

## 오차분석을 이용한 지도 위치정확도 평가기법에 관한 연구

### A Study on the Map Accuracy Assessment of Positioning Data Using Statistical Approach Analysis

조 봉 환\*                      이 용 웅\*\*                      최 선 용\*\*\*  
Cho, Bong-Whan    Lee, Yong-Woong    Choi, Sun-Yong

#### 要 旨

본 연구에서는 통계적 오차분석 이론 연구와 미국 지도 정확도 기준분석을 통하여 우리나라의 지형조건에 적합한 지도위치 정확도 기준을 축척 1:50,000 지형도에 대해 제시하였다. 선형오차확률(LEP)이론과 원형오차확률(CEP)이론을 지도 정확도 평가기법에 적용하고, 위치오차에 대한 신뢰구간을 90%로 설정하여 추정된 오차를 정확도 평가기준이 되도록 하였다. 제안한 평가기준과 평가방법의 타당성을 확인하기 위하여 도로의 교차점, 식생의 경계점, 산의 정상, 독립건물등 관측점(60점)의 위치를 선점하였다. 각 관측점에 대하여 GPS로 측량하여 기준좌표자료를 획득하고, 항공사진으로부터 제작된 수치지형도와 위성사진으로부터 제작된 수치지형도 및 기존의 축척 1:50,000 지도의 위치정확도를 시험평가하였다.

#### ABSTRACT

This paper suggests a Map Accuracy Standards by analyzing U.S. National Map Accuracy Standards, by considering korean terrain feature and statistical error theory for paper and digital maps on the scale of 1:50,000. Map accuracy standards require horizontal accuracy to be reported as a circular error with 90% confidence level through Linear Error Probable(LEP) theory and Circular Error Probable(CEP) theory. In order to verify the proposed methodology for positioning accuracy testing, several kinds of test point were selected and tested. These test points were extracted at the centers of roads and bridges, the corners of the independent building, the edges of geographical botany, and the tops of mountains. The positioning accuracy assessment was performed by comparing the positions of test points in digital maps generated three different sources with those acquired by high accurate GPS surveying. The digital maps were produced from aerial photographs and SPOT satellite image using analytical plotter and 1:50,000 paper map.

\* 국방과학연구소 책임연구원

\*\*\* 국방과학연구소 연구원

\*\* 국방과학연구소 선임연구원

## 1. 서론

지도는 실제 지상 지형지물의 위치와 속성을 종이 또는 컴퓨터 상에 나타낸 것으로서, 과거엔 항공사진 또는 지상측량을 통해 수집한 데이터를 종이위에 표현하였지만, 현재는 GIS의 발전과 더불어 지상측량 및 항공사진측량 뿐만아니라 관측위성을 통해 수집한 데이터를 컴퓨터를 이용한 수치지도(Digital Map)로 표현하고 있다. 이러한 수치지도에 관한 연구는 관측위성을 보유한 선진국을 중심으로 활발히 이루어지고 있다.

지도의 정확도는 실제 지상의 지형지물을 정확한 위치에 바르게 표현하는 것으로서 설명할 수 있는 데, 지도 제작자 및 관련학과와 기술자들의 정확도 개선에 대한 많은 노력에도 불구하고 실제 지도는 지구곡률 및 표현성의 한계 등 여러 요인들로 인해 지상의 지형지물이 모두 정확한 위치에 표현될 수는 없기 때문에 어느정도의 오차를 허용하고 있다. 예를 들면 관광을 위해 어디로 갈 것인지를 결정하기 위한 목적의 지도라면 위치(Positioning) 정확도에 대한 오차가 크더라도 시세(Currency)나 표현성(Presentation)이 정확하다면 관광지도로서 충분한 가치가 있지만, 군사적 이용에 있어서 어떤 목표물을 명증시키기 위한 위치를 알고자 할 때 필요한 지도라면 상당히 높은 위치정확도를 가져야 한다. 이와 같이 사용목적에 따른 정확도의 수요가 다르게 나타난다.

그러나 지금까지 우리나라에는 이를 위한 정확도 기준과, 지도가 어느정도의 정확도를 가지고 있는지를 결정하기 위한 방법에 대해 명확히 정의해 놓은 연구와 체계적인 자료가 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서 미국의 지도 정확도 평가기준과 통계적 지도오차분석 이론을 조사연구하여 우리나라 지형조건을 고려한 1:50,000 지도 위치 정확도 평가기준을 제안하고자 한다.

평가 기준을 적용하기 위해서 필요한 시험 데이터는 1:50,000 종이지도를 이용한 수치지형도, 당 연구실에서 시험제작한 항공사진을 이용한 1:50,000 수치지형도와 위성사진으로부터 제작한 1:50,000 수치지형도에서 획득하였으며 평가용으로 활용된 관측점들의 위치

좌표는 GPS 현지측량을 통해 획득한 기준데이터를 사용하였다.

## 2. 위치오차분석이론

### 2.1. 지도 오차

지도의 위치오차는 각각의 좌표방향에서 일반적으로 정밀측량(전자파거리 측량 또는 GPS 위성측량 등)을 통해 얻어지는 예측되는 진위치로부터 지형지물이 표현된 지도상 위치의 차이로 정의되며, 이러한 오차는 대표적으로 과대오차(Blunder), 정오차(Systematic Error), 확률오차(Random Error), 환경오차(Environmental Error)로 구성된다. 과대오차는 쓰기 및 읽기오류 등의 관측자 실수로 발생하는 오차로 훈련과 반복측정을 통해 최소화 할 수 있고, 정오차는 어떤 정해진 형태로 나타나는 오차로써 렌즈의 왜곡 현상에서 그 예를 찾을 수 있는 데 이는 수학적 모델링을 통해 수정될 수 있으며, 확률오차는 관측자와 장비의 측정 한계에 의해 발생하는 오차로써 숙련성과 세심한 작업으로 최소화할 수 있으며, 일반적으로 통계적인 모델을 이용하여 표현하며, 환경오차는 주로 온도, 압력, 습도의 변화, 자기변화, 신호의 장애, 바람과 관측시간의 조명 등에 의해 원인이되며 시스템 오차로 분류할 수도 있으며 수학적인 모델링을 이용하여 보정한다(1),2).

지도의 총오차를 표현하기 위해 지도제작 전과정에 대해 발생하는 오차를 고려하면, 각 과정에서 발생하는 오차들간의 관계를 알지 못하기 때문에 발생하는 총오차를 추정하기 어렵다. 그러나 총오차와 각 지도 제작 단계에서의 오차들간에 선형관계가 있다고 가정하면 오차전파법칙을 이용한 일반적인 지도 제작시 발생하는 위치오차는 식(1.1)과 같이 표현할 수 있다(3).

여기서  $\sigma_{control}$ 은 지상기준점 오차,  $\sigma_{photography}$ 은 사진오차,  $\sigma_{triangulation}$ 은 항공삼각측량 오차,  $\sigma_{orientation}$ 은 사진표정 오차,  $\sigma_{compilation}$ 은 편집오차,  $\sigma_{drafting}$ 은 제도오차,  $\sigma_{printing}$ 은 인쇄오차,  $\sigma_{plotting}$ 은 입체해석도화 오차,  $\sigma_{automation}$ 은 자동화

과정 오차이다.

항공사진 또는 위성사진으로부터 해석적 사진 측정 시스템(Analytical stereo plotter)이나 수치적 사진측정 시스템(Digital Photogrammetric System)으로 수치지도를 제작할 경우 발생하는 오차요인은 식(1.1)에서  $\sigma_{control}$ ,  $\sigma_{photography}$ ,  $\sigma_{orientation}$ ,  $\sigma_{plotting}$ 으로 나타나며, 아날로그 도화기(analogue stereo plotter)를 이용하여 종이지도를 제작할 경우 상기의 오차와 더불어 추가적으로 발생하는 오차요인은  $\sigma_{compilation}$ ,  $\sigma_{drafting}$ ,  $\sigma_{printing}$ 이고, 제작한 종이 지도로부터 수치지도를 제작할 경우는  $\sigma_{automation}$  오차 요인이 추가적으로 발생하게 된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{map} = & (\sigma_{control}^2 + \sigma_{photography}^2 + \sigma_{triangulation}^2 \\ & + \sigma_{orientation}^2 + \sigma_{plotting}^2 + \sigma_{compilation}^2 \\ & + \sigma_{drafting}^2 + \sigma_{printing}^2 + \sigma_{automation}^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (2.1)$$

## 2.2. 오차 분석 이론

공간데이터의 수평위치 및 수직위치 정확도는 공간데이터 중 잘 정의된(well-defined) 대표적인 관측점의 위치와 정확한 기준자료의 동일지점위치를 비교하므로써 결정된다. 따라서 위치정확도 평가의 목적은 대상점의 관측자료와 기준 자료간의 불일치에 대한 평균과 표준편차를 결정하는 것이라 할 수 있기 때문에 모든 좌표축에 대하여 독립적으로 표본평균과 표준편차를 계산하므로써 데이터가 정확도 표준을 만족하는지를 결정할 수 있다.

대부분의 지도제작 관련기관들이 초기에는 위치정확도를 평가하기 위해 관측지점간의 불일치를 이용하지만, 최종정확도를 평가하는 기준수치에 있어서는 서로 다르다. 예를 들어 미국 국가지도 정확도 표준에서는 수평위치 정확도가 90% 신뢰수준을 갖는 원형오차가 되도록 요구한다<sup>3)</sup>. 또한 각 축성분에서 50% 신뢰수준에서 원형오차(CEP), 또는 RMSE(Root Mean Square Errors), MSE(Mean Square Errors)로 표현하

기도 한다. 그러나 이런 값들은 관측점간의 불일치에 대한 평균이나 표준편차로부터 계산되거나 관련성을 가지기 때문에 기본적인 계산은 동일하다고 볼 수 있다.

지도정확도 평가를 위해 가장 일반적으로 많이 사용하는 방법은 미국 국가지도 정확도 표준에서 정해진, 수평오차는 90% 신뢰수준의 원형오차, 수직오차는 90% 신뢰수준의 선형오차이다. 계산을 용이하게 하기 위하여 다음과 같은 가정을 한다.

- ① X와 Y축 방향의 분산이 거의 같아야 한다.
- ② 불일치 값들의 평균은 0 근처이어야 하고 평균을 중심으로 정규분포이어야 한다.
- ③ 분산값 추정을 위해서 충분한 관측점들이 있어야 한다(최소 20점).

공간데이터의 편차량은 X, Y, Z 성분에서의 관측점 불일치값에 대한 표본 평균, 표본표준편차를 계산하여 결정할 수 있다. 관측점 불일치 값의 표본평균은 다음과 같다<sup>4)</sup>.

$$X_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_i \quad (2.2)$$

여기서  $\delta X_i = (X_i^c - X_i^m)$

$X_i^c$  : 기준 자료(check survey) 집합에서의 관측점 i의 X 좌표

$X_i^m$  : 평가대상 자료(map) 집합에서의 관측점 i의 X 좌표

n : 표본집합에서 관측점의 개수

관측점들의 표본표준편차는 각 축성분에 대하여 독립적으로 평가된다. X축 방향에 대한 불일치 표준편차는 다음과 같다.

$$s_x = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta X_i - X_o)^2 \right)^{1/2} \quad (2.3)$$

Y와 Z축 성분에 대한 표본평균 및 표본표준편차도 같은 방법으로 구하면 된다.

### 2.2.1 선형오차확률

관측점들의 수직위치 한 방향의 정확도를 평가할 경

우 일반적으로 선형오차확률(LEP, Linear Error Probable)를 이용하는 데, 관측점들을 충분히 확보하고 오차가 정규분포임을 가정하면 다음과 같이 선형오차확률을 구할 수 있다. 선형오차확률은 다음값을 0.25로 하는  $h_1$ 의 값을 말한다5).

$$P(h_1 < x < \infty) = \int_{h_1}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = 0.25 \quad (2.4)$$

따라서

$$h_1 = LEP = 0.6745\sigma \text{ 이다.}$$

여기에서 미국국가지도 정확도 표준에서는 수직오차를 90%의 신뢰수준으로 요구하며 LMAS( Linear Map Accuracy Standard )라고 한다. 따라서 LMAS는 다음과 같다.

$$LMAS = 1.6449 \sigma$$

이는 관측점들 고도 선형오차의 90% 허용 범위를 의미한다.

### 2.2.2 원형오차확률

관측점들의 수평위치 정확도를 평가할 경우 일반적으로 원형오차확률(CEP, Circular Error Probable)개념을 많이 이용한다. 원형오차확률은 관측점들이 정해진 요구확률로 임의의 반경내에 위치할 때, 결정되는 반경으로 정의된다6).

X방향과 Y방향의 오차에 대한 확률변수를  $x, y$  라하면 2개의 확률변수  $x, y$ 가 정규분포(normal distribution)를 이루고, 또 독립이라고 할 때 결합확률 밀도함수(joint probability density function)  $p(x, y)$ 는 다음식과 같다.

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_y^2}} \quad (2.5)$$

여기에서  $\bar{x}, \bar{y}$ 는 각 방향에서의 관측점들의 불일치

에 대한 평균,  $\sigma_x, \sigma_y$ 는 각 방향에서의 관측점들 간의 불일치에 대한 표준편차이다.

관측점들이 진위치로부터 반경 R인 원안에 있을 확률 P는 다음식과 같다.

$$P = \iint_{\sqrt{x^2+y^2} < R} p(x, y) dx dy \quad (2.6)$$

Bias가 없고( $\bar{x} = \bar{y} = 0$ ) 분산이 같은( $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ ) 경우 위식은 다음과 같은 확률을 갖게된다.

$$\begin{aligned} P\left(\frac{R}{\sigma}\right) &= \int_0^R \int_0^{2\pi} \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} r d\theta dr \\ &= \int_0^R \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} dr \\ &= -e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \Big|_0^R \\ &= 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

식 (2.6), (2.7)으로부터 반경 r안에 관측점들이 있을 확률 P(r)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(r) = 1 - e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}} \quad (2.8)$$

여기에서 관측점들의 50%가 있을 원의 반경  $R_o$ 는

$$P(R_o) = 1 - e^{-\frac{R_o^2}{2\sigma^2}} = 0.5 \quad (2.9)$$

가 된다. 따라서 원형오차확률(CEP :  $R_o$ )값은 다음과 같다.

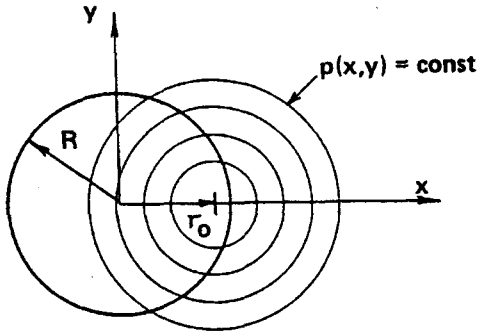
$$CEP = 1.1774\sigma$$

여기에서 미국국가지도 정확도 표준에서는 수평오차를 90%의 신뢰수준으로 요구하며 CMAS( Circular Map Accuracy Standard )라 정의한다. 따라서 CMAS는 다음과 같다.

$$CMAS = 2.1460 \sigma$$

이는 관측점들 수평오차의 90% 허용 범위를 의미한다.

그러나 실제로는 X방향과 Y방향의 평균이 다른 경우( $\bar{x} \neq \bar{y} \neq 0$ )가 많이 발생하게 되는 데 이러한 경우에, 각 방향의 편차를 원형으로 가정하고( $\sigma_c$ )와 편차요소(Bias Factor :  $\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} / \sigma_c$ )를 고려하여 계산하면, <그림 1>과 같은 형태의 분포를 형성하며 <표 1>을 이용하여 CMAS를 계산할 수 있다.



<그림 1> Bias가 있고 분산이 같은 경우

$$CMAS = K \sigma_c \quad (2.10)$$

$$\sigma_c = 0.7071 \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$$

$$\text{Bias Factor} = \frac{\sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}}{\sigma_c}$$

여기에서 K는 원형오차확률계수로써  $CMAS/\sigma_c$ 를 의미하며 다음식을 이용하여 계산할 수 있다(7).

$$0.9 = \iint_{\sqrt{x^2+y^2} \leq R} \frac{1}{2\pi\sigma_c^2} e^{-\frac{(x-r_0)^2}{2\sigma_c^2} - \frac{y^2}{2\sigma_c^2}} dx dy$$

(2.11)

<표 1>은 식 (2.11)을 Bessel Function을 이용하여 계산한 값이며, K가 0.1 미만일 경우 Bias가 없는 ( $\bar{x} = \bar{y} = 0$ ) 경우와 같이 계산한다.

<표 1> bias factor 값에 대한 원형오차확률계수

Bias Factor	원형오차확률계수(K)	Bias Factor	원형오차확률계수(K)
0.1	2.1513	1.1	2.6811
0.2	2.1673	1.2	2.7629
0.3	2.1935	1.3	2.8471
0.4	2.2296	1.4	2.9330
0.5	2.2746	1.5	3.0205
0.6	2.3279	1.6	3.1092
0.7	2.3882	1.7	3.1990
0.8	2.4546	1.8	3.2897
0.9	2.5262	1.9	3.3812
1.0	2.6020	2.0	3.4734

### 3. 평가기준

#### 3.1 미국의 국가표준( National Standard Map Accuracy Requirement ; U.S. Department of Commerce )

미국에서의 여러 가지 축척의 지도를 제작할 때, 여러 가지 오차요인 및 필요성을 고려하여 정한 각 사항들에 대한 요구조건은 다음을 기준으로 하며 <표 2>와 같다1).

가. 수평위치 정확도 : 축척 1:20,000 이하의 지도상에서 과장되어 표시된 지형지물을 제외한 모든 지형지물의 90%가 지도상에서 0.5mm 이내에 위치할 것

나. 수직위치 정확도 : 모든 등고선과 등고선으로부터 보간하여 얻어진 표고점의 90%가 등고선 간격

(Contour Interval)의 1/2 이내의 정확도를 가질 것

현이 Class A, B를 충족시키지 못하는 지도

<표 2> 미국 국가 표준(축척별 요구 조건)

축척계수	공간 해상력	평면위치 표준오차	등고선 간격	수직위치 표준오차
1,000,000	100 m	300 m	250 m	75 m
250,000	25 m	75 m	50 m	15 m
100,000	10 m	30 m	25 m	8 m
50,000	5 m	15 m	10 m	3 m
25,000	2.5 m	7.5 m	5 m	1.5 m

### 3.2. 미군사지도 평가 기준

군사지도 역시 국가표준을 적용하며, "A-1"과 같은 "영문자-숫자"형으로 표기하여 위치정확도와 시세 및 표현성에 대한 기준을 정하여 사용하고 있으며, 지도에 대한 전반적인 평가를 위해 Excellent, Good, Fair, Poor와 Adequate, Usable, Inadequate등과 같은 형용사를 이용한 표현 방법을 사용한다. 1:75,000 이상의 대축척 미군사지도 평가 기준은 다음과 같다(8).

- ◆ Class A-1 (Excellent, Adequate) : 수평위치에 대해 지형지물의 90%이상이 도상에서 0.5mm 이내에 위치하고, 수직위치에 대해 등고선들을 보간하여 얻어진 표고점의 90%가 등고선 간격의 1/2이내에 있어야 하고 최신내용이 반영되어 있어야 하며 표준 방위선 및 표준 축척을 사용하고 로마자 표기법을 활용한다.
- ◆ Class A-2 (Good, Adequate) : Class A-1에 대한 정확도 규정은 만족하지만, 시세 또는 표현에 대한 규정 중 하나 이상을 만족시키지 못하는 것
- ◆ Class B-1 (Good, Usable) : Class A-1에 대한 정확도에는 이르지 못하지만 수평위치 허용오차가 지도 상에서 1.0mm, 수직위치 허용오차가 등고선 간격이다. 시세와 표현에 대한 규정은 같다.
- ◆ Class B-2 (Fair, Usable) : Class B-1과 같은 위치정확도를 만족하나, 시세와 표현은 불충분한 지도
- ◆ Class C (Poor, Inadequate) : 위치정확도, 시세, 표

### 3.3. 제안 평가 기준

수평위치의 경우는 A급 지도의 경우를 적용하여 CMAS를 적용하였지만, 수직위치의 경우 우리나라의 지형이 미국의 지형에 비해 지형기복이 심하기 때문에 등고선의 간격이 1:50,000 지도의 경우 20m인 것을 감안하여 A급 지도의 수직 정확도는 지형지물의 90% 이상이 10m 이내에 위치하도록 LMAS를 적용하였다. 적용기준을 표로 나타내면 <표 3>과 같다.

<표 3> 1:50,000 지형도의 수평, 수직 정확도 기준

등급	수평위치 정확도 기준	
	CMAS	LMAS
A급	25 m 이하	10 m 이하
B급	25 ~ 50 m	10 ~ 20 m
C급	50 ~ 100 m	20 ~ 40 m
C급 이하	100 m 이상	40 m 이상

## 4. 분석 및 평가

### 4.1 관측점 선정 및 획득 방법

1:50,000 대전도엽에 포함된 지역내부에서 평균점간 거리가 약 3~5km 폭이 되도록 총 60점을 선정하였다. 선정기준은 1:50,000 종이지도, 항공사진으로 작성한 지도, SPOT 위성사진으로 작성한 지도에서 다 같이 식별 가능한 점으로 하였으며, 형상에 대한 편차를 줄이기 위해 도로의 교차점(14점), 식생의 경계점(11점), 독립 건물(12점), 다리의 중앙(12점), 산의 정상점(10점)과 같이 고르게 선정하였으며, 그 분포는 <그림 2>와 같다. 또한 각 자료 출처별 좌표체계의 일치성을 확보하기 위해 모든 좌표는 UTM으로 변환하여 사용하였다.

기준데이터 획득을 위해 GPS 위성측정기법을 사용하였다. 위치측정의 기준으로는 대전 인근에 위치한 1등



× : 식생의 경계, △ : 산의 정상, ▽ : 다리, □ : 건물, ◇ : 도로의 교차점  
<그림 2> 관측점들의 분포

삼각점을 사용하였으며, GPS 관측을 위해서는 Trimble 사의 정밀측위용 GPS수신기(Geodetic Surveyor II) 3 세트를 사용하여 TRIMVEC-Plus와 TRIMNET를 사용하여 데이터 처리하였다.

종이지도를 이용하여 수치지형도를 제작하기 위해 AutoCad 소프트웨어를 기본으로 한 디지털라이저와 스캐너 장비를 이용하여 축척 1:50,000 종이지도 필름원도에서 데이터를 취득하고, ARC/INFO를 사용하여 COVERAGE FILE을 제작하고 스캐너에서 얻어진 등고선 데이터를 3차원 등고선 데이터로 변환하여 DTM FILE을 제작하였다9).

항공사진을 이용하여 수치지형도를 제작하기 위해 1989년에 촬영한 1:20,000 항공사진을 이용하여 대전 지역에 대한 1:50,000 수치지형도를 제작하였다. 투영 기준은 평면직각좌표로서 횡메르카토(TM) 도법에 의해 투영하고 도곽에 UTM 마크를 삽입하였다. 사용 기기로는 정밀입체 해석도화장비 Planicomp(P-2)와 P-3를 사용하였다10).

SPOT 위성사진을 이용한 수치지형도를 제작하기 위해 1990년 11월 27일과 1991년 1월 4일 촬영된 SPOT 입체위성사진 1AP로부터 해석도화장비를 이용하여 축척 1:50,000 도엽중 "대전"도엽에 해당하는 부분을 제작했다. 좌표기준으로는 수평점은 TOKYO DATUM을 기준으로하고, 높이 기준면은 인천만의 평균해수면을 기준으로 하였으며, 투영기준은 항공사진의 경우와 같고, P-2와 P-3를 사용하였다11).

4.2 오차분석 및 정확도 분석

기준자료에 대한 여러자료 출처의 비교결과는 다음과 같다.

< 표 4 > 기본지도와 GPS 성과의 비교

	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
$\sigma$	53.133	49.306	8.516
평균	12.702	1.623	-0.255
$\sigma_c$	51.255		
Bias Factor	0.250		

< 표 5 > 항공사진지도와 GPS 성과의 비교

	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
$\sigma$	6.244	8.295	4.845
평균	2.959	-0.095	-0.810
$\sigma_c$	7.341		
Bias Factor	0.403		

< 표 6 > SPOT위성사진지도와 GPS 성과의 비교

	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
$\sigma$	17.725	22.235	6.822
평균	-5.626	8.169	-1.238
$\sigma_c$	20.107		
Bias Factor	0.493		

위의 비교결과를 이용하여 앞에서 제안한 평가기준을 적용하면 그 정확도 평가 결과는 다음과 같다.

5. 결론

지도의 정확도는 크게 위치(Positioning), 시세(Currency), 표현성(Presentation)의 세가지 요소로 구분하여 평가할 수 있으며, 그 사용 목적에 따라 지도 제작 정확도 요구 수준이 달라질 수 있다. 그러나 현재 우리나라에서는 정확도 기준이 정해져 있지 않으며 정확도의 평가 방법이 명확히 정의되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 통계적 지도오차 분석이론, 미국의 지도 정확도 기준 및 평가 방법을 조사하여 우리나라의 실정에 적합한 지도 위치 정확도 기준을 제시함으로써 지도의 정확도 평가 기준 설정에 이용하도록 하였고, 각종 지도의 정확도를 시험적으로 평가하여 보았다.

위치정확도 평가기준을 설정하기 위하여 통계적 오차 분석 기법을 도입하였다. 표고를 표현하는 1차원의 수직위치의 경우 선형오차확률(LEP:Linear Error Probable)이론을 적용하였으며, 수평좌표를 표현하는 2차원 수평위치의 경우 원형오차확률(CEP:Circular Error Probable)이론을 이용하였다. 평가기준으로는



수평 및 수직 오차에 대한 신뢰구간을 90%로 설정하여 추정한 오차를 기준으로 하였다. 제안된 평가기준을 이용하여 시험적으로 지도 정확도 평가분석작업을 수행하였다. 도로의 교차점, 식생의 경계점, 다리, 산의 정상, 건물의 모퉁이 좌표에 대해 각각 10여점의 관측점(총 60점)을 GPS 현지측량을 통해 정확한 기준 좌표를 취득하였다. 또한 항공사진을 이용한 수치지형도, SPOT 위성사진을 이용한 수치지형도 및 기존의 1:50,000 종이지도로부터 제작한 수치지형도로부터 정확도 평가대상점의 위치좌표를 획득하여 평가용 자료로 이용하였다. 지형도의 평가 요소중 시세와 표현성을 제외한 위치

정확도 평가의 경우 통계적 분석 기법을 이용하여 정량적인 기준을 설정하고, 그 기준에 따라 지도의 정확도를 분석하였다. 지도 정확도 실험한결과, 항공사진, 종이지도 및 위성사진지도 각각에 대한 해상도와 예상되는 정확도를 고려해 볼 때, 본 연구에서 제안한 평가기준 및 평가방법을 적용할 수 있다고 판단한다. 향후 위치평가에 대한 기준을 개선하고, 시세 및 표현성에 의한 정성적 기준을 제안함으로써 종합적인 지도 정확도 평가방법을 정립하여 지도의 사용목적에 맞는 정확도를 적용하면 지도제작의 경제성이 확보되고, 지도 이용 목적에 따른 오차를 최소화시킬 수 있을 것이다.

<표 7> 실험 결과

관측점 성과 비교 오차	항공사진지도	SPOT 위성사진지도	종이 지도
$\Delta X(E)$ 표준편차	6.244m	17.725m	53.133m
$\Delta Y(N)$ 표준편차	8.295m	22.235m	49.306m
$\sigma_c$	7.341m	20.107m	51.255m
Bias Factor	0.403	0.498	0.250
원형오차 확률계수(K)	2.230	2.274	2.180
CMAS	16.370m	45.723m	111.736m
수평위치 등급	A급	B급	C급이하
$\Delta H$ 표준편차	4.845m	6.822m	8.516m
선형오차 확률계수	1.6449	1.6449	1.6449
LMAS	7.970m	11.222m	14.008m
수직위치 등급	A급	B급	B급

참 고 문 헌

- 1) The American Society of Photogrammetry, "Manual of Photogrammetry", ch.7, forth edition, 1980.
- 2) Khagendra Thapa, John Bossler, "Accuracy of Spatial Data Used in Geographic Information Systems", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.58, No.6, pp.835-841, June 1992.
- 3) DMA, "DCW Error Analysis", DMA600-89-C-0023, CDRL C002, Feb. 1991.
- 4) The American Society of Photogrammetry, "Accuracy Specification for Large-Scale Line Maps", Photogrammetry Engineering & Remote Sensing, Vol. 51, No. 2, pp.195-199, Feb. 1985.
- 5) J.S. Przemieniecki, "Introduction to Mathematical Methods in Defense Analysis", AIAA Inc.

- ,pp.28-44, 1990.
- 6) William Mendenhall, Richard L. Scheaffer, Dennis D. Wackerly, "Mathematical Statistics with Application", Duxbury, 1986.
  - 7) Richard Stevens Burington, Donald Curtis May, "Handbook of Probability and Statistics with Table", McGraw-Hill Book Company, 2nd Edition, pp 133-137,
  - 8) TM 5-441, "Geodetic and Topographic Surveying", Feb. 1970.
  - 9) 국방과학연구소, "수치지형도 제작 보고서", E910004ED, 1991. 10
  - 10) 국방과학연구소, "지상기준점 현지관측 및 개선용 지도제작", E900052ED, 1991. 9.
  - 11) 국방과학연구소, "수치지형도 제작", E910035ED, 1991. 10.