

사회과학 - 연구자료

연구원 2006-12

# 지적측량기준점의 성과통일 및 활용 방안 수립

Coordinate Unification of Cadastral Control Points  
over the Country

양 철 수 · 우 인 제



대한지적공사  
지 적 연 구 원



# 지적측량기준점의 성과통일 및 활용 방안 수립

Coordinate Unification of Cadastral Control Points  
over the Country



대한지적공사  
지적연구원



## 제 출 문

지적연구원장 귀하

본 보고서를 2006년도 연구사업계획에 따라 수행한 "지적측량기준점의 성과통일 및 활용 방안 수립"의 최종 보고서로 제출합니다.

2006년 12월 일

지적연구원 양 철 수

## 연 구 진

연구책임 양 철 수 (연구위원)

연구원 우 인 제 (연구원)

이 보고서의 내용은 본 연구진의 견해로서 지적연구원의 공식견해와는 다를 수 있습니다.



# 요 약

## 1. 연구의 개요

### 1. 연구의 배경 및 목적

현재의 지적삼각점은 토지조사당시의 성과에 기초하여 지상측량방법에 의해 설치한 것으로 높은 산정에 위치하는 등의 이유로 지적측량에의 활용도가 점차 낮아지고 있다. 또한 성과의 불부합, 상이한 원점체계, 망실, 파손 등에 의해 정확한 측량에 제약이 많기 때문에 지적측량의 효율성 향상과 과학화에 부적합한 실정에 있다. 이 문제를 극복하여 현재의 지적측량 효율을 향상시키고, 또, 세계측지계의 도입에 대비하기 위한 작업이 수년간 계속되어 왔다.

본 연구에서는 우리나라 전역의 지적측량기준점에 대하여 GPS 관측에 의해 얻어진 세계좌표성과를 활용하여 삼각점의 베셀성과 점검을 실시하고, 점검(관측)결과에 바탕하여 새로운 지적좌표 및 세계좌표를 산출하였다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

전국 통일의 신속·정확한 지적측량 실현을 위해서는 전국적으로 통일된 지적측량기준점 성과의 사용이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 전년도 「지적재조사사업의 기준점활용방안 연구」에서 행정자치부 지적팀에서 운영하고 있는 32개소의 GPS 상시관측소와 우리나라 전역에 분포하는 약 900점의 1·2·3등 삼각점을 대상으로 GPS 관측에 의한 기선벡터를 이용하여 삼변망조정계산방법에 의한 전국통일성과를 산출하였다.

새로이 성과를 산출하였다 해도 기존 성과를 갱신 고시하는 데에는 문제가 있다. 지역에 따라 기존의 지적측량 성과와 큰 괴리가 발생할 수 있기 때문에 현재까지 작성되어 온 도면 성과를 활용하기 위해서는 기존 도면을 새로운 기준점 성과에 부합·접근시켜야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 현재 성과와 가장 근접하도록 기준점 성과를 정비하는 방안을 도출하였다. 즉, 지역

특성을 반영하여, 예를 들어, 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과 산출 방법을 개발하고 활용 방안을 수립하였다.

### 3. 주요 연구내용

본 연구에서는 전년도에 개발한 소프트웨어를 실제 업무에 적용하여 연구 개발성과의 실용화를 달성하고자 한다. 이와 관련하여 설정한 주요 연구내용은 다음과 같다.

#### (1) 전국통일성과 산출

각 지사별로 자체에서 선정·관측한 지적삼각점에 대하여 전국 통일의 세계좌표(ITRF) 및 지적좌표(Bessel) 산출한다. 금번 연구에서는 실제 지적측량에의 사용빈도가 높은 지적삼각점을 대상으로 성과 산출 및 갱신을 목표로 한다. 이에 따라 금년도 연구에서는 우리나라 전역에 걸쳐 약 500점에 대한 GPS 관측 자료가 확보됨에 따라 이들 점에 대한 통일성과를 산출하였다.

#### (2) 성과점검 및 전파

본 연구에서 개발한 조정계산 SW를 이용하여 지적삼각점에 대한 성과를 점검하고 그 성과를 전파하여 연구개발성과의 실용화를 달성하고, 실제 업무에 참고할 수 있도록 한다.

## II. 연구의 결과

본 연구에서는 GPS 관측의 성과를 이용하여 현재 지적측량에서 사용하고 있는 베셀타원체면상의 좌표를 산출하였다.

1) 우리나라 전역을 통하여 상호 부합하는 성과

2) 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과 (예, 서울시 일원)

3) 특정 기준점과 연결하여 조정하는 성과 (예, 부산시 일원)

등 기준점 정비의 목적과 실무 작업에 활용하기 위한 유형에 맞게끔 성과

를 산출하는 방법을 확립하고, 실제 문제에 적용하였다.

실제 문제에 적용한 성과로서는, 우리나라 전역의 베셀통일 성과와 관련해서는 32개소 지적위성기준점 및 삼각점 약 1,200점에 대한 전국망조정좌표를 산출하였고, 실무 활용을 겨냥하여 서울시 및 부산시의 예를 들어 지역 특성을 반영하는 성과 산출 방법을 도출하고 실제 성과를 산출하였다.

### Ⅲ. 기대효과 및 활용방안

#### (1) 「GPS에 의한 지적측량 규정」의 보완

안정점 선별, 고정점의 채용 등 조정계산에서 필요로 하는 요소들에 대한 사전 정보가 확보됨에 따라 망조정계산방법에 의한 상세한 작업 공정을 「GPS에 의한 지적측량 규정」에 반영한다.

#### (2) 삼변망조정계산 S/W의 보급

개발한 조정계산 SW를 일선에 보급하여 실무에 활용하는 데에 도움이 되도록 실무자용의 기준점측량계산 SW를 개발하고, 사용자 지침서를 작성한다. 사용자 교육은 본부/지사 방문에 의해 지역의 기준점 특성을 반영하는 방안과, 교육연수원 교육과정에서 반영시키는 방안을 병행 추진한다.

#### (3) 지적위성기준점의 베셀성과 고시

행정자치부에서 계획하고 있는 지적위성기준점의 베셀좌표의 등록 고시에 관련하여 본 연구에서 산출한 결과가 채용될 수 있도록 추진한다.

#### (4) 전국통일 베셀성과의 전파

지사에서 필요로 하는 지적삼각점에 대하여 전국 통일의 정확한 세계좌표 및 지적좌표를 산출 제공과 후속의 기준점망 구축을 위한 GPS 관측자료 및 SW 운용 대하여 각 본부(지사)에 연구 성과 확산 및 실무 활용 지원을 추진한다.



# 목 차

<b>제1장 서론</b> .....	1
제1절 연구배경 .....	1
제2절 연구방향 설정 .....	2
제3절 선행연구 분석 .....	3
<b>제2장 GPS 관측자료</b> .....	6
제1절 지적위성기준점의 세계측지계 성과 .....	6
제2절 관측배경 및 일정 .....	10
제3절 관측 및 자료취합 .....	13
제4절 GPS 자료처리 .....	14
1. GPS 성과산출(기선해석, 망조정) .....	14
2. 세계측지계 성과의 재현성 분석 .....	15
<b>제3장 베셀성과의 산출</b> .....	17
제1절 삼변망조정계산 방법의 적용 .....	17
1. 조정계산 알고리즘 .....	18
2. GPS 관측거리의 취급 .....	21
3. 초기좌표의 설정 .....	24
4. 투영원점의 설정 .....	25
제2절 전국 통일성과 산출 .....	26
제3절 지역 성과의 산출 .....	31
1. 서울시 일원 .....	34
2. 부산시 일원 .....	40
<b>제4장 결론 및 활용방안</b> .....	48

제1절 결론 .....	48
제2절 활용 방안 .....	50
1. 「GPS에 의한 지적측량 규정」의 보완 .....	50
2. 삼변망조정계산 SW의 보급 .....	52
3. 지적위성기준점의 베셀 성과 고시 .....	52
4. 전국 통일 베셀 성과의 전파 .....	53
참고문헌 .....	54
부    록 .....	55

## 표 목차

< 표 2-1 > 행정자치부 GPS 상시관측소의 세계측지좌표 (ITRF2000, Epoch 2004.0) .....	8
< 표 2-2 > 국토지리정보원 GPS 상시관측소의 세계측지좌표 (ITRF2000, Epoch 2004.0) .....	9
< 표 3-1 > 우리나라전역 163개 삼각점으로부터 구한 좌표변환파라미터	25
< 표 3-2 > 지적위성기준점(GPS상시관측소)의 지적(베셀)좌표 .....	28
< 표 3-3 > 조정계산에 사용한 고정점과 미지점의 분포 .....	30
< 표 3-4 > 서울/인천/경기 지역의 중복점 일부 .....	31
< 표 3-5 > 서울시 일원 일부점의 조정계산 결과(베셀 평면좌표) .....	35
< 표 3-6 > 서울시 고정망조정계산의 결과 .....	36
< 표 3-7 > 부산시 일부 점의 성과 .....	40
< 표 3-8 > 부산시 일원의 삼각점 성과(베셀 평면좌표) .....	41

## 그림 목차

< 그림 3-1 > 지적위성기준점의 지적좌표 산출 계산 흐름도 .....	34
--	----

# 제1장 서론

## 제1절 연구배경

토지조사사업 당시의 기준점 성과는 東京측지계의 성과로서 일본 동경을 측지원점(datum origin)으로 삼아 삼각측량에 의해 우리나라의 측지방 즉 우리나라 전역에 분포하는 삼각점의 위치를 베셀타원체에 전개한 것이다. 대삼각본점(현재의 1등삼각점) 400점, 평균변장 10km 간격의 대삼각보점(현재의 2등삼각점) 2401점, 평균변장 2.5km 간격의 소삼각점(현재의 3,4등 삼각점) 31,646점이 이에 해당한다. 31,646점의 3,4등 삼각점에는 토지조사사업 이전에 이미 특별한 원점을 설정한 구소삼각점 1,904점과 특별소삼각점 200점이 포함되어 있다.

지적측량기준점이라 함은 삼각점, 지적삼각점, 지적삼각보조점 등으로 구성된다. 지적삼각점 및 지적삼각보조점 등은 토지조사사업 당시에 설치된 삼각점을 기초로 하고 있으나 성과가 불확실한 점이 다수 포함되어 성과의 불부합이 발생하고 있다.

그런데 해방과 6.25 동란을 거치면서 많은 삼각점이 망실 파괴되었고, 이를 복구하는 과정에서 삼각점 성과에 많은 혼란이 생겼다. 이로 인해 행정자치부에서는 1975년 개정된 지적법에 따라 토지조사사업 당시의 성과와 표석을 기준으로 지적삼각점을 신설하여 그 성과를 등록·관리하고 있다. 그러나 현재 사용하고 있는 지적측량기준점은 토지조사사업 당시의 성과와 국토지리정보원의 정밀1차 및 정밀2차 망조정성과의 혼재, 평면투영방법의 상이함, 구소삼각·특별소삼각 지역의 존재 등에 의해 점간·지역간 불부합이 있다. 성과의 불부합, 상이한 원점체계, 삼각점의 망실, 파손 등에 의해 정확한 측량에 제약이 많다.

또, 현재의 측량기법과 비교하여 종래의 지적삼각점은 토지조사당시의 성과에 기초하여 지상측량방법에 의해 설치한 것으로 높은 산정에 위치하는 등의 이유로 지적측량의 활용도가 점차 낮아지고 있다. 이러한 문제들 때

문에 지적측량의 효율성 향상과 과학화를 위한 노력이 강구되어야 한다.

GPS의 도입 활용은 지금까지 사용하여 오던 기준점 및 기준점성과의 관리에 변화를 불러일으키고 있다. 행정자치부 지적팀에서는 신속·정확한 지적측량을 실현하기 위하여 2002년도에 「GPS를 이용한 지적측량개선계획」을 수립하여 현재 사용하고 있는 지적측량기준점 성과의 개선 및 GPS 활용에 편리한 새로운 좌표계의 도입을 추진하고 있다. 새로운 좌표계라 함은 GRS80타원체 기준의 ITRF2000을 예상할 수 있다. GPS상시관측소의 ITRF2000 좌표가 정해져 있다면, 어떤 점의 ITRF2000 좌표는 인근에 있는 GPS상시관측소와의 연결 관측에 의해 비교적 쉽게 산출된다. 행정자치부에서 운영하고 있는 GPS 상시관측소의 ITRF2000 좌표는 2004.0을 시점(epoch)으로 하는 성과가 결정되어 있다.

그러나 지금까지의 측량 성과가 모두 기존의 지적(베셀)좌표계에 근거하고 있으므로, 새로운 체계로의 전면적 전환이 이루어지기 전에는 新·舊 좌표계 성과의 병행활용이 불가피하다. 이 경우 지표상의 같은 점이라 해도 어떤 성과를 사용하느냐에 따라 측량하는 점의 위치가 달라진다면 新·舊 좌표계 성과의 병행활용은 혼란을 일으킨다. 정확한 관측이 이루어진다면, 어떤 점을 기준으로 삼더라도 동일한 성과가 산출되어야 한다. 현재의 측량기기로부터 얻을 수 있는 정확한 관측 값을 그대로 이용할 수 있어야 한다.

## 제2절 연구방향 설정

본 연구에서는 우리나라 전역의 지적측량기준점에 대하여 GPS 관측에 의해 얻어진 세계좌표성과를 활용하여 삼각점의 베셀성과 점검을 실시하고, 점검(관측)결과에 바탕하여 새로운 지적좌표를 산출하였다. 이에 의해 현재의 지적측량 효율을 향상시키고, 또, 세계측지계의 도입에 대비코자 하였다.

전국 통일의 신속·정확한 지적측량 실현을 위해서는 전국적으로 통일된 지적측량기준점 성과의 사용이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 전년도

「지적재조사사업의 기준점활용방안 연구」에서 행정자치부 지적팀에서 운영하고 있는 32개소의 GPS 상시관측소와 우리나라 전역에 분포하는 약 900점의 1·2·3등 삼각점을 대상으로 GPS 관측에 의한 기선벡터를 이용하여 삼변망조정계산방법에 의한 전국통일성과를 산출하였다.

여기서 말하는 전국통일성과라 함은 베셀타원체상의 성과로서 현재까지 지적측량에 사용하여 온 베셀체계에서 새로이 산출한 성과를 말한다. 베셀체계에서라 해도 측량 신청에 의한 업무수행의 결과로 측량성과의 누적이 이루어지면 지적재조사사업의 부분적 수행 효과를 거둘 수 있다. 왜냐하면, 새로운 기준점 성과에 바탕하여 정확한 지적측량을 실시하고 도면이 작성되면, 이 도면을 가령 지적재조사사업에서 채용할 세계측지계상의 도면으로 쉽게 전환 활용할 수 있기 때문이다.

그런데 이 점들은 이미 그 성과가 고시되어 활용되고 있으므로 새로이 성과를 산출하였다 해도 기존 성과를 갱신 고시하는 데에는 문제가 있다. 지역에 따라 기존의 지적측량 성과와 큰 괴리가 발생할 수 있기 때문에 현재까지 작성되어 온 도면 성과를 활용하기 위해서는 기존 도면을 새로운 기준점 성과에 부합·접근시켜야 한다. 이 작업이 원활히 이루어진다면 현재 도면의 품질 향상 및 연속지적도의 작성에 활용할 수 있다. 단, 이 작업은 기준점 성과의 문제뿐만 아니라 도면의 신축 왜곡 등의 문제를 복합적으로 해결해야 하므로 기술적으로 쉽지 않을뿐더러 제도적 혼란을 초래할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 현재 성과와 가장 근접하도록 기준점 성과를 정비하는 방안을 도출하였다. 즉, 지역 특성을 반영하여, 예를 들어, 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과 산출 방법을 개발하고 활용 방안을 수립하였다.

### 제3절 선행연구 분석

전년도 「지적재조사사업의 기준점활용방안 연구」에서는 우리나라 전

역의 주요 기준점 성과를 점검하고 새로운 지적좌표를 산출하기 위한 삼변망조정계산SW를 개발하고 실제 문제에 적용하였다. 현재 사용하고 있는 기준점에서의 GPS 관측자료를 바탕으로 32개소 지적위성기준점(GPS상시관측소)의 지적좌표를 산출하였으며, 이에 바탕하여 우리나라 전역 삼각점의 통일성과를 산출하였다.

(1) 전국 어디에서나 5cm 이내의 정확도로서 지적(베셀)기준점 성과 결정을 위한 기술개발을 완료하였다. 현재 사용하고 있는 기준점에서의 GPS 관측자료를 바탕으로 32개소 지적위성기준점(GPS상시관측소)의 지적좌표를 산출하였으며, 이 중에서 3점만을 지적측량기준점으로 활용하더라도 정확한 기준점성과(지적좌표)의 산출이 가능하게 되었다.

(2) 우리나라 전역의 주요 기준점 성과를 점검하고 새로운 지적좌표를 산출하였다. 1·2·3·4 등 삼각점 약 900점에 대한 경·위도 및 평면직각좌표를 산출하였다. 투영원점과 계산범위의 차이에 따른 조정 계산 성과의 왜곡을 고려하더라도 새로 산출되는 성과는 점간 거리 오차가 1ppm을 넘지 않는다.

(3) 앞의 성과는 좌표변환계산, 망조정계산 등 모두 자체 기술력에 의해 독자적으로 개발한 소프트웨어에 의하여졌다. 이들 소프트웨어에는 지오이드모델, 평면투영변환 등의 계산 모듈이 내재되어 있다. 좌표변환소프트웨어는 세계측지좌표와 지적좌표간의 순변환 및 역변환 기능이 있다. 망조정계산소프트웨어는 기타원점 지역삼각점의 성과 점검, 통일원점 성과의 계산 등 향후 활용도가 높다.

그런데, 이 점들은 이미 그 성과가 고시되어 활용되고 있으므로, 새로운 성과를 산출한다 해도 기존 성과를 갱신 고시하는 데에 따른 문제가 있다. 따라서 현재 기준점의 성과를 갱신한다든지, 또는 새로운 표석점을 설치·운영하는 등의 업무가 따라 주어야 한다.

새로운 표석점의 설치에 RFID 연구에서 추진되고 있다. 지적재조사사업의 추진 및 세계측지좌표계의 도입 운영을 고려하면, GPS 관측환경이 양호하고 관리가 용이한 최소한의 점을 선정하여 새로운 표석점을 설치하는 것이 필요하다. 이 점들은 세계측지계 성과와 베셀측지계 성과를 동시에 갖도록 한

다. 세계측지계 성과이든 베셀측지계 성과이든 각 계열의 성과가 상호 부합하여 어떤 점을 기지점으로 활용하더라도 동일한 지적측량 성과를 제공할 수 있는 기반이 마련되었다.

## 제2장 GPS 관측자료

### 제1절 지적위성기준점의 세계측지계 성과

세계측지계는 좌표계의 원점을 특정 지역이 아닌 지구의 질량중심에 둔 지구중심좌표계이다. 세계 공통의 측지계를 말하며, 위치정보의 생산 관리에 대한 일종의 글로벌스탠다드이다.

세계측지계는 ITRF2000 좌표계(International Terrestrial Reference Frame : 국제지구기준 좌표계)와 GRS80(Geodetic Reference System 1980 : 측지기준계 1980) 타원체를 사용해 나타내며, 표고는 현재와 같이 평균해수면을 기준해서 나타낸다. 개념적으로 볼 때 세계측지계는 세계 공통의 것이지만, 국가마다 채용하는 기준시점(epoch)과 구현 정확도에 따라 다르므로 구축된 지역과 기준시점마다 다른 명칭을 붙이고 있다. 우리나라의 경우에는 한국측지계2002(Korea Geodetic Datum 2002: KGD2002)로 명명하고 있다. 한국측지계는 기준시점을 2002년 1월1일(epoch 2002.0)로 하고 있다.

한편, 행정자치부에서는 2004년도에 수행한 「GPS를 이용한 지적측량기술개발 등에 관한 연구」에서 2004년 1월1일 (epoch 2004.0)을 시점으로 하여 행정자치부 30 개소와 대한지적공사의 2개소 등 32개 GPS상시관측소의 ITRF2000좌표를 산출하였다<표 2-1>. 이 중에서, 보은 상시관측소는 이동설치됨에 따라 2005년 4월 7일 이후 보은 상시관측소의 위치는 BOEN2 (보은2)로 표시하였다. BOEN2 (보은2)의 좌표계산은 2005. 6. 1~ 6. 3 관측데이터에 의하였고 계산 시점은 2005년 6월1일이다.

임의 관측점에 대해 2004.0 시점의 ITRF2000 좌표를 구하는 것은 인근의 GPS상시관측소와 연결하는 관측망을 구성하고 기선해석 및 망조정계산시 이들 관측소의 세계측지좌표를 고정하여 처리하면 된다. 이 과정에서는 인근의 상시관측소를 활용하는 것이 효율적이므로 국토지리정보원 등 타기관의 상시관측소와의 연결처리가 효율적일 수 있다. 이를 감안하여 앞에서 소개한 행정자치부의 연구결과로서 국토지리정보원의 14개 상시관측소의 세계측지

좌표를 <표 2-2>에 실었다.

그런데, 국토지리정보원의 14개 상시관측소에 대하여 시점을 달리하는 계산 좌표를 비교하면 차이가 있다. 국토지리정보원 고시 제2002-444호(2002.12.30)에 의한 국토지리정보원2002성과(A)와 행자부2004성과(B)의 평균적 차이(A-B)는 위도  $0.0002''$  (Std.= $0.0001''$ ), 경도  $-0.0021''$  (Std.= $0.0002''$ ), 타원체고  $-0.019\text{m}$ (Std.= $0.0062\text{m}$ ) 이다. 두드러진 차이는 동서(경도) 방향의 성분으로 약 5cm에 달한다. 지각변동 등 여러 가지 복합적 요인에 의해 기준시점에 따라 상시관측소의 좌표가 다른 것은 당연한 결과라 하겠으나, GPS 상시관측소가 세계측지계 기준점망의 골격임을 감안하면 두 기관의 성과를 단일화하는 것이 바람직하다.

단일화의 방법으로는, 행정자치부에서 발표한 최신의 2004.0 시점의 성과를 채용하는 것이 권장되지만, 2002.0 시점의 성과와 2004.0 시점의 성과간의 좌표변환관계를 도출·적용하는 방법도 고려할 수 있다. 두 기관이 좌표변환관계를 상호 인정하여 활용하는 방안이다. 이 경우의 좌표변환은 동일한 좌표계간의 변환이므로 GRS80타원체상에서 이루어진다.

한편, 현재 지적분야에서 2003년도부터 실시한 전국동시GPS관측에 의하여 축적하고 있는 GPS 관측점의 세계측지좌표 성과는 행정자치부의 2002년도 연구에서 시범 산정한 GPS 상시관측소 성과에 기준하고 있다. 만일 세계측지계로서 2004.0 시점의 좌표를 채용하게 되면 전국동시의 GPS 관측점의 세계측지성과를 재결정해야 한다.

재결정의 방법은 기선해석의 결과를 이용하여 세계측지계상에서의 3차원 망조정계산을 재수행하는 것이 정상적이지만, GPS 상시관측소의 2002.0 성과와 2004.0 성과간의 좌표변환관계를 구하고 이를 GPS 관측점에 적용하여도 실용적 측면에서 문제가 없다. 외국의 경우에도 기준시점을 달리하는 좌표계간의 변환방법을 채용하고 있다.

< 표 2-1 > 행정자치부 GPS 상시관측소의 세계측지좌표 (ITRF2000, Epoch 2004.0). BOEN(보은) 상시관측소는 2005년 4월7일부로 인근지역으로 이전 설치되었음. BOEN1 (보은1)은 이전 설치 전, BOEN2 (보은2)는 이전 설치 후의 좌표 임.

상시관측소	위도(도·분·초)	경도(도·분·초)	h(m)
BOEN <sup>1</sup> (보은 <sup>1</sup> )	36-29-11.5161	127-43-50.3191	207.952
BOEN <sup>2</sup> (보은 <sup>2</sup> )	36-29-18.1251	127-43-48.9623	212.360
CHAN (천안)	36-52-40.8326	127-09-18.9099	69.657
CHUN (춘천)	37-52-10.0298	127-42-38.7671	140.936
CHJU (제주)	33-23-05.0471	126-37-08.6124	785.599
CHLW (철원)	38-09-52.1370	127-24-54.8807	308.863
CHNG (창녕)	35-31-59.9195	128-28-41.0183	61.829
CHSG (청송)	36-26-08.2614	129-03-22.8472	250.116
CHYG (청양)	36-27-32.0469	126-48-05.3834	136.541
DOND (동두천)	37-54-07.3891	127-03-38.6650	140.531
GOCH (거창)	35-40-04.4434	127-56-35.9932	217.303
GSAN (괴산)	36-48-58.1950	127-47-12.4446	183.233
HADG (하동)	35-09-44.6986	127-42-33.2457	76.688
HONC (홍천)	37-42-32.9788	128-11-39.5707	372.273
INJE (인제)	38-04-10.0683	128-10-14.8610	257.607
INCH (인천)	37-25-11.4876	126-41-11.1813	88.532
JAHG (장흥)	34-40-31.2554	126-53-58.4567	116.845
JUNG (정읍)	35-37-21.9582	126-58-26.5038	141.466
KIMC (김천)	36-08-14.6332	128-08-32.2532	94.746
KUNW (군위)	36-14-00.5250	128-34-27.2636	175.033
MUJU (무주)	36-00-11.8361	127-39-40.2299	230.264
NAMW (남원)	35-25-22.9664	127-23-46.2265	179.916
NONS (논산)	36-11-10.9345	127-05-56.8491	50.757
PAJU (파주)	37-44-47.0629	126-44-16.4342	73.603
PUSN (부산)	35-14-02.1749	129-04-29.4421	158.751
SONC (순천)	34-57-26.9349	127-29-10.0870	43.701
WOLS (울산)	35-30-20.5052	129-25-02.2594	89.486
YANP (양평)	37-27-15.0802	127-30-20.2444	71.613
YECH (예천)	36-39-05.2516	128-26-46.8164	136.756
YONG (영광)	35-16-42.9004	126-30-59.2962	100.057
YOWL (영월)	37-10-57.0650	128-27-42.5287	253.664
CHWN(창원)	35-14-10.0344	128-41-34.7817	88.422
YOIN(용인)	37-13-15.2685	127-13-51.7330	170.515

< 표 2-2 > 국토지리정보원 GPS 상시관측소의 세계측지좌표 (ITRF2000, Epoch 2004.0).

상시관측소	위도(도·분·초)	경도(도·분·초)	h(m)
제주(CHJU)	33-30-50.13590	126-31-47.35344	50.3709
청주(CNJU)	36-37-36.82027	127-27-40.41828	93.5191
진주(JINJ)	35-10-23.11331	128-02-58.82928	122.0286
전주(JUNJ)	35-50-36.42709	127-08-06.45108	77.1759
강릉(KANR)	37-46-15.33893	128-52-05.62188	57.0805
광주(KWNJ)	35-10-42.15112	126-54-36.85392	71.629
서산(SEOS)	36-46-35.07269	126-29-39.13080	52.2841
상주(SNJU)	36-22-44.99188	128-08-40.11900	111.6050
서울(SOUL)	37-37-46.89703	127-04-47.00856	59.1308
수원(SUWN)	37-16-31.85274	127-03-15.26580	83.8316
태백(TABK)	37-09-39.12768	128-58-32.17188	763.2489
대구(TEGN)	35-54-22.70308	128-48-07.08372	106.4056
원주(WNJU)	37-20-13.94502	127-56-49.51968	180.2296
울진(WULJ)	36-59-31.11482	129-24-46.78452	80.7692

세계측지계의 경우에는, 기선해석 및 망조정계산 등의 컨트롤 포인트 역할을 하는 GPS 상시관측소가 최종적으로 어떤 성과를 채용하느냐에 따라 기산출한 GPS 관측점의 성과를 갱신해야 함을 감안하면 세계측지계 성과를 시급히 확정해야 한다. 다만, 본 연구에서 시도하는 베셀 기준점성과의 통일 은 GPS관측점간의 기선거리를 이용하는 것이므로 세계측지계 성과의 변동에 거의 영향을 받지 않는다고 하겠다.

## 제2절 관측배경 및 일정

본 연구에서 이용한 GPS 관측자료는 “정보화 시대에 걸맞는 효율적인 지적측량체계와 신속·정확한 지적측량 대민서비스 구현”을 목적으로 행정자치부에서 추진하고 있는 사업의 일환으로 행한 GPS 관측자료를 이용하였다. 당시 “GPS를 이용한 지적측량방법 개선계획”은 여러 가지 세부과제로 나누어 진행되었는데 처음에는 지적기술교육연구원 및 각 본부 GPS 전담팀이 업무를 수행하였고, 그 이후 2003년 6월 GPS 추진단이 발족하면서 업무를 수행하게 되었다. 또한 2006년 7월 이후에는 지적연구원이 개원함으로써 업무가 이관되었다.

위의 사업은 우리나라 측지기준계의 세계측지계 전환이라는 시대적 흐름과 GPS 상시관측소를 이용한 지적기준점망 정비의 일환으로 통일된 세계측지좌표 산출, 통일된 지적좌표 산출, 정확한 지적기준점 성과 제공 및 지적재조사 사업의 근간 마련 등의 목적을 이유로 추진되었다.

본 연구에서는 2003년부터 2005년 2차까지 동시 관측된 자료를 처리하여 산출된 ITRF성과를 이용하였다. 2003년부터 2005년까지 관측된 자료의 현황은 다음과 같다. (강상구, 김준식, 2005 : 5-7)

### (1) 1차 관측

- 관측일시 : 2003. 7. 23 ~ 25까지 6시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1, 2등 삼각점 위주의 124점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

### (2) 2차 관측

- 관측일시 : 2003. 9. 16 ~ 20까지 6시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1, 2등 삼각점 위주의 174점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

## (3) 3차 관측

- 관측일시 : 2003. 11. 25 ~ 27까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1, 2등 삼각점 위주의 163점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

## (4) 4차 관측(2004년 1차)

- 관측일시 : 2004. 8. 23 ~ 26까지 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 위주의 185점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

## (5) 5차 관측(2004년 2차)

- 관측일시 : 2004. 9. 13 ~ 17까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 위주의 171점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

## (6) 6차 관측(2004년 3차)

- 관측일시 : 2004. 10. 25 ~ 29까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 위주의 167점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

## (7) 7차 관측(2004년 4차)

- 관측일시 : 2004. 11. 8 ~ 12까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 175점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료

- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(8) 8차 관측(2004년 5차)

- 관측일시 : 2004. 11. 22 ~ 26까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 183점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(9) 9차 관측(2005년 1차)

- 관측일시 : 2005. 3. 14 ~ 18까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 161점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(10) 10차 관측(2005년 2차)

- 관측일시 : 2005. 4. 11 ~ 15까지 4시간 전국 동시관측 완료
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 161점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(11) 11차 관측(2005년 3차)

- 관측일시 : 2005. 8. 29 ~ 9. 16까지 각 본부별 자체관측
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함함 182점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(12) 12차 관측(2005년 4차)

- 관측일시 : 2005. 9. 20 ~ 30까지 4시간 각 본부별 자체관측
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 137점

- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(13) 13차 관측(2005년 5차)

- 관측일시 : 2005. 10. 4 ~ 13까지 4시간 각 본부별 자체관측
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 129점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(14) 14차 관측(2005년 6차)

- 관측일시 : 2005. 10. 17 ~ 11. 11까지 각 본부별 자체관측
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 138점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

(15) 15차 관측(2005년 7차)

- 관측일시 : 2005. 10. 17 ~ 11. 11까지 각 본부별 자체관측
- 관 측 점 : 1~4등 삼각점 및 지적기준점을 포함한 216점
- 처리내용 : 기선해석 및 망조정 완료
- 산출성과 : 세계측지좌표계(ITRF)

따라서 2003년부터 2005년까지 관측된 자료들은 2003년 461점, 2004년 881점, 2005년 1,124점으로 총 2,466점이 관측되었고, 이에 대한 기선해석 및 망조정이 완료되어 ITRF성과를 산출하였다.

### 제3절 관측 및 자료취합

GPS 관측을 위하여 각 본부의 GPS 전담팀에서는 관측하고자 하는 삼각점에 관련 정보를 파악하고 현장답사를 통해 삼각점의 유무 및 측량 가능한 삼각점을 선정하였다. 이러한 정보를 숙지하여 GPS 추진단에서 여러 사항들을 고려하여 관측망을 작성하고 이를 토대로 GPS 동시관측을 실시하였다.

GPS 측량을 위하여 사용한 GPS 수신기는 Trimble 4700, Leica SR520, Sokkia Radian, Novatel 등 4종류의 수신기를 이용하였다. 이러한 서로 다른 종류의 수신기는 각각 고유의 자료처리 소프트웨어를 가지고 있어 자료처리시 4종류의 소프트웨어를 사용하여야 한다. 망을 구성하는 관측점을 동시에 처리하기 위하여 GPS 자료 공통 포맷인 RINEX 포맷으로 변환하여 GPS 자료를 수집하였다.

### 제4절 GPS 자료처리

#### 1. GPS 성과산출(기선해석, 망조정)

GPS 성과를 산출하기 위하여 사용하였던 프로그램은 Trimble Geomatics Office(Ver 1.6)이었다. GPS 성과산출을 위한 자료처리는 기선해석 및 망조정으로 구성된다. 자료처리를 위하여 먼저 원시파일 및 RINEX파일을 점검하고 전리층보정모델 및 대류층보정모델 등 여러 가지 오차 보정모델을 적용하여 기선처리, 기선 재처리, 망조정, 성과분석 순으로 진행하였다.

GPS 관측자료는 세션별 블록별로 처리하였다. 지적위성기준점(GPS상시 관측소)를 기선해석의 기점으로 삼아 계산처리하고, 기선해석에 포함된 지적위성기준점을 고정하는 망조정계산에 의해 관측점의 세계측지좌표(ITRF2000)를 산출하였다. 지적위성기준점의 세계측지좌표는 행정자치부

2002 연구용역에 의한 결과를 이용하였다. 처리결과는 “GPS에 의한 지적측량작업규정”에서 규정하는 점검 계산을 거쳐 최종성과를 확정하였다.

#### (1) 기선해석

기선해석은 두 관측점 사이의 정확한 거리를 계산해냄으로써 관측점의 상호관계 및 정확한 위치를 획득하기 위하여 실시한다. 기선해석 시 성과가 불량한 기선에 대해서는 통계치 분석을 통하여 상대가 불량한 위성을 제거하여 기선을 재처리한다. 또한 위성별 시간대 및 상시관측소의 시간대 등을 편집하여 불필요한 자료의 처리를 최소화한다.

또한 처리된 기선의 점검을 위하여 각 세션별로 처리된 중복기선을 이용하여 교차분석과 폐합차를 비교하여 GPS에 의한 지적측량규정에 준해 그 허용오차를 준수하여 허용여부를 판단하였다.

#### (2) 망조정

기선해석을 통하여 얻어진 기선벡터에 신뢰성을 부여하고 정확한 3차원 좌표를 얻어내기 위해서는 망조정 과정을 거쳐야 한다. 망조정 단계에서는 최소제약조정인 자유망 조정을 먼저 수행하여 망폐합에 대한 통계수치의 수용가능성을 수행한 후 상시관측소를 고정점으로 하여 망조정을 실시하였다. 또한 망조정시 카이스퀘어 검증을 실시하여 만족할 때까지 반복계산을 실시하였다.

## 2. 세계측지계 성과의 재현성 분석

GPS 측량의 성과는 기상상태, 전리층상태, 지각변동 등 측량이 이루어지는 시점의 환경 요인에 영향을 받아 측정점의 위치가 미세하게 변화한다. 이러한 요인 때문에 GPS 측량의 기선거리 오차가 1ppm 이라 하고 있다.

본 연구에서 사용하고 있는 GPS 측량의 성과는 2003~2005에 걸쳐 관측한 것으로 관측망의 연결 등을 위하여 동일한 관측점에 대하여 수차례 중복관

측이 이루어졌다. 이들 중복 관측점의 세계측지계상 위치 좌표는 약 남북 0.6cm, 동서 0.9cm의 변동이 있는 것으로 나타났다 이 변동량은 세계측지계 성과를 이용하여 베셀측지계의 성과를 산출할 경우 예상되는 베셀측지계 성과의 변동량을 시사한다.

## 제3장 베셀성과의 산출

### 제1절 삼변망조정계산 방법의 적용

전년도 연구에서는 전국 어디에서나 5cm 이내의 정확도로서 베셀기준점 성과 결정을 위한 조정계산(Network Adjustment) 기술개발을 완료하고, 현재 사용하고 있는 기준점에서의 GPS 관측자료를 바탕으로 32개소 지적위성 기준점의 지적(베셀)좌표를 산출하였다. 또, 전국 주요 1/2/3/4 등 삼각점 약 900점에 대한 새로운 지적기준점 좌표(B, L 및 X, Y)를 산출하는 등의 성과를 거두었다.

금년도 연구에서는 전년도에 개발한 소프트웨어를 실제 업무에 적용하여 연구개발성과의 실용화를 달성코자 하였다. 이와 관련하여 수행한 주요 연구 내용은 다음의 두 가지이다.

첫째, 전년도 900점에 이어 지적측량기준점의 전국 통일성과 산출을 확대 추진하였다. 우리나라 전역에 걸쳐 약 500점에 대한 GPS 관측자료가 새로이 확보됨에 따라 이들 점에 대한 전국통일 성과를 산출하였다. 여기서 말하는 전국통일성과라 함은 베셀타원체상의 성과로서 현재까지 지적측량에 사용하여 온 베셀체계에서 새로이 산출한 성과를 말한다.

둘째, 지역 측지망의 특성을 반영하는 성과를 산출하였다. 전국통일성과는 지금까지 지적측량에 사용하여 왔던 성과와 다르기 때문에 기존 측량 성과의 수정이 수반되어야 하는 등 실무에 직접 활용하는 데에는 여러 가지 어려운 문제가 발생할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 현재 성과와 가장 근접하도록 기준점 성과를 정비하는 방안을 도출하였다. 즉, 지역 특성을 반영하여, 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과를 산출하였다.

새로운 성과의 산출은 삼변망조정계산방법에 의하였다. 망조정계산방법은 GPS 관측에 의한 점간 기선벡터를 이용하여, 각 점의 추정좌표에 의한 계산

치와 점간 실측치의 차이를 최소로 하는 처리에 의한다. 즉, 각각의 점의 좌표를 미지수로 하는 조정기법이다. 따라서 망조정계산방법에 의해 미지점의 좌표를 구할 경우에는 실제 관측치와 일치하는 결과를 얻을 수 있다. 이 때문에 좌표변환에 의한 성과를 초기추정좌표로 채용하고, 지적위성기준점간의 즉 GPS 관측자료처리에 의한 점간거리를 관측치로 하는 망조정계산을 실시하였다. 본 연구에서 개발한 삼변망조정계산의 알고리즘은 다음과 같다.

- (1) GPS 관측에 의한 점간 기선(경사)거리를 산출하였다.
- (2) 점간 경사거리를 수평면에 전개하고 (수평거리), 수평거리에다 평면투영에 따른 거리증대율을 적용하여 평면투영거리를 계산하였다 (GPS평면거리). 점간 경사거리를 수평면에 전개하는 데에는 PNU95 지오이드 모델을 이용하였다.
- (3) 조정계산에 필요한 요소인 미지점의 초기 추정 좌표는 ITRF→Bessel 간의 좌표변환 결과를 채택하였다.
- (4) 점간거리와 추정 좌표를 이용하여 관측방정식을 세웠다.
- (5) 최소제곱법에 의해 각 점의 추정좌표에 의한 계산치와 점간 실측치의 차이가 최소가 되도록 추정 좌표의 수정량을 구하였다.
- (6) 추정좌표에 수정량을 가하면서, 수정량의 변동이 미소값에 수렴하도록 (4)-(5) 과정을 반복하였다.

삼변망조정계산에 관한 앞의 과정 중 본 연구에서 개발·적용한 알고리즘을 소개하면 다음과 같다

## 1. 조정계산 알고리즘

삼변망조정계산은 실제의 점간 거리와 점간 좌표차에 의한 계산거리와의 표본분산치(실제의 관측량과 그 최확치와의 차이의 제곱)의 총합을 최소로 하는 조건에 의해 측지망의 좌표의 최확치를 계산하는 방법이다. 망조정계산

과정에서의 관측량이란, 투영면상에 화성된 관측거리 및 관측방향각이다. 또, 조정계산에 들어가는 측지망의 점은 TM 투영법에 근거한 평면좌표상의 점으로서 취급한다. 다시 말하면, XY망조정계산은 평면좌표계상에서 처리되므로, 망조정계산의 입력데이터, 즉 GPS 관측으로 얻어진 기선거리 등은 평면상의 값으로 환산하여야 한다.

현행의 지상측량 방법에서는 지표면에서 측정한 거리 및 각도 등을 기선의 평균표고와 평균곡률반경을 이용하여 기준면상의 값으로 전개하고 있다. 이 경우, 측량의 기준면과 Bessel 타원체면이 일치한다는 가정을 전제로 하고 있으므로 타원체면거리와 기준면거리는 동일시된다. 그러나, GPS에서는 GRS80 타원체에 준거한 순수한 기하학적 측량이 이루어지므로 기준면거리와 타원체면거리는 달리 취급되어야 한다.

따라서 GPS에 의한 기하학적 관측성과를 현행 좌표계상의 삼변망조정계산에 활용하기 위해서는 점간 3차원 좌표의 차이 또는 기선벡터를 이용하여 현행의 평면좌표계상의 거리로 산출하는 과정이 필요하다. 삼변망조정방법은 GPS 관측성과로부터 현행 측량의 기준면거리와 평면투영거리를 산출하고 현행의 삼각점성과를 참조하여 점의 성과를 재산출하게 됨으로써 점간 거리차, 점 좌표의 이동량, 오차 등의 분석이 가능하다는 장점이 있다. 또, GPS 관측치와 EDM 등 지상 관측데이터를 통합해서 처리할 수 있다.

거리관측을 선형화하여 관측방정식으로 나타내기 위하여, 두 점  $P_i(x_i, y_i)$ ,  $P_j(x_j, y_j)$  간의 거리를  $S_{ij}$  라 하고, 1차항까지의 Taylor 전개를 취하면,

$$\begin{aligned} S_{ij} &= S_{0ij} + \frac{\partial S_{ij}}{\partial x} dx_i + \frac{\partial S_{ij}}{\partial y} dy_i + \frac{\partial S_{ij}}{\partial x} dx_j + \frac{\partial S_{ij}}{\partial y} dy_j \\ &= S_{0ij} - a_{ij} dx_i - b_{ij} dy_i + a_{ij} dx_j + b_{ij} dy_j \end{aligned} \quad (1)$$

단,  $S_{0ij}^2 = (x_{0j} - x_{0i})^2 + (y_{0j} - y_{0i})^2$ ,  $a_{ij} = (x_{0j} - x_{0i})/S_{0ij}$ ,  $b_{ij} = (y_{0j} - y_{0i})/S_{0ij}$  이다. 여기서  $(x_{0i}, y_{0i})$  등은 초기추정좌표이고  $S_{0ij}$ 는 이로부터 계산한 두

점간의 추정거리이다. 이로부터, 관측치와 추정치의 잔차를  $v$ 로 표시하면 다음과 같다.

$$v_{ij} = -a_{ij}dx_i - b_{ij}dy_i + a_{ij}dx_j + b_{ij}dy_j - (S_{ij} - S_{0ij}) \quad (2)$$

잔차 벡터를  $V$ , 계획행렬(design matrix)을  $A$ , 미지수 벡터를  $X$ , 관측치 벡터를  $L$ 이라 할 경우, 관측방정식은 다음 식으로 표시된다.

$$V = AX - L \quad (3)$$

이 방정식에 대하여  $V^T P V = \min$  이라는 조건을 만족하는 정규방정식의 해, 즉 미지수 벡터의 추정치는 다음 식으로 나타난다.

$$X = N^{-1} U = (A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (4)$$

여기서,  $N = (A^T P A)$ ,  $U = (A^T P L)$ ,  $P$ 는 경중율(weight) 행렬이다. 행렬의 크기는,  $n$ 을 관측기선의 개수라 하고  $m$ 을 미지수의 개수라 할 경우,  $V, A, X, L, P$ 의 순번으로  $(n \times 1)$ ,  $(n \times m)$ ,  $(m \times 1)$ ,  $(n \times 1)$ ,  $(n \times n)$  이다.

점의 좌표를 미지량으로 하는 관측방정식은, 평균계산에 들어갈 측지망의 점수가 많아지더라도 그 행렬식이 커진다는 데에 지나지 않는다. 미지수 개수  $m$ 은 삼변망조정계산에서는 망 구성 점수의 2배이다.

앞 식의  $Q = N^{-1} = (A^T P A)^{-1}$  인 미지수 추정치의 중량계수행렬에서  $(x_n, y_n)$ 에 해당하는 행렬의 요소를 각각  $q_x, q_y$  라하고,  $q_x$  인근의 요소를  $q_{xy}$  라 하면, 망조정계산에 의한 각 점의 좌표의 표준편차는 다음과 같다.

$$\sigma_x = \sigma_0 \sqrt{q_x} \quad (5)$$

$$\sigma_y = \sigma_0 \sqrt{q_y} \quad (6)$$

여기서  $\sigma_0$ 는 망조정계산 결과 관측치의 단위중량당 표준편차로서 다음과 같다.

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{(n-m)}} \quad (7)$$

## 2. GPS 관측거리의 취급

GPS 성과에 의한 거리계산은, 경사거리를 타원체면에 전개하여 타원체거리를 구하고 그 결과를 지오이드면에 전개하여 기준면거리를 산출하였으며, 평면투영거리는 기준면거리에다 평면투영증대율을 가하여 산출하였다.

경사거리를 기준면상의 값으로 환산하기 위해서는 각각의 관측점에서의 표고에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 PNU95지오이드모델을 이용하여 타원체고도로부터 표고에 대한 정보를 추출하여 경사거리를 현행측량의 기준면상의 거리로 전개하는 데에 이용하였다. 지오이드 높이가 기선장 계산에 미치는 영향은, 예를 들어, GRS80 지오이드높이를  $\zeta \sim 25\text{m}$  라 가정하고  $R \sim 6370\text{km}$  라 할 경우  $\zeta/R \approx 4 \times 10^{-6}$ , 즉 4ppm로서 100km 당 40cm 에 이르는 비율로 길어지는 만큼 결코 무시할 수 없다. PNU95 지오이드는 RMS 오차가  $\pm 15\text{cm}$  이다 (양철수외, 2001).

기준면상의 거리  $S_\zeta$ 는 두 점의 GRS80 타원체고도를 각각  $h_1, h_2$  라 하고, 이 두 지점의 평균지오이드 높이를  $\zeta_m = (\zeta_1 + \zeta_2)/2$  라 하면, 다음과 같다.

$$S_{\zeta} = 2(R_{\alpha} + \zeta_m) \sin^{-1}\left(\frac{c}{2R_{\alpha}}\right) \quad (8)$$

$$c = \sqrt{\frac{d^2 - (h_1 - h_2)^2}{(1 + h_1/R_{\alpha})(1 + h_2/R_{\alpha})}} \quad (9)$$

여기서,  $c$ 는 GRS80타원체면상의 두 점을 잇는 직선거리 (chord distance) 이고,  $R_{\alpha}$ 는 두 점의 평균위도  $\varphi$  및 방위각  $\alpha$  를 함수로 하는 GRS80타원체의 곡률반경이다. 방위각  $\alpha$ 는 전방방위각 ( $\alpha_1$ ) 과 후방방위각 ( $\alpha_2 \pm \pi$ )의 평균치이다.

앞의 식에서,  $R_{\alpha}$ 는 두 점이 동일한 반경의 원호상에 있음을 가정하고 있다. 즉, 계산에 채용하는 평균곡률반경의 차이에 따라 타원체거리 및 기준면거리가 달라질 수 있다. 이 때문에 타원체 기하학에 의한 보다 엄밀한 계산식(Rapp, 1989)을 적용하여 보았다. 그러나 우리나라 남반부를 대상으로 할 경우 앞의 식에 의한 결과와의 차이가 1cm 이하로 나타났다.

또, 지오이드면의 경사가 동일하지 않으므로 장거리 기선의 경우 두 점간의 평균지오이드면과 두 점을 잇는 지오이드면 간에는 이격이 생긴다. 그러나, 구간별 평균지오이드높이는 전 구간 중간점의 평균지오이드높이 보다 높거나 낮기 때문에 효과가 서로 상쇄되어 큰 영향을 미치지 않는다. 실제로 장거리 기선을 여러 구간으로 나누어 합산하는 방법과 비교해 보면 400km에 이르는 기선장에서 이 차이가 2cm 이하로 나타났다.

평면거리의 계산은 평면투영좌표를 필요로 한다. 투영방법에 따라 타원체면 즉 기준면상의 거리와 평면투영거리가 달라지며, 이러한 차이를 최소화하기 위하여 TM 투영에서는 축척계수  $m_0 = 0.9999$ 를 곱하여 평면투영좌표를 산출하고 있다. 이와 달리 토지조사 당시의 평면직각좌표는 가우스상사이중투영에 의한 것으로 투영 계산의 축척계수는  $m_0 = 1.0$ 이다.

GPS 관측에서 구한 기준면상의 거리를 평면투영거리로 환산하기 위해서는 투영증대율을 매개로하는 계산이 필요하다. 투영증대율  $m$ 은 타원체상의

어떤 점과 그  $P_1$ 과 근방의 점  $P_2$ 간의 미소 구면거리  $dS$  와 이에 대응하는 미소 평면투영거리  $ds$  의 비율로서 다음과 같다.

$$m^2 = \frac{ds^2}{dS^2} = \frac{dx^2 + dy^2}{R_M^2 d\varphi^2 + R_N^2 \cos^2 \varphi d\lambda^2} \quad (10)$$

여기서  $R_M, R_N$ 은 자오선곡률반경 및 묘유선곡률반경을 나타낸다. 앞의 식을 어떤 점의 평면좌표  $(x, y)$ 를 이용하여 나타내면 (일본측량협회, 1981)

$$m = m_0 \left( 1 + \frac{y^2}{2r^2 m_0^2} + \frac{y^4}{24r^4 m_0^4} \right) \quad (11)$$

단,  $r = \sqrt{R_M R_N}$  은 타원체의 평균곡률반경을 나타낸다.

평면직각좌표계상의 두 점의 좌표를 각각  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ 라 하면, 이들 간의 거리에는 다음의 관계가 있다.

$$S/s = \frac{1}{6} \left( \frac{1}{m_1} + \frac{4}{m_{12}} + \frac{1}{m_2} \right) \quad (12)$$

여기서  $m_1$  은 시점,  $m_{12}$  는 중간점  $(x_1 + x_2)/2, (y_1 + y_2)/2$ ,  $m_2$  는 종점에 서의 각각의 증대율이다.

본 연구에서는, PNU95지오이드모델을 이용하여 점간의 GPS관측거리를 기준면상의 거리로 전개하였다. 또, 평면거리를 구하는 데에 필요한 투영증대율은 ITRF2000 좌표계와 우리나라 좌표계간의 변환관계로부터 구한 평면좌표를 이용하였다. PNU95 지오이드모델의 정확도와 우리나라 전역 삼각점에 대한 좌표변환의 특성을 감안하면, GPS관측의 성과인 점간 기선거리를 이용해서 구한 평면거리는 베셀 타원체상의 두 점의 평면직각좌표를 이용하여 구한 평면거리와 일치하는 형태가 된다.

### 3. 초기좌표의 설정

삼변망조정계산 알고리즘을 보면, 관측방정식이 비선형이므로, 미지점의 좌표가 한 번에 정해지지 않고 점차적으로 최확치에 접근시키는 방법을 취한다. 즉, 미지점의 초기(임시)좌표에다 반복 계산에 의한 수정치를 더해 가면서, 최종적으로는 수정치의 값이 0 에 수렴하면 계산을 종료하게 된다. 따라서, 미지점의 초기좌표에 대한 추정이 필요하다. 또, GPS 관측거리로부터 현재 지적에서 채용하고 있는 평면좌표계상의 평면투영거리를 구하기 위해서는 지적(Bessel)좌표계상의 경위도좌표 또는 평면직각좌표를 알아야 투영증대율을 구하고 두 점간의 평면거리를 구할 수 있다.

미지점의 초기좌표는 임의의 값을 취할 수 있으나 이것이 적절치 않으면 최확치로의 수렴이 늦어지고 경우에 따라서는 부정확한 해가 산출된다. 이 때문에 앞 단락에서 우리나라 전역을 대상으로 하여 구한 7-parameter 변환계수를 이용하여, ITRF2000의 성과를 현행의 Bessel 좌표로 변환한 결과를 미지점의 초기좌표로 이용하였다.

행정자치부와 대한지적공사에서는 2003년도부터 우리나라 전역의 삼각점에 대한 GPS 관측을 실시하고 있다. 현재까지 730 여점에 대한 관측이 이루어졌으며, 이들 중 성과가 비교적 양호한 것으로 추정되는 1등삼각점 19점, 2등삼각점 124점, 3등삼각점 20점 등 합계 163점의 공통점에 의해 우리나라의 좌표변환파라미터를 결정하였다. 좌표변환계산에 채용한 공통점 163점의 좌표교차(RMS)는 24cm이고, 좌표변환파라미터는 <표 3-1>과 같다.

< 표 3-1 > 우리나라 전역 163개 삼각점으로부터 구한 좌표변환파라미터. ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  는 원점이동량,  $\Delta S$  는 축척보정량,  $R_X, R_Y, R_Z$  는 좌표축 회전량이다.)

	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\Delta S(ppm)$	$R_X(sec)$	$R_Y(sec)$	$R_Z(sec)$
파라미터 값	126.810	-481.630	-657.801	-6.342	1.731	-1.959	8.547
추정오차	1.508	1.224	1.084		0.043	0.045	0.051

좌표변환파라미터와 이의 추정오차 등은 변환파라미터의 계산에 채용하는 점의 상호 부합도 및 점의 지역 분포에 따라 달라진다. 이 때문에 이전 연구 결과는 물론이고 타 연구의 결과와 차이가 있다. 본 연구에서 구한 변환파라미터의 산출에는 1·2 등 삼각점 위주로 점을 골고루 선정하여 계산에 채용함으로써 우리나라 전역의 특성이 잘 반영되도록 하였다.

#### 4. 투영원점의 설정

망조정계산 과정에서는 계산에 들어가는 모든 점이 서부·중부·동부 등의 단일 평면좌표계에 속할 경우에는 정해진 투영원점을 택하였다. 단, 조정계산에 들어가는 점들이 복수의 평면좌표계에 속할 경우에는  $(x, y) \leftrightarrow (B, L) \leftrightarrow (x', y')$  변환을 이용하여 단일 투영원점의 평면좌표  $(x', y')$  를 산출하여 조정계산을 실시하였다. 이에 따라 서로 다른 평면좌표계에 속하는 점들을 혼합 처리할 수 있고, 평면좌표계의 경계 지역에 분포하는 점들의 성과 점검 및 조정이 용이해졌다.

투영원점을 달리하면 평면좌표 뿐만 아니라 점간 평면거리에서 차이가 난다. 식 (1)의  $a_{ij}, b_{ij}$  가 달라지고 따라서 좌표조정치  $dx_i, dy_i, dx_j, dy_j$  가 달리 산출되어 최종 조정좌표가 달라질 수 있다. 실제로, 전국에 분포하는 32개 상시관측소의 자유망조정계산의 수치실험에서 투영원점을 중서부  $(B, L) = (38^\circ, 125^\circ)$ 로 삼아서 나온 성과와 남동부  $(B, L) = (35^\circ, 129^\circ)$ 를

투영원점으로 삼아서 나온 성과 간에는 다음의 차이가 검출되었다. 충남북 등 우리나라 중앙부에 위치하는 점의 경·위도는 0.0003"(약 1cm), 그 외 광주·인천·영광·하동 중부 원점에 속하는 점의 경우에는 0.001"(약 3cm) 이내로서 비교적 작은 차이가 있었다. 그러나 투영원점의 동서 이격이 큰 부산·울산 등 우리나라 동남부에 위치하는 점의 성과는 위도에서 0.001"(약 3cm) 정도에서 0.005"(약 13cm) 정도의 비교적 큰 차이가 있다. 우리나라 육지역 대부분의 점이 경도 126°~130°에 속함을 감안하면, 이 차이는 임의의 투영원점을 설정하여 평면상에서 전국동시 망조정계산을 실시할 경우 예상되는 최대 왜곡량으로 추정된다.

그런데, 앞에서 다룬 차이는 망조정계산의 오차와는 다르다. 투영평면상에서의 점간거리는  $(x, y)$  좌표차이에 의한 것이나 GPS관측에 의한 것이나 동일한 증대율이 작용하므로 이들 간에는 차이가 없다. 조정계산의 최종 좌표는 GPS평면거리에 맞게끔 결정된다. 따라서 투영원점을 달리해도 최종 성과는 동일하게 산출된다. 여기서 최종성이라 함은 조정계산에서 구한 평면좌표  $(x, y)$ 를 경위도좌표  $(B, L)$ 로 환산한 것을 말한다. 그리고 실용의 평면좌표  $(x, y)$ 는 경위도좌표  $(B, L)$ 를 각각의 점이 속하는 투영원점계열의 값으로 산출하였다.

## 제2절 전국 통일성과 산출

베셀 성과의 정비·통일은 GPS에 맞는 새로운 좌표체계의 채용에 대비할 수 있게 한다. 지금까지의 측량 성과가 모두 기존의 지적(베셀)좌표계에 근거하고 있으므로, 새로운 체계로의 전면적 전환이 이루어지기 전에는 新·舊 좌표계 성과의 병행활용이 불가피하다. 이 경우 지표상의 같은 점이라 해도 어떤 성과를 사용하느냐에 따라 측량하는 점의 위치가 달라진다면 新·舊 좌표계 성과의 병행활용은 혼란을 일으킨다. 정확한 관측이 이루어진다면, 어떤 점을 기준으로 삼더라도 동일한 성과가 산출되어야 한다.

본 연구에서는 우리나라 전역을 통해 어떤 점을 이용하더라도 동일한 측량 성과가 나올 수 있도록 기준점 성과의 통일을 시도하였다. 널리 알고 있듯이 GPS 측량의 점간거리 오차는 1ppm을 넘지 않는다. 원리적으로 GPS 측량의 관측결과인 기선벡터를 이용하면 현재의 베셀체계에서도 점간거리오차가 1ppm 이내의 기준점성과를 산출할 수 있다. 이것이 실현되면 현 체계에서 수행되는 일상적인 지적측량의 성과를 세계측지좌표계에 부합하는 성과로 쉽게 전환시킬 수 있다.

전년도 연구에서는 우리나라 전역 163개 1~3 등 삼각점에서의 GPS 관측 성과에 바탕하여, 1차적으로 전국 32개소 지적위성기준점(GPS상시관측소)의 베셀좌표를 결정하고, 다음으로 이렇게 구한 지적위성기준점을 고정점으로 하는 조정계산에 의해 나머지 기준점들의 성과를 산출하였다. 이들 32개 지적위성기준점을 이용하면 어디에서나 3cm 이내의 정확도로서 지적(베셀)기준점 성과의 결정이 가능해졌다.

<표 3-2>는 32개 지적위성기준점의 지적좌표를 나타낸다. 평면직각좌표  $(x, y)$ 는 지적측량에서 채용하고 있는 가우스상사이중투영에 의한 것으로 투영원점에서의 증대율은 1.0 이다. 또, 경위도 좌표의 경우에는 경도에다 10.405"를 더해주는 처리를 하지 않았다.

< 표 3-2 > 지적위성기준점(GPS상시관측소)의 지적(베셀)좌표. 보은(BOEN)\*점은 2005년 4월7일 이전의 위치임.

점명	위도 (도 분 초)	경도 (도 분 초)	x(m)	y(m)
철원(CHLW)	38- 9-42.2756	127 -24-52.1767	518032.43	236321.61
동두천(DOND)	37-53-57.4282	127 - 3-35.8444	488824.05	205272.71
양평(YANP)	37-27- 4.9322	127 -30-17.5497	439233.05	244667.53
파주(PAJU)	37-44-37.0450	126 -44-13.5096	471579.34	176830.21
인천(INCH)	37-25- 1.3400	126 -41- 8.2320	435349.90	172173.38
용인(YOIN)	37-13- 5.0319	127 -13-48.9467	413247.81	220434.98
홍천(HONC)	37-42-22.9216	128 -11-37.0968	467718.10	128901.69
춘천(CHCN)	37-52- 0.0451	127 -42-36.1472	485441.22	262470.29
인제(INJE)	38- 4- 0.1565	128 -10-12.3893	507729.01	127182.74
영원(YOWL)	37-10-46.7913	128 -27-40.1235	409097.69	152154.27
보은(BOEN)*	36-29- 0.9767	127 -43-47.6667	331972.79	265399.70
괴산(GSAN)	36-48-47.7864	127 -47- 9.8190	368593.24	270131.55
천안(CHAN)	36-52-30.4601	127 - 9-16.0907	375179.57	213770.41
청양(CHYG)	36-27-21.5137	126 -48- 2.4430	328678.00	182134.60
논산(NONS)	36-11- 0.2871	127 - 5-53.9929	298422.30	208844.29
김천(KIMC)	36- 8- 3.9461	128 - 8-29.7180	293324.38	122742.35
군위(KUNW)	36-13-49.8681	128 -34-24.8656	303728.57	161668.52
예천(YECH)	36-38-54.7646	128 -26-44.3909	350169.70	150437.17
청송(CHSG)	36-25-57.6763	129 - 3-20.6053	326077.03	204996.07
무주(MUJU)	36-00- 1.1048	127 -39-37.5420	278304.10	259539.72
남원(NAMW)	35-25-12.0092	127 -23-43.4394	213794.14	235905.73
정읍(JUNG)	35-37-11.0891	126 -58-23.5924	235881.99	197574.18
순천(SONC)	34-57-15.7909	127 -29- 8.0696	162178.13	244346.73
장흥(JAHG)	34-40-20.0120	126 -53-55.4939	130776.30	190721.31
영광(YONK)	35-16-31.9039	126 -30-56.2343	197802.68	155935.70
제주(CHJU)	33-22-53.3020	126 -37- 5.5244	37677.70	164478.10
창녕(CHNG)	35-31-48.9842	128 -28-38.5692	226081.13	152606.27
하동(HADG)	35- 9-33.6313	127 -42-30.5472	185035.98	264543.57
거창(GOCH)	35-39-53.5726	127 -56-33.3825	241298.19	285338.03
울산(WOLS)	35-30- 9.5399	129 -25- 0.1007	222970.85	237800.81
부산(PUSN)	35-13-51.1081	129 - 4-27.1687	192742.73	206754.93
창원(CWON)	35-13-58.9762	128 -41-32.3899	193026.04	171996.57

전국통일성과의 적부는 조정계산의 골격이 되는 고정점의 선정에 크게 좌우된다. 고정점이란 계산과정에서 좌표의 조정이 없는 점을 말한다. 고정점의 좌표에 오차가 있으면 이 오차가 다른 점의 조정좌표에 과급된다. 이 때문에 전국통일의 성과를 산출함에 있어 기존의 삼각점(안정점) 중에서 어떤 특정점을 망조정계산의 고정점으로 선정하는 것은 대단히 어려운 작업에 속한다.

어떤 지역의 점을 조정계산하는 데에 들어갈 고정점은 그 지역 내부 또는 인근에 위치하는 점을 택하는 것이 좋다. 그리고 이 점들은 주변 지역과의 연결 조정에도 채용할 수 있어야 한다. 또, 이전의 조정계산에 사용한 실적이 있을 경우에는 당시의 조정계산 성과와 차후의 조정계산 성과와의 부합을 점검할 수 있어야 한다.

지적위성기준점은 세계측지계에서든 현재의 지적좌표계에서든 GPS를 이용하는 지적측량의 기본 역할을 담당할 수 있어야 한다. 이러한 관점에서 본다면 전년도 연구에서 전국 동시의 자유망조정계산을 실시하여 구한 <표 3-2>의 지적위성기준점을 이후 조정계산의 고정점으로 삼아 처리하는 것이 당연하다.

다음으로 <표 3-2>의 지적위성기준점을 망조정계산의 고정점으로 채용하여 GPS 관측자료가 추가 확보된 약 500점에 대한 통일성과를 산출하였다. 이 작업은 광역시·도 별로 구역에 속하는 모든 삼각점에 대하여 지역 내부 및 주변 지역의 지적위성기준점을 고정하는 방법에 의하였다. 예를 들어 서울·인천·경기도에 소재하는 삼각점의 조정계산은 파주, 동두천, 철원, 인천, 용인, 양평 등의 지적위성기준점을 고정점으로 하는 계산을 실시하였다.

지역별로 조정계산을 실시한 것은 조정계산의 효율을 향상시키기 위함이다. 즉, 계산에 소요되는 메모리와 계산소요시간을 줄이기 위함이다. 지적위성기준점은 상호 부합하므로 2점 이상의 어떠한 점을 고정점으로 사용하여 계산하던 동일한 성과가 산출되기 때문이다. 전년도 및 금년도의 지역별 조정계산에 사용한 고정점과 미지점의 분포를 보면 다음과 같다.

&lt; 표 3-3 &gt; 조정계산에 사용한 고정점과 미지점의 분포

지역	고정점(지적위성기준점)명	미지점(조정계산) 개수	
		2005년	2006년
서울/경기/인천	파주, 동두천, 철원, 인천, 용인, 양평	152	118
강원	홍천, 춘천, 인제, 영월	74	57
충북	괴산, 천안, 김천, 무주	62	25
대전/충남	천안, 청양, 논산	78	48
전북	무주, 남원, 정읍, 논산	77	64
광주/전남/제주	순천, 장흥, 영광, 제주, 하동	96	52
대구/경북	김천, 군위, 예천, 청송, 거창, (창녕)	66	41
부산/경남	창녕, 하동, 거창, 울산, 부산, 창원	131	67
합계		736	472

이렇게 해서 지역별로 삼변망조정계산에 의하여 산출한 전국통일성과를 <부록 1>에 실었다.

다음의 출력물은 서울/인천/경기 지역에 속하는 삼각점 중에서 2005년도와 2006년도에 중복되어 관측된 일부 점의 성과이다. 성과의 재현성을 살펴보면, 인천21점에서 X-성분이 4cm 차이가 나는 것을 제외하고, 나머지 점에서의 차이는 1~2cm 에 불과하였다. 이러한 결과는 시점을 달리하는 관측과 자료처리 작업에 의하더라도 베셀통일좌표가 5cm 이내에서 일치하는 성과가 나온다는 것을 확인해주는 성과라 하겠다.

&lt; 표 3-4 &gt; 서울/인천/경기 지역의 중복점 일부

	2005성과	2006성과	차이
서울14	452545.97	452545.95	0.02
	185811.22	185811.23	-0.01
서울186	452099.76	452099.76	0.00
	208388.16	208388.16	0.00
서울23	448969.82	448969.82	0.00
	198585.83	198585.83	0.00
봉산	456438.47	456438.47	0.00
	172919.56	172919.55	0.01
인천13	439200.29	439200.29	0.00
	172854.93	172854.93	0.00
인천21	438947.33	438947.29	0.04
	173241.02	173241.03	-0.01

### 제3절 지역 성과의 산출

앞에서 수행한 전국통일성과의 산출은 다음의 과정에 의한 것이다. (1) 전국 동시의 GPS 관측점 중에서 1·2·3등 삼각점 164개 안정점에 의한 좌표 변환관계를 지적위성기준점에 그대로 적용하여 이들 32개 지적위성기준점의 지적좌표 추정치로 삼았다. (2) 32개 지적위성기준점을 대상으로 자유망조정 계산에 의해 이들 32점의 지적좌표를 산출하였다. (3) 32개 지적위성기준점 중에서 3점의 좌표를 고정하는 고정망조정 계산에 의해 나머지 지적측량기준점의 지적좌표를 산출하였다.

그런데 전국통일성과는 우리나라 전역을 대상으로 삼각점간 상호 부합하는 성과를 산출한 것이므로 지역의 삼각점은 전국성과와 비교하여 특정 방향으로 편위되어 있거나 회전되어 있는 등의 특성이 나타난다. 예를 들어,

<부록 1>의 전국통일성과를 보면, 서울시 일원의 삼각점은 전국측지망성과 비교하여 서쪽으로 약 1m 정도 이동되어 있음을 알 수 있다. 이 때문에 전국통일성과는 현재의 측량작업에 실제 활용하는 데에는 제도적 개선 없이는 부적절한 형편에 있다고 아니할 수 없다.

왜냐하면, 이 점들은 이미 그 성과가 고시되어 활용되고 있으므로 새로이 성과를 산출하였다 해도 기존 성과를 갱신 고시하는 데에는 문제가 있다. 지역에 따라 기존의 지적측량 성과와 큰 괴리가 발생할 수 있기 때문에 현재까지 작성되어 온 도면 성과를 활용하기 위해서는 기존 도면을 새로운 기준점 성과에 부합·접근시켜야 한다. 이 작업이 원활히 이루어진다면 현재 도면의 품질 향상 및 연속지적도의 작성에 활용할 수 있다. 단, 이 작업은 기준점 성과의 문제뿐만 아니라 도면의 신축 왜곡 등의 문제를 복합적으로 해결해야 하므로 기술적으로 쉽지 않을뿐더러 제도적 혼란을 초래할 수 있다.

이에 따라 본 연구에서는 현재 성과와 가장 근접하도록 기준점 성과를 정비하는 방안을 도출하였다. 즉, 지역내의 측지망 특성을 반영하여, 예를 들어, 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과를 산출함으로써 실제의 지적측량 업무 수행시 활용도를 높이고자 한다.

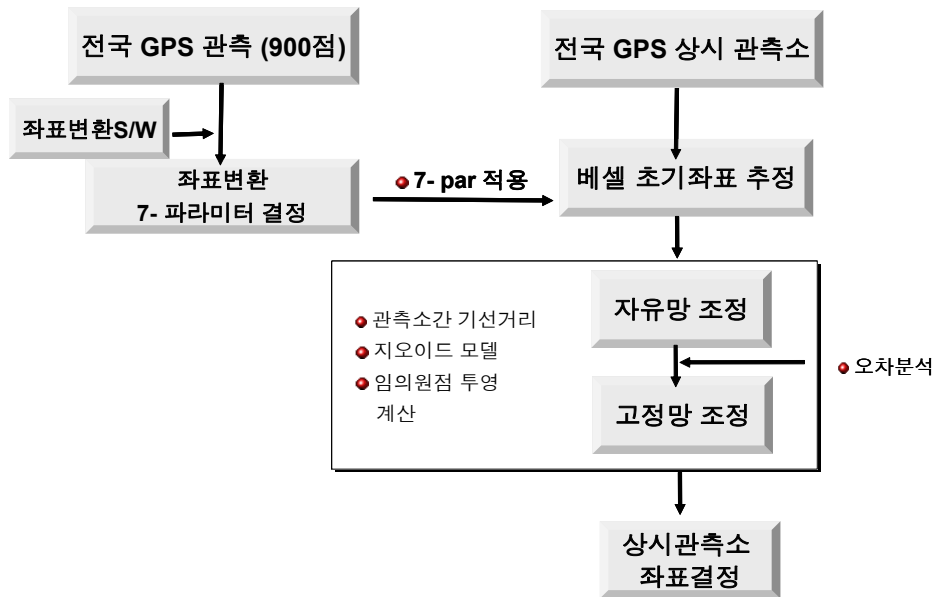
이 경우에 필요한 것이 지역망의 특성을 반영하는 안정점의 선정이다. 그렇다면 안정점 선정을 어떻게 해야 하나? 지금까지는 좌표변환결과를 분석하여 현재성과와 좌표변환성과의 교차가 작은 점을 안정점으로 선택하거나, 점의 이력이라든지 활용실적 등에 의해 양호한 것으로 짐작되는 점을 점검 선택하는 등의 방법을 취하여 왔다. 그런데, 이러한 방법은 한 번 만에 답을 주지 않는다. 어떤 점을 제외한다든지 또는 추가하는 등 여러 차례의 반복 계산이 필요하다. 반복 계산/점검을 통하여 어떤 점을 선택하게 된다. 따라서, 임의성이 크다. 사람에 따라서 점의 선택이 많이 다를 수 있다. 게다가 이렇게 선택한 점이 정말로 지역 전체의 다른 점과 가장 잘 부합하는지 알 수 없다.

그래서 이런 생각을 해 보자. 어떤 점, 즉 안정점이라고 택한 점의 성과에 변동이 없어야 하나? 예를 들어 3점을 안정점으로 택하였다고 하자. 이 3점을 고정점으로 하여 망조정계산을 실시하면 3점의 성과는 보존된다. 그러나

나머지 점들의 성과는 보존되지 않는다. 만일 고정점 3점간의 성과가 부합하면 이 3점과 나머지 점의 조정 성과가 부합하지만, 고정점 3점간에 불부합이 있으면 그 영향이 나머지 점의 성과에도 전파된다. 따라서 상호간에 성과가 완벽히 부합하는 점을 고정점으로 택해야 하는 데 이게 쉬울까? 실제로 모든 점은 오차를 안고 있다. 선택한 점들의 성과가 상호 합치한다 해도 우연히 그리워진 것으로 보아야 한다. 따라서 특정의 점을 선택하는 방법은 여러 가지 문제를 야기 시킬 수 있다.

그렇다면 어떻게 하자는 것인가? 본 연구에서는 특정의 점을 선택하는 방법을 버리고, 일련의 후보 점들을 대상으로 이들 점의 성과변동(현재성과와 조정성과의 차이)이 최소로 되면서 상호 부합하는 성과를 산출하고(자유망조정), 이렇게 산출된 성과를 고정하여 나머지 미지점의 좌표를 산출하는 것이다(고정망조정). 이렇게 처리하면 망조정계산에 들어간 모든 점의 성과가 상호부합하게 된다.

이러한 과정을 지역삼각점의 성과조정계산에 적용하였다. 자유망조정방법에 의하여 내부 정합도를 조사하고, 다음으로 자유망조정의 결과 내부 정합도가 좋은 점을 고정점으로 채용하는 고정망조정방법을 적용하였다. 작업흐름도는 <그림 3-1>과 같다.



< 그림 3-1 > 지적위성기준점의 지적좌표 산출 계산 흐름도

### 1. 서울시 일원

앞에서 기술한 방법을 서울시 일원의 삼각점에 적용하였다. 다음의 출력물은 서울시 일원에 제한하여 이 지역에 속하는 삼각점을 대상으로 하여 수행한 자유망조정계산의 결과이다. 자유망조정계산에 들어간 점수는 2005/2006년에 관측한 116점중에서 중복점 및 특이점 55점을 제외한 나머지 61점이다. 이들 61점 중 일부점의 조정계산 결과는 다음과 같다.

&lt; 표 3-5 &gt; 서울시 일원 일부점의 조정계산 결과(베셀 평면좌표)

	FIX	점명	등록좌표	조정치	조정좌표
			(X)	(DX)	(XA)
			(Y)	(DY)	(YA)
[완전고정점]					
[변동미지점]					
1	0	서울26	446219.19	0.00	446219.18
			198361.10	-0.02	198361.08
7	0	서울20	452057.17	-0.01	452057.16
			195635.95	-0.01	195635.94
16	0	서울19	453111.66	0.06	453111.73
			192696.56	-0.03	192696.53
19	0	서울23	448969.96	-0.02	448969.93
			198584.92	-0.08	198584.84
23	0	서울186	452100.00	0.04	452100.03
			208386.92	0.20	208387.12
24	0	서울10	444957.76	-0.06	444957.69
			188345.25	-0.22	188345.03
25	0	안산	455571.83	0.11	455571.95
			214445.82	0.00	214445.81
30	0	서울14	452545.91	-0.03	452545.88
			185810.20	-0.03	185810.17
35	0	서울16	448993.40	0.02	448993.42
			187128.22	-0.14	187128.08
36	0	서울11	444645.14	-0.03	444645.11
			185607.74	-0.20	185607.54
49	0	서울13	451158.11	-0.03	451158.08
			183033.11	-0.05	183033.07
55	0	서울50	445796.47	-0.03	445796.44
			193378.04	-0.07	193377.97

자유망조정계산의 결과를 살펴보면, 서울10, 서울186 등 일부 점을 제외하면 대부분의 점이 10cm 내외의 동서 및 남북 성분의 조정이 필요한 것으로 나타났다. 현재 사용하고 있는 기준점 성과가 양호한 편에 속함을 알 수 있

다.

다음으로, 자유망조정계산에서 산출된 점 중에서 이 점의 조정좌표를 고정하는 처리에 의해 서울시 전역 삼각점에 대한 고정망조정계산을 실시하였다. 조정계산의 고정점은 원리적으로는 2점 이상이면 된다. 고정점 성과가 상호부합한다면 2점을 고정점으로 택하여 계산하던 3점 이상을 택하여 계산하던 동일한 결과가 산출된다.

본 연구에서는 서울13, 서울19, 서울26 3점의 자유망조정계산결과를 고정하는 계산을 수행하였다. 이들 점의 좌표는 앞의 출력물로서 다음과 같다.

서울13	451158.08	183033.07
서울19	453111.73	192696.53
서울26	446219.18	198361.08

다음의 출력물은 앞의 3점을 고정하여, 나머지 78 점을 미지점으로 구한 고정망조정계산의 결과를 나타낸다. 이 결과물은 서울시 일원 삼각점 상호간에 부합하도록 조정된 성과이며, 조정된 성과는 현재의 등록성과와도 최소한의 차이를 가진다고 볼 수 있다.

출력물을 보면, 서울의 삼각점은 광고산, 해읍산, 북한산, 가리 등 서울 주변 주요 삼각점과 잘 부합하는 편이 아님을 알 수 있다. 그러나 서울시 일원의 점들 성과를 보면 서울 196, 222, 249, 255, 336 등 일부 점을 제외하면 좌표 조정치가 20cm 이내에 수렴하는 등 내부 정합도가 높게 나타났다.

< 표 3-6 > 서울시 고정망조정계산의 결과

3	0	서울47	445595.40	-0.09	445595.31
			190292.77	-0.25	190292.52
4	0	서울249	439909.64	-2.75	439906.89
			193514.43	-0.24	193514.19
5	0	서울2	446483.75	-0.03	446483.72
			188621.48	-0.15	188621.33
6	0	서울315	446315.88	0.04	446315.91
			204683.72	0.05	204683.77
7	0	서울177	447596.91	0.02	447596.94

			200171.98	0.00	200171.97
8	0	서울94	455170.23	0.02	455170.25
			195798.27	0.01	195798.28
9	0	서울20	452057.17	-0.01	452057.16
			195635.95	-0.01	195635.94
10	0	서울69			457023.59
					194501.73
11	0	서울295	455504.59	-0.04	455504.55
			194604.68	-0.03	194604.64
12	0	서울60	452895.95	0.10	452896.05
			189793.74	0.00	189793.74
13	0	서울139	456129.10	0.04	456129.13
			206564.60	0.16	206564.76
14	0	서울196	450212.51	0.28	450212.79
			212716.25	0.10	212716.36
15	0	서울97	464932.76	-0.08	464932.68
			205126.92	-0.03	205126.89
16	0	서울298	458844.22	-0.01	458844.21
			194268.46	0.07	194268.53
17	0	서울201	447063.56	-0.06	447063.50
			212159.54	0.06	212159.59
18	0	서울163	447840.27	0.00	447840.28
			207924.55	0.08	207924.62
19	0	서울263			450027.89
					213145.81
20	0	서울164	448926.62	-0.03	448926.59
			206521.06	0.08	206521.14
21	0	서울166	450968.26	0.05	450968.31
			205572.88	0.08	205572.96
22	0	서울104	463921.56	0.00	463921.56
			205224.01	-0.02	205223.99
24	0	서울80	459923.95	0.06	459924.01
			193390.75	0.08	193390.82
25	0	서울113			462739.24
					207946.44
26	0	서울168	453338.30	0.04	453338.34
			202184.08	0.01	202184.09
27	0	서울23	448969.96	-0.02	448969.93
			198584.92	-0.08	198584.84
28	0	서울128	460312.57	0.03	460312.60
			202254.04	-0.01	202254.03
29	0	서울120	457352.08	0.07	457352.14

			206732.62	-0.01	206732.61
30	0	서울149			454477.18
					201957.87
31	0	서울122	459140.80	0.01	459140.82
			204751.83	-0.02	204751.81
32	0	서울186	452100.00	0.04	452100.04
			208386.92	0.20	208387.12
33	0	서울10	444957.76	-0.06	444957.69
			188345.25	-0.22	188345.03
34	0	광교산	426987.43	0.49	426987.92
			202980.34	-0.65	202979.70
35	0	해음산	443311.46	0.64	443312.10
			231434.32	-1.15	231433.17
36	0	안산	455571.83	0.12	455571.95
			214445.82	0.00	214445.81
37	0	북한산	459035.86	-0.21	459035.65
			197368.21	-0.91	197367.30
38	0	가리	436212.36	-0.72	436211.64
			188185.58	-0.22	188185.36
39	0	서울207	444399.22	-0.07	444399.15
			213758.22	0.19	213758.41
40	0	서울36	452728.41	-0.02	452728.39
			195266.31	-0.02	195266.29
41	0	서울245	443399.66	-0.04	443399.62
			194607.94	-0.08	194607.86
42	0	서울261	442432.90	-0.08	442432.82
			185086.68	-0.13	185086.55
43	0	서울14	452545.91	-0.03	452545.88
			185810.20	-0.03	185810.17
44	0	서울214	440767.94	0.05	440767.99
			205024.08	0.06	205024.13
45	0	서울146	462369.12	0.05	462369.16
			208334.38	-0.04	208334.33
46	0	서울178	449945.05	0.01	449945.06
			201316.30	0.02	201316.32
47	0	서울101			466503.99
					201325.69
48	0	서울203	448999.43	0.10	448999.53
			213840.87	0.23	213841.11
49	0	서울16	448993.40	0.02	448993.42
			187128.22	-0.14	187128.08
50	0	서울11	444645.14	-0.03	444645.11

			185607.74	-0.20	185607.54
51	0	서울129	460032.20	-0.01	460032.19
			202608.51	0.01	202608.52
52	0	서울126	462550.56	-0.05	462550.51
			199868.43	-0.05	199868.38
53	0	서울222	441862.90	-2.58	441860.32
			194562.40	-0.25	194562.15
54	0	서울204	451533.74	0.06	451533.80
			212627.80	0.14	212627.95
55	0	서울215	440913.40	-0.08	440913.32
			209847.59	-0.05	209847.54
56	0	서울118	460202.13	0.05	460202.18
			206868.11	-0.03	206868.08
57	0	서울299	459252.90	-0.09	459252.81
			193668.96	-0.07	193668.89
58	0	서울283	449360.60	-0.05	449360.54
			195523.24	-0.02	195523.23
59	0	서울110			457410.52
					203352.96
60	0	서울294	455494.18	-0.01	455494.17
			195193.67	0.02	195193.69
61	0	서울200	447984.51	0.03	447984.54
			212758.80	0.24	212759.04
62	0	서울250	439949.32	0.11	439949.43
			194827.48	-0.09	194827.39
63	0	서울300	452339.90	-0.07	452339.83
			196807.13	0.02	196807.15
64	0	서울290	451151.67	-0.01	451151.66
			194624.03	0.00	194624.03
66	0	서울255	443721.63	-0.01	443721.62
			189989.79	-0.22	189989.58
67	0	서울141	455236.30	0.03	455236.34
			204404.22	0.11	204404.34
68	0	서울75	453863.20	0.08	453863.28
			191928.41	0.04	191928.45
69	0	서울151	454386.82	0.03	454386.85
			209842.28	0.09	209842.37
70	0	서울161	450649.97	-0.04	450649.94
			207425.27	0.14	207425.41
71	0	서울50	445796.47	-0.03	445796.44
			193378.04	-0.07	193377.97
72	0	서울271	447748.78	0.06	447748.84

			210559.21	0.23	210559.44
73	0	서울335	445036.18	0.04	445036.22
			206440.05	0.07	206440.12
74	0	서울238	441224.71	-0.10	441224.62
			191931.68	-0.18	191931.50
75	0	서울318	447328.17	-0.01	447328.16
			202501.76	0.01	202501.77
76	0	서울228	442774.53	-0.02	442774.50
			197912.14	-0.15	197911.98
77	0	서울321	443817.92	-0.03	443817.89
			201390.83	0.01	201390.84
78	0	서울336	447089.16	4.04	447093.20
			210066.92	-4.21	210062.71

## 2. 부산시 일원

GPS 관측이 이루어진 92개 점의 성과를 이용하여 자유망조정계산을 실시한 결과 부산시 일원의 삼각점은, 서울시의 경우와 달리, 내부 부합도가 좋지 않은 편에 속한다. 점에 따라 차이가 있지만 X,Y 좌표의 차이가 50cm 정도에 달하여 특정 경향을 찾기 힘든 형편이다. 일부 점의 성과는 다음과 같다.

< 표 3-7 > 부산시 일부 점의 성과

5	0	여3	188660.18	-0.50	188659.69
			192270.79	-0.13	192270.66
6	0	여8	184236.81	-0.39	184236.42
			207407.78	-0.09	207407.69
11	0	여9	179821.09	-0.39	179820.70
			211051.94	-0.07	211051.87
13	0	여20	177629.98	-0.44	177629.54
			197330.70	-0.06	197330.64
9	0	여30	188535.67	-0.50	188535.18
			190284.73	-0.02	190284.71
17	0	여44	183003.81	-0.45	183003.35
			188492.05	-0.05	188492.00

10	0	여55	186776.64	-0.41	186776.24
			208690.97	-0.08	208690.88
2	0	저11	181955.79	-0.43	181955.36
			201906.98	-0.08	201906.89
3	0	동8	174088.69	-0.42	174088.28
			197130.73	-0.01	197130.72
1	0	부산307	192722.44	-0.42	192722.01
			220809.81	-0.09	220809.72
4	0	부산403	193438.07	-0.48	193437.59
			202289.84	-0.13	202289.71
12	0	부산404	189899.57	-0.42	189899.15
			204545.16	-0.09	204545.07
29	0	부산25	181687.80	0.48	181688.28
			205001.22	0.16	205001.38
42	0	양산309	205508.16	-0.32	205507.84
			218414.54	-0.41	218414.13

앞의 결과를 보면 여3, 여8, 여9 등 관자가 ‘여’인 삼각점과 저11, 동8 점 간에는 상호 부합하는 현상을 보인다. 이들 점이 후속 삼각점 설치에 활용되었음을 감안하면 부산시 일원 삼각점의 성과 산출은 이들 점의 성과에는 변동이 없도록 즉 이들 점의 현재 성과를 고정하는 처리가 바람직하다. 이렇게 해서 산출한 부산시 일원 삼각점의 성과는 다음과 같다.

< 표 3-8 > 부산시 일원의 삼각점 성과(베셀 평면좌표)

	FIX	점명	등록좌표	조정치	조정좌표
			(X)	(DX)	(XA)
			(Y)	(DY)	(YA)
[완전고정점]					
5	2	여3	188660.18	0.00	188660.18
			192270.79	0.00	192270.79
6	2	여8	184236.81	0.00	184236.81
			207407.78	0.00	207407.78

9	2	여30	188535.67	0.00	188535.67
			190284.73	0.00	190284.73
10	2	여55	186776.64	0.00	186776.64
			208690.97	0.00	208690.97
11	2	여9	179821.09	0.00	179821.09
			211051.94	0.00	211051.94
13	2	여20	177629.98	0.00	177629.98
			197330.70	0.00	197330.70
17	2	여44	183003.81	0.00	183003.81
			188492.05	0.00	188492.05
[변동미지점]					
1	0	부산307	192722.44	-0.06	192722.38
			220809.81	0.01	220809.82
2	0	저11	181955.79	0.00	181955.80
			201906.98	-0.03	201906.95
3	0	동8	174088.69	0.03	174088.73
			197130.73	0.02	197130.75
4	0	부산403	193438.07	-0.05	193438.02
			202289.84	-0.03	202289.81
7	0	이33	195202.97	0.36	195203.33
			210683.68	0.03	210683.71
8	0	변7	208830.89	0.09	208830.98
			224188.05	-0.36	224187.69
12	0	부산404	189899.57	0.00	189899.57
			204545.16	0.00	204545.16
14	0	부산137	184907.98	0.33	184908.31
			211180.34	-0.30	211180.04
15	0	부산119	192288.68	0.30	192288.98
			209367.22	0.24	209367.46
16	0	부산1	177907.84	0.79	177908.63
			202929.54	0.27	202929.81
18	0	부산32	175946.55	0.93	175947.48
			204971.35	0.10	204971.45
19	0	부산69	178186.34	0.60	178186.94

			209331.70	0.02	209331.72
20	0	부산140	185168.48	0.34	185168.82
			209762.47	-0.21	209762.26
21	0	부산143	184074.61	0.43	184075.04
			199368.78	0.61	199369.39
22	0	부산80	185288.57	-0.05	185288.52
			217076.37	-0.20	217076.17
23	0	부산148	194296.97	0.11	194297.08
			218664.40	-0.12	218664.28
24	0	부산49	190092.82	0.24	190093.06
			209979.17	0.02	209979.19
25	0	부산175	183374.81	0.83	183375.64
			192747.20	0.33	192747.53
26	0	부산167	190572.18	0.81	190572.99
			198176.13	0.16	198176.29
27	0	부산182	189567.72	0.29	189568.01
			202928.28	-0.14	202928.14
28	0	부산172	177082.44	0.93	177083.37
			193094.65	0.23	193094.88
29	0	부산25	181687.80	0.90	181688.70
			205001.22	0.22	205001.44
30	0	부산317	200955.16	0.02	200955.18
			219130.60	-0.20	219130.40
31	0	부산147	195627.59	0.06	195627.65
			220818.18	-0.03	220818.15
32	0	부산34	177304.53	0.88	177305.41
			203441.21	-0.04	203441.17
33	0	부산41	183785.88	0.64	183786.52
			203728.84	0.20	203729.04
34	0	부산93	178224.86	0.82	178225.68
			196484.43	0.17	196484.60
35	0	부산123	192237.49	0.90	192238.39
			199349.93	0.19	199350.12
36	0	부산78	192121.02	0.14	192121.16

			203964.95	-0.03	203964.92
37	0	부산44	185946.01	0.59	185946.60
			205388.28	0.05	205388.33
38	0	부산10	180249.63	0.96	180250.59
			199925.23	0.31	199925.54
39	0	부산37	174016.96	1.00	174017.96
			207659.08	0.08	207659.16
40	0	양산431	204251.71	-0.08	204251.63
			213464.29	-0.22	213464.07
41	0	부산122	191848.28	0.44	191848.72
			205587.33	0.20	205587.53
42	0	양산309	205508.16	0.05	205508.21
			218414.54	-0.27	218414.27
43	0	부산161	196417.82	-0.03	196417.79
			219356.89	-0.33	219356.56
44	0	부산84	188300.09	0.06	188300.15
			211055.04	0.05	211055.09
45	0	부산83	192352.87	0.21	192353.08
			213221.82	-0.05	213221.77
46	0	부산114	198623.92	0.27	198624.19
			206985.97	-0.39	206985.58
47	0	부산71	195792.83	0.29	195793.12
			201395.44	0.18	201395.62
48	0	부산52	180405.76	0.52	180406.28
			210748.00	0.06	210748.06
49	0	부산9	178422.06	0.89	178422.95
			201223.48	0.35	201223.83
50	0	부산99	173568.22	1.08	173569.30
			198924.60	0.26	198924.86
51	0	부산51	188878.05	0.32	188878.37
			206034.18	0.16	206034.34
52	0	부산77	191952.11	0.33	191952.44
			201243.55	0.15	201243.70
53	0	부산102	177397.67	0.84	177398.51

			200298.59	0.37	200298.96
54	0	부산33	177009.56	1.00	177010.56
			206154.81	0.02	206154.83
55	0	부산144	180108.24	0.65	180108.89
			196345.02	0.05	196345.07
56	0	부산120	194427.95	-0.05	194427.90
			206062.62	0.36	206062.98
57	0	부산90	191105.57	0.18	191105.75
			211049.68	0.20	211049.88
58	0	부산2	178445.02	0.83	178445.85
			202971.14	0.37	202971.51
59	0	부산133	186707.32	0.27	186707.59
			209890.69	-0.13	209890.56
60	0	부산115	193970.89	-0.10	193970.79
			208722.30	0.15	208722.45
61	0	부산419	185231.40	0.00	185231.40
			213701.16	-0.01	213701.15
62	0	부산136	182771.80	0.74	182772.54
			209376.98	-0.08	209376.90
63	0	부산168	188558.91	0.77	188559.68
			200366.39	0.49	200366.88
64	0	부산29	175983.93	0.77	175984.70
			206790.26	0.36	206790.62
65	0	부산103	176773.31	1.00	176774.31
			199128.44	0.51	199128.95
66	0	부산127	186126.68	0.76	186127.44
			196302.24	0.17	196302.41
67	0	부산38	175650.94	0.90	175651.84
			203951.23	0.04	203951.27
68	0	부산64	178532.08	0.76	178532.84
			210503.54	-0.01	210503.53
69	0	양산475	202920.10	0.06	202920.16
			220725.16	-0.26	220724.90
70	0	부산132	188294.43	0.36	188294.79

			206975.44	-0.01	206975.43
71	0	부산113	195376.08	-0.16	195375.92
			204865.53	-0.26	204865.27
72	0	부산469	203645.54	0.03	203645.57
			216998.40	-0.20	216998.20
73	0	부산124	191201.99	0.86	191202.85
			199169.86	0.12	199169.98
74	0	부산60	177948.26	0.80	177949.06
			209056.89	0.11	209057.00
75	0	부산116	193948.43	0.22	193948.65
			207235.28	0.25	207235.53
76	0	부산417	189443.68	0.01	189443.69
			218478.25	-0.05	218478.20
77	0	부산17	179647.93	1.01	179648.94
			203027.37	0.44	203027.81
78	0	부산31	176204.12	0.73	176204.85
			202972.48	0.34	202972.82
79	0	부산94	178233.96	0.97	178234.93
			198802.26	0.37	198802.63
80	0	부산14	181071.67	0.70	181072.37
			203437.32	0.23	203437.55
81	0	부산126	188300.47	0.79	188301.26
			196627.01	1.09	196628.10
82	0	부산157	176705.03	0.63	176705.66
			188742.91	0.35	188743.26
83	0	부산53	180146.25	0.68	180146.93
			209541.85	-0.13	209541.72
84	0	부산82	185569.32	0.18	185569.50
			213539.37	-0.46	213538.91
85	0	부산181	189937.41	0.30	189937.71
			201336.06	-0.23	201335.83
86	0	부산7	178543.33	1.15	178544.48
			200876.37	0.52	200876.89
87	0	부산42	183846.64	0.69	183847.33

			204174.20	0.14	204174.34
88	0	부산135	183540.69	0.54	183541.23
			209197.18	-0.01	209197.17
89	0	부산413	186636.20	0.03	186636.23
			211895.98	0.01	211895.99
90	0	부산111	193113.75	-0.37	193113.38
			204311.44	0.05	204311.49
91	0	부산72	193688.52	0.41	193688.93
			201296.54	0.13	201296.67
92	0	부산160	201322.55	-0.09	201322.46
			221570.28	-0.13	221570.15

## 제4장 결론 및 활용방안

### 제1절 결론

GPS를 이용하는 기준점측량성과(베셀지적좌표)의 결정에는 좌표변환방법이 널리 사용되고 있으나 이의 적용에는 주의가 필요하다. 좌표변환과라미터의 결정에 채용하는 공통점의 성과가 실제의 측량성과와 비교하여 같은 비율로 축소 또는 확대되어 있다거나 회전이 있을 경우에는 그 영향이 당해 구역의 모든 점에 파급된다. 그래서 실측 데이터를 이용한 계산 성과와 차이가 발생할 수 있다.

왜냐하면, 좌표변환은 실제측량을 이용하는 것이 아니라 좌표차이를 최소로 하는 계산방법이라는 데에서 기인한다. 따라서, 좌표변환의 교차가 0 인 점 또는 교차가 작은 점이 안정점일 것이라는 가정은 모순이다. 이 때문에 본 연구에서는, 현재의 삼각점 중에서 안정점을 추출하는 방법을 지양하고, 자유망조정계산방법을 적용하여 구한 GPS상시관측소를 망조정계산의 고정점으로 채용하는 처리에 의해 우리나라 전역의 기준점에 대한 통일된 성과를 산출하였다. 망조정계산방법에 의할 경우에는, 관측 거리와 조정좌표에 의한 계산치와의 차이가 최소가 되도록, 점의 좌표 자체를 미지수로 두고 조정하기 때문에 각각의 점에 대한 보다 정확한 결과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 GPS 관측자료를 이용하여 베셀타원체면상에서의 망조정계산 소프트웨어를 개발하여 실제 문제에 적용하였다. 우리나라 전역 주요삼각점에서의 GPS 관측에 의한 좌표변환의 성과 및 자유망조정계산의 구속조건에 의해 현재의 측지망과 연결 부합하도록 GPS 상시관측소의 좌표를 결정하고 이들 점을 후속의 망조정계산의 고정점으로 활용하였다. 이렇게 산출된 상시관측소좌표는 서로 부합한다. 또 부합하는 고정점(상시관측소)에 의한 후속의 망조정성과는 역시 부합하므로 우리나라 전역을 통하여 통일된 성과의 계산이 가능하였다. <부록 1>에서 보는 바와 같이 동일한 점에 대해서 전년도 성과와 금년도에 새로 산출한 성과를 비교해 보면 5cm 이내에서

일치하였다.

전국통일성과는 우리나라 전역을 대상으로 삼각점간 상호 부합하는 성과를 산출한 것이므로 현재의 측량작업에 실제 활용하는 데에는 한계가 있다. 왜냐하면, 이 점들은 이미 그 성과가 고시되어 활용되고 있으므로 새로이 성과를 산출하였다 해도 기존 성과를 갱신 고시하는 등의 조치가 따라야 한다. 지역에 따라 기존의 지적측량 성과와 큰 괴리가 발생할 수 있기 때문에 현재 까지 축적되어 온 측량 성과를 활용하기 위해서는 기존 도면을 새로운 기준점 성과에 맞도록 접근시켜야 한다. 이 작업이 원활히 이루어진다면 현재 도면의 품질 향상 및 연속지적도의 작성에 활용할 수 있다. 단, 이 작업은 기준점 성과의 문제뿐만 아니라 도면의 신축 왜곡 등의 문제를 복합적으로 해결해야하므로 기술적으로 쉽지 않을뿐더러 제도적 혼란을 초래할 수 있다.

이에 따라, 실용적 측면에서, 본 연구에서는 현재 성과와 가장 근접하도록 기준점 성과를 정비하는 방안을 도출하였다. 즉, 지역내의 측지망 특성을 반영하여, 예를 들어, 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과를 산출함으로써 실제의 지적측량 업무 수행시 활용도를 높이고자 하였다. 그 지역 삼각점의 현재 성과에 근접하면서 상호 부합하는 성과를 산출할 수 있는 방안으로서 자유망조정기법에 의한 안정점 적출 방법을 도출·활용하였다. 이와 관련하여 두 가지 경우를 다루었다.

첫째, 서울시의 경우처럼 내부 정합도는 높으나 전국측지망성과과 비교하여 대부분의 점이 서쪽으로 약 1m 정도 이동되어 있는 특성을 반영하여, 자유망조정계산  $\Rightarrow$  일부점의 계산좌표고정  $\Rightarrow$  고정망조정계산에 의해 서울시 전역의 삼각점 상호간에 부합하는 새로운 성과를 산출하였다.

둘째, 부산시의 경우처럼 내부 정합도가 좋지 않아 특정 경향을 찾기 어려운 지역이다. 서울시의 경우와 달리, 현재의 좌표에다 약간의 수정을 가하여 이 지역 일원에 상호 부합하는 성과를 산출하기 어려운 환경이다. 실제로 기존 좌표가 있는 점들을 대상으로 자유망조정계산을 실시해 보면 X,Y 좌표의 조정치가 50cm 정도에 달한다. 즉 부산시 전역을 통하여 상호 부합하는 성과를 산출할 경우 기존 성과와 50cm 에 달하는 차이가 생길 수 있음을 말한다.

이 때문에 서울시의 경우처럼 이 지역 전체에 부합하는 성과를 산출하기 보다는 지역 특성을 고려하여 특정의 점을 고정하여 처리함으로써 가능한 기존 성과와의 차이를 최소로 하면서 상호 부합하는 성과를 산출하는 것이 실무에 도움이 된다. 이러한 특성을 감안하는 처리 방법으로서 지역 지적 삼각망을 구축하는 데에 기반이 되었던 점들의 등록좌표를 고정하는 고정망 조정방법을 적용하였다. 즉, 특정점의 등록좌표고정  $\Rightarrow$  고정망조정계산에 의하였다. 이 경우의 산출성과는 특정점에 연결되어 설치된 기준점간에는 부합한다.

결과적으로 본 연구에서는 GPS 관측의 성과를 이용하여 현재 지적측량에서 사용하고 있는 베셀타원체면상의 좌표를 산출함에 있어

- 1) 우리나라 전역을 통하여 상호 부합하는 성과
- 2) 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과 (예, 서울시 일원)
- 3) 특정 기준점과 연결하여 조정하는 성과 (예, 부산시 일원)

등 기준점 정비의 목적과 실무 작업에 활용하기 위한 유형에 맞게끔 성과를 산출하는 방법을 확립하고, 실제 문제에 적용하였다.

실제 문제에 적용한 성과로서는, 우리나라 전역의 베셀통일 성과와 관련해서는 32개소 지적위성기준점 및 삼각점 약 1,200점에 대한 전국망조정좌표를 산출하였고, 실무 활용을 겨냥하여 서울시 및 부산시의 예를 들어 지역 특성을 반영하는 성과 산출 방법을 도출하고 실제 성과를 산출하였다.

## 제2절 활용 방안

### 1. 「GPS에 의한 지적측량 규정」의 보완

GPS 측량의 성과는 세계측지계성과(지적위성좌표)와 베셀측좌표계성과(지적좌표)로 분리할 수 있다. 지적위성좌표는 GPS자료처리소프트웨어에서

정한 처리절차에 따라 기선해석을 실시하고, 폐합차 등 기선해석의 점검과 망조정계산에 의해 구해진다. 이 계산에 필요한 각종의 요소들은 정형화되어 있다.

GPS 관측을 이용하는 현 체계상의 기준점성과 계산은 주로 좌표변환에 의하여 왔다. 그런데, 좌표변환은 기선벡터 등 실제 관측치를 이용하는 방법이 아니라 일종의 간접계산 방법이다. 두 좌표계간을 특징짓는 몇 개의 파라미터를 구하여 이를 모든 점에 일괄적으로 적용한다. 이 때문에 인위적 오류가 발생하기 쉽고 계산 결과의 정확도 평가가 어렵고 지역의 측량기준망 또는 측지학적 특성을 고려하는 처리가 어렵다. 그럼에도 불구하고 GPS 성과로부터 베셀성과를 구함에 있어서는 좌표변환에 의한 처리방법이 주류를 이루어 왔다.

삼변망조정계산방법은 좌표변환방법의 허점을 크게 보완해준다. 「GPS에 의한 지적측량 규정」에서도 삼변망조정계산에 의해 지적좌표의 산출을 규정하고 있다. 제11조(지적좌표의 계산)에서 규정한 조정계산방법은, 1) 당해 관측지역에서 측정한 모든 기지점을 대상으로 기지점 성과를 점검하고 조정계산에 사용할 2점 이상의 고정점을 결정할 것, 2) 제1호의 규정에 의하여 결정된 고정점을 이용하여 지적좌표를 산출할 것 이라고 간단하게 정하고 있을 뿐이다.

이 때문에 삼변망조정계산방법이 거의 활용되고 있지 않은 실정에 있다. 이렇게 된 배경에는 「GPS에 의한 지적측량 규정」의 작성 당시에 삼변망조정계산 소프트웨어의 개발 및 적용방법이 확립되지 않았음에 기인한다.

본 연구를 통하여 삼변망조정계산 S/W가 개발되었고, 전국 GPS 관측에 의해 1,200 여점에 대한 세계측지계 및 베셀측지계 성과의 산출·분석이 이루어졌다. GPS 관측의 성과를 이용하여 현재 지적측량에서 사용하고 있는 베셀타원체면상의 좌표를 산출함에 있어, 1) 우리나라 전역을 통하여 상호 부합하는 성과, 2) 광역시·도 또는 시·군·구 범위에서 상호 부합하는 성과, 3) 특정 기준점과 연결하여 조정하는 성과 등 실제 업무에서 필요로 하는 유형에 맞게끔 성과를 산출하는 방법을 제시하였다.

안정점 선별, 고정점의 채용 등 조정계산에서 필요로 하는 요소들에 대한

사전 정보가 확보됨에 따라 망조정계산방법에 의한 상세한 작업 공정을 「GPS에 의한 지적측량 규정」에 반영한다.

## 2. 삼변망조정계산 S/W의 보급

현재까지 사용해 온 좌표변환방법은 RTK-GPS 측량 방법 등에 의한 필계 점측량의 활용에 그쳐야 할 작업 방식이다. 기준점 측량의 경우에는 점간 기선벡터를 이용한 조정계산에 의하는 것이 권장되어야 한다.

본 연구에서 개발한 조정계산 S/W를 일선에 보급하여 실무에 활용하는데 도움이 되도록 실무자용의 기준점측량계산 S/W를 개발하고, 사용자 지침서를 작성한다. 사용자 교육은 본부/지사 방문에 의해 지역의 기준점 특성을 반영하는 방안과, 교육연수원 교육과정에서 반영시키는 방안을 병행 추진한다.

## 3. 지적위성기준점의 베셀 성과 고시

지적위성기준점은 GPS를 이용하는 측량체계의 골격이 된다. 지적위성기준점을 이용하는 측량은 어떤 점을 기준으로 삼더라도 동일한 성과가 산출되어야 한다. 지적위성기준점의 좌표로서 세계측지계 좌표를 채용하던 베셀 측지계 좌표를 채용하던 이들 점을 기준으로 하여 측량한 지상의 미지점은 동일한 위치에 있어야 한다.

따라서 지적위성기준점의 경우 베셀 성과라 해도, 예를 들어, 서울시 일원 또는 부산시 일원 등 지역 기준점망의 특성을 반영하는 성과이기 보다는 전국통일의 성과를 채용하는 것이 바람직하다. 이에 따라 행정자치부에서 계획하고 있는 지적위성기준점의 베셀좌표의 등록 고시에 관련하여 본 연구에서 산출한 결과가 채용될 수 있도록 추진한다.

#### 4. 전국 통일 베셀 성과의 전파

우리나라 전역을 통하여 어떤 점을 이용하더라도 동일한 측량성과가 나올 수 있도록 기준점 성과를 정비·통일하는 것은 지적측량에 직접 활용하기 보다는 현재 사용하고 있는 기준점 성과의 부합을 점검하는 데에 큰 도움이 된다. 베셀통일성과와 기존 성과간의 차이를 비교하면 현재 사용하고 있는 기준점 성과가 인접의 기준점과 잘 부합하는지 쉽게 판단할 수 있다. 이와 관련하여 다음의 항목에 대하여 각 본부(지사)에 연구 성과 확산 및 실무 활용 지원을 추진한다.

- 지사에서 필요로 하는 지적삼각점에 대하여 전국 통일의 정확한 세계좌표 및 지적좌표를 산출 제공
- 후속의 기준점망 구축을 위한 GPS 관측자료 및 SW 운용 지원

## 참고문헌

### 국내문헌

- 양철수·김정호 1997, GPS 측량성과와 현행성과간의 좌표변환, 한국지적학회지
- 양철수·최광선·김정희·한욱·이민부, 2001, GPS/PNU95 지오이드를 이용한 우리나라 삼각점의 표고 정확도 분석, 지질학회지 제37권 제2호
- 양철수, 2005, 지적재조사사업의 기준점 활용방안 연구(우리나라 전역의 지적기준점 성과 통일), 지적연구원
- 행정자치부, 2005, GPS를 이용한 지적측량 기술개발 등에 관한 연구(제2과제 : GPS 상시관측소 성과관리시스템 분석 연구).
- 강상구·김준식, 2005, 전국 기준점 성과정비 및 새로운 지적기준망 구축, 지적연구원
- 日本測量協會, 1981, 정밀기준점측량

연구원 2006-12

## 지적측량기준점의 성과통일 및 활용 방안 수립

Coordinate Unification of Cadastral Control Points  
over the Country

발행일 : 2006년 11월 20일

저 자 : 양 철 수, 우 인 제

발행인 : 김 정 호

발행처 : **지적연구원**

서울특별시 영등포구 여의도동 45

02) 3774-2316

인쇄처 : 성림인쇄

02) 704-8877

\* 출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단전제나 복제는 금합니다.

**ISBN 00-0000-000-0 00000**