

## GPS성과를 매개로 한 구소삼각과 일반원점성과의 계통적 변환 Systematic Coordinate Transformation between Different Projection Zones using GPS Survey Results

김감래<sup>1)</sup> · 최원준<sup>2)</sup> · 임건혁<sup>3)</sup>

Kim, Kam Lae · Choi, Won Jun · Lim, Gun Hyuk

- 1) 명지대학교 공과대학 토목환경공학과 교수(E-mail:kam@mju.ac.kr)
- 2) 명지대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정(E-mail:wchoi@kcsc.co.kr)
- 3) 명지대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정(E-mail:gun1977@hanmail.net)

### Abstract

The fact on a variety of the plane coordinate systems in cadastral survey field caused a troublesome stage by different standards for the production of cadastral maps. The cadastral maps with different origins are not standardized in terms of unit and coordinate system, which introduces surveying problems at the edges where two or more zones meet. Moreover, difficulties in the creation of seamless digital cadastral map DBs between different coordinate systems has become the obstacle to establish various levels of spatial information systems for the efficient management of Korean Peninsula. Therefore, the aim of the study is to present a way to mutual coordinate transformation by clarifying the systematic differences between the areas of different origins.

## 1. 서 론

### 1.1 연구목적

현재 지적측량분야에서 사용하고 있는 평면좌표의 원점은 측량법시행령에서 규정하고 있는 직각좌표의 원점(이후 일반원점)과 구소삼각원점, 특별소삼각원점이 구한말 이후 제작된 지적도의 작성기준에 따라 혼재되어 있다. 이러한 좌표계 원점의 다양성은 측량의 단위와 성과가 통일되지 못하였기 때문에 서로 다른 좌표계가 접속되는 부분에서 지적측량의 곤란성을 야기하고, 특히 인접 좌표계간 연속지적도의 생성에 많은 문제점을 야기하고 있어 효율적인 국토관리를 위한 전산화체계 구축에 장애가 되고 있다.

따라서, 본 연구는 상이한 원점의 측량성과간의 계통적 차이를 밝혀 이를 이용하여 상호 좌표변환방법을 제시하는데 목적이 있다. 구소삼각과 일반원점의 좌표성과를 계통적으로 변환하기 위한 방법으로 GPS를 이용하여 대상지역의 삼각점 성과를 세계측지계를 기준으로 결정한 다음 이를 매개로 하여 각 원점체계별 성과간 상호변환이 될 수 있도록 변환계수를 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

### 1.2 방법 및 범위

일반원점과 구소삼각은 측량방법 및 사용한 측량기의 정밀도, 설치 목적이 다르므로 일률적 비교는 무리가 있으나 기존에 등록되어 있는 성과를 GPS성과와 비교하는 방법으로 가장 부합하는 변환계수를 결정하는 방법으로 연구를 진행하였다. 연구의 지역적 범위는 용인시 일원의 고초원점지역 내 구소삼각 측량성과와 중부원점 측량성과를 동시에 가지고 있는 삼각점 66점(2등: 8점, 3등: 21점, 4등:37점)을 대상으로 하며, GPS 상시관측소 자료를 이용하여 시간적 차이가 있는 각 세션을 연결하고, 세션별로 기선을 해석하여 각

삼각점의 정확한 위치를 세계측지계 성과로써 고정시켰다. 여기에 각 원점별 기존성과를 비교하여 변환계수 도출에 사용할 수 있는 성과가 비교적 양호한 삼각점을 정하여 WGS-84 좌표와 구조삼각 및 일반원점 성과간 Molodensky-Badekas의 방법으로 변환을 실행한 다음 표준편차보다 많은 차이를 보이는 점들을 제거하며 변환계수를 수정하는 루틴을 적용하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 고초원점지역

고초원점은 경기도 용인시 이동면 묵리 소재 시궁산 정상에 위치하며, 측량성과는 <표 1>과 같다.

<표 1> 고초원점 성과

구조삼각성과		중부원점성과		표 고	비 고
X(B)	Y(L)	X(B)	Y(L)		
0.00m	0.00m	405812.61m	221760.04m	514.86m	중부성과 '83재설
37°09' 03" .530	127°14' 41" .585	37°09' 03" .718	127°14' 41" .918		
평균방위각차 : 중부-고초 = -11' 19"					

경기도 용인시와 안성시를 포함하는 구조삼각지역의 측량원점으로 나중에 3등 삼각점(용인 307)으로 일반원점에 연결되었다. 중부성과는 1983년 재설되어 경위도좌표가 당초성과에 비하여 위선 0.188초, 경선 0.333초의 차이를 보이고 있다. 고초원점지역은 원점을 중심으로 반경 약 20 km에 이르는 지역에 걸쳐 분포하며, 이 지역 내의 구조삼각점 성과와 지적도면이 사용 중에 있다. 1910년대 토지조사 당시 만들어진 1/50,000 구지형도에서 수원, 이천, 오산, 안성, 광주 도엽에 걸쳐 있으며, 이는 현재 사용 중인 국립지리원의 1/50,000 지형도에서 수원, 이천, 용인, 안성 도엽에 해당한다.

### 2.2 단순좌표변환

실험지역 내 삼각망의 전반적인 정확도를 판단하고, GPS와 같은 정확한 측량의 도움 없이 기존성과의 단순비교에 의한 변환방법을 실제 지적측량에 적용할 수 있는지 여부를 가리기 위하여 먼저 고초원점지역 내의 구조삼각 측량성과와 중부원점 측량성과를 동시에 가진 삼각점의 좌표를 이용하여 2차원 등각(2-D conformal) 및 부등각(2-D affine), 사영(2-D projective) 변환을 위한 계수를 다음의 두 가지 방법으로 추출하여 기존성과와 비교하였다. 세 가지 변환방법을 이용하여 좌표를 변환한 결과는 <표 2>와 같다.

<표 2> 좌표변환계산 결과 편차량 비교 (단위: m)

구 분		표 준 편 차		거리 편차	비 고
		x	y		
등각변환	변환계수1	0.42	0.43	0.60	-변환계수1 : 2등삼각점 이용 계수 계산 -변환계수2 : 2등삼각점과 3등삼각점을 혼용 계수 계산
	변환계수2	0.42	0.41	0.59	
affine변환	변환계수1	0.41	0.42	0.59	
	변환계수2	0.42	0.45	0.62	
사영변환	변환계수1	0.41	0.42	0.59	
	변환계수2	0.42	0.41	0.59	

즉 변환계수를 계산할 때 기준점으로 적용한 삼각점의 차수와 수량을 달리하거나 또는 등각, 부등각, 사영 등 계산방법을 달리하여도 표준편차가 x와 y방향 공히 40 cm를 상회하며, 거리편차량이 약 60 cm 정도를 유지하는 결과를 보여주고 있다. 이는 변환계수 계산에 기준점으로 사용되는 삼각점 성과가 나쁘거나, 좌표변환 후 비교대상이 되는 4등 삼각점의 성과가 좋지 않을 경우, 혹은 두 가지가 혼재한 경우를 생각할

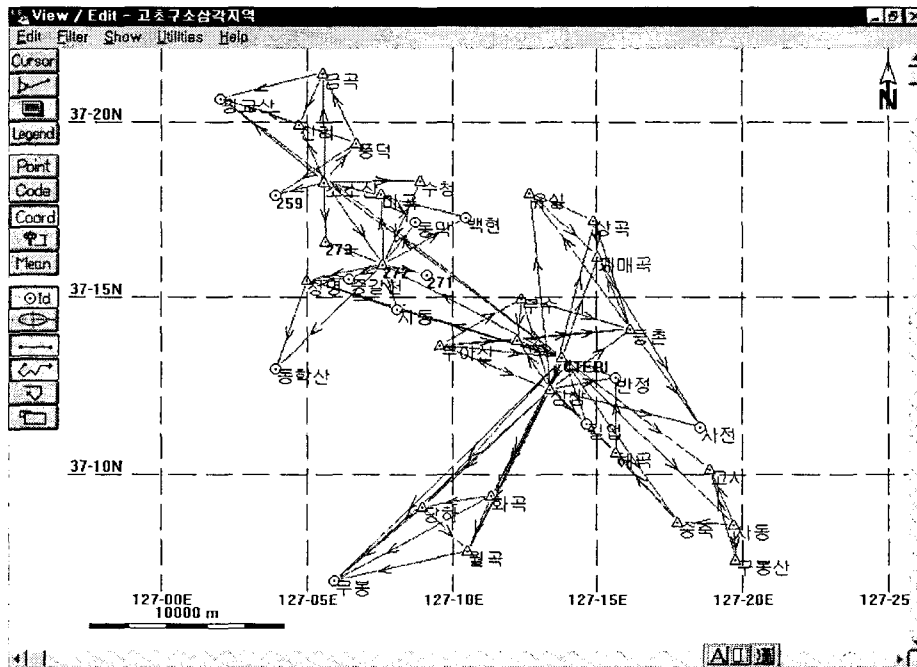
수 있다. 따라서 계수 계산에 기준점과 비교대상으로 사용되는 점들의 정확한 좌표값을 새로이 산출한 다음 이를 기존 구조삼각 및 중부성과와 비교 검토하여 양 좌표계에서 공히 양호한 결과를 갖는 삼각점을 선별하는 작업이 필요하다. 이렇게 성과가 양호하다고 판단되는 삼각점 중 등급이 높은 점들을 기준점을 이용하여 변환계수를 산출하고, 이를 나머지 삼각점에 적용하여 나온 결과인 변환된 좌표를 기존 좌표와 비교하여 편차량이 지적측량에서 허용할 수 있는 범위 안으로 들어오도록 반복(iteration)하여 작업해야 한다.

### 2.3 GPS 측량

앞에서 살펴본 바와 같이 삼각점성과좌표에 등재된 좌표만으로 다른 원점계로 변환할 수 있는 계수를 구한 다음 이를 전체 삼각점에 적용하여 변환한 좌표는 대측량의 지적측량에서 효율적으로 사용하기에는 어려움이 많다. 따라서 지적측량에서 사용할 수 있는 좌표변환 관계를 구하려면 구조삼각과 일반원점, 양 좌표계에 공히 성과를 가지고 있는 삼각점 중에서 위치정확도가 높은 점을 선별하여 좌표변환의 기준점과 비교대상으로 사용하여야 좋은 결과를 도출할 수 있을 것이다.

#### 2.3.1 관 측

1:50,000 지형도 수원, 용인, 이천, 안성도엽에서 2등삼각점 5점, 3등삼각점 9점, 4등삼각점 18점, 총 32점의 고초좌표와 중부좌표를 동시에 가지고 있는 삼각점을 실험측량대상으로 선정하였다. 각 측점에서 수신한 위성신호를 기선해석 처리하여 WGS84 지심좌표를 구하였다. 측량외업에는 Leica사의 System 300 시리즈 장비를 이용하였고, 역시 Leica사의 GPS 자료처리 소프트웨어인 SKI 버전 2.3을 사용하여 기선해석과 망조정, 타원체 및 좌표계 변환을 실행하였다. WGS84 타원체 상에서 각 측점의 절대좌표를 구하기 위하여 대한지적공사 교육연구원에서 운영 중인 상시관측점을 기선해석의 기준점(reference)으로 이용하였다. 전체적인 관측망도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> GPS 관측망도

GPS 관측방법은 static, 수신주기(epoch) 15초 compacted, cut-off 각 15도로 수행되었으며, 아래에 나열한 것과 같이 6개의 데이터세트와 총 339회의 관측으로 구성되어 있다. 또 상시관측점(CTERI)의 자료는 epoch 15초의 Rinex 형태로 저장된 자료를 SKI의 DB에 받아서 처리하였다. 6부분으로 독립적으로 관측한 자료는 상호연관성을 유지하기 위하여 각 부분은 모두 상시관측점을 통하여 관측망이 연결되어 있으며, 정

확도를 높이기 위하여 반드시 인접한 관측부분과 두 점 이상의 공통측점을 두도록 계획, 실시되었다. 따라서, 각 관측부분은 유기적으로 서로 연결되어 하나의 측량망을 구성하며, 전체 측점을 묶어 망조정(network adjustment)이 가능하도록 되어 있다.

### 2.3.2 자료처리

자료처리는 기선해석방법으로 하였으며, 아래의 파라미터를 이용하여 자료를 처리하였다. 자료처리의 결과로 산출한 각 측정점의 WGS84 지심좌표는 <표 3>과 같다.

<표 3> WGS84 관측성과의 조정좌표

Coordinate set:		고초지역삼각점 GPS관측성과 망조정결과					
Coordinate type:		Cartesian					
Reference ellipsoid:		WGS 1984					
Unit:		m					
점 명	좌 표			점 명	좌 표		
	X	Y	Z		X	Y	Z
CTERI	-3076779.28	4048951.14	3837041.81	사전	-3083643.07	4046413.75	3834243.80
계매곡	-3076211.31	4045393.65	3841378.40	삼삼	-3076876.64	4050188.10	3835799.65
고사	-3084798.53	4047218.84	3832493.03	삼곡	-3075394.62	4044607.96	3842977.46
광교산	-3058057.93	4053110.78	3848262.55	소소산	-3063625.67	4051855.34	3844524.41
구룡산	-3087737.27	4048933.19	3828835.13	수청	-3067621.73	4049004.66	3844667.76
금곡	-3061491.31	4049130.31	3849132.12	승축	-3084545.87	4049550.37	3830234.86
길업	-3079051.01	4049944.42	3834445.83	신리	-3061590.69	4051202.04	3846939.68
달하	-3073866.61	4057029.62	3830881.45	월곡	-3076512.84	4056796.62	3829037.26
동막	-3068128.13	4050025.86	3842866.21	유실	-3072230.03	4045843.56	3844073.34
동학산	-3065296.67	4058046.61	3836601.18	중갈천	-3066482.77	4053506.11	3840373.67
등촌	-3078980.13	4046201.27	3838366.11	지동	-3069077.16	4052827.23	3839131.32
마곡	-3066181.73	4050409.49	3843987.92	청명	-3064852.52	4054866.57	3840403.48
무봉	-3071744.43	4061667.31	3827805.88	풍덕	-3064192.57	4049823.82	3846054.16
무수	-3073962.51	4048777.60	3839625.57	해곡	-3080779.01	4049809.03	3833296.09
반정	-3079340.75	4047896.93	3836316.20	화곡	-3076485.93	4054645.84	3831356.77
백현	-3070197.63	4048483.98	3843114.49	259	-3061926.50	4053594.76	3843909.99
부아산	-3071626.66	4052591.88	3837763.49	271	-3069646.31	4051086.91	3840683.79
사동	-3086932.82	4047950.06	3830223.55	273	-3064823.59	4053320.01	3842012.20

대류권보정 : Hopfield

전리층보정 : No

위 성 력 : 방송력(Broadcasted Ephemeris)

사용자료 : 운송파 및 코드(carrier phase & code)

Ambiguity해석 : 20 km 이내

전제곱근오차 : 10 mm 이내 (a priori r.m.s)

### 2.3.3 망조정계산

기선해석에 의한 자료를 처리할 때 기준점(reference)에서 측정점(rover)까지 기선의 측방향요소( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ )를 계산하여 이를 기준점좌표에서 가감하여 측정점의 좌표를 계산한다. 이 때 기준점의 수를 1보다 크게 함으로써 측정점좌표를 잉여관측에 의한 조정계산이 가능하게 할 수 있다. 즉 여러 개의 기준점으로부터 구한 측정점의 좌표셋(coordinate set)을 여러 개를 만든 다음 최소제곱법에 의한 조정을 통하여 보다 정확한 좌표를 구할 수 있도록 하였다. 따라서 실제 기선해석을 위한 자료를 처리할 때 관측망도에서 보는 것처럼 가능한 한 상관적으로 계산을 실행하였다. 이 때 한 측정점에 대하여 각 기준점에서 계산한 기선거리의 교차한계를 7.5cm으로 하여 과대오차가 측정점좌표 결정을 위한 조정계산에 영향을 미치지 않도록 하였다. 망조정계산에 있어서 WGS84에 준거한 위치를 알고 있는 상시관측점 CTERI를 고정점으로 하고 나머지 관측점에 대하여 조정계산을 실시하였다. 망조정시 위치신뢰도(reliability) 80%, 반복계산횟수(iteration) 10회로 하여 정밀한 조정이 가능케 하였다. 관측횟수 339회, 계산측점수 114개, 자유도 225의 최소제곱계산 망조정 결과 조정좌표는 <표 3>과 같다.

### 2.4 좌표변환

GPS장비를 이용하여 수신한 위성신호를 기선해석하여 얻은 측정점의 좌표를 망조정에 의하여 오차를 망 전체에 고루 분산시킨 다음 WGS84 타원체에 준거한 지심좌표를 결과로서 얻었다. 그러나 지심좌표는 현

재 지적측량환경에 맞지 않으므로 일반원점의 평면좌표로 변환하여 사용하려면 WGS84에 준거한 지심좌표를 Bessel 타원체에 준거한 투영평면의 좌표로 변환하는 과정을 거쳐야 한다. 반면에 구소삼각원점의 경우에는 준거타원체가 적용된 평면투영법을 적용하지 않고 지역 전체를 평면으로 가정한 상태에서 측량을 실시하여 도면을 제작한 관계로 Molodensky-Badekas의 7변수계산법 적용이 곤란하다. 그러나 WGS84 지심좌표와 고초좌표의 관계를 구하여 중부좌표와 비교, 분석하여 이들의 상관관계를 밝히는 것이 연구의 목적이므로 타원체는 Bessel의 값을, 투영법은 TM을 적용하여 7변수를 산출하였다.

### 2.4.1 WGS84→고초

우선 2등 삼각점 중 재설점인 부아산을 제외하고 광교산, 동학산, 무봉, 소소산 4점의 고초좌표를 기준점 좌표로 하여 Molodensky-Badekas의 방법으로 7변수를 1차 계산하여 전체 삼각점의 WGS84 좌표에 적용하여 고초좌표를 계산하였으며, 이중 거리편차가 1m를 벗어나는 점을 제외하고 다시 계산한 결과 <표 4>와 같은 결과를 얻었다.

<표 4> WGS-84→고초 변환계수(2등 삼각점 이용)

원점이동량(m)		축회전량( ")		축척계수(ppm)	회전중심
X	321.805	X	- 40.509816	- 15.219980	X <sub>0</sub> : - 3064681.162
Y	- 309.644	Y	95.036309		Y <sub>0</sub> : 4056169.993
Z	- 639.660	Z	115.075123		Z <sub>0</sub> : 3839298.531

이 경우 기준점으로 사용한 2등 삼각점 4점이 모두 전체 고초원점지역의 서쪽인 수원과 용인도엽에 편중되어 분포하는 이유로 동쪽으로 갈수록, 즉 이천 및 안성도엽에 있는 삼각점은 비교적 많은 편차를 보이고 있다. 따라서 서쪽부분에서 2등 삼각점 4점, 동쪽부분에서 3등 삼각점 4점을 다시 선정하여 계산한 7변수는 아래와 같으며, 이를 전체 삼각점에 적용하여 좌표를 변환한 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> WGS-84→고초 변환계수(2등 및 3등 삼각점 이용)

원점이동량(m)		축회전량( ")		축척계수(ppm)	회전중심
X	320.386	X	- 59.696219	- 19.923708	X <sub>0</sub> : - 3070492.320
Y	- 307.416	Y	109.114287		Y <sub>0</sub> : 4051806.861
Z	- 643.931	Z	78.228527		Z <sub>0</sub> : 3839245.363

먼저 2등 삼각점만을 사용하여 구한 변환계수로써 변환한 좌표군에서 평균오차  $S_x = 0.26 m, 0.16 m$  표준편차  $\sigma_x = 0.31 m, \sigma_y = 0.20 m$ 를 얻었다. 위의 2등삼각점 4점과 고초원점지역 동쪽에 주로 분포한 3등삼각점 4점(상곡, 무수, 삼삼, 등촌)을 포함한 8점을 기준점으로 하여 계산한 7변수로써 변환한 결과 평균오차  $S_x = 0.11 m, S_y = 0.09 m$ , 표준편차  $\sigma_x = 0.17 m, 0.12 m$ 를 얻었다.

### 2.4.2 WGS84→중부

앞의 WGS84좌표를 고초로 변환할 때와 마찬가지로 우선 2등 삼각점 4점(광교산, 동학산, 소소산, 무봉)을 이용하여 7변수를 계산하여 전체 관측점에 적용한 결과 중부원점의 삼각점 좌표와 변환성과의 비교 결과는 아래와 같고, 이 결과를 고초변환성과 비교하면 약 2배 가량 편차가 큰 것을 알 수 있다.

$$S_x = 0.52, S_y = 0.61 \quad \sigma_x = 0.58 m, 0.73 m$$

이 결과를 분석한 결과, 기준성과에서 변환성과를 감한 좌표차가 <그림1>의 관측망도내 경선 127°10' 부근을 경계로 서쪽에서 평균  $x = -0.30m, y = -0.33m$ , 동쪽에서 평균  $x = +0.87m, y = -1.16m$ 이 발생하였다. 고초성과에서는 고른 분포를 보이던 좌표차이가 중부성과에서는 동서로 나뉘어져 계통적으로 중횡선 각각

1미터 정도의 차이를 보이고 있는데 이런 현상은 고초원점 전 지역을 한 벌의 7변수로써 좌표를 변환하기에는 상당한 무리가 따르며, 변환성과의 정확도도 저하될 수밖에 없다.

따라서 전체 삼각점을 127°10' 경선을 중심으로 서부와 동부로 나누어 서로 다른 7변수를 산출한 결과 동부지역  $\sigma_x = 0.46 m$ ,  $\sigma_y = 0.43 m$ , 서부지역  $\sigma_x = 0.39 m$ ,  $\sigma_y = 0.67 m$ 의 표준편차를 보였다.

<표 6> 서부지역 변환계수(2등삼각점 광교산, 소소산, 동학산)

원점이동량(m)		축회전량(°)		축척계수(ppm)	회전중심
X	33639.727	X	-15483.830067	-524.192439	X <sub>0</sub> : -3062326.739
Y	-376748.950	Y	-6289.144282		Y <sub>0</sub> : 4054337.555
Z	382668.715	Z	-5195.950556		Z <sub>0</sub> : 3843129.415

<표 7> 동부지역 변환계수(3등삼각점 삼삼, 월곡, 상곡, 등촌)

원점이동량(m)		축회전량(°)		축척계수(ppm)	회전중심(m)
X	33560.549	X	-15493.787863	-531.039386	X <sub>0</sub> : -3076941.059
Y	-376612.503	Y	-6272.911600		Y <sub>0</sub> : 4049448.484
Z	382771.503	Z	-5266.205195		Z <sub>0</sub> : 3836545.118

### 3. 결 론

실험측량지역인 용인시 관내 삼각점의 WGS84 좌표와 중부좌표를 비교한 결과 127° 10' 을 경계로 종선과 횡선 각각 1m 정도의 평균오차를 보였다. 전체 삼각점을 동부와 서부, 2개 군으로 나누어 7변수를 계산하여 좌표변환한 결과 동부지역  $\sigma_x = 0.46 m$ ,  $\sigma_y = 0.43 m$ , 서부지역  $\sigma_x = 0.39 m$ ,  $\sigma_y = 0.67 m$ 의 편차를 보였다. 이 값은 2등삼각점 4점을 이용하여 계산한 변수로 전체지역을 한꺼번에 변환하여 얻은 편차량보다는 적은 값이다. 지적측량에서는 삼각점에 대한 공차제한을 두고 있지 않지만 삼각보조측량에서 0.30 m를 한계로 하고 있으므로 이 값보다는 적은 값을 가져야 한다. 따라서 위의 중부좌표 변환성과는 지적측량에서 사용할 수 없는 정확도를 가지고 있다.

고초좌표의 경우, 2등삼각점 4점(광교산, 소소산, 동학산, 무봉)과 3등삼각점 4점(무수, 삼삼, 상곡, 등촌)을 WGS84와 고초좌표간 변환의 기준점으로 하였을 때 가장 높은 정확도를 보였으며, 이 때 좌표변환 후 표준편차  $\sigma_x = 0.17 m$ ,  $0.12 m$ 의 결과값이 나왔다. 이는 거리에 대한 편차량 0.21 m에 해당하며, 변환성과가 상당히 정밀하다는 것을 말해준다. 따라서 삼각점의 구조삼각성과와 일반원점 성과를 몇 개의 기준점 좌표에 의한 등각변환, 부등각변환 혹은 사영변환 등의 방법으로 변환하여 사용하려면 우선 전체 삼각점 성과에 대한 검증이 따라야 하며, 성과에 필연적으로 따르는 오차의 발생이 계통적이어야 이를 변환과정에서 소거할 수 있다. 고초원점지역을 살펴보면 삼각점 성과에 있어 고초좌표는 비교적 정확하며, 오차도 같은 방향으로 발생하여 이를 효과적으로 변환하여 사용할 수 있었으나 중부좌표의 경우에는 오차가 서로 다른 방향으로 발생하여 계산적인 방법으로 이를 소거하기는 불가능하였다. 그러므로 일반원점 성과와 고초성과를 서로 호환하여 사용하기는 지적측량에서 요구하는 정확도를 넘기 힘들었으나 WGS84 좌표와 구조삼각 좌표간의 변환은 일 개 시군 규모의 지역에서 무리없이 할 수 있었다.