

## 영해기점단일망을 이용한 영해기점 정확도 비교

### A study of comparison of position accuracy of territorial basepoints using the united network of territorial basepoints

김병국<sup>1)</sup>, Byung-Guk Kim · 최정민<sup>2)</sup>, Jung-Min Choi · 조영포<sup>3)</sup>, Young-Po Cho · 우인제<sup>4)</sup>, In-Je Woo

<sup>1)</sup> 인하대학교 지리정보공학과 교수, Professor, Dept. of GeoInformation Eng, Univ. of INHA

<sup>2)</sup> 인하대학교 지리정보공학과 박사, PhD, Dept. of GeoInformation Eng, Univ. of INHA

<sup>3)</sup> 인하대학교 지리정보공학과 석사, Master, Dept. of GeoInformation Eng, Univ. of INHA

<sup>4)</sup> 인하대학교 지리정보공학과 석사과정, Master's course, Dept. of GeoInformation Eng, Univ. of INHA

**SYNOPSIS** : Nowadays, the value of the ocean is growing noticeably throughout the world in accordance with the development of the industrial society and increase in the number of the ocean related economic activities. Therefore the pursuit of more waters has led more disputes amongst many maritime powers in the world. In this study, the territorial basepoints are recalculated methods to develop their accuracies to settle a boundary issue among nations.

**Key words** : territorial basepoint, the united network of territorial basepoint, GPS base station, recalculation

## 1. 서론

국가의 주권 또는 관할권을 행사할 수 있는 모든 수역은 일정한 기준선으로부터 출발하여 일정한 범위까지 한계선을 긋게 되는데 이를 영해기선(territorial baseline)이라 한다. 다시 말해 영해는 접속수역, 배타적 경제수역 등 모든 수역의 범위를 정함에 있어서 영해기선으로부터 일정한 범위의 한계선을 긋고 그 수역 내에서 국가주권 및 관할권을 행사하게 된다. 영해기선의 또 다른 중요한 점은 영해기선에 따라 내수(internal waters)가 결정된다는 것으로 내수는 국가의 영토와 같아서 이곳은 연안국의 절대적 주권 즉 관할권이 미친다. 우리나라 관할해역을 확정하는데 있어 기준이 되는 영해기점을 보다 정밀하게 산정하기 위해 기존 영해기점 산정 시 기준이 되었던 지상 기준점들 중 18점을 선점하고, 건설교통부 국립지리원 GPS 상시관측소 자료 12점과 함께 영해기점단일망을 구성하였다.

본 연구에서는 다양한 방법으로 지상 기준점성과를 산출하여 그 결과를 비교·분석 후 정도가 가장 높은 자료처리 방법을 제시하고, 제시된 자료처리 방법을 통해 재 산출된 지상 기준점을 기준으로 영해기점 성과를 산출, 기존 영해기점 성과와의 비교를 목적으로 한다. 연구를 수행하기 위한 추진전략은 다음과 같다.

첫째, 1997년부터 2001년까지 수행된 영해기점 관측성과의 정확한 위치를 산출하기 위해 강원도 속초에서 전라남도 목포까지 이르는 해안선에 위치한 지상 기준점 18점과 국가 GPS 상시관측소 12점을 통합한 관측망(이하 「영해기점단일망」)을 기하학적 형태에 따른 망, 기선거리를 고려한 망, 상시관측소에 따른 망으로 각각 구성하였다.

둘째, GPS 자료처리를 위해 기선해석 시 전리층 및 대류층 오차보정모델을 적용하고, 망 조정 시 경

중률 부여 및 통계적 검증을 통해 효율적인 GPS 자료처리 흐름을 도출하였다. 자료처리 시 상용 프로그램인 GPSurvey V2.35a를 이용하였다.

셋째, 효율적인 단일망 구성과 자료처리 흐름을 이용하여 영해기점을 재계산 하였다.

## 2. 영해기점단일망 자료처리

### 2.1 지상 기준점 선정

1997~2001년까지 관측한 영해기점의 정확한 위치를 재 산정하기 위해 영해기점 자료처리에 사용되었던 지상 기준점들 중 각 년도별로 분리되어 있는 관측망들을 연결하여 하나의 망으로 연결할 수 있는 지상 기준점 18점을 선정하였다. 선정된 지상 기준점은 그림 1과 같다.

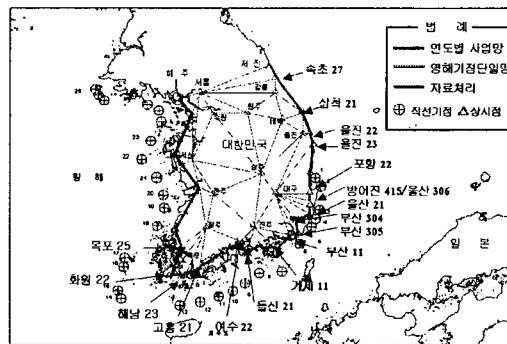


그림 1. 지상 기준점 관측망도

### 2.2 지상 기준점 관측

영해기점단일망 관측을 위해 지상 기준점을 국가 GPS 상시관측소 12점과 동시에 GPS관측을 실시하였다. GPS 측량방법은 정적측위방법으로 관측간격 30초, 총 관측시간 24시간 동안 동시관측을 실시하였다. 지상 기준점 관측에 사용된 장비는 Trimble사의 4000SSI, 4700, 4800, 5700 GPS 수신기와 Leica사의 SR530 2주파 GPS 수신기이며, 정밀 1,2차 기준점측량 작업규정에 의거하여 GPS 관측을 수행하였다.

### 2.3 영해기점단일망 구성 및 자료처리

망의 기하학적 형태, 기선거리, 상시관측소 분포를 고려하여 망을 구성한 후 자료처리를 통해 최적의 망 구성 방법을 도출한다.

#### 2.3.1 기하학적 형태 및 기선거리에 따른 자료처리

국립지리원 GPS 상시관측소 4점(상주, 전주, 진주, 광주)을 이용하여 망을 구성하였다. 망은 첫째, 모든 기선을 망으로 연결한 기본망과 둘째, 3개의 기선을 이용한 정삼각 형태, 마지막으로 3개의 기선을 이용한 직삼각 형태로 구성하였다.

##### ① 기본 형태의 망 구성에 따른 자료처리

GPS 상시관측소 4점(상주, 전주, 진주, 광주)의 모든 기선을 이용하여 그림 2와 같은 기본망을 구성하였다. 상주 상시관측소점을 고정점으로 하여 기선해석을 수행하였다.

##### ② 정삼각 형태의 망 구성에 따른 자료처리

GPS 상시관측소 4점(상주, 전주, 진주, 광주)을 이용하여 그림 3과 같은 정삼각 형태에 가까운 모양으로 망을 구성하였다.

##### ③ 직삼각 형태의 망 구성에 따른 자료처리

GPS 상시관측소 4점(상주, 전주, 진주, 광주)을 이용하여 그림 4와 같은 직삼각 형태의 모양으로 망을

구성하였다.

④ 기선거리에 따른 자료처리

국립지리원 상시관측소 4점(상주, 전주, 진주, 광주)의 기선별 거리에 따른 자료처리를 수행하였다. 기선별 거리는 그림 5와 같다.

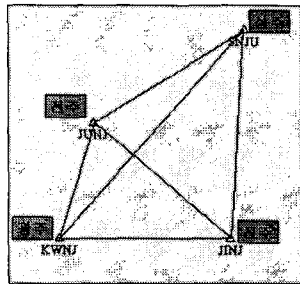


그림 2. 기본망 형태

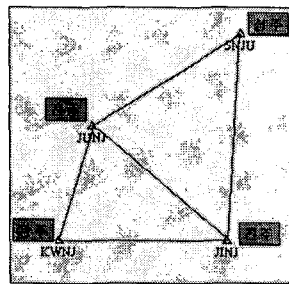


그림 3. 정삼각망 형태

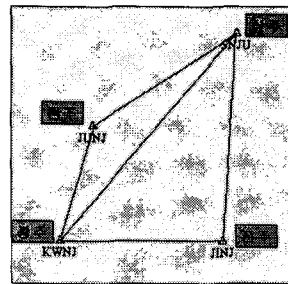


그림 4. 직삼각망 형태

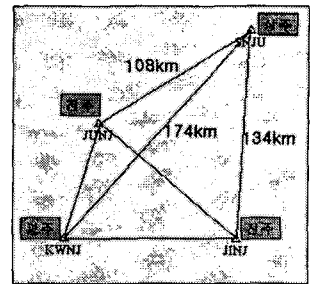


그림 5. 기선별 거리

**2.3.2 GPS 상시관측소 분포에 따른 자료처리**

GPS 상시관측소 분포에 따른 자료처리 정확도를 비교하기 위하여 국립지리원 GPS 상시관측소 자료 중 선점한 기준점 18점과 같이 해안선에 치우쳐 분포하는 상시관측소 자료를 이용하는 방법과 전체적으로 넓게 골고루 분포하는 상시관측소 자료를 이용하는 방법으로 나누어서 자료처리를 수행하였다.

① 해안선에 치우쳐 분포하는 GPS 상시관측소 이용 자료처리

해안선에 치우쳐 분포하는 GPS 상시관측소 자료 6점과 지상 기준점 18점을 단일망으로 구성하여 자료처리를 실시하였다. 그림 6은 해안선에 치우쳐 분포하는 GPS 상시관측소 자료와 18점의 지상 기준점을 단일망으로 구성한 것이다.

② 전체적으로 넓게 분포하는 GPS 상시관측소 이용 자료처리

측량범위 전체적으로 넓게 골고루 분포하는 GPS 상시관측소 자료 12점과 지상 기준점 18점을 단일망으로 구성하여 자료처리를 실시하였다. 그림 7은 12개 GPS 상시관측소 자료와 18점의 지상 기준점을 단일망으로 구성한 것이다.

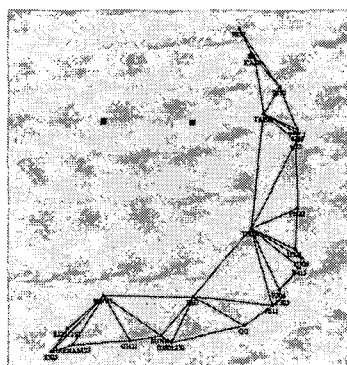


그림 6. 기준점에 가까운 GPS 상시관측소 이용

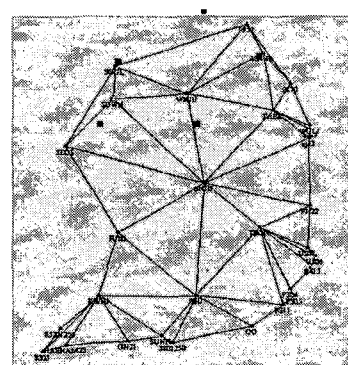


그림 7. 모든 GPS 상시관측소 이용

**2.3.3 전리층 및 대류층 오차보정 모델에 따른 자료처리**

전리층 오차 보정모델 중 Iono-free 모델과 Broadcast 모델, 대류층 오차 보정모델중 Hopfield 모델과 Saastamoinen 모델을 다음과 같이 4가지 형태로 조합하여 자료처리를 실시하였다.

- Iono-free/Hopfield 모델
- Iono-free/Saastamoinen 모델

- Broadcast/Hopfield 모델
- Broadcast/Saastamoinen 모델

### 3. 영해기점단일망 처리 결과 비교 및 효율적인 자료처리 흐름 도출

영해기점단일망을 효율적으로 구성하기 위하여 기하학적인 망 구성 형태 및 기선거리, 상시관측소 위치에 따른 자료처리 정확도를 비교하였으며, 정확도 비교를 통해서 효율적인 자료처리 흐름을 도출하여 보았다.

#### 3.1 망 구성 형태 및 기선거리에 따른 정확도 비교

국립지리원 GPS 상시관측소 WGS84좌표(참고치)와 망 구성 형태별 WGS84 산출결과를 비교하였고, 그 결과는 표 1과 같다. 표 1을 보면 기본망 형태의 자료처리결과와 정삼각망 형태의 자료처리 결과가 거의 같음을 알 수 있는데, 기본망에 비해 정삼각망은 기선의 수(5개)도 적고 처리시간도 빠르기 때문에 정삼각 형태의 망 구성이 가장 효율적이라 할 수 있다.

상주를 고정점한 기선거리별 자료처리 결과는 표 2와 같다. 기선거리가 제일 짧은 상주~전주 간(108km) 기선의 자료처리 결과가 가장 좋은 정도를 나타내었고, 기선거리가 길어질수록 자료처리 정도가 낮아짐을 알 수 있다. 따라서 효율적인 망 구성을 위해서는 가능한 단기선으로 망을 구성해야 한다.

#### 3.2 GPS 상시관측소 분포에 따른 정확도 비교

기준점 18점에 가장 가까운 GPS 상시관측소 자료를 이용하는 방법과 모든 GPS 상시관측소 자료를 이용하는 방법으로 각각 자료처리를 실시하였으며, 국립지리원 고시성과(Bessel)와 비교하였다. 결과는 표 3과 같으며, 해안선에 분포하는 상시관측소 자료를 이용하는 것보다 전체적으로 넓게 분포된 상시관측소 자료를 이용하였을 때 더 좋은 정도를 보였다. 따라서 단일망 구성시 전체적으로 골고루 분포되어 있는 상시관측소 자료를 이용하는 것이 좋다.

#### 3.3 전리층 및 대류층 오차보정 모델에 따른 정확도 비교

전리층 및 대류층 오차 보정모델 별 산출된 지상 기준점 성과를 기준점 성과표와 각각 비교해본 결과는 그림 8과 같다. Iono-free 모델과 Hopfield 모델(IH 모델)을 사용하여 산출한 성과가 가장 정도가 높음을 볼 수 있다.

표 1. 망 구성형태에 따른 자료처리 결과

상시 관측소명		망 구성형태에 따른 평균 및 표준편차		
		기본망	정삼각망	직삼각망
차이 절대값 평균	위도	0.0111m	0.0111m	0.0119m
	경도	0.0190m	0.0190m	0.0212m
차이 절대값 표준편차	위도	0.0162m	0.0167m	0.0172m
	경도	0.0150m	0.0153m	0.0157m

표 2. 기선거리 별 자료처리 결과

		기선거리별 자료처리 정확도 비교		
		108km (상주~전주)	134km (상주~진주)	174km (상주~광주)
기선 거리별 차이	위도	0.0007m	0.0023m	0.0303m
	경도	0.0025m	0.0218m	0.0327m

표 3. GPS 상시관측소 분포에 따른 자료처리결과

		기준점에 근접한 상시관측소 이용	모든 상시관측소 이용
차이 절대값 평균	위도	0.091m	0.066m
	경도	0.223m	0.153m
차이 절대값 표준편차	위도	0.086m	0.042m
	경도	0.178m	0.111m

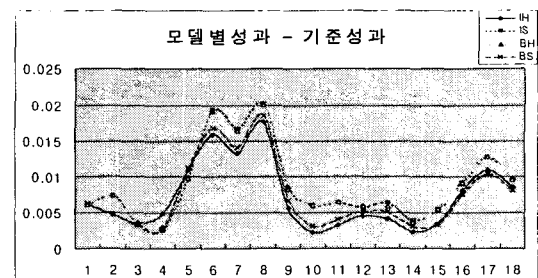


그림 8. 전리층 및 대류층 오차보정모델별 비교

### 3.4 효율적인 자료처리 흐름 도출

도출된 자료처리 흐름은 다음과 같다.

첫 번째, GPS 관측자료와 상시관측소 자료를 입력받아 망의 기하학적인 형태, 기선거리, 상시관측소 분포 상태를 고려하여 단일망을 구성한다.

두 번째, 구성된 단일망을 GPS 오차 보정모델을 적용하여 기선처리를 실시하고 정밀도 및 폐합검정을 수행하여 기선해석 결과값을 산출한다.

세 번째, 기선해석 결과값을 망 조정 프로그램에 입력, 조정을 실시하고 산출값의 정밀도가 원하는 정도에 적합한지 chi-square test를 통해 검증한다.

### 4. 영해기점 자료처리 및 결과비교

1997~2001년까지 산출된 영해기점과 영해기점단일망 관측자료 처리를 통해 재 산출된 영해기점을 Bessel 경위도 성과로 비교하여 보았다. 구 영해기점의 산출방법은 각 년도별 지상 기준점들의 성과를 GPS 상시관측소자료를 이용하여 재계산하지 않고 건설교통부 국립지리원 고시성과(Bessel)를 이용하여 자료처리를 수행하였다. 재계산 영해기점 산출방법은 각 년도별로 사용되었던 지상기준점들 중에서 전체자료처리에 적합한 기준점 18점을 선점, 영해기점단일망 자료처리를 통해 성과를 산출하여 자료처리에 이용하였다. 구 영해기점 성과와 재계산 영해기점 성과를 비교하여 보았을 때, 위도방향으로 0.321m, 경도방향으로 0.377m 정도 변이가 발생하였음을 알 수 있다.

표 4. 영해기점 성과 비교 결과

평균 및 표준편차		영해기점 성과 비교
차이 절대값 평균	위도	0.321 m
	경도	0.377 m
차이 절대값 표준편차	위도	0.417 m
	경도	0.342 m

### 5. 결론

본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 단일망 구성 시 기하학적으로 안정된 정삼각 형태, 단기선 형태, 연구대상 지역에 대해 전체적으로 골고루 분포되어 있는 상시관측소 자료를 이용하는 형태로 망을 구성하는 것이 자료처리의 정도를 높이는 방법임을 알 수 있었다.

둘째, 효율적인 단일망 구성과 기선해석, 망 조정 방법을 토대로 효율적인 자료처리 흐름을 제시하였다.

셋째, 제시된 자료처리 흐름을 통해 재계산된 영해기점은 구 영해기점과 위도방향으로 평균 0.321m, 경도방향으로 평균 0.377m 정도 차이가 발생하였다.

### 참고문헌

1. 김영배(2002), “범세계 좌표계에 적합한 국가기준점 구축방법 연구”, 인하대학교 석사학위논문
2. 윤홍식, 황진상(2001), “GPS 상시관측소의 절대좌표 산정에 관한 연구”, 한국측량학회지 제19권 제4호
3. 국립지리원(1994), “GPS에 의한 정밀 1,2차 기준점측량 작업규칙”, 국립지리원내규 제 66호
4. (주)지오시스템91998, “GPSurvey Software User’s Guide”
5. 외무부(1998), “동북아 제국의 해양법령”
6. 해양수산부(1997~2001), “영해기점도 조사 연구”