

1:1,000 및 1:5,000 수치지도의 위치정확도 검증

The Evaluation of Position Accuracy to 1:1,000 and 1:5,000 scale Digital Map

이 현 직 *
Lee, Hyun-Jik

박 홍 기 **
Park, Hong-Kee

이 강 원 ***
Lee, Kang-won

要 旨

정보 유통단계를 준비하고 있는 국가기본도 수치지도는 각종 정확도 저해요인에 의해 품질에 대한 신뢰성 문제가 대두되고 있는 실정으로 다양한 작업방법과 단계에 의해 제작된 기존 수치지도에 대한 위치정확도의 검증 및 평가가 요망되고 있다.

본 연구에서는 국가기본도 수치지도제작 사업을 통해 기 제작된 1:1,000 및 1:5,000축척의 수치지도를 대상으로 제작단계와 방법에 따른 위치정확도 분석을 통해 기존 수치지도의 정확도 한계를 규명함으로써 고품질의 수치지도 제작을 위한 기반을 조성하고 국가기본도 수치지도정보의 신뢰성 및 활용성 증대에 기여하는데 목적이 있다.

본 연구의 수행 결과, 축척별 기 제작 수치지도의 수평위치 및 수직위치정확도 한계를 파악할 수 있었으며, 제작방법 및 자료레이어별 위치오차 요인을 규명함으로써 향후 수치지도의 수정 및 갱신시 정확도 개선에 기여할 수 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

National digital maps (NDM) produced by diverse production methods through various stages are ready to distribute to public. The position accuracy problems in NDM should be inspected and evaluated to guarantee the quality of NDM.

The purpose of this study is 1) to find out factors of impeding accuracy by examining the position accuracy of NDM on scales of 1:1,000 and 1:5,000, 2) to form the technical basis of making accurate digital maps and 3) to increase reliability and practical use of NDM.

In this study, we found out 1) obstacles of making accurate NDM especially in solving horizontal and vertical location accuracy problems and 2) error sources in production methods as well as stages. These results can be contributed to increase accuracy on modifying and upgrading NDM.

* 상지대학교 토목공학과 조교수

** 경원대학교 토목공학과 부교수

*** (주)한국항공 GIS연구소 부소장

1. 서론

1995년 부터 수행되고 있는 국가지리정보시스템구축사업은 1998년말 초기사업인 국가기본도의 수치지도제작(1:1000, 1:5000, 1:25000)이 완료됨에 따라 이를 국가기관 및 민간에게 제공하는 유통단계를 준비하고 있는 실정이다.

국가기본도 수치지도자료는 필요에 의해 정부부처, 지방자치단체 및 정부투자기관이나 민간에 제공되어야 하며, 후일에는 이들 기관과 국민들을 위한 다양한 GIS 기본 데이터로 활용될 것이므로 자료의 품질에 대한 신뢰도를 확보하여야 한다.

특히, 국가기본도 수치지도자료의 품질과 관련된 항목 중 위치정확도는 사용자가 원하는 응용분야의 가능성은 물론, 활용성을 좌우하는 주요 요소이므로 규정에 의한 정확한 제작방법과 단계를 통해 축척별 소요정확도를 만족하여야 한다.

그러나, 사업초기의 수치지도는 각종 저해요인에 따라 유통에 앞서 제공되는 정보의 품질에 대한 신뢰성에 문제점이 대두되고 있는 실정으로 수치지도 위치정확도에 대한 일반적인 관심 및 신뢰도에 대한 의문을 해소하기 위해서는 다양한 작업방법과 단계에 의해 제작된 기존 수치지도에 대한 위치정확도의 검증 및 평가가 요망되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 국가기본도 수치지도제작사업을 통해 기 제작된 1:5000 및 1:1000축척의 수치지도를 대상으로 제작단계와 방법에 따른 위치정확도 분석을 통해 기존 수치지도의 정확도 한계를 규명함으로써 고품질의 수치지도제작을 위한 기반을 조성하고 국가기본도 수치지도정보의 신뢰성 및 활용성 증대에 기여하는데 목적이 있다.

2. 수치지도 관련 위치정확도 분석 이론

일반적으로 공간자료의 위치정확도는 지도제작방법 및 과정의 기본요소에 따라 달라지며, 지도제작과정의 각 단계에서 발생하는 각종 오차의 함수관계를 알지 못하기 때문에 공간자료에 발생하는 모든 오차요인을

정확히 추정하는것은 매우 어려운 문제이다.

그러나, 공간자료의 총오차는 각 단계에 포함되는 각종 오차와 선형관계가 있다고 가정하면 오차전파(Error Propagation)법칙을 이용하여 수치지도제작 과정에서 발생하는 위치오차는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{map} = (\sigma^2_{control} + \sigma^2_{photography} + \sigma^2_{triangulation} + \sigma^2_{orientation} + \sigma^2_{plotting} + \sigma^2_{compilation} + \sigma^2_{drafting} + \sigma^2_{printing} + \sigma^2_{automation})^{\frac{1}{2}} \quad (2-1)$$

여기서, $\sigma_{control}$ 은 지상기준점오차, $\sigma_{photography}$ 은 항공사진오차, $\sigma_{triangulation}$ 은 항공삼각측량오차, $\sigma_{orientation}$ 은 사진표정오차, $\sigma_{plotting}$ 은 입체도화오차, $\sigma_{compilation}$ 은 편집오차, $\sigma_{drafting}$ 은 제도오차, $\sigma_{printing}$ 은 인쇄오차, $\sigma_{automation}$ 은 자동화과정 오차를 의미한다.

항공사진을 이용하여 해석도화기(Analytical stereo plotter)이나 수치사진측량시스템(Digital Photogrammetric System)으로 수치지도를 제작할 경우 발생하는 오차요인은 다음과 같다.

$$\sigma_{map} = (\sigma^2_{control} + \sigma^2_{photography} + \sigma^2_{triangulation} + \sigma^2_{orientation} + \sigma^2_{plotting})^{\frac{1}{2}} \quad (2-2)$$

기계식도화기(Analog Stereo Plotter)를 이용하여 종이지도 제작할 경우에 원도에 대한 위치오차는 식(2-2)에 편집오차와 제도오차 및 인쇄오차를 추가하여 다음과 같다.

$$\sigma_{map} = (\sigma^2_{control} + \sigma^2_{photography} + \sigma^2_{triangulation} + \sigma^2_{orientation} + \sigma^2_{plotting} + \sigma^2_{compilation} + \sigma^2_{drafting} + \sigma^2_{printing})^{\frac{1}{2}} \quad (2-3)$$

기계식도화기로 제작된 종이지도로부터 수치지도를 제작할 경우는 식(2-3)에 수치화 과정의 자동화오차를 추가하여 식(2-1)에 의해 위치오차를 평가한다.

일반적으로 지도제작 관련 기관은 위치정확도를 평가하기 위해 관측지점간의 불일치를 이용하지만, 최종적으로 위치정확도를 발표하는데는 서로 다르다. 예를 들어, 미국 국가지도정확도표준에서는 수평위치정확도 기준으로 90% 신뢰수준을 갖는 원형오차(Circular error)를 이용하며, 또한 각 축성분에서 50% 신뢰수준의 원형오차나 평균제곱근오차(Root Mean Square Error : RMSE) 및 MSE(Mean Square Error)로 표현한다.

수치지도 위치정확도 평가를 위해 가장 일반적으로 많이 사용하는 방법은 미국 국가지도정확도표준에서 정해진 바와 같이 수평위치오차는 90% 신뢰수준의 원형오차를 이용하며, 수직위치오차는 90% 신뢰수준의 선형오차를 이용한다.

공간자료의 편차는 X(Easting), Y(Northing), Z(height)성분에서의 관측점 간차에 대한 표본 평균 및 표본 표준편차를 계산하여 결정할 수 있다. 관측점의 X성분에 대한 간차의 표본평균 및 표준편차는 다음과 같다.

$$X_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta X_i$$

$$S_x = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\delta X_i - X_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-4)$$

여기서, $\delta X_i = (X_i^c - X_i^m)$ 로서, X_i^c 는 기준자료(References)에서의 관측점 I의 X 좌표, X_i^m 는 평가할 자료(digital map)에서의 관측점 I의 X좌표, n : 표본의 관측점 개수로, 식(2-4)에 의해 Y와 Z측 표 2.1 신뢰도에 따른 원형오차 확률

원형오차(CE)	기호	신뢰도(%)
· Circular Standard Deviation	σ_c	39.35
· Circular Probable Error	CPE	50.00
· Mean Square Error	MSE	63.21
· Circular Map Accuracy Standard	CMAS	90.00
· Navigation Accuracy	NA	95.00
· Circular Near Certainty Error	$3.5 \sigma_c$	99.78

성분에 대한 표본평균 및 표본표준편차도 같은 방법으로 계산한다.

신뢰도에 따른 각종 수평위치 원형오차의 확률 및 변환표는 표 2.1 및 표 2.2와 같다.

표 2.2 원형오차 확률 변환표

	σ_c	CPE	MSE	CMAS	NA	$3.5 \sigma_c$
σ_c	1.0000	1.1774	1.4142	2.1460	2.4477	3.5000
CPE	0.8493	1.0000	1.2011	1.8277	2.0789	2.9726
MSE	0.7071	0.8325	1.0000	1.5174	1.7308	2.4746
CMAS	0.4660	0.5486	0.6590	1.0000	1.1407	1.6309
NA	0.4085	0.4810	0.5778	0.8767	1.0000	1.4298
$3.5 \sigma_c$	0.2857	0.3364	0.4040	0.6131	0.6994	1.0000

수직위치오차는 선형오차(Line Error)로 나타내며 추정된 값과 진위치로 알려진 값과의 차이로 정의된다. 이는 진위치가 정의된 신뢰도 추정값을 중심으로 한 선형오차 내에 위치한다는 것을 의미한다.

신뢰도에 따른 각종 수직위치 선형오차의 확률 및 변환표는 표 2.3 및 표 2.4와 같다.

표 2.3 신뢰도에 따른 선형오차 확률

선형오차 (LE)	기호	신뢰도(%)
· Probable Error	PE	50.00
· Standard Error	σ_c	68.27
· Linear Map Accuracy Standard	LMAS	90.00
· Navigation Accuracy	NA	95.00
· Linear Near Certainty Error	$3.5 \sigma_c$	99.73

표 2.4 선형오차 확률 변환표

	PE	σ_c	LMAS	NA	$3.5 \sigma_c$
PE	1.0000	1.4826	2.4387	2.9058	4.4478
σ_c	0.6745	1.0000	1.6449	1.9600	3.0000
LMAS	0.4101	0.6080	1.0000	1.1916	1.8239
NA	0.3441	0.3441	0.5102	1.0000	1.5306
$3.5 \sigma_c$	0.2248	0.3333	0.5483	0.6533	1.0000

3. 수치지도의 이론적 기대정확도

수치지도의 이론적 기대정확도 평가는 수치지도 관련 국내의 관련 법규 및 규정분석을 통해 파악된 현행 우리나라 수치지도의 위치정확도 기준의 타당성 및 적합성을 파악하고 기존 수치지도의 위치정확도 평가성과의 분석자료로 이용하기 위해 수행되는 과정으로 본 연구에서는 기 제작된 1:5,000 및 1:1,000 수치지도를 대상으로 현행 법규 및 규정상의 위치정확도 기준을 만족할 경우 얻을 수 있는 이론적인 기대정확도를 파악하였다.

또한, 본 연구에서는 기대정확도를 파악하기 위해 수평위치오차에 대해서는 수치화 과정전의 자료원에 대한 오차와 수치화후의 자료변환 및 조작과정의 오차를 우연오차 전파법칙으로 계산하였으며, 수직위치오차에 대해서는 주곡선간격의 1/3를 정확도 한계로 선정하여 분석하였다.

3.1 1:5,000 수치지도의 기대정확도

본 연구에서는 국내 수치지도 관련 위치정확도 기준 및 기존 1:5,000 수치지도의 제작방법을 고려하여 1:5,000 수치지도의 기대 위치정확도를 분석하였다.

국내 수치지도 관련 법규내에는 자료원인 1:5,000 원도의 제작과정에 대한 연역자료가 미비하여 자료원의 수평위치오차를 규정하기 어려움에 따라 본 연구에서는 선진 외국의 동일축척에 대한 수평위치오차한계인 도상 $\pm 0.7\text{mm}(\pm 3.5\text{m})$ 이내를 적용하였으며, 수직위치오차는 주곡선 간격의 $\pm 1/3(\pm 1.67\text{m})$ 이내를 적용하였다.

또한, 자료변환 및 조작오차는 법규내의 각 단계에 대한 위치오차에 대한 표준편차를 수치지도제작방법을 고려하여 적용하였으며, 현지지리조사오차는 위치오차규정이 없음에 따라 정위치편집 오차로 간주하였다. 기존 1:5,000 원도의 벡터편집과 수정도화 및 현지지리조사를 통해 자료수정을 수행한 후, 정위치편집하는 기존 1:5,000 수치지도제작방법을 고려한 1:5,000 수치지도의 기대정확도는 다음과 같다.

- 수평위치의 기대정확도

$$\text{SQRT}[(\text{원도오차}(\pm 3.5\text{m})^2 + \text{자동독취오차}(\pm 1.0\text{m})^2 + \text{수동입력오차}(\pm 2.0\text{m})^2 + \text{벡터편집오차}(\pm 2.0\text{m})^2 + \text{정위치편집오차}(\pm 2.0\text{m})^2] = \pm 5.02(\text{m})$$

- 수직위치의 기대정확도

$$\text{SQRT}[(\text{원도오차}(\pm 1.67\text{m})^2 + \text{자동독취오차}(\pm 1.0\text{m})^2 + \text{수동입력오차}(\pm 2.0\text{m})^2 + \text{벡터편집오차}(\pm 2.0\text{m})^2 + \text{정위치편집오차}(\pm 2.0\text{m})^2] = \pm 3.97(\text{m})$$

1:5,000 수치지도의 수평위치 기대정확도는 영국 OS의 1:2,500(농촌)수치지도 95% 신뢰구간 평면정확도 $\pm 4.80(\text{m})$ 과 유사한 정확도를 나타내고 있으며, 미국 ASPRS의 경우에는 95%의 신뢰구간을 나타내는 수평위치오차기준을 표현할 경우 CLASS 2($\pm 1.25 \times 2.447 \times 2 = \pm 6.12\text{m}$)에 해당하여 현 1:5,000 수치지도 관련 위치정확도 규정을 준수할 경우 우리나라 1:5,000 수치지도의 수평위치에 대한 기대정확도는 선진 외국의 동일축척 수치지도의 수평위치정확도에 비해 양호하게 나타났다.

또한, 1:5,000 수치지도의 수직위치 기대정확도는 선진 외국의 동일축척 수치지도의 수직위치정확도 규정이 존재하지 않아 객관적인 비교가 어려우나, 일본 국토지리원에서 규정하는 1:5,000 기본도의 수직위치오차 한계인 주곡선 간격의 $1/3(\pm 1.67\text{m} : \text{표준편차})$ 에 90%의 신뢰구간을 적용한 결과($\pm 1.67 \times 1.96 = \pm 3.27\text{m}$)인 $\pm 3.27\text{m}$ 보다는 다소 크게 나타났으며, 미국 ASPRS의 위치정확도 기준에 의하면 CLASS B-1(GOOD, USEABLE)의 수직위치규정인 주곡선 간격이내($\pm 5.0\text{m}$)보다는 양호한 결과를 나타내었다.

3.2 1:1,000 수치지도의 기대정확도

1:1,000 수치지도의 기대정확도 분석은 제작방법의 다양성을 고려하여 기존 원도를 이용한 방법에 대하여 분석하였다. 1:1,000 수치지도의 기대정확도 분석시 이용한 방법은 1:5,000 수치지도의 기대정확도 분석방법과 동일한 방법을 이용하였다.

- 수평위치 기대정확도

1:1,000 및 1:5,000 수치지도 위치정확도 검증

$$\begin{aligned} & \text{SQRT}[(\text{원도오차}(\pm 0.7\text{m})^2 + \text{자동독취오차}(\pm 0.2\text{m})^2 \\ & + \text{수동입력오차}(\pm 0.4\text{m})^2 + \text{벡터편집오차}(\pm 0.4\text{m})^2 \\ & + \text{정위치벡터오차}(\pm 0.4\text{m})^2] = \pm 1.00(\text{m}) \end{aligned}$$

- 수직위치 기대정확도

$$\begin{aligned} & \text{SQRT}[(\text{원도오차}(\pm 0.33\text{m})^2 + \text{자동독취오차} \\ & (\pm 0.2\text{m})^2 \\ & + \text{수동입력오차}(\pm 0.4\text{m})^2 + \text{벡터편집오차}(\pm 0.4\text{m})^2 \\ & + \text{정위치벡터오차}(\pm 0.4\text{m})^2] = \pm 0.79(\text{m}) \end{aligned}$$

1:1,000수치지도의 수평위치 기대정확도 1:5,000수치지도와 마찬가지로 영국 OS의 1:1,250(도심)수치지도 95% 신뢰구간 평면정확도 $\pm 0.80(\text{m})$ 보다 다소 크게 나타났으며, 미국 ASPRS 대축척지도 수평위치정확도 기준 적용시 1:5,000수치지도와 마찬가지로 CLASS B-1(GOOD, USEABLE)에 해당 되었다.

또한, 1:1,000수치지도의 수직위치 기대정확도는 일본 국토지리원에서 규정하는 1:1,000 기본도의 수직위치오차 한계인 주곡선 간격의 $1/3(\pm 0.33\text{m} : \text{표준편차})$ 에 90%의 신뢰구간을 적용한 결과($\pm 0.33 \times 1.96 = \pm 0.65\text{m}$)인 $\pm 0.65\text{m}$ 보다는 다소 크게 나타났으며, 미국 ASPRS의 위치정확도 기준에 의하면 CLASS B-1(GOOD, USEABLE)의 수직위치규정인 주곡선 간격이내($\pm 1.0\text{m}$)보다는 양호한 결과를 나타내었다.

이상과 같은 이론적인 기대정확도 평가에서 나타난 바와 같이 각각의 축척에 해당되는 수치지도의 제작과정시 현행법규의 위치정확도 기준을 준수할 경우 선진 외국의 동일축척 수치지도에 비해 위치정확도의 측면에서 유사하거나 양호하게 나타나 기 제작과정의

모순점을 고려할 경우 현행 법규의 위치정확도 기준이 국내 실정에 비해 현실적이지 못하였다.

따라서, 국내 수치지도의 위치정확도 기준은 제작단계에 따른 지나치게 세부적인 기준설정보다는 자료원인 원도오차와 자료변환 및 조작에 따른 축척별 수치지도 최종성공에 대한 위치정확도 기준설정이 바람직할 것으로 사료된다.

4. 기존 수치지도의 위치정확도 평가

기존 수치지도의 위치정확도 평가는 전문화된 위치정확도 관련 법규 및 규정분석과 제작사 및 감독기관 방문조사를 통해 기 제작된 수치지도의 제반요소를 토대로 현재 유통과정을 준비하는 기 제작 수치지도의 위치정확도를 평가하고 이를 토대로 향후 고품질 수치지도제작을 위한 최적 방법을 도출하기 위해 수행한다. 본 연구에서는 기존 수치지도의 위치정확도 평가를 위해 추진전략과 분석방법을 결정하고 이에 따른 대상지구를 선정하여 축척별 위치정확도 분석을 수행 하였으며, 각 분석방법의 내용을 기본으로 1:1,000 수치지도를 이용하여 제작방법 및 단계에 따른 위치정확도를 분석하였다. 기존 수치지도의 정확도 평가를 위한 본 연구의 주요 연구과정 및 내용은 그림 4.1과 같다.

4.1 1:1,000 수치지도의 위치정확도 분석

1:1,000 수치지도는 국가기본도 수치지도제작사업에

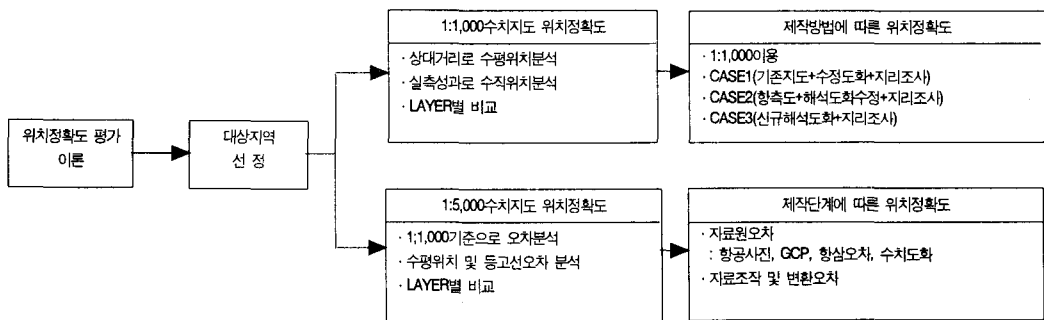


그림 4.1 기존수치지도의 위치정확도 평가를 위한 주요 연구과정

서 가장 대충적인 자료로 지하시설물종합도 구축사업과 건물명 도로의 통일화사업 등과 같은 국가 정보화 사업은 물론, 지자체의 도시정보시스템 구축 및 공공기관의 도시기반시설 유지관리시스템 구축의 기본 정보로 활용이 예상되는 중요정보로 타 축척의 수치지도보다 위치정확도에 대한 품질 유지가 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 제작방법이 서로 다른 상이한 3개 지구(과천지구, 수원장안지구, 서울성동지구)에 대해 실측성과와 1:1,000수치지도상의 성과를 이용한 표본표준편차를 통해 수평위치오차와 수직위치오차를 분석하여 기 제작된 1:1,000 수치지도의 위치정확도를 규명하였다.

본 연구의 수평위치오차 분석은 수평위치 기준점인 삼각점의 불량에 의해 절대좌표 관측이 어려움에 따라 상대거리의 실측성과와 1:1,000 수치지도상 거리편차를 비교하는 상대위치정확도 평가방법을 이용하였으며, 수직위치오차는 실측 표고값과 1:1,000수치지도상의 표고값을 비교하는 절대위치정확도 분석방법을 적용하였다. 또한, 1:1,000 수치지도의 위치정확도 분석에서는 백터편집과정에서 입력되는 레이어(layer)과 현지조사에서 입력되는 레이어를 분류하여 레이어에 따른 위치정확도를 분석하였다.

4.1.1 1:1,000 수치지도의 수평위치오차

일반적으로 수평위치오차 분석을 위한 관측점의 절대 수평위치좌표는 관측점 주변의 수평위치기준점인 삼각점에서 기준점측량을 통해 취득하여야 하나 우리나라 국가기준점의 문제점에 의해 사용된 삼각점 성과에 따라 결정되는 수평위치좌표가 다르게 되어 객관적인 정확도 분석이 어려운 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 1:1,000수치지도의 수평위치오차 분석을 위해 상대적인 방법으로 결정된 두점 좌표의 거리를 수치지도상에서 결정된 거리와 비교하는 상대위치정확도 분석방법을 이용하였다.

본 연구에서 적용한 수평위치오차 분석과정을 위한 방법은 다음과 같다. (그림 4.2 참조)

- 1) 기존 1:1,000 수치지도상에서 관측점 선정

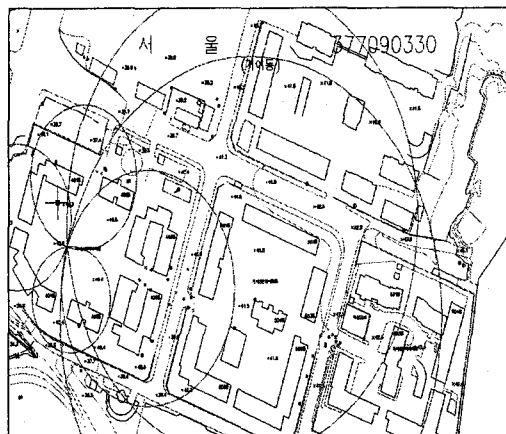


그림 4.2 후방교회법의 원리를 이용한 기계중심 결정

- 2) 임의점에 관측기기를 설치하고 기계중심의 좌표는 임의값으로 TOTAL STATION상에 부여
- 3) 기계중심에서 각 관측점까지의 거리를 TOTAL STATION을 이용하여 관측
- 4) 역으로 1:1,000 수치지도상에서 관측된 거리를 반경으로 원을 그려 교차되는점을 관측기기를 설치한 기계중심으로 설정(최소제곱법을 이용한 후방교회법과 동일)
- 5) 수치지도상에 결정된 기계중심에서 각 관측점의 거리를 1:1,000수치지도 상에서 결정
- 6) 각 관측점의 실측거리를 최확값으로 1:1,000수치지도상에서 관측한 각 관측점의 관측거리의 편차를 결정하여 표본표준편차로 분석

본 연구에서는 1:1,000 수치지도의 수평위치오차 분석을 위해 3개 분석지구를 선정하였으며, 각 대상지구에서 총 8개 레이어로 구성된 총 376점의 관측점을 이용하였다. 1:1,000수치지도의 수평위치오차 분석에 이용된 대상지구의 특성은 표 4.1과 같으며, 각 대상지구의 수평위치오차 분석결과는 표 4.2와 같이 나타낼 수 있다.

표 4.2 및 그림 4.3에 나타난 바와 같이 총 376점에 대해 실측성과에 대한 1:1,000수치지도의 수평위치오차는 $\pm 0.66m$ 로 선진 외국에서 규정하는 1:1,000수치

표 4.1 1:1,000수치지도 수평위치오차 분석지구 특성

지구명	레이어별 관측점수								
	건물	농지	비닐하우스	가로매	도로경계	맨홀	이정표	전주	소계
과천시지구	2	21	·	·	4	1	·	9	37
	·	11	5	·	·	·	·	·	16
	·	32	3	·	·	·	·	3	38
수원장안지구	30	·	·	2	7	12	4	19	74
	30	3	·	4	6	16	2	8	69
서울성동지구	60	·	·	·	1	15	·	9	85
	11	·	·	1	3	5	·	1	21
	33	·	·	·	·	3	·	·	36
합계	166	67	8	7	21	52	6	49	376

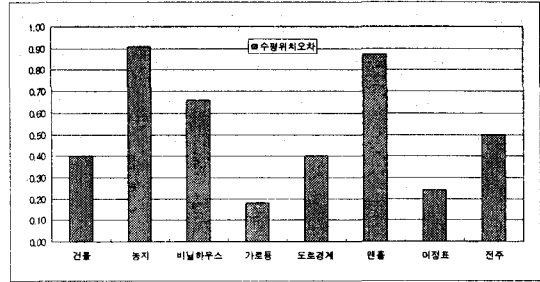


그림 4.4 레이어별 1:1,000수치지도의 수평위치오차

표 4.2 1:1,000 수치지도의 수평위치오차에 대한 표본표준편차

지구명	1:1000 도엽명	수평위치 표본표준편차(m)	각 지구에 대한 평균(m)
과천 지구	376121076	±0.79	±0.98
	376121079	±1.10	
	376121080	±1.04	
수원 장안 지구	377092126, 136, 137	±0.42	±0.46
	377092126, 127, 138	±0.50	
서울 성동 지구	377090316, 326, 327	±0.54	±0.48
	377090329	±0.48	
	377090330	±0.41	
표본 표준 편차 평균		±0.66	

지도의 수평위치오차 한계인 도상 ±0.7mm(±0.7m)보다 양호한 결과를 나타냈으며 특히, 제작방법이 불량한 과천지구를 제외하고는 해석도화기를 이용하여 기존 도면을 수정한 수원장안지구와 서울성동지구의 수평위치정확도는 도상 ±0.5m범위이내에 포함되었다.

또한, 본 연구에서는 1:1,000 수치지도의 수평위치오차를 분석하기 위해 선정된 관측점의 레이어를 분류하여 각 지구별 레이어의 수평위치오차를 분석하였다. 레이어에 따른 1:1,000수치지도의 수평위치오차 분석 결과는 그림 4.4와 같다.

레이어에 따른 1:1,000수치지도의 수평위치오차를 분석한 결과, 원도 및 수정원도에 포함되어 있는 레이어에서는 건물레이어에 비해 농경지계의 오차가 1:5,000과 마찬가지로 나타났으며, 현지조사를 통해 입력되는 레이어에서는 현지조사 성과가 많이 포함되는 과천지구에서 낮은 수평위치정확도를 나타내어 제작과정중 현장에서 도화원도와 확대사진을 이용하여 지거법등에 의한 현지조사 및 보완측량 성과 입력과정이 수치지도의 주요한 정확도 저하 원인 됨에 따라 현지조사를 과정을 줄일 수 있는 제작방법이 수치지도의 위치정확도 향상에 기여 할 수 있음을 알 수 있었다.

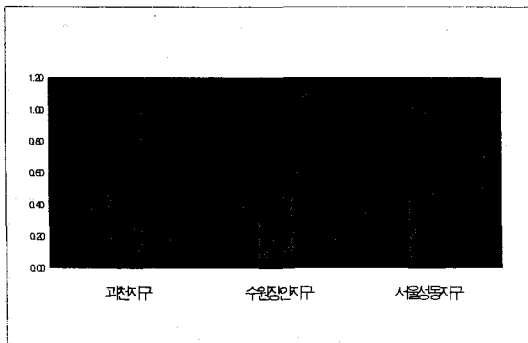


그림 4.3 1:1,000 수치지도의 수평위치오차

4.1.2 1:1,000 수치지도의 수직위치오차

1:1,000수치지도의 수직위치오차 분석에서는 3개 대상지구(과천시, 수원장안지구, 서울성동지구)에 대해 주로 도로와 농경지계로 구성된 총 168점의 관측점을 선정하여 정밀수준측량기인 WILD NA2 자동레벨을

이용하여 관측점의 절대 표고값을 실측한 성과를 최
 확함으로 1:1,000수치지도상에서 관측한 동일점의 표
 고값의 편차에 대한 표본표준편차를 통해 수직위치오
 차를 분석하는 철대위치정확도 분석방법을 이용하였
 다. 본 연구에서 수행한 1:1,000수치지도수직위치분석
 대상지구의 분석결과를 표 4.3 및 그림 4.5와 같이 나
 타낼 수 있다.

표 4.3 1:1,000수치지도의 수직위치오차에 대한
 표본표준편차

지 구 명	1:1000도엽번호	수직위치 표본표준편차	각 지구에 대한 평균
과 천	376121076	±0.26	±0.26
수원 장안	377092127	±0.22	±0.22
	377092126		
서울 성동	377090326	±0.18	±0.15
	377090319	±0.11	
표본표준편차의 평균		±0.19	

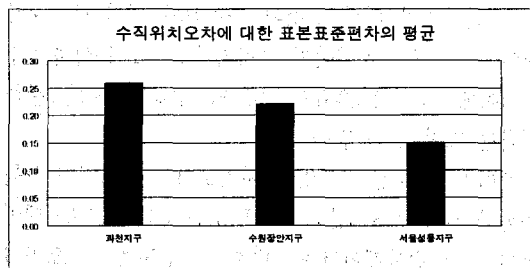


그림 4.5 지구별 1:1,000수치지도의 수직위치오차

표 4.3에 나타난바와 같이 총 168점에 대한 수직위치
 오차의 표본표준편차 평균은 ±0.19m로 나타나 주곡
 선간격의 1/3을 적용하는 선진 외국의 1:1,000수치지도
 표고값오차에 비해 양호하게 평가되었다. 또한, 각 지
 구별 평균오차는 수평위치오차 분석결과와 유사하게
 자료의 수정 과정이 불량한 과천지구에서 가장 크게
 나타났으며, 해석도화방법으로 원도를 제작한 서울성
 동지구의 수직위치정확도가 가장 양호하였다.

4.2 제작방법에 따른 기존 수치지도의 위치 정확도

본 연구에서는 제작방법이 다양한 1:1,000수치지도
 를 이용하여 수치지도제작방법에 따른 위치정확도를
 분석하였다. 본 연구에서 수행한 수치지도제작 방법
 에 따른 위치정확도 분석 CASE는 표 4.4와 같다.

수치지도제작방법에 따른 위치정확도 분석은 수평
 위치에 대해 상대적인 실측거리와 수치지도상의 관측
 거리를 비교하는 상대위치분석방법을 이용하였으며,
 수직위치에 대해서는 현장실측 표고값과 수치지도상
 에서 결정된 표고값을 비교하는 절대위치분석방법을
 이용하였다.

제작방법에 따른 위치정확도 분석을 위해 본 연구
 에서 이용한 관측값 해석방법으로는 두 값사이의 편
 차에 대한 평균을 이용하여 결정된 표본표준편차를
 이용하였다. 본 연구에서 결정된 제작방법에 따른

표 4.4 제작방법에 따른 위치정확도 분석 CASE

대상지구	분석CASE	수 치 제 작 방 법
과 천	CASE 1	<1:1,200기준항도>→<SCANNING>→<벡터편집>→<기계식수정도화> →<현지지리조사>→<정위치편집>
수원장안	CASE 2	<1:1,200기준항측도>→<SCANNING>→<벡터편집>→<해석도화기 이용수정> →<현지지리조사>→<정위치편집>
서울성동	CASE 3	<최근 촬영한 항공사진>→<해석도화>→<현지지리조사>→<정위치편집>

1:1,000수치지도의 위치정확도는 표 4.5 및 그림 4.6과 같다.

표 4.5 제작방법에 따른 1:1,000수치지도 위치정확도

CASE	기존 1:1,000 수치지도의 위치오차(m)	
	수평위치	수직위치
CASE 1	±0.98	±0.26
CASE 2	±0.46	±0.22
CASE 3	±0.48	±0.15

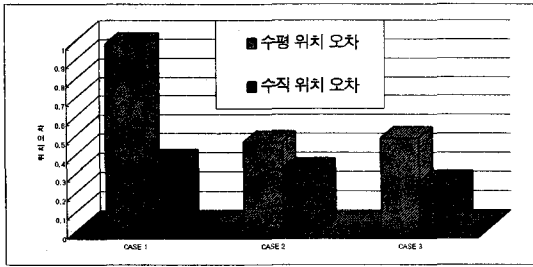


그림 4.6 제작방법에 따른 위치정확도

표 4.5 및 그림 4.6에 나타난 바와 같이 수평위치정확도에서는 자료원도의 정확도가 저하되고 수정 역시 기계식도화기를 이용한 CASE 1(과천시지구)에서 수평위치정확도가 ±0.98m로 이론적인 기대정확도를 초과하였으며, 향측원도와 자료수정과정에 해석도화기를 이용한 CASE 2(수원장안지구) 및 최근 촬영된 항공사진을 이용하여 해석도화기를 통해 원도를 작성한 CASE 3(서울성동지구)에서는 모두 ±0.5m이내의 수평위치오차를 얻을 수 있었다.

또한, 수직위치정확도에서는 모든 CASE에서 주곡선 간격의 1/3인 ±0.33m 보다 높은 정확도를 나타내 해석도화기를 활용한 모든 제작방법에서 수직위치정확도는 기대정확도이내의 결과를 나타내었다.

4.3 1:5,000수치지도의 위치정확도

4.3.1 1:5,000 수치지도의 수평위치오차

본 연구에서는 기존 1:5,000수치지도의 수평위치오

차분석을 위해 1:1,000수치지도의 수평위치오차 분석 시 이용된 총 396점의 관측점중 대상지구의 1:5,000수치지도상에서 탐색이 용이한 총 166점에 대해 후방회법의 원리를 이용한 상대거리 실측성과 동일점에 대한 1:5,000수치지도상의 성과를 비교분석 하였다.

본 연구에서 이용한 실측성과를 기준으로한 1:5,000수치지도의 수평위치오차 분석 대상 지구의 특성은 표 4.6과 같으며, 각 대상지구의 분석 결과는 표 4.7 및 그림 4.7과 같다.

이상과 같이 기존 1:5,000수치지도에 대해 총 166점을 이용하여 관측중심과 각 관측점의 거리실측성과와 1:5,000상의 관측거리를 통한 상대 수평위치오차를 분석한 결과, 3개 지구의 표본표준편차의 평균이 ±5.42m로 기대정확도의 분석결과인 ±5.02m보다 다소 큰 오차를 나타내었다.

표 4.6 1:5,000수치지도의 수평위치오차 분석 지구 특성

지구명	도엽명		관측점수
	1:5,000	1:1,000	
과천시지구	안양040	376121069	18
		376121076	17
		376121079	6
		376121080	21
수원지구	수원 082	377092126, 127, 138	23
		377092126, 127, 136, 137	19
서울지구	성동 086	377090316, 326, 327	50
		377090329	12
총 관측점수			166

표 4.7 대상지구별 실측성과와 비교한 1:5,000수치지도의 수평위치오차

지구명	표본표준편차(m)		지역별 평균편차(m)	
	실측 대 1:1,000	실측 대 1:5,000	실측 대 1:1,000	실측 대 1:5,000
과천시지구	±0.32	±4.45	±0.70	±3.91
	±0.51	±1.40		
	±0.90	±5.90		
	±1.08	±3.88		
수원지구	±0.53	±5.42	±0.48	±4.70
	±0.42	±3.97		
서울지구	±0.53	±10.04	±0.42	±7.66
	±0.31	±5.27		
전체평균			±0.53	±5.42

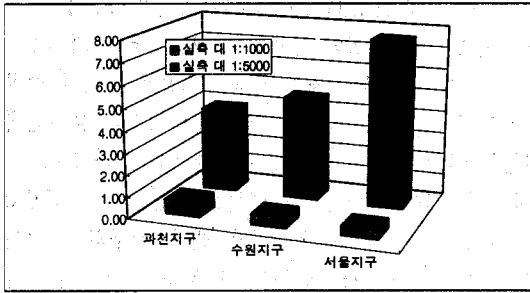


그림 4.7 각 수치지도의 수평위치오차

또한, 각 지구별 분석에서는 1:1,000수치지도의 수평위치오차 분석과 반대로 과천시(±3.91m), 수원지구(±4.70m)가 기대정확도 이내의 결과를 나타낸 반면, 서울지구에서는 원도의 빈번한 수정으로 인한 오차전파로 인해 ±7.66m의 수평위치오차를 나타내 다른 지구에 비해 큰 오차를 나타내었다.

4.3.2 1:5,000 수치지도의 수직위치오차

1:5,000 수치지도의 수직위치오차 분석에서는 과천 대상지역에 대해 최근 촬영된 FMC(Forward Motion Compensation) 항공사진을 통해 1:1,000 축척으로 해석도화를 실시한 신규제작 원도상의 등고값과 1:5,000 수치지도상의 등고값을 2차원 그래프화 하여 상대적인 편차경향을 분석하는 상대 등고선오차 분석방법을 이용하였다.

본 연구에서 수직위치오차 분석을 위해 이용한 관측점은 그림 48과 같은 방법을 이용하여 다음과 같이 과천시지구상의 4개코스를 선정하여 중심점의 거리별 등고값과 비교하였다.

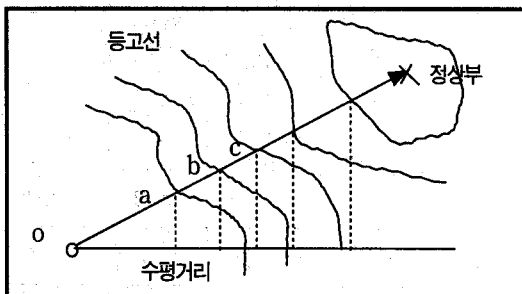


그림 4.8 등고선오차 관측점 선정 방법

- 1) 각 축척의 수치지도상에서 공통으로 탐색이 용이한 임의점 선정(o)
- 2) 수치지도상에서 등고선 정상부를 관측방향으로 하는 코스 선정
- 3) 각 수치지도상에서 방향선과 각 등고선에 교차하는 수평거리 및 등고값 취득
- 4) 각 관측성곽을 거리와 등고값으로 2차원 그래프로 그려 경향 분석

상대 등고선오차분석을 통한 1:5,000 수치지도의 수직위치오차는 신규제작된 1:1,000 수치지도를 기준으로 최대 ±3.0m 정도로 나타나 1:5,000수치지도의 주곡선간격에 1/2인 ±2.5m에 비해 다소 크게 나타났다.

또한, 분석대상지구에 대한 1:1,000수치지도의 절대수직위치오차의 평균(±0.21m)을 고려하면, 1:5,000수치지도의 수직위치오차의 평균은 ±3.21m로 1:5,000수치지도의 기대정확도인 ±3.97m보다 다소 양호하게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 활용도가 급격히 증가될 기 제작 수치지도의 위치정확도를 규명하고 제작방법과 단계에 따른 위치오차를 파악함으로써 향후 고품질 수치지도 제작에 기여하고자 수행하였으며, 본 연구의 수행결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 국내 수치지도 관련 위치정확도 규정을 통한 이론적인 축척별 기대정확도 분석을 수행한 결과 우리나라의 수치지도 관련 정확도 규정이 선진 외국의 위치정확도 규정에 비해 상당히 높게 설정되어 있음을 알 수 있었다.

2. 제작방법이 상이한 3개 대상지구에 대해 레이어가 다양한 총 376점을 선정하여 상대거리의 실측성곽을 이용하여 분석한 기존 1:1,000수치지도의 수평위치오차는 ±0.66m로 선진 외국에서 규정하는 1:1,000수치지도의 수평위치오차 한계인 ±0.7m과 유사한 위치정확도를 나타내었다.

또한, 레이어에 따른 수평위치오차 분석에서는 건물

레이어에 비해 농경지계의 오차가 크게 나타났으며 특히, 제작시 지리조사를 통해 입력되는 레이어의 위치정확도는 매우 낮게 나타났다.

총 168점에 대해 정밀수준측량을 수행하여 절대위치정확도를 분석한 1:1,000수치지도의 수직위치오차는 $\pm 0.19m$ 로 주곡선간격의 1/3을 적용하는 선진 외국의 1:1,000수치지도 표고오차에 비해 양호하게 평가되었다.

3. 수치지도제작방법에 따른 위치정확도 평가는 제작방법이 다양한 1:1,000수치지도를 통해 수행하였으며, 원도의 정확도가 저하되고 기계식도화기로 수정한 경우($\pm 0.98m$)를 제외하고는 원도와 자료수정과정에 해석도화기를 이용한 경우는 모두 $\pm 0.5m$ 이내의 수평위치오차를 나타내었으며, 수직위치정확도에서는 제작방법에 관계없이 모든 경우는 분석결과 값으로 주곡선 간격의 1/3인 $\pm 0.33m$ 보다 높은 정확도를 나타내었다.

4. 기존 1:5,000수치지도의 위치정확도는 1:1,000수치지도의 위치정확도 평가시 이용한 관측점중 1:5,000수치지도상에서 관측이 용이한 총 166점에 대해 실측자료와의 편차를 분석한 상대 수평위치오차는 $\pm 5.42m$ 로 나타나 이론적인 1:5,000수치지도의 기대정확도($\pm 5.02m$)를 다소 초과하였다.

기존 1:5,000수치지도의 등고선정확도는 4개 대상지역에 대해 특징점과 정상부의 표고점을 연결하여 교차하는 등고선의 등고값과 실측성과의 편차를 비교분석하였으며, 분석 결과 $\pm 3.21m$ 로 나타나 이론적인 1:5,000수치지도의 수직위치 기대정확도($\pm 3.97m$)보다는 양호하게 나타났다.

또한, 기존 1:5,000수치지도의 레이어에 따른 수평위치오차는 1:1,000수치지도에서와 마찬가지로 건물레이어에 비해 농경지계의 오차가 크게 나타났으며, 현지 지리조사를 통해 입력되는 레이어에서 위치오차가 크게 나타나 위치정확도의 향상을 위해서는 현지지리조사 과정을 줄여야 함을 알 수 있었다.

이상과 같은 기존 수치지도의 위치정확도에 관한 연구를 통해 기 제작된 수치지도의 위치정확도를 규명하고 제작방법 및 제작단계에 따른 위치오차 저해요인을 파악할 수 있었으며, 향후 자료원오차의 심층

적인 분석을 통해 합리적인 수치지도제작방법에 대해 구체적인 연구가 수행되면 정보시대의 기반정보로서 물론, 정확한 수치지도의 제작이 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) 국립지리원, 수치지도작성작업규칙, 국립지리원, 1995
- 2) 국립지리원, 수치지도작성작업내규, 국립지리원, 1995
- 3) 국립지리원, 항공사진작업내규, 국립지리원, 1988
- 4) 국립지리원, 수치지도제작 성과검사 기준, 국립지리원, 1995
- 5) 국립지리원, 공공측량의 작업규정 기준에 관한 규칙, 국립지리원, 1991
- 6) 국립지리원, 1/5,000 수치지도제작 용역업체 간담 회의자료, 국립지리원, 1997
- 7) 국립지리원, 국립지리원용역사업검사업무규정, 국립지리원, 1994
- 8) 신동빈, 김재영, 정문섭, 국가기본도 수치지도화 방안 연구, 국토개발연구원, 1996
- 9) 유복모, 지형공간정보론, 동명사, pp. 538-542, 1994
- 10) 이현직, 최석근, 조재호, 수치지도제작, 형설출판사, 1997
- 11) 국토개발연구원, 수치지도 검사 프로그램 개발, 국토개발연구원, 1997
- 12) 이현직, 최석근, 신동빈, 박경열, "국가기본도 수치지도제작 데이터베이스의 품질 확보에 관한 연구", 한국측지학회지, 제15권 제1호, 1997
- 13) 신동빈, 유복모, 김갑진, 김의명, "국가기본도 수치지도화 방안 연구", '96 대한토목학회 학술발표회지, 1995
- 14) 최선용, 이용웅, 조봉환, "지도 위치정확도 평가 방안 연구", 한국지형공간정보학회 학술발표회 개요집, pp. 25-44, 1997
- 15) DMA(1991), "DCW Error Analysis", DMA 600-89-C-0023, CDRL C002.
- 16) The American Society of Photogrammetry, "Accuracy Specification for Large-scale Line Maps", PE & RS, Vol. 51, No. 2, pp. 195-199.

- 17) STAN Aronoff(1982), The Map Accuracy Report : A User's View, PE & RS
- 18) STAN Aronoff(1982), Classification Accuracy : A User Approach, PE & RS
- 19) Mike Wehde(1982), "Grid Cell Size in Relation to Errors in Maps and Inventories Produced by Computerized Map Processing", PE & RS
- 20) Gregory A. Elmes and Guoray Cai, "Structural Reasoning For Spatial Database Accuracy Assessment", International Symposium on the Spatial Accuracy of Natural Resources
- 21) Skidmore A.K. & B. J. Turner, "Map Accuracy Assessment Using Line Intersect Sampling", PE & RS, 1989
- 22) Lawrence V. Stanislawski, Bon A. Dewitt & Ranesh L. Shrestha, "Estimating Positional Accuracy of Data Layers within a GIS through Error Propagation", PE& RS, 1996
- 23) Khagendra Thapa, John Bossler, "Accuracy of Spatial Data Used in Geographic Information Systems", P.E & R.S., Vol. 58, No.6, pp.835-841, 1992.
- 24) 국방과학 연구소, "지형도의 정밀도 추정을 위한 표본 추출", TAEC-408-86003, 1986. 7.