

정밀공간정보의 구축 및 활용을 위한 수치지도의 정확도 기준설정 연구

Study on the Korean Accuracy Standards Setting of Digital Map for the Construction and Utilization of Precise Geospatial Information

박흥기¹⁾

Park, Hong Gi

Abstract

For various geospatial information such as planimetric and topographic features, the required accuracy may be defined depending on the purpose of GIS applications. Also, the accuracy of the geospatial information have a major impact on the quality of the raw surveying data. In order to be usefully applied the precise geospatial information, the accuracy standards must be appropriately set so that the digital map as base map can be accurately made. Before computer mapping and GIS technology existed, paper maps were drawn by hand. So, the map scale was a significant contributor to the map accuracy. As such the past, the accuracy of maps is determined the scale at which the map would be drawn, but recent trends are to treat accuracy as a one of quality elements, rather than a specification for producing the map. Therefore, the purpose of this paper is to set the new korean map accuracy standards appropriate for the construction and application of the precise geospatial information on behalf of the current representation of korean digital maps.

Keywords : Accuracy Standards, Digital Map, Geospatial Information, Map Scale

초 록

GIS에서 필요로 하는 다양한 공간정보의 요구 정확도는 활용목적에 따라 다르게 정의될 수 있으며, 공간정보에 대한 정확도는 측량 원자료의 품질과 관계된다. 따라서 정밀한 공간정보를 유용하게 활용하기 위해서는 기본도인 수치지도가 정확하게 제작될 수 있도록 정확도 기준이 적절하게 설정되어야 할 것이다. 컴퓨터 매핑 및 GIS 기술이 존재하기 전에는 종이지도가 수작업으로 그려졌기 때문에 지도의 축척은 지도의 정확도를 바로 의미하는 것이었다. 이렇듯 과거에는 지도의 정확도가 지도가 그려질 축척을 결정하였지만, 최근 디지털시대의 경향에서는 정확도가 지도 제작사양이라기 보다는 오히려 수치지도에 포함되는 품질요소 중 하나로 취급되고 있다. 이에 본 논문은 오늘날 정밀한 공간정보의 구축 및 활용에 적합한 수치지도의 정확도 기준으로서 현재 우리나라 수치지도의 표현 방식을 대신하는 새로운 기준설정 방안을 제시하는 데 목적을 두고 있다.

핵심어 : 정확도 기준, 수치지도, 공간정보, 지도 축척

1. 서 론

우리나라 측량법규의 모든 작업규정은 제작 상의 문제점을

규제하고 품질을 심사하기 위해 만들어져 있다. 즉, 수치지도의 정확도 기준은 허용오차의 개념으로 제정되어 있어서, 제작자들에게 이 수치보다 오차가 더 크게 제작하면 안 된다는 점

1) Corresponding Author . Member . Department of Civil and Environmental Engineering, Gachon University (E-mail:hgpark@gachon.ac.kr)

을 지적하고 있다. 따라서 우리나라 수치지도의 실제 평균 정확도는 법규상의 정확도 기준보다 훨씬 좋은 상황이다(NGII, 2013). 그러나 사용자들은 이 수치를 지도 전체의 일반적인 정확도로 생각하여 너무 정확도가 떨어진다는 느낌을 받고 있다. 또한 비양심적인 수치지도 제작자들이 더 정확도가 높은 측량을 할 수 있음에도 불구하고 이 수치기준을 악용하여 품질을 개선하지 않고 방치하는 것은 아닌지 의심하게 만든다.

오늘날 첨단 장비가 개발되고 있는 환경에서 제작되는 수치지도의 정확도는 매우 좋으며, 실시간으로 갱신되는 공간정보의 사용을 원하는 사용자 요구에 맞도록 다축적 수치지도의 개념이 도입되고 있다. 이는 과거 종이지도 제작하는 동안의 지형지물의 위치가 이동되거나 생략 또는 변형되는 도면 제작편이 거의 없는 높은 정확도의 정위치 수치지도가 활용된다는 것을 의미한다.

따라서 정확도의 기준을 현재 고정밀 측량기기의 수준에 부합하게 조정하고, 사용자들이 수치지도의 품질을 정확하게 알 수 있도록 정확도 표현방식도 달라져야 할 것이다.

본 연구의 목적은 오늘날 정밀한 공간정보의 구축 및 활용에 적합한 정확도 기준을 새롭게 제시하는 데 있다. 이를 위해 정확도와 관련된 이론적 표현을 분석하였으며, 국내의 정확도 기준을 종합적으로 검토하였다.

2. 수치지도의 정확도 이론

모든 관측에는 반드시 오차가 포함되며, 정확도와 정밀도라는 척도에 의해 오차에 대한 평가 즉 관측의 정도를 판단하게 된다.

정확도는 참값과 관측값과의 편차를 나타내는 것으로 우연오차뿐만 아니라 보정되지 않은 정오차에 의해 일어난 편의(bias)에 의해 영향을 받는다. 정밀도는 반복관측일 경우 각 관측값간의 편차를 의미한다. 즉, 정확도는 적합성을 의미하며, 정밀도는 균일성을 의미한다. 관측결과에 대해 정오차가 작으면 정확하다고 하고, 우연오차가 작으면 정밀하다고 한다. 정밀도가 높을수록 자료의 신뢰도가 높아진다.

이와 같이 정확도와 정밀도는 사실상 엄격한 차이가 있지만 일반적으로 관측하는 과정에서 참값을 명확히 알 수 없음으로 정밀도가 관측의 정도를 판단하는 척도로 이용되며 통상 정확도로도 인식되어 왔다.

관측에서의 정밀도는 오랜 시간에 걸쳐 무한히 많은 관측값에 대한 통계학적 분석을 통해 판단되는 것이 일반적이지만, 모집단 전체에 대한 전수분석이 현실적으로 어렵기 때문에 모집단의 표본에 대해 관측하고 정규분포곡선을 이용하여

정밀도를 평가하는 것이 일반적이다.

관측값에 대한 정확도와 정밀도의 대표적인 척도로는 평균제곱근오차, 표준편차, 표준오차, 원형오차가 있다(NGII, 2013).

2.1 통계학적 이론

2.1.1 평균제곱근오차

평균제곱근오차(RMSE : Root Mean Square Error)는 측량 관측값의 정도를 나타내는 척도로, 수치지도나 지도의 지형지물을 반복하여 여러번 관측하지 않고 일정한 표본수 만큼 좌표를 결정하고 이를 참값을 대신하는 최확값인 기지의 기준점좌표(삼각점, 수준점 등)나 GPS측량 성과와 비교하는 경우에 정확도를 나타내는 척도로 이용된다.

이때, 기준점이나 GPS측량값을 최확값으로 놓고 해당점의 수치지도나 지도 좌표를 관측값으로 하여 차이가 오차(error)가 되며, 오차의 제곱의 합을 표본 데이터의 수 n으로 평균한 값의 제곱근이 RMSE가 된다. RMSE에 대한 식은 다음과 같다.

$$RMSE = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{n}} \quad (1)$$

여기에서 $v =$ 오차, $n =$ 관측수

따라서, 수치지도나 지도의 최종 성과품에 대한 품질을 나타내기 위해서는 동일 관측값의 유사성이나 관측 속도를 나타내는 표준편차보다는 최종 성과품의 특정 레이어에 대해 일정 표본수의 자료를 관측하여 참값은 아니지만 기준점의 성과나 GPS측량값과 비교하여야 하는 경우가 일반적므로 RMSE로 정확도를 평가하는 것은 타당하다고 판단된다.

2.1.2 표준편차

표준편차(SD : Standard Deviation)는 관측값의 분포를 나타내는 통계학적 지표로서 반복 관측에 대한 관측값의 품질을 나타내는 척도이다. 표준편차는 동일한 관측대상에 대해 n 번 관측한 값의 표본 평균값과 각 관측값의 차이인 잔차의 제곱의 합을 자유도(Degree of Freedom : n-1)로 나눈 값의 제곱근으로 다음 식과 같다. 표준편차에서, n이 아닌 n-1을 적용하는 이유는 총 관측값중 평균값을 구하기 위해 1개의 관측값을 이용하였기 때문이다.

$$\sigma_{SD} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{n-1}} \quad (2)$$

여기에서 $v =$ 잔차, $n =$ 관측수

일반적으로 표준편차는 관측자의 동일 관측값의 관측에 대한 숙련도 및 품질을 나타내는 정밀도의 척도로서, 동일한 지형지물을 반복 관측하여 그 관측값의 정밀도나 관측을 수행한 관측자의 숙련도를 평가할 경우는 표준편차를 이용한다.

2.1.3 표준오차

표준오차(SE : Standard Error)는 하나의 모집단에 여러 개의 표본이 존재할 경우 표본 평균값들에 대한 표준편차를 의미하는 것으로 단 측정의 표준편차를 관측수의 제곱근인 \sqrt{n} 으로 나눈 값으로 다음 식과 같다.

$$\sigma_{SE} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

여기에서 v = 잔차, n = 관측수

표준편차는 단 측정에 대한 정밀도의 지표로서 측정수가 무한히 많은 경우에서만 얻어질 수 있는 값으로 엄밀한 의미에서 순수한 이론적 개념인 반면에 실제적으로 사용되는 표본은 유한의 측정값으로 형성되므로 이것으로부터는 모집단의 평균값(μ)과 표준편차(σ)를 알 수가 없다. 따라서 표본의 평균을 사용하여 표준오차를 구하고 모집단 평균에 대한 최적추정값으로 사용한다.

2.1.4 원형오차

원형오차(CE : Circular Error)는 추정된 위치를 중심으로 한 원의 반경으로 정의되며, 이는 관측점들이 정해진 요구확률로 임의 반경 내에 위치할 때 결정되는 반경으로 정의된다. 원형오차는 X방향과 Y방향의 오차에 대한 확률변수를 x, y 라 하면 2개의 확률변수 x, y 가 정규분포를 이루고 또한 독립이라고 할 때 결합 확률밀도함수(joint probability function)로 유도되며, 원형오차 확률식(CEP; Circular Error Probability)은 다음과 같다.

$$CEP(R_0) = 1.1774\sigma \quad (4)$$

여기에서 σ 는 RMSE를 의미한다.

미국 국가기본도 정확도 기준(US National Map Accuracy Standard)에서는 수평오차를 90%의 신뢰수준으로 요구하며 CMAS(Circular Map Accuracy Standard)라 정의한다.

2.2 오차전파법칙의 기대오차

앞에서 제시된 정확도의 평가척도는 단일 공정에 의해 제

작되는 공간정보의 정확도에 대한 평가에는 적합하지만, 수치 지도와 같이 제작공정이 다양한 공간정보의 최종위치정확도는 각 제작 공정 단계에서 발생하는 각종 오차의 함수관계를 알지 못하기 때문에 최종위치오차를 추정하는 것은 매우 어려운 문제이다. 그러나 만약에 수치지도의 최종위치오차가 각 제작공정 단계에 포함되는 각종 오차와 선형관계가 있다고 가정하면, 오차전파법칙으로 아래와 같이 수치지도의 최종위치 오차를 이론적으로 나타낼 수 있다(Lee et al., 1998).

$$\sigma_{map} = \sqrt{\sigma_{control}^2 + \sigma_{photography}^2 + \sigma_{triangulation}^2 + \sigma_{plotting}^2 + \sigma_{compilation}^2}$$

여기에서, $\sigma_{control}$ 은 지상기준점오차, $\sigma_{photography}$ 은 항공사진오차, $\sigma_{triangulation}$ 은 항공삼각측량오차, $\sigma_{plotting}$ 은 수치도화오차, $\sigma_{compilation}$ 은 정위치 편집오차를 의미한다.

일반적으로 수치지도의 위치정확도의 평가는 지도상에서 잘 정의된 대표적인 관측점의 위치와 그에 대응하는 동일지점의 실제 위치를 비교함으로써 결정되는데 표본에 대한 정확도 분석을 통해 RMSE를 산정한다.

각 수치지도의 제작공정별 오차에서 정오차 및 과대오차가 소거된 상황이라면, 수치지도 제작 공정별 오차에 대하여 오차전파법칙에 의해 계산된 기대 위치정확도는 정확도 검증을 통해 분석된 실측 위치정확도와 크기가 유사하여야 한다.

3. 국내외 수치지도 정확도 기준

3.1 국내 정확도 기준

본 연구에서는 수치지도 제작 공정별 오차에 대하여 오차 전파법칙을 적용한 수치지도 기대 최종위치정확도와 공공측량작업규정에 정의된 수치지도 최종위치정확도를 비교하여, 수치지도의 각 공정별 정확도 요인이 수치지도의 최종정확도에 미치는 영향과 현 수치지도 규정상의 위치정확도의 타당성을 검토하고자 한다.

수치지도의 기대 최종위치정확도를 구하는 방법은 아래 식들과 같다. 단, 등고선과 표고는 정위치 편집의 영향을 받지 않는 것으로 가정하여 표고 정확도의 계산에서는 정위치 편집의 오차는 적용하지 않았다.

$$\sigma_{\text{기대최종위치정확도(평면)}} = \sqrt{\sigma_{\text{기준점}}^2 + \sigma_{AT}^2 + \sigma_{\text{도화}}^2 + \sigma_{\text{정위치}}^2}$$

$$\sigma_{\text{기대최종위치정확도(표고)}} = \sqrt{\sigma_{\text{기준점}}^2 + \sigma_{AT}^2 + \sigma_{\text{도화}}^2}$$

$$\sigma_{\text{기대최종위치정확도(등고선)}} = \sqrt{\sigma_{\text{기준점}}^2 + \sigma_{AT}^2 + \sigma_{\text{도화}}^2}$$

Table 1은 수치지도의 현행 최종위치정확도와 오차전파 법칙을 적용한 기대 최종위치정확도를 분석한 결과를 나타 낸 것이다. 각 공정별 정확도에 대해 오차전파법칙을 적용한 결과, 1/500은 평면에서는 동일한 정확도를 나타내고 있으나, 표고에서는 기대 정확도가 다소 낮은 것으로 나타났으며, 1/1,000과 1/5,000은 기대 정확도가 현행 정확도에 비해 평면 및 표고에서 약 1.1~1.9배정도 높은 것으로 나타났다.

현재 작업규정에서 제시된 수치지도의 최종위치정확도는 각 공정별 정확도 기준과의 상관성이 높지 않은 것으로 판단되며, 현재 기 구축된 수치지도의 성과 검증을 통해 수치지도의 최종위치정확도에 대한 기준의 재정립이 필요할 것으로 판단된다.

Table 1. Current Accuracy Standards and Expected Accuracy with Error Propagation

Map Scale		Horizontal Accuracy	Vertical Accuracy	Contour Accuracy
Accuracy Standards	1/500	±0.250m	±0.125m	±0.250m
	1/1,000	±0.700m	±0.300m	±0.500m
	1/5,000	±3.500m	±1.700m	±2.500m
Expected Accuracy	1/500	±0.250m	±0.180m	±0.249m
	1/1,000	±0.420m	±0.270m	±0.374m
	1/5,000	±1.950m	±0.900m	±1.248m

3.2 외국 정확도 기준

3.2.1 미국

미국 USGS(U.S Geological Survey)의 국가기본도 정확도 기준(NMAS; National Map Accuracy Standard)는 1941부터 1990년대 중반까지 공공 및 민간분야의 지도제작 기관에서 대축척 및 소축척의 사진측량기반의 지도에 적용된 표준이다. NMAS는 지도 제작 및 정확도에 대한 기술, 장비, 작업절차 등을 제공하였다. NMAS의 정확도 사양은 하드카피지도의 지형지물에 대한 지표상의 공간적 위치관계를 명시하고 있다. 이런 지형지물은 평면적 건물 및 도로, 등고선, 표고점 등이 포함된다.

NMAS의 수평 및 수직의 정확도 기준은 다음과 같다 (Falkner *et al.*, 2002).

1. 평면 지형지물 : 객체의 90%범위는 도상 1/40 인치, 객체의 100% 범위는 도상 1/20 인치의 정확도를 유지해야 한다.
2. 등고선 : 객체의 90%는 등고선 간격의 1/2, 객체의 100%는 등고선 간격의 정확도를 유지해야 한다.
3. 표고점 : 객체의 90%는 등고선 간격의 1/4, 객체의 100%는 등고선 간격의 1/2를 유지해야 한다.

NMAS의 정확도 평가 척도로서 수평 및 수직오차는 아래와 같이 모두 신뢰구간 90%의 원형오차로 규정하고 있다.

$$CMAS_h = 2.146\sigma_c, CMAS_v = 1.645\sigma_c$$

여기에서, $CMAS_h$ = 수평오차
 $CMAS_v$ = 수직오차, σ_c = RMSE

USGS의 Evaluating Map Accuracy는 국가기본도의 정확도 표준에 의하면 수평 및 수직 정확도는 “검증한 점의 10%가 허용 오차범위를 초과해서는 안 된다”라고 정의되어있으나 수학적으로 표현하는 방법에는 한계가 있으므로 RMSE로 분석하고 있다.

정확도 평가기준은 다음과 같이 수평위치의 경우 정규분포에 따른 오차의 90%, 수직위치의 경우는 정규분포에 따른 오차의 90%가 등고선 간격의 1/2를 초과하지 않도록 규정하고 있다.

$$\text{수평 위치범위} = 1.66 \sqrt{\frac{\sum v_h^2}{n}}$$

$$\text{수직 위치범위} = 1.66 \sqrt{\frac{\sum v_v^2}{n}} = 0.5 \times CI$$

여기에서, v_h = 수평위치오차, v_v = 수직위치오차,
 n = 관측점 수, CI = 등고선 간격

미국사진측량학회(ASPRS: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing)의 대축척 지도 정확도 기준은 1990년에 개발하였으며, 이 기준은 미국 국가기본도(National Map)의 대축척 및 소축척 지도의 정확도 표준을 개정하는데 기반을 마련하기 위하여 제정하였다(ASPRS, 1990).

대축척 지도제작을 위한 ASPRS 기준은 3가지 등급(class)로 구분하고 있다. 등급1은 가장 엄격하며, 등급2는 등급1의 2배 오류를 포함하고, 등급3은 등급1의 3배 오류를 포함한다.

미국사진측량학회의 대축척 지도의 정확도 평가 척도는 RMSE이며, 정확도 기준(등급1)은 다음 식과 같이 수평위치는 축척 분모수의 1/100이며, 수직위치 정확도 기준은 등고선은 등고선 간격의 1/3, 표고점은 등고선 간격의 1/6이다.

$$\text{수평 위치범위} = \sqrt{\frac{\sum v_h^2}{n}} = \frac{S}{100} (\text{feet})$$

$$\text{수직 위치범위 (등고선)} = \sqrt{\frac{\sum v_v^2}{n}} = 0.33 \times CI$$

$$\text{수직 위치범위 (표고점)} = \sqrt{\frac{\sum v_v^2}{n}} = 0.17 \times CI$$

여기에서, v_h = 수평위치오차, S = 축척분모수,
 v_v = 수직위치오차, n = 관측점 수, CI = 등고선 간격

미국 NSSDA(National Standards for Spatial Data Accuracy)는 공간정보의 구축과 활용을 위해 FGDC(The Federal Geographic Data Committee)에 의해 설립되었다. 사용자들의 활용도와 요구정확도가 너무나 다양하기 때문에 NSSDA는 미국사진측량학회의 기준과 같이 RMSE를 사용하지만, 정확도는 95%신뢰수준에서 허용 RMSE로 표시하고 있다.

따라서 NSSDA 방식으로 정확도를 표현하고자 한다면, 미국사진측량학회 등급 또는 NMAS 축척 그리고 해당하는 정확도를 선택하고 이를 95% 신뢰구간의 값으로 계산하도록 홈페이지에서 자세한 설명과 계산법을 알려주고 있다.

Table 2와 Table 3은 미국 NSSDA의 대축척 및 중축척 지도의 위치정확도 평가기준, 미국 NSSDA의 대축척 지도의 수평위치정확도(미국사진측량학회의 기준을 이용)를 나타낸 것이다(NGII, 1998, FGDC, 1998).

Table 2. NSSDA Evaluating positional accuracy of large and medium scale map

CLASS	Horizontal Accuracy	Vertical Accuracy
CLASS A-1 (Excellent, Adequate)	More than 90% of the feature should be accurate to within $\pm 0.500\text{mm}$ at map scale	More than 90% of the contours and elevation spots should be accurate to within 1/2 of contour interval
CLASS A-2 (Good, Usable)	Standard Accuracy as CLASS A-1	
CLASS B-1 (Good, Usable)	More than 90% of the feature should be accurate to within $\pm 1.000\text{mm}$ at map scale	More than 90% of the contours and elevation spots should be accurate to within one full contour interval
CLASS B-2 (Fair, Usable)	Standard Accuracy as CLASS B-1	
CLASS C-1 (Poor, Inadequate)	More than 90% of the feature should be accurate to within $\pm 2.000\text{mm}$ at map scale	More than 90% of the contours and elevation spots should be accurate to within twice a contour interval
CLASS C-2 (Poor, Inadequate)	Or less of CLASS C- 1	

Table 3. NSSDA Accuracy Standards for Large-Scale Maps (Class 1)

Map Scale	horizontal limiting RMSE(m)
1/50	± 0.0125
1/100	± 0.025
1/200	± 0.050
1/500	± 0.125
1/1,000	± 0.250
1/2,000	± 0.500
1/4,000	± 1.000
1/5,000	± 1.250
1/10,000	± 2.500
1/20,000	± 5.000

3.2.2 영국

영국 Ordnance Survey은 MasterMap의 위치 정확도를 평가하는 요소로서 정확도, 기하학적 신뢰성, 완전성을 적용하고 있다. 정확도 요소에는 상대 정확도와 절대 정확도가 있다(Ordnance Survey, 2006). 기하학적 신뢰성은 객체의 특성, 모양, 배열(선의 형태), 인접 객체간의 관계(조화, 균형, 일관성, 상호관계) 등이 지도상에 정확하게 묘사된 정도를 의미하며, 상대 및 절대 위치 정확도보다 우선적으로 만족해야 한다.

상대정확도란 데이터간의 상호 위치적 일관성을 의미하며, 상대정확도를 결정하는 검사항목과 측정 요소는 다음과 같다.

지도상에서 객체간의 거리를 측정하여 실제 지상에서의 거리와의 비교하는 것으로, 명확하게 식별되는 점(Well-defined point)들을 선별하여 측정한다. 지하, 식생 및 자연지형 등과 같은 객체들은 정확도를 낮게 책정한다.

영국 OS에서는 검사를 위해 지속적으로 표본데이터를 수집하고 명확하게 식별되는 점에 대한 상대정확도를 검사하여 적합성을 확인하고 있다. 지난 30년간의 검사 결과로부터 얻은 상대위치정확도에 대한 기준표는 Table 4와 같으며, 상대위치정확도를 평가하는 척도는 Eq.(3)의 표준오차를 사용하고 있다.

Table 4. Relative Positional Accuracy (OS MasterMap)

Scale and Class	Standard Error	95% Confidence Level	99% Confidence Level
1/1,250 (Urban)	$<\pm 0.420\text{m}$	$<\pm 0.820\text{m}$	$<\pm 1.080\text{m}$
1/2,500 Resurvey/ Reformed (Urban/ Rural)	$<\pm 0.960\text{m}$	$<\pm 1.880\text{m}$	$<\pm 2.470\text{m}$
1/2,500 Overhaul (Urban/ Rural)	$<\pm 1.820\text{m}$	$<\pm 3.570\text{m}$	$<\pm 4.690\text{m}$
1/10,000 (Moorland)	$<\pm 3.890\text{m}$	$<\pm 7.620\text{m}$	$<\pm 10.020\text{m}$

Table 5. Absolute Positional Accuracy (OS MasterMap)

Scale and Class	RMSE	95% Confidence Level	99% Confidence Level
1/1,250 (Urban)	<±0.420m	<±0.730m	<±0.900m
1/2,500 Resurvey/ Reformed	<±1.100m	<±1.900m	<±2.400m
1/2,500 Overhaul (Urban/ Rural)	<±2.700m	<±4.670m	<±5.790m
1/10,000 (Moorland)	<±4.090m	<±7.080m	<±8.780m

절대정확도는 기준좌표계 상에서의 객체 위치 정확도를 의미하며, 절대정확도를 결정하기 위해 지도상의 객체의 위치와 실제지상(기준좌표계)에서의 위치를 비교하여 검사한다.

OS에서는 검사를 위해 지속적으로 표본데이터를 수집하고 명확하게 식별되는 점에 대한 절대 정확도를 검사하여 적합성을 확인하고 있다. 지난 30년간의 검사 결과로부터 얻은 절대위치정확도에 대한 기준표는 Table 5와 같다. 위치정확도를 평가하는 척도는 Eq.(1)의 RMSE를 사용하고 있다.

3.2.3 일본

일본은 품질관리기준의 문제점을 해소하고, 국제표준을 수용하기 위하여 1996년에 기존의 제도 및 기준에 대한 대폭적인 개정작업을 수행하였다. 일본 국토교통성에서 제정된 공공측량작업규정과 공공측량작업규정 해설과 운용에서 이러한 내용을 규정하고 있다(GSI, 2008).

절대정확도의 평가 척도는 Eq.(2)의 표준편차를 이용하며, 수치지도의 절대정확도 기준은 다음과 같다.

Table 6. Absolute Positional Accuracy (Japan Digital Map)

Map Information Level	Horizontal Standard Deviation	Vertical Standard Deviation	Contour Standard Deviation
250	≤±0.120m	≤±0.250m	≤±0.500m
500	≤±0.250m	≤±0.250m	≤±0.500m
1,000	≤±0.700m	≤±0.330m	≤±0.500m
2,500	≤±1.750m	≤±0.660m	≤±1.000m
5,000	≤±3.500m	≤±1.660m	≤±2.500m
10,000	≤±7.000m	≤±3.330m	≤±5.000m

3.3 시사점

우리나라 수치지도의 위치정확도 기준 및 평가방법에 대한 문제점을 제시하고, 문제점에 대한 개선사항을 도출하고

자 공간정보의 정확도에 대한 이론적 분석과 국내의 수치지도의 정확도 기준을 분석하였다. 다음의 몇 가지 시사점을 정리할 수 있었다.

우리나라의 수치지도 최종위치정확도 기준은 각 공정별 우연오차전파법칙에 의한 예상최종위치정확도 보다 낮으며, 일본을 제외한 외국 기관에 비해 낮게 제시되어 있다. 따라서 현재 구축된 수치지도의 성과 분석을 통해 현실적인 수치지도 정확도의 재정립이 요구된다.

수치지도 정확도 척도는 우리나라의 경우 일본과 마찬가지로 표준편차를 사용하고 있으나, 미국 USGS의 NMAS를 제외하고는 대부분이 RMSE를 사용하고 있다. 정확도 척도는 앞서 분석된 이론적 내용과 외국 지도제작기관의 사례를 볼 때 RMSE를 이용하는 것이 타당하다고 판단된다.

4. 정밀공간정보 구축 및 활용을 위한 수치지도의 품질확보

공간정보를 사용하는 사용자들에게 있어서 위치정확도는 매우 중요한 요소가 되고 있다. 특히 GPS 측위가 점점 더 정확하게 됨에 따라 공간정보의 절대위치 정확도는 더더욱 중요하게 되었다. 정밀공간정보의 융복합 활용의 뼈대가 되는 Fig. 1의 기본공간정보는 수치지도를 기반으로 하기 때문에 수치지도의 품질은 곧 공간정보의 품질을 좌우한다고도 볼 수 있다.

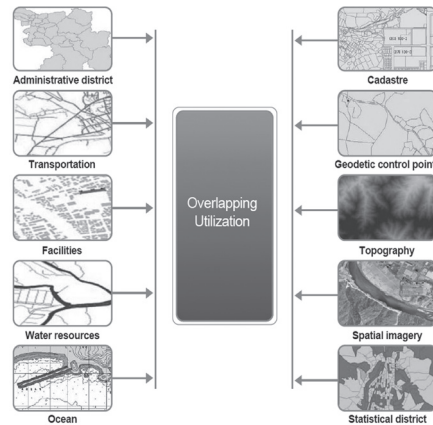


Fig. 1. Framework Data (Source; Establishment of National GIS of Korea, KRIHS, 2007)

4.1 수치지도 정확도 정립(안)

본 연구에서는 수치지도 1/500, 1/1,000, 1/5,000의 위치정확도에 대한 기준을 재정립하고자 하였다. 2013년 국토지리정보원에서 수행된 ‘차세대 정밀 공간정보 모델 및 활용방안 연

구' 결과, 현재의 정확도 기준은 매우 수치가 커서 2010년에서 2012년까지 국토지리정보원에서 발주한 수치지도 구축사업 결과를 분석하면 현재의 기준을 향후에 최대오차로 설정해도 가능할 정도임을 알 수 있었다(NGII, 2013).

따라서 수치지도 최종위치정확도 기준의 표현 방법으로 평가척도인 RMSE의 허용범위와 신뢰구간 및 최대오차를 포함하는 다음 안을 제시할 수 있었다.

수치지도의 정확도 기준은 첫째, RMSE만을 표현하는 방안, 둘째, RMSE와 신뢰구간으로 표현하는 방안, 셋째, RMSE와 최대허용오차로 표현하는 방안이 있다.

첫째, RMSE만을 표현하는 방안(Table 7, 대안1)은 기존의 표준편차만을 표현했던 방식과 같아서 사용자들의 혼란이 없고, 정확도 기준의 수치값이 다른 방법에 비해 상대적으로 작은 값으로 표현된다. 그러나 일반사용자의 경우 최대허용오차로 오해를 일으킬 수 있고, 수치지도의 최대오차 및 신뢰구간에 대한 범위에 대해 명확하지 않은 단점이 있다.

Table 7. Accuracy standards of precise geospatial information - Alternative 1(RMSE)

Map Scale	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Contour accuracy	
1/500	±0.125m	±0.100m	Δh/3	Δh : contour interval
1/1,000	±0.250m	±0.200m		
1/5,000	±1.250m	±1.000m		

둘째, RMSE와 신뢰구간으로 표현하는 방안(Table 8과 9, 대안2와 3)은 RMSE와 95% 또는 99%의 신뢰구간으로 표현하여 가장 확률통계학적으로 명확한 표현을 제시한다. 즉, 수치지도의 95% 또는 99%이하의 객체가 95% 또는 99%의 확률적 범위의 정확도에 준한다는 의미로 5% 또는 1%의 과대

Table 8. Accuracy standards of precise geospatial information - Alternative 2(RMSE and 95% confidence level)

Map Scale	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Contour accuracy	
1/500	RMSE	±0.125m	±0.100m	Δh/3
	95% confidence level	±0.290m	±0.200m	Δh/2
1/1,000	RMSE	±0.250m	±0.200m	Δh/3
	95% confidence level	±0.490m	±0.390m	Δh/2
1/5,000	RMSE	±1.250m	±1.000m	Δh/3
	95% confidence level	±2.450m	±1.960m	Δh/2

오차가 존재한다고 정의한 정확도 표현이다. 그러나 우리나라 지도 사용자들에서는 아직 익숙하지 않은 문제가 있다.

Table 9. Accuracy standards of precise geospatial information - Alternative 3(RMSE and 99% confidence level)

Map Scale	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Contour accuracy	
1/500	RMSE	±0.125m	±0.100m	Δh/3
	99% confidence level	±0.400m	±0.300m	Δh
1/1,000	RMSE	±0.250m	±0.200m	Δh/3
	99% confidence level	±0.700m	±0.600m	Δh
1/5,000	RMSE	±1.250m	±1.000m	Δh/3
	99% confidence level	±3.500m	±3.000m	Δh

셋째, RMSE와 최대허용오차로 표현하는 방안(Table 10, 대안4)은 최대허용오차로서 도상 0.5mm를 적용하는 안을 제시하였다. 현재 우리나라 수치지도 작업규정은 도상 0.7mm를 기준으로 하고 있다. 이 방안은 제작시 최대허용오차와 활용시 RMSE가 함께 표현되어 있는 장점이 있으나, 정확한 통계적 표현은 아니라는 단점이 있다.

이상과 같이 정확도 기준에 대한 4가지 표현방안은 각각 장점과 단점을 갖고 있으나, 제1안보다는 최대오차를 표현하는 2,3,4안이 더 타당하다고 판단되며, 2,3,4안 중에서는 4안이 사용자들에게 가장 쉽게 이해될 것으로 판단된다.

Table 10. Accuracy standards of precise geospatial information - Alternative 4(RMSE and maximum allowable error(0.5mm in map))

Map Scale	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Contour accuracy	
1/500	RMSE	±0.125m	±0.100m	Δh/3
	maximum allowable error	±0.250m	±0.200m	Δh/2
1/1,000	RMSE	±0.250m	±0.200m	Δh/3
	maximum allowable error	±0.500m	±0.400m	Δh/2
1/5,000	RMSE	±1.250m	±1.000m	Δh/3
	maximum allowable error	±2.500m	±2.000m	Δh/2

4.2 공간정보의 품질 및 등급

4.2.1 공간정보의 품질 표준

1) 국제표준 ISO 19113(품질원칙)

데이터셋의 품질은 데이터의 품질요소 및 데이터 품질 개요요소로 구분된다. 품질요소는 하나 또는 그 이상의 데이터 품질요소는 정량적 품질 구성요소가 얼마나 제품사양 기준에 적합한지를 설명한다.(ISO, 2002)

품질요소에는 완전성, 논리 일관성, 위치 정확도, 시간 정확도, 주제 정확도, 추가적 품질요소가 존재한다. 완전성은 지형지물, 지형지물 속성과 지형지물 관계의 유무를 나타내며, 논리 일관성은 데이터의 구조, 속성 및 관계의 논리적 원칙의 준수 정도를 나타낸다. 위치 정확도는 지형지물 위치의 정확도를, 시간 정확도는 지형지물의 시간적 속성과 시간적 관련성을, 주제 정확도는 정량적, 비정량적 속성의 정확성과 지형지

Table 11. Quality elements and evaluation of digital map and framework data

Quality Elements		Quality Evaluation					
		Digital Map			Framework Data		
Completeness	Commission	Presence of features, their attributes and relationships in a dataset					
		Error ratio : 0%			Error ratio : within 5%		
	Omission	Absence of features, their attributes and relationships from a dataset					
		Error ratio : 0%			Error ratio : within 5%		
Logical Consistency	Conceptual Consistency	(Undefined)					
	Domain Consistency	Degree of adherence to features, their attributes and relationships			Degree of adherence to logical rules of data structure, attributes and relationships		
	Format Consistency	Degree to which data is stored in accordance with the data format, Error ratio : 0%			Degree to which framework data correctly read in S/W		
	Topological Consistency	Correctness of the encoded topology, Accept if $E/S*100 \leq 5$, E: number of error, S: number of sample			Correctness of the explicitly encoded topological characteristics of a dataset		
Positional Accuracy	Absolute or External Accuracy	Scale	Horizontal accuracy	Vertical accuracy	Scale	Horizontal accuracy	Vertical accuracy
		-	-	-	-	2.146 RMSE _x	1.645 RMSE _z
	Relative or Internal Accuracy	(Undefined)					
	Gridded Data Position Accuracy	(Undefined)					
Temporal Accuracy	Accuracy of a time measurement	(Undefined)					
	Temporal Consistency	(Undefined)					
	Temporal Validity	Validity of data with respect to time, Accept if $E/S*100 \leq 5$, E: number of error, S: number of sample			Validity of data with respect to time and correctness of ordered events		
Thematic Accuracy	Classification Correctness	Correctness of used standard code Accept if $E/S*100 \leq 5$, E: number of error, S: number of sample			(Undefined)		
	Non-Quantitative Attribute Correctness	(Undefined)			Correctness of non-quantitative attributes, acceptance accordance to the error ratio		
	Quantitative Attribute Accuracy	Accuracy of quantitative attributes, Accept if $E/S*100 \leq 5$, E: number of error, S: number of sample			Accuracy of quantitative attributes, acceptance accordance to the error ratio		
(Additional quality elements)		-			Consistency of procedures		

물과 지형지물관계의 분류 정확성을, 추가적 품질요소는 데이터셋의 정량적 품질구성요소를 나타내는 요소이다.

2) 우리나라의 품질 표준

우리나라는 2003년 제정된 지리정보품질표준(TTAS, KO-10.0157)을 통해 공간정보의 품질 표준안을 제시하였다(TTA, 2003). 이는 공간정보가 얼마나 제품사양에 적합한가를 평가하는 것으로, 공간정보에 대한 정량적 품질요소로는 완전성, 논리적일관성, 위치정확도, 시간정확도, 주제정확도, 추가적 품질요소가 있다.

그러나 Table 11에 나타난 바와 같이 수치지도는 위치정확도에 대한 품질기준이 없으며, 기본지리정보의 절대위치정확도는 과거 종이지도 시절부터 미국 국가기본도에 적용되고 있는 90%신뢰도의 원형오차를 기준으로 제시하고 있다. 또한 부정확한 표현이 다소 포함되어 있다.

4.2.2 공간정보의 품질 등급

공간정보 품질의 개념과 품질관리는 두가지 관점에서 보아야 한다. 생산자의 관점에서 사용목적에 맞는 제품을 생산하고 있는지에 대해 품질관리를 실시하여야 하고, 소비자의 관점에서 사용자의 만족수준을 어느 정도 충족하고 있는지에 대해서도 실시하여야 한다.

ISO/TC211 19113 지리정보 품질원칙에서는 생산자와 소비자관점을 모두 반영하여 품질에 대한 개념을 정의하고 있다. 이 원칙에 따르면, 데이터 품질은 데이터 생산자의 관점에서 제품사양(Product Specification)과 적합한가이며, 사용자 관점에서는 사용의도(Fitness for use)에 합당한가를 말한다(ISO, 2002).

1) 4가지 품질 수준

① 사용자 정보요구를 충족시키는 수준

가장 이상적이며 가장 높은 수준을 가리키며, 공간정보 생산의 궁극적인 목적은 사용자 정보요구를 충족시키는 것이다.

② 생산자의 최선의 노력 수준

주어진 여건(기술, 기간, 예산)하에서 생산자가 최선을 다해 노력할 때 달성할 수 있는 품질수준이다.

③ 미리 계획에 설정된 목표 수준

생산자와 사용자가 미리 합의하여 결정해 둔 품질수준으로서, 품질수준이 명료하게 기록된다는 점, 양자가 미리 합의를 이룬다는 점에서 품질 문제에서 해결하고자 하는 많은 문제들이 자연스럽게 해결되는 효과가 있다.

④ 사회적 기대에 맞는 최소한의 수준

기술동향과 일반인의 보편적 인식에서 최소한 이 정도는 갖추어야 된다는 판단수준이다.

2) 등급별 품질 수준

공간데이터는 여러 지형지물의 집합이다. 지형지물마다 사용자가 요구하거나 제작자가 제공하는 품질 수준이 다르므로, 품질 기준 및 품질 평가 방법도 지형지물마다 달라야 한다.

기존의 일반 지형도는 위치정확도 등의 품질이 한 도엽에 포함된 모든 지형지물에 균일하였다. 그러나 대축척 수치지형도는 지형지물별로 활용목적이 달라질 수 있으므로 사용자들의 요구정확도에 따라 지형지물마다 품질이 달라질 수 있어야 한다. 그렇다고 해서 포함된 지형지물 모두에 대해 품질 기준과 평가방법을 다르게 하는 것은 너무 복잡해 질 것이다.

일본이 경우, 품질요소별 지형지물분류기준에서 품질요구에 따른 분류를 S(오류가 허용되지 않음), A(오류가 없는 것이 바람직함), B(약간의 오류가 허용됨), C(어느 정도의 오류가 허용됨), D(품질 평가를 실시하지 않음)의 5등급으로 구분하고 있다. 일본 기준에서 위치정확도의 품질기준(A,B,C)을 "기준치의 2배 이상 5% 미만"이라고 한 것은, 오차가 정규 분포하고 있다고 하면 2σ 이내에 95%의 값이 들어가는 것으로, 현재 공공측량작업규정의 위치정확도와 일관성을 취했기 때문이다(Takayama et al., 2003).

3) 품질등급제도의 효과

품질등급제도의 효과는 공간정보의 품질 등급을 제도화함으로써 공간정보의 품질을 개선하고자 하는 사업자 및 생산자의 노력을 유도하고, 품질이 좋은 공간정보를 통해서만이 인정받고 경쟁할 수 있다는 건전한 공간정보산업 분위기를 조성한다. 또한, 공간정보 품질에 대한 사용자의 정확한 이해를 높임으로써, 공간정보에 대한 무분별한 맹신이나 불신 풍토를 개선하고, 분쟁발생의 여지를 줄이며, 정보이용의 성숙도를 높일 수 있다.

4.3 시사점

현재 우리나라 수치지도의 정확도 기준에 대한 표현을 표준편차에서 RMSE로 변화를 주더라도 통계에 익숙하지 않은 일반 사용자들은 최대허용오차로 오해할 수 있다.

아직 표준편차를 사용하는 일본을 제외한 다른 외국기관은 RMSE와 신뢰구간으로 정확도 기준을 제시하고 있으며, RMSE 값과 최대허용오차로 표현되는 정확도 기준도 고려해, 다양한 정확도 기준 표현의 장단점을 분석하여 우리에게 적

합한 정확도 기준을 선택할 필요가 있다.

또한 정확도 품질 평가를 위한 기준은 국내의 모두 ISO 19113(품질원리)를 준용하고 있다. 그러나 우리나라의 품질기준과 등급은 가까운 일본과 비교하여 보면 알 수 있듯이 시급히 심도 깊게 연구하여 세부내용면에서 많이 보완하여야 할 것으로 판단된다.

우리나라에서도 다양한 목적의 사용자 요구에 부합하고, 정밀공간정보를 융복합 활용하기 위해서는 수치지도의 품질 수준을 국제기준에 맞도록 위치정확도만이 아닌 다양한 품질 요소로 평가하고 데이터 품질수준을 등급화할 필요가 있다.

5. 결론

이 연구는 정밀한 공간정보의 구축 및 활용에 적합한 정확도 기준을 새롭게 제시하는 데 목적이 있다. 이를 위해 이론적 조사와 국내외 기준을 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 정확도 표현으로서 현재 사용되고 있는 표준편차 대신에 RMSE를 사용하는 것이 적합함을 알 수 있었다.

둘째, 외국과 같이 RMSE와 신뢰구간을 사용하는 것과 RMSE와 최대허용오차를 사용하는 것에 데에는 장단점이 있다. 우리의 경우, 신뢰도에 대한 개념이 아직 부족하다고 판단되어 친숙한 도상오차 개념으로 최대허용오차를 고려하는 것도 가능하다고 판단된다.

셋째, 신뢰구간을 적용하는 경우, 95%로 선택하여 기 지정된 기본공간정보의 품질기준도 수정하여야 할 것이다.

넷째, 정밀공간정보에 대한 도상오차는 0.5밀리미터로 선택하는 것이 타당하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국토지리정보원 ‘차세대 정밀 공간정보 모델 및 활용방안 연구’의 일환으로 수행되었습니다.

References

ASPRS (1990), ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps, *PE&RS*, Vol. No.7, pp. 1068-1070.

Falkner, Edgar and Morgan, Dennis (2002), *AERIAL MAPPING : Methods and Applications* (2nd ed.), CRC Press.

FGDC (1998), *Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy*, FGDC-STD-007.3-1998.

GSI (2008), Japanese Surveying Regulation (in Japanese).

ISO (2002), *Draft International Standard ISO 19113 - Geographic Information Quality Principle*.

KRIHS (2007), *Establishment of National GIS of Korea*, KRIHS Special Report.

Lee, Hyun-jik, Park, Hong-Gi, and Lee, Kang-Won (1998), The Evaluation of Position Accuracy to 1:1,000 and 1:5,000 scale Digital Map, *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, Vol.6, No.1, pp. 117-128 (in Korean).

NGII (1998), *Study on the Positional Accuracy of the Digital Map*. (in Korean).

NGII (2013), *Study on the next generation model and application plan of the precise spatial information*. (in Korean).

Ordnance Survey (2006), *OS MasterMap User Guide v6.1.1* pp. 1-205.

Takayama, Naoki et al. (2003), A Quality Evaluation Technic for The Large-scale Topographic Map Data, GSI, No.101, pp. 51-57 (in Japanese).

TTA (2003), *Geographic Information - Quality Standard*, TTAS.KO-10.0157 (in Korean).

(Received 2013. 12. 02, Revised 2013. 12. 16, Accepted 2013. 12. 31)