쟁을 거치면서 파괴 또는 망실이 되었다. 이러한 삼각점의 상태를 조사하기 위하여 전국을 대상으로 1958년 4월 19일(대통령령 제 1363호) 국방부 지리연구소가 발족되어 국가기본도 제작을 위한 기초 측량의 일환으로 서남해안 도서지구를 포함하여, 1, 2등 삼각점을 대상으로 실시하게 되었다. 그 후 서해안 육지지역으로 점차 확대하여 전국적으로 실시하고 점차적으로 3, 4등 삼각점도 계속 실시하게 되어 이를 토대로 삼각점 복구 계획을 수립하였다(국토연구원, 2003). 해방 이후 설정된 대삼각점과 소삼각점은 해방 이후에 명칭을

변경하였는데 대삼각본점과 보점을 각각 1등 삼각점과 2등 삼각점으로 소삼각 1, 2등점을 3등 삼각점과 4등 삼각점으로 변경하였다. 삼각점의 응급 복구 사업은 삼각점 성과의 혼란을 가져오는 계기가 되었다. 복구 사업을 실시하면서 삼각점 성과가 틀리는 일이 발생되었으며, 이로 인해 행정자치부에서는 1975년 개정된 지적법에 따라 토지조사사업 당시의 성과와 표석을 기준으로 지적삼각점을 신설하여 그 성과를 등록·관리하도록 하였다(임일식 등, 2003). 이후 건설교통부에서는 새로운 측량기술의 확보를 통해 삼각점 정비와 성과갱신 사업(정밀1,2차 정비사업)이 추진되어 높은 정확도 향상을 이루고 있으나, 지적삼각점은 1910년대의 작업방식과 거의 동일한 방법과 정확도를 유지하였기 때문에 그 정도가 4등 삼각점과 거의 유사한 수준에 있다고 보고 있다(국토지리정보원, 2003).

현재 지적분야에서 사용되는 원점좌표계는 통일원점, 구소삼각원점, 특별소삼각지역 원점 등 다양한 좌표계의 구성으로 각 좌표계 간의 도곽 연결이 곤란하며, 원점 체계마다 서로 다른 측량성과를 보유함으로써 통일된 좌표계를 기반으로 지적 성과를 정립하기가 어려운 것이 실정이다(유복도 등, 2000). 또한 각 원점지역에 따라 사용단

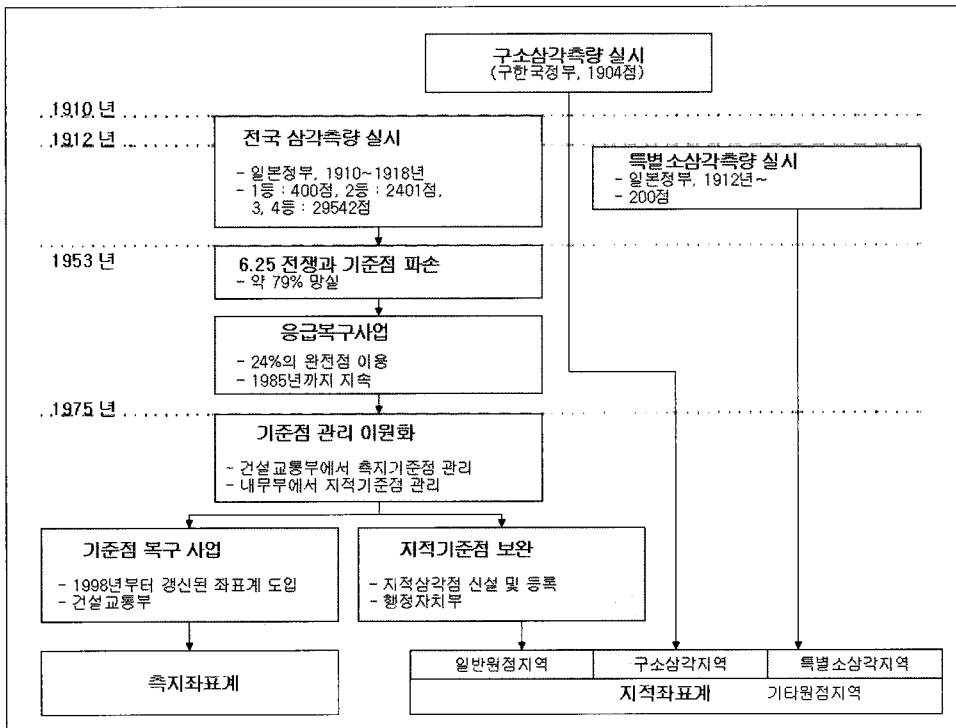


그림 1. 측지기준계와 지적기준계의 이원화 과정

위가 미터법(m)이나 간(間) 등 다양하여 통일된 단위표시에 어려움이 많았고, 원점좌표계마다 서로 다른 측량정확도로 운영되어 좌표변환 요소의 통일성을 찾기가 매우 난해하다. 특별소삼각점은 후에 변칙적인 방법으로 계산하여 통일원점과 연결하였기 때문에 정확도에 불합리한 점이 있었다. 삼각점의 응급 복구 사업을 통해 기준점 관리체계의 이원화가 발생된 이후부터 국가삼각점과 지적삼각점의 성과는 구성과를 사용하고 있었다(국토지리정보원, 1998). 1998년 이후 건설교통부의 정밀 1차 기준점 측량 사업을 통해 실용성과가 계산되어 공표된 이래 건설교통부에서 관리하는 국가삼각점은 신성과와 구성과가 혼용되고 있다. 그러나 3대 원점 기준의 지적기준점 성과는 측지분야에서 1998년 이전에 주로 이용한 구성과에 해당되고 있는 실정이다. 더구나 측지분야에서는 2003년부터 세계측지계를 도입하여 좌표체계의 전면적인 개정을 이루고 있는 것이 현실이나 아직 지적분야에서는 전환이 미흡한 상태이다. 따라서 지적분야에서는 통일된 기준의 지적좌표계로의 전환이 이루어진 후에 세계측지계 기준의 변환이 수행되어야 한다. 그림 1은 측지기준계와 지적기준계의 이원화 과정을 요약한 것이다.

### 3. 지적기준점의 통일화 변환 실험

#### 3.1 시범지역의 선정

지적측량에서 보편적으로 사용하는 측량원점은 일반통일원점, 구소삼각원점, 특별소삼각원점 등으로 구분하여 운영되고 있다. 이러한 측량원점의 다양성은 국지적인 지적관리에는 큰 지장이 없으나 측량단위와 성과가 통일되지 못하였기 때문에 서로 다른 좌표계가 접하는 부분에서는 차이가 필연적으로 발생하게 된다. 즉 측량의 기준이 되는 원점이 지역별로 유지·관리되어 상이한 측량 성과를 보유하게 된다. 따라서 각각의 원점에 따라 관리되고 있는 지적기준점 자체에는 계통적인 위치오차가 포함되어 있다. 구소삼각지역 및 특별소삼각지역의 경우, 기준점의 설치시기가 구한말 시대이며, 기준점 설치 시 측량 방법 및 성과산출 방법이 정확하지 못하여 상대적으로 큰 오차를 내재하고 있다. 따라서 이러한 지역에서 관리되고 있는 지적기준점의 오차 크기를 정확히 파악하고, 이러한 오차를 최소화 할 수 있는 방안 마련이 필요하다.

본 연구에서는 11개의 구소삼각지역 중에서 계양원점을 기준으로 하고 있는 인천광역시 계양구와 부평구 지역을 시범지역을 선정하고, 대상 지역에 위치한 지적기준점

에 대하여 GPS 측량을 실시하여 성과 계산을 수행하였다. 이 성과를 토대로 지역적 원점의 특징에 따른 지적기준점 성과의 계통적 오차를 분석하고 통일된 기준의 성과로 재계산을 실시하였다. 시범지역에서 관리되고 있는 지적기준점에 대한 정보와 현황 파악을 위하여 지적도와 지적기준점 관리 기관인 행정기관과 지적공사 지사를 방문하여 협조를 받아 원활한 실험 연구가 수행될 수 있도록 만전을 기하였다.

#### 3.2 시범지역별 통일 성과 계산 및 분석

통일성과를 계산하기 위하여 선정한 구소삼각지역인 인천광역시 계양구와 부평구 지역은 구소삼각원점 중에서 계양원점이 위치하고 있는 지역이다. 이 지역은 계양원점에 연결된 기준점과 통일원점 중에서 중부원점을 사용하는 기준점이 혼재되어 있는 지역이다. 따라서 이 지역의 지적도는 계양원점 기준의 지적도와 중부원점 기준의 지적도가 함께 존재하고 있다. 그림 2는 구소삼각 시범지역인 인천광역시 계양구/부평구의 지적기준점 현황

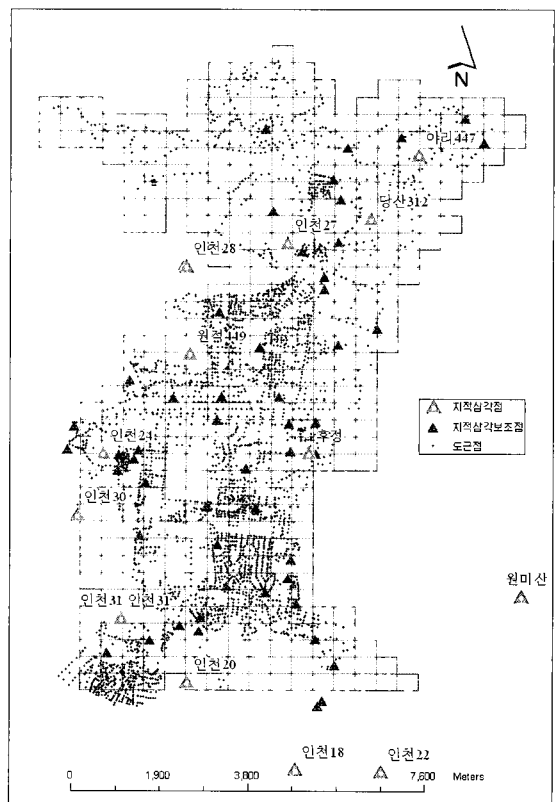


그림 2. 인천광역시 계양구/부평구 지적기준점 현황도

을 나타낸 것이다. 대한지적공사 인천광역시 본부 산하 계양/부평 사무소에서 관리하고 있는 지적기준점은 지적삼각점 14점, 지적삼각보조점 62점, 도근점은 약 5,000여 점이 있으며 계양원점은 망실된 상태이나 인근 지역에 복원시켜 놓은 상태이다. 계양원점은 구한국정부 양지과에서 설치한 것으로 원점 좌표는 (0, 0)이며 방위각, 수평각, 연직각 관측을 통하여 측량의 기준을 설정하였다. 거리 측정 단위는 ‘간(間)’을 사용하였으나 현재는 모든 기준점과 지적도의 좌표가 미터법으로 환산되어 관리되고 있다. 또한 이 지역에서 관리되고 있는 지적삼각점 성과는 3대 원점 중에서 중부원점을 기준으로 하고 있으며 건설교통부 국토지리정보원에서 설치, 운영하고 있는 국가기준점 3, 4등 삼각점의 구성과를 기준으로 하여 지적삼각점과 일부 도근점의 좌표가 계산되어 있다. 이 성과는 4등 삼각점 수준의 정확도를 가지고 있으며 가우스상사이중투영법으로 투영한 평면직각좌표를 사용하고 있으나 지형도 제작에 이용하는 가우스 크뤼거 투영법과 매우 근사한 좌표를 나타내고 있다. 신규지적등록을 위한 측량지역에서는 중부원점을 기준으로 하여 측량을 실시하고 있다.

구소삼각지역인 인천 계양지역에 분포하는 지적기준점의 통일원점 기준의 성과를 계산하기에 앞서 지적기준점의 정확도를 평가하였다. 인천광역시 계양구/부평구 지역에 분포하고 있는 지적삼각점과 도근점의 정확도를 평가하기 위하여 관할 기관인 대한지적공사 계양/부평 사무소에서 가장 많이 이용하는 지적삼각점을 조사하고 현장 GPS 관측을 실시하였다.

총 14점의 지적삼각점 중에서 7점을 선정하고 도근점도 7점을 정하여 2주파 정밀측지측량용 GPS 수신기를 이용하여 2시간 이상의 관측을 수행하였다. GPS 관측데이터는 Trimble Total Control(TTC) 소프트웨어를 이용하여 기선 해석을 실시하였다. 기선 해석 결과를 토대로 자유망 조정 및 지적삼각점 중에서 5점에 대한 중부원점과 계양원점 기준의 좌표를 고정하고 다점 고정망조정을 실시한 후 오차타원의 비교를 통하여 정확도를 평가하였다. 다점 고정망조정은 고정에 사용한 기준점의 성과의 정확도가 차수가 낮은 다른 관측점에 미치는 영향을 파악할 수 있는 특징을 가지고 있다. 따라서 고정점으로 사용한 지적삼각점의 성과가 가진 오차가 도근점에 미치는 오차량을 고시한 도근점 성과와의 차이를 비교하여 검출할 수 있다. 그러나 다점 고정망조정에서 이용한 고정점 중에서 상대적으로 큰 오차를 가진 고정점이 있다면 하위 차수의 관측점에 과대 오차를 전파할 수 있는 단점도 있다. 다점

고정망조정보다 일점 고정망조정은 과대 오차를 가진 기준점으로 인하여 오차 벡터 성분이 삭제되지 않고 관측망의 구조가 튼튼하지 못하다는 단점이 있다는 연구 결과도 있다(강인준 등, 2002). GPS 실측 데이터의 기선해석을 실시한 결과를 바탕으로 자유망조정에 의한 95% 신뢰구간의 내에서의 오차타원 반경의 평균은 2.5cm( $1\sigma=1.28\text{cm}$ )로 이러한 결과는 GPS 측량의 정확도가 3cm 이하의 정도를 가지고 이루어졌음을 나타내는 것이다. 표 1은 계양원점좌표와 중부원점좌표를 고정하고 고정망조정의 95% 신뢰도 오차 타원의 결과를 나타낸 것이다.

고정망조정에서 사용한 고정점은 지적삼각점 IC20, IC24, WJ44, WNMI이다. 계양원점 기준의 좌표를 고정하고 망조정 오차타원 평균은 1.487m( $1\sigma=0.76\text{m}$ )로 이러한 수치는 계양원점 좌표의 오차수준을 나타내는 것이다. 또한 도해 지적 제작 당시에 계양원점 기준의 지적삼각점이 이용되었음을 감안할 때에 기준점들 간의 상대적인 위치 정확도

표 1. 인천광역시 계양지역 고정망조정 오차타원 결과

구분	측점명	장반경 (mm)	단반경 (mm)	Angle	95% 신뢰구간 오차반경
도근점	0473	629.5	439.1	-4.4°	1350.5
		172.6	120.6	-4.5°	370.3
	0541	558.7	368.5	-24.0°	1184.3
		153.6	101.7	-23.9°	325.9
	0852	424.9	309.6	-3.1°	921.2
		117.4	85.9	-3.4°	254.9
	1015	519.5	375.9	9.6°	1124.3
		143.1	103.9	9.2°	309.9
	1349	541.6	520.4	88.0°	1299.8
		146.8	140	87.2°	350.9
	1594	565.6	379.6	15.0°	1203.3
		155.4	104.8	14.8°	330.8
	3423	1190.9	761.1	-22.8°	2509.3
		324.9	207.7	-22.8°	684.7
지적삼각점	IC18	748.7	594.2	-5.4°	1663.5
		199	157.9	-6.2°	442.1
	IC22	728.8	599	-27.4°	1638.1
		191.9	158	-28.4°	431.6
	IC30	939.2	589	-6.5°	1972.3
		256.2	160.7	-6.5°	538.1

: 계양원점좌표 고정망조정 오차타원 요소

: 중부원점좌표 고정망조정 오차타원 요소

가 1.5m의 수준에 머물러 있었음을 판단할 수 있다. 고정 망조정에서 고정점으로 사용한 4점의 지적삼각점 좌표를 중부원점 기준의 좌표로 고정하여 조정한 95% 신뢰구간의 오차 평균은  $0.404m(\sigma=0.21m)$ 의 결과를 보였다. 이는 중부원점좌표의 오차 수준을 나타내는 것으로 지적기준점의 성과에서 계양원점 좌표가 중부원점 기준의 좌표보다 정확도가 3배 이상 저하됨을 뜻한다. 또한 중부원점 기준의 지적기준점을 이용한 신규등록측량을 통해 제작된 수치지적도는 상대 위치 정확도가 0.4m의 수준의 결과를 보이는 것으로 평가된다. 그림 3은 각각의 망조정 결과를 나타낸 것이다.

이미 계산이 완료된(1910년 이전 시행) 도근점의 계양원점좌표는 좌표변환에 의한 방법으로 중부원점좌표로 변환할 수는 있으나, 앞서 정확도 분석에서 도출된 결과에서 보여준 바와 같이 1m 이상의 상당히 큰 오차를 포함하게 된다. 이러한 결과는 다음 그림 4의 과정을 통해 변환한 좌표와 GPS 실측에 의하여 중부원점 기준의 좌표간의 차이를 분석하면 확연하게 알 수 있다. 2차원 등각 변환(2D conformal transformation)은 한 좌표계에서 다른 좌표계로의 변환 후에도 도형의 모양이 유지되는 특징을 가지고 있어 2차원 평면직각좌표체계를 가지고 있는 지적좌표체계에 적합한 변환 방법 중의 하나이다(대한지

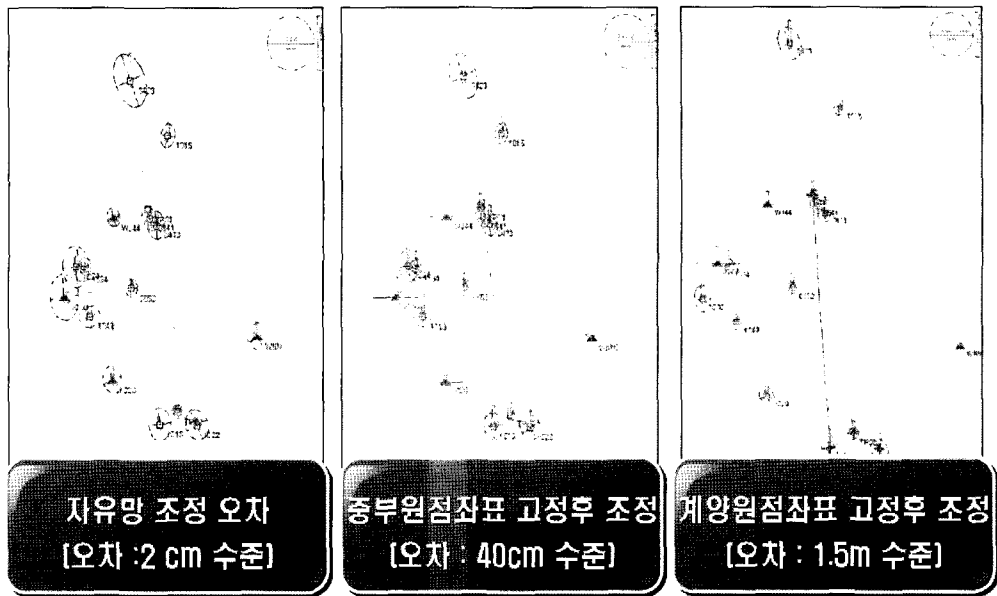


그림 3. 인천광역시 계양구/부평구의 지적기준점 망조정 오차 분석

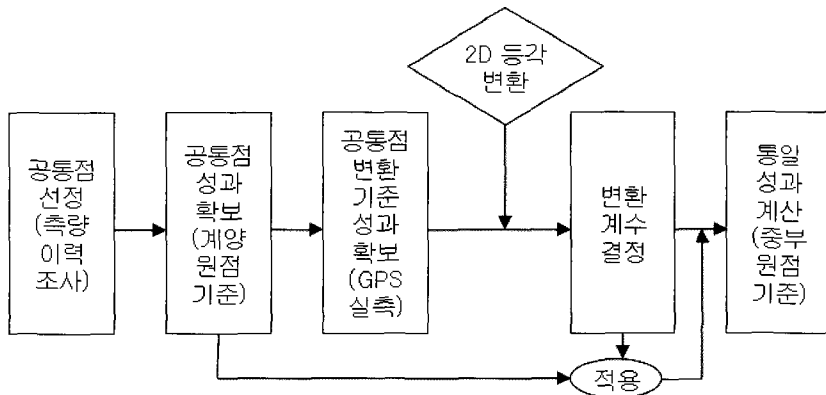


그림 4. 구소삼각원점좌표의 통일화(Bessel1841 타원체 기준) 과정

적공사, 1998). 4변수 상사변환이라고도 불리는 2차원 등각변환에서는 축척계수, 축회전량, 위거와 경거 방향에 대한 원점 이동량의 4개의 변환 계수가 필요하다. 따라서 4개의 매개변수를 구하기 위해서는 최소한 2개의 기준점의 평면직각좌표가 필요하다. 여기서 최소로 필요한 기준점은 두 좌표계상의 위치를 공통적으로 알고 있어야 하므로 공통점이라고도 부른다. 또한 공통점이 3점 이상이면 최소제곱법에 의한 조정을 통하여 보다 정확한 매개변수를 계산할 수 있다.

GPS 현지 관측을 실시한 지적삼각점 7점 중에서 계양원점좌표(구소삼각원점기준)가 없는 2점을 제외한 5점의 지적삼각점의 두 원점 성과를 이용하여 2차원 등각변환에 의한 구소삼각원점좌표를 중부원점 좌표로 변환할 수 있는 변환 매개변수를 계산하였다. 구소삼각원점에서 통

일원점으로서의 변환 매개변수는 표 2와 같다. 표 2의 변환 매개변수를 이용하여 도근점 7점의 구소삼각좌표를 중부원점좌표로 변환하였다. 변환한 중부원점좌표에 대하여 중부원점 기준의 고시 성과 및 GPS 실측에 의한 지적삼각점의 중부원점 고정에 의한 망조정 성과 비교 결과는 그림 5와 같다. 도근점 7점에 대한 2차원 등각변환에 의한 좌표변환 성과와 중부원점 기준으로 고시된 좌표간 차이의 평균은 남북방향으로 0.93m, 동서방향으로는 0.80m를 보였다. 실제 GPS 관측을 실시한 성과와의 비교에서는 동서방향으로 0.17m정도 고시좌표와의 차이보다 향상된 결과를 나타냈다. 구소삼각원점 기준의 좌표에 대하여 좌표변환을 실시하여 정확도를 비교한 결과에서는 1m 정도의 변환 정확도를 보이고 있다고 판단된다. 중부원점 기준의 고시성과는 실제 지적측량에서 적용되고 있는 기준점이므로 수치지적도의 변환 정확도 향상을 위한 왜곡량을 계산하고 이 왜곡량을 보정하여 정확도를 향상시킬 수 있다. 이 왜곡량은 주요 지적삼각점과 도근점에 포함되어 있던 측량 오차들을 소거함으로써 시범 지역의 지적도 변환에 따른 오차 정확도 향상에 적용할 수 있다고 본다. 그러나 향상된 변환 정확도 확보를 위해서는 보다 많은 공통점의 확보가 수반되어야 한다.

표 2. 2차원 등각변환 매개변수(구소삼각원점→중부원점)

변환 매개변수	관련기호	매개변수 값
회전량	$\theta(^{\circ})$	-0.151987716
축척계수	S	0.999914741
평행이동량(위거)	dx(m)	450131.2634
평행이동량(경거)	dy(m)	174712.4421

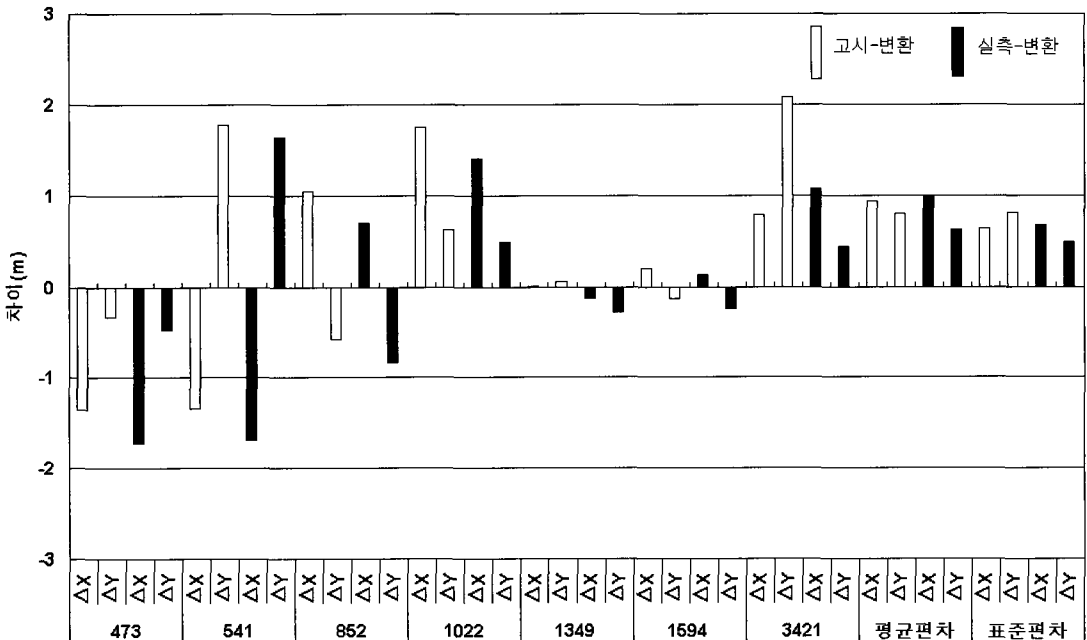


그림 5. 도근점에 대한 중부원점좌표의 정확도 평가 결과

#### 4. 지적기준점의 세계측지계 변환 실험

현행 지적기준점 전체에 대하여 계산한 통일성과(Bessel 타원체 기준)를 세계측지계 기준으로 변환을 수행하기 위해서는 직접 및 간접 방법에 의한 변환방안을 고려할 수 있다. 직접 변환은 GPS나 기타 측량 장비를 이용하여 세계측지계 기준의 성과가 있는 기준점을 기지로 하여 기선벡터를 이용한 좌표를 결정하는 방법이다. 간접 변환은 일반적인 2차원이나 3차원 좌표변환을 이용하는 방법으로 3점 이상의 공통점을 이용하여 지적위성좌표와 지적좌표간의 변환관계를 구하고, 이 관계를 다른 점들에게 적용하는 방법이다. 공통점을 어떻게 취하느냐에 따라 변환관계가 달라지므로 당해 측량구역 뿐만 아니라 인접 지역의 기준점과 잘 부합되는 점을 선정해야 한다. 이와 관련하여 측량구역의 크기와 공통점의 개수에 따른 좌표 교차의 허용범위를 규정하고 있으나 당해 측량구역에 속하는 다수 공통점의 성과가 실제의 측량성과와 비교하여 같은 비율로 축소 또는 확대되어 있다거나 회전이 있을 경우에는 공통점의 선정에 오류를 범하기 쉽다. 또한 변환 계산에 의하여 구한 지적좌표(변환좌표)의 추정오차를 알 수 없다는 단점이 있다(대한지적공사, 1998). 표 3은 직접 변환과 간접변환의 알고리즘상의 특징과 장단점을 비교한 것이다. 직접변환에서는 관측 지점간의 기선벡터를 이용하여야하기 때문에 실질적인 현지 측량이 반드시 수행되어야 하는 단점이 있다. 그러나 변환에 따른 측점의 정확도 검증이 가능하기 때문에 변환 오차의 추정이 가능하다. 이에 반해 간접변환은 이미 가지고 있는 측점의 두 좌표계 기준의 좌표를 이용하므로 별도의 측량이 따르지 않는다. 일부 공통점의 기지 좌표를 이용하여 결정된 변환 매개변수를 적용하여 다른 기준점들의 일괄 변환이

가능하여 적용하기가 간편하나 변환 정확도에 대한 개별적인 검증이 불가능하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 시범지역에서 선정한 기준점들의 성과를 이용하여 직·간접 변환에 의한 지적기준점의 세계측지계 성과를 결정하였다. 직접변환에 의한 세계측지계 성과 결정에서 고정점으로 이용한 기준점은 현재 건설교통부 국토지리정보원에서 운용중인 GPS 상시관측소(1등 위성측지기준점)의 고시 성과가 유일하기 때문에 이를 기지좌표로 이용하였다. 직접변환 방법인 망조정용을 이용한 지적기준점의 세계측지계 성과와 통일원점 기준의 고시 성과를 이용하여 2차원 변환을 위한 매개변수를 결정하고 이 매개변수를 이용하여 동경측지계 기준의 지적성과를 세계측지계로의 간접변환을 수행하고 직 변환에 의한 세계측지계 성과와 비교하였다.

간접변환을 위한 매개변수 계산에 있어서 통일원점 기준의 고시 성과와 세계측지계 망조정 성과간의 차이는 일률적이지 못하다. 그 이유는 지적기준점의 성과를 계산할 당시의 관측 장비의 정밀도, 관측자의 숙련도, 관측 환경 등의 계통적인 오차의 크기가 다르고 우연 오차도 포함되어 있기 때문이다(강준목 등, 1996). 따라서 높은 신뢰성을 갖는 변환 매개변수를 결정하기 위해서는 두 성과 차이인 편차가 큰 관측점의 성과를 제거하는 통계적인 절차가 필요하다. 두 성과의 차이에서 과대 편차를 추정하기 위한 가장 좋은 방법은 두 성과의 차이에 대한 표준편차( $\pm 1\sigma$ )를 계산하여  $3\sigma$  이상의 차이를 보이는 기준점을 과대 편차로 판단하여 제거하는 것이다. 따라서 본 연구에서도 각 시범지역별로 변환 매개변수 결정을 위해 수집한 공통점 중에서 위의 방법에서와 같이 과대 편차를 보이는 기준점을 제거하여 매개변수를 결정하였다.

본 연구의 시범지역인 인천광역시 계양구/부평구 지적기

표 3. 직접변환과 간접변환의 특징과 장단점 비교

구분	간접변환(좌표변환)	직접변환(망조정)
알고리즘	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기지점의 ITRF, Bessel 좌표 이용</li> <li>- 기지점의 좌표교차를 최소로 하는 거리</li> <li>- 몇 개의 기지점(3점이상)으로부터 망정체의 특성을 추출하여 모든 점에 일괄적용</li> <li>- 간접(조정)계산법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GPS관측에 의한 점간 기선벡터이용</li> <li>- 각 점의 좌표에 의한 계산치와 점간 실측치의 차이를 최소로 하는 처리</li> <li>- 각각의 점의 좌표를 미지수로 하는 조정계산</li> <li>- 직접(조정)계산법</li> </ul>
장단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 알고리즘 간단, 적용방법간단</li> <li>- 실시간 측량적용(RTK)</li> <li>- 우리나라 전역 일괄적용 가능</li> <li>- 점간 관측치와 불일치 발생가능</li> <li>- 고정적 채택 불가(좌표변동량 포함)</li> <li>예) 일률적 축소, 확대, 회전등</li> <li>- 계산좌표오차 추정 불가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 알고리즘 복잡, 계산량 증가</li> <li>- 후처리 측량 적용(기준점)</li> <li>- 계산 적용범위 제한</li> <li>- 고정점 채용가능(좌표변동량=0)</li> <li>- 계산좌표오차 추정 가능</li> <li>- 점간 관측치 오차 추정가능</li> </ul>

표 4. 직접변환에 의한 구소삼각지역 세계측지계 성과(인천 계양)

구분	측점명	위거(m)	조정오차(mm)	경거(m)	조정오차(mm)
도근점	0473	448295.010	9.2	176962.815	6.3
	0541	448558.948	7.6	176640.933	5.7
	0852	445524.236	5.7	175757.142	4
	1022	452049.530	7.3	177554.214	5.3
	1349	444287.285	7.2	173704.368	7.8
	1594	446313.438	8	173380.156	5.5
	3421	454418.341	17.3	175696.069	12.7
지적삼각점	IC18	439627.987	10.7	177138.993	8.5
	IC20	441533.249	9.2	174815.332	7.5
	IC22	439586.394	9.9	178984.317	8.9
	IC24	446443.475	14.2	173000.933	10.5
	IC30	445125.249	15.8	172451.600	11.4
	WJ44	448596.294	5.6	174853.809	4.7
	WNMI	443386.883	8.3	181983.245	7.7

준점의 세계측지계 성과를 계산하기 위하여 이용한 GPS 상시관측소는 서울(SOUL)과 수원(SUWN)이다. GPS 상시관측소를 고정된 망조정 결과에서 위거 방향의 조정오

차는 평균 9.7mm(최대=17.3mm), 경거 방향의 조정 오차는 7.6mm(최대=12.7mm)를 나타냈다. 따라서 직접변환에 의한 지적기준점의 세계측지계로의 조정 오차는 평균 12.4mm(최대=21.5mm)로 계산되었다. 표 4는 직접변환에 의한 지적기준점의 성과 및 조정오차를 정리한 것이다.

표 5. 구소삼각지역 변환매개변수(통일성과⇒세계측지계)

구분	변환 매개변수	관련기호	매개변수 값
2차원 등각변환	회전량	$\theta(^{\circ})$	-0.00102652°
	축척계수	S	1.000006214
	평행이동량(위거)	dx(m)	287.2256591m
	평행이동량(경거)	dy(m)	81.15663481m

다음은 구소삼각지역인 인천광역시 계양구의 지적기준점의 통일원점성과인 중부원점 성과를 세계측지계로 간접변환하기 위한 매개변수를 결정하는 것이다. 지적기준점의 고시 성과와 직접변환에 의하여 계산한 세계측지계 성과간의 차이를 구하여 표준편차를 계산한 결과를 바탕으로 분석한

표 6. 직접변환과 간접변환성과의 차이 비교(인천 계양)

측점명	직접변환성과(세계측지계)		간접변환성과(세계측지계)		차이(직접-간접)	
	위거(m)	경거(m)	위거(m)	경거(m)	위거(m)	경거(m)
0473	448295.010	176962.815	448295.088	176962.868	-0.078	-0.053
0541	448558.948	176640.933	448559.025	176640.981	-0.077	-0.048
0852	445524.236	175757.142	445524.292	175757.141	-0.057	0.001
1022	452049.530	177554.214	452049.631	177554.449	-0.101	-0.235
1349	444287.285	173704.368	444287.321	173704.346	-0.037	0.022
1594	446313.438	173380.156	446313.360	173380.000	0.078	0.156
3421	454418.341	175696.069	454417.999	175697.900	0.343	-1.831
IC18	439627.987	177138.993	439628.091	177139.004	-0.104	-0.011
IC20	441533.249	174815.332	441533.194	174815.234	0.055	0.099
IC22	439586.394	178984.317	439586.488	178984.385	-0.093	-0.068
IC24	446443.475	173000.933	446443.467	173000.950	0.007	-0.017
IC30	445125.249	172451.600	445125.299	172451.593	-0.050	0.007
WJ44	448596.294	174853.809	448595.838	174853.660	0.457	0.148
WNMI	443386.883	181983.245	443386.838	181982.581	0.045	0.664



결과, 과대 편차를 나타내는 기준점은 도근점 3421과 지적삼각점 WNMI이다. 과대 편차를 보이는 지적기준점 2점을 제거하고 계산한 2차원 등각변환 매개변수는 표 5와 같다.

표 5의 변환 매개변수를 이용하여 지적기준점의 고시성과(통일성과)를 변환하고 직접변환에 의해 결정된 세계측지계 성과와 차이를 비교하여 표 8에 정리하였다. 직접변환과 간접변환의 차이에 대한 정확도 평가는 RMSE(Root Mean Square Error)를 계산하여 평가하였다. 직접변환과 간접변환에 의한 세계측지계 기준의 지적기준점 성과 차이에 대한 RMSE는 위거 방향은 0.172m, 경거 방향은 0.549m로 비교적 크게 나타났다. 두 변환에 의한 세계측지계 성과 차이가 3 $\sigma$ 를 벗어나는 기준점을 순차적으로 제거하여 다시 RMSE를 평가하였다. 제거한 기준점은 도근점 3421, 지적삼각점 WJ44, WNMI이다. 직접변환에 대한 간접변환의 정확도를 평가한 최종 결과는 위거방향으로 0.076m, 경거방향으로 0.100m를 보였다. 따라서 간접변환에 의한 정확도는 직접변환에 의한 성과에 비하여 약 15cm 이내의 차이를 보이고 있다고 판단된다.

## 5. 결 론

국가 측량 체계의 이력을 조사하고 구소삼각지역에 분포하고 있는 지적기준점에 대하여 GPS 현지 측량 결과를 토대로 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 지적좌표계의 연혁 조사를 통하여 국가기준점 신설 당시의 측량 기준과 별도의 목적에 의해 신설된 구소삼각원점, 특별소삼각원점, 특별도근측량원점 등 다양한 원점 체계로 구성되었으며, 6.25 동란 이후 기준점 응급 복구 사업에 따라 성과의 부정확성으로 인한 기준점 관리의 이원화가 되는 단계를 확인할 수 있었다.

2. 구소삼각원점인 계양원점 기준의 도근점에 대한 2차원 등각변환에 의한 좌표변환 성과와 중부원점 기준으로 고시된 좌표와의 차이에 대한 평균은 남북방향으로 0.93m, 동서방향으로는 0.80m를 보였다. 실제 GPS 관측을 실시한 성과와의 비교에서는 동서방향으로 0.17m 정도 고시

좌표와의 차이보다 향상된 결과를 나타냈다. 중부원점 기준의 고시성과는 실제 지적측량에서 적용되고 있는 기준점이므로 변환 정확도 향상을 위한 왜곡량을 계산하고 이 왜곡량을 보정하면 수치지적도의 변환 정확도를 향상시킬 수 있다고 판단된다.

3. 시범지역에 대한 지적기준점 통일원점 성과와 세계측지계에 기준한 직접변환한 조정성과를 이용하여 2차원 상사변환을 위한 매개변수를 결정하고 이를 이용하여 잉여검사점에 대한 간접 조정을 실시하여 직접 조정 성과와 비교한 결과, 약 15cm의 차이를 보였다. 지적기준점의 세계측지계 변환에서는 GPS 실측 및 GPS 상시관측소와의 연계를 통하여 대표점들에 대한 세계측지계 기준 성과를 계산하고 계산 성과를 고정점으로 하여 GPS 관측 기선과 기존의 지적측량 데이터를 연결한 망조정을 실시하여 계산하는 직접변환에 의한 방법이 적합하다고 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부 2006년 국가GIS 지원연구 사업으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

- 강인준, 최종봉, 광재하, 최현 (2002), 위성측량을 이용한 지적기준점의 정확도 분석, 한국측량학회지, 제20권, 제1호, pp. 39-46.
- 강준목, 김홍진 (1996), GPS에 의한 지적측량기준점의 위치해석, 한국측량학회지, 제14권, 제2호, pp. 209-218.
- 국토연구원 (2003), 최적화 설계 기법에 의한 차세대 국가측지기준점 체계 구축방안 연구.
- 국토지리정보원 (1998), 지형·지적정보의 연계활용 연구.
- 국토지리정보원 (2003), 측량 및 지형공간 정보 백서.
- 국토지리정보원 (2005), 1/1,000 수치지형도 좌표변환에 관한 연구.
- 대한지적공사 (1998), 구소삼각 및 특별소삼각지역의 성과 점검 및 통일원점좌표산출을 위한 연구.
- 유복도, 김갑진 (2000), 지형 및 지적자료의 통합체계 구축, 한국측량학회지, 제18권, 제2호, pp. 143-155.
- 임일식, 이민석, 이석배, 김병국 (2003), 세계측지계 도입에 따른 지적측량 기준점의 지역좌표 변환에 관한 연구, 한국지적학회지, 제19권, 제2호, pp. 159-172.

(접수일 2007. 6. 7, 심사일 2007. 7. 2, 심사완료일 2007. 8. 27)