

지형공간정보의 정확도 확보 방안

경원대학교 토목공학과

교수 박 홍 기

지형공간정보의 정확도 확보방안

박 홍 기

(경원대학교 토목공학과)

1. 수치지도 데이터

1) 획득방법별 분류

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| ① 기존지도를 사용하는 방법 | ② 측량에 의한 방법 |
| - digitizer에 의한 방법 | - 항공사진측량에 의한 방법 |
| - scanner에 의한 방법 (자동, 반자동) | - 지상측량에 의한 방법 |
| | - GPS에 의한 방법 |
| | - 원격탐사에 의한 방법 |

2) 수치지도 데이터의 생성에 대한 자료별 분류

- | | | |
|-----------|-----------------|-----------------------|
| ① 벡터자료 | Hand Digitizing | 디지털라이저로 한점 한점씩 좌표를 측정 |
| | Auto Digitizing | 래스터로부터 벡터로 변환 |
| | Digital Mapping | 수치도화기 및 편집 |
| | GPS | 위성을 이용한 3차원 좌표획득 |
| | Total Station | 디지털방식에 의한 현지측량 |
| ② 라스터(배경) | Scanning | 지형도를 스캐닝하여 위치보정후 압축 |
| ③ 메쉬 | 사람이 직접독취 | 메쉬판을 사용하여 사람이 직접측정 |
| | 기계적 독취 | 스캐닝에 의해 색판별 |
| | 폴리곤 변환 | 벡터(폴리곤)을 메쉬로 변환 |
| ④ 라스터(영상) | 위성영상 | 자기테이프에 구입한 후 기하보정 |
| | 항공사진 | 스캐닝후 정사변환 |
| | Scanning | 스캐닝후 색분해 |

3) 사용기기

Digitizer, Scanner, GPS 수신기, Total Station, 해석도화기 등

2. 수치지도의 정확도 기준(standard)

'지도의 정확도'는 오차의 원인에 관계없이 지도상에 나타난 모든 형상(features)의 정확도를 포함한다. 각 나라의 지도발행기관은 그들 나름의 지도 정확도 표준(map accuracy standard)를 갖고 있다.

1) 미국 국가지도의 정확도 기준

1947년 연방예산국에서 발표된 기준은 주로 USGS에서 제작하는 1/24,000 이하의 소축척도를 만족하도록 개발되었다.

① 평면 정확도

1/20,000 이하 소축척의 지도에 대해서는 테스트된 점들의 10% 이상이 1/50 inch(약 0.5mm)의 오차보다 커서는 않는다. 이들 정확도는 쉽게 지상에서 인식될 수 있는 점들 예를 들면 기념비, 도로의 교차점, 철도 등에 적용된다. 일반적으로 이들 점은 지도축척상에서 1/100 inch 이내

로 도화된다.

② 높이 정확도

등고선상에서 테스트된 표고의 10%이상이 등고선 간격의 1/2을 넘어서는 않된다.

미국의 DMA는 이들 표준을 2 class로 구분하여 적용하고 있다. class A 지도는 이들 표준을 따르고, class B 지도는 표준의 반을 - 즉 1/20,000 보다 소축척 지도에서의 평면오차는 1/25 inch 까지 고려 -적용하고 있다.

2)대축척도에 대한 ASPRS 기준

(1) 1985년의 안

지도상에서 최소 20점 이상의 검사점을 도상 전체에 걸쳐 계약자와 합의된 점들로 구성하여 첫째, 편의를 검사하기 위한 표본평균의 평가로 검사점의 도상위치와 지상위치의 RMSE에 대한 단축검정으로 95% 신뢰수준의 t-검정을 실시하고, 둘째, 정밀도를 검사하기 위한 표본평균의 평가로 지도의 축척에 따른 표준오차를 기준으로 95% 신뢰수준의 χ^2 -검정을 실시하며, 셋째, 검사점에 대한 검사축량을 실시한다.

이 안은 t-검정과 χ^2 -검정의 이해부족으로 보다 간단한 방법을 요구받게 되어 수정되었다.

(2) 1990년 최종안

- 수평위치(x,y각각) 정확도는 RMSE가 지도축척에 따른 한계RMSE(예를 들면 1/500은 0.125m, 1/1,000은 0.25m, 1/5,000은 1.25m 등) 범위내에 들어야 한다.
- 수직위치 정확도는 class-I지도에 대해 well-defined points에서 등고선상의 점은 간격의 1/3 이내, 표고점(spot point)은 등고선 간격의 1/6이내의 RMSE이어야 한다. class-II와 class-III 지도는 각각 class-I 지도의 2배와 3배의 RMSE이다.
- 지도의 정확도 검정은 선택적이며, 검사점 수는 최소 20점 이상으로 지도전체에 고르게 분포되도록 하되 주요부분은 밀도를 높힐 수 있으며, 일반적으로 도엽의 1/4구역에 검사점의 20%이상 위치시키고 점의 간격은 지도 대각선 길이의 10%정도이며 분포방법은 계약자의 도의를 얻는 방법으로 한다.
- 검사점 축량은 수평검사점과 수직검사점 축량으로 나누어 진다. 축척에 따른 요구정확도는 표와 공식을 이용하여 얻는다.

3)일본의 수치지도 정확도 기준

(1) 1986년 항공사진에 의한 디지털매핑의 표준

- 지도축척에 대응하는 것을 지도정보레벨이라 하며 다음과 같이 규정

지도정보레벨	대응축척	정 확 도		주곡선 간격
		평면위치	표고점의 표고	
500	1/500	± 0.25m 이내	± 0.25m 이내	1m
1,000	1/1,000	± 0.70m 이내	± 0.33m 이내	1m
2,500	1/2,500	± 1.75m 이내	± 0.66m 이내	2m
5,000	1/5,000	± 3.50m 이내	± 1.66m 이내	5m
10,000	1/10,000	± 7.00m 이내	± 3.33m 이내	10m

- 수치지도의 종합적인 정확도는 지형지물과 지도상에 표시된 것과의 비교에 의해 평가하며 그 방법은 다음과 같다.

대상	점검대상	점검방법
진위치	지물의 절대위치 정확도	실측좌표와 디지털자료(평면좌표)와의 비교점검
	지물의 상대위치 정확도	지물간의 실측거리와 진위치 지도상의 거리를 비교점검
	표고점과 등고선의 정확도	직접수준측량에 의한 실측값과의 비교점검
작도	표현사항	표현방법에 대한 현지점검
	정식	규정사항에 대해 점검
	도식 및 표시 기준	규정사항에 대해 점검

- 정확도 점검의 기준은 지물의 절대위치 및 상대위치 정확도와 표고점 및 등고선의 정확도를 점검하며, 점검개소수는 다음의 기준에 따라 실시한다.

측량 도엽수	점검 개소수
25	1
50	2
100	3
200	5

여기에서 점검개소수는 정확도 점검을 하는 소지역의 개소수이며, 평면위치에 대해서는 1개소에 20점, 표고점과 등고선 점검에 대해서는 1개소에 표고점 10점, 등고선 10개를 표준으로 한다.

(2) 수치지도화 자료

수치지도화 자료(지형도로부터 디지털이징한 것)에 대해 1983년 국토지리원에서 수치지도의 자료화의 위치정확도와 평가기준안을 마련하였다.

- 적용범위는 공공측량 등에서 작성된 수치지도정보 내 기성의 공공측량지도 등으로 부터 수치화된 벡터형 자료의 위치정확도 평가에 적용하며, 기성도의 재질은 신축이 적은 폴리에스테르 필름을 원칙으로 한다.

- 수치지도 자료의 위치정확도는 원도와 수치화자료와의 도상에서의 편위로 평가하며 그 규격은 다음과 같다.

	편위의 양(최대치)	적용범위
특별급	0.2mm이내	이용목적에 따라 특히 높은 정도를 요구할 경우
표준급	0.5mm이내	공공측량 및 이에 준하는 정도를 요구하는 경우

- 평가방법은 스크린상에서의 점검, 래스터/벡터 동시출력도에서의 점검, 및 벡터출력도에서의 점검 등이 있으나, 특별급은 마지막 방법은 피하고 공적인 제3의 기관에서 평가할 때는 첫째방법은 피하도록 하였다.

4) 우리나라의 수치지도 정확도 기준

1992년 건설부령의 수치지도작성규칙이 마련되었다. 여기에서 수치도화는 측량용 항공사진 또는

위성영상으로부터 수치화하는 것으로, 지도입력은 지도 및 측량도면으로부터 수동독취기 또는 자동독취기에 의한 수치화로 규정하고 이 두가지를 수치지도작성이라 하였다. 1995년 수치지도작성작업내규(안)에서 수치도화와 수동 및 자동독취에 따른 정확도 규정을 다음과 같이 제시하였다.

- 수치도화의 축척별 오차의 허용범위

도화축척	표준 편 차			최 대 오 차		
	평균위치	등고선	표고점	평균위치	등고선	표고점
1/1,000	0.2m	0.3m	0.15m	0.4m	0.6m	0.3m
1/5,000	1.0m	1.0m	0.5 m	2.0m	2.0m	1.0m
1/25,000	5.0m	3.0m	1.5 m	10.0m	5.0m	2.5m

- 자동독취인 경우 해상도를 400 dpi 이상으로 하고 벡터편집에서의 정확도는 래스터자료와 최종 벡터자료를 화면에서 비교하여 도상 0.2mm이내이어야 하며, 확인용 출력도면은 지도원판과 비교하여 상대 최대오차가 도상 0.7mm, 표준편차가 도상 0.4mm이내이어야 한다.

- 수동입력인 경우 입력시의 정확도는 도상 0.2mm이내이어야 하며, 확인용 출력도면은 지도원판과 비교하여 상대 최대오차가 도상 0.7mm, 표준오차가 도상 0.4mm이내이어야 한다.

3. 수치지도의 정확도에 관한 연구결과

1) 지도의 정확도 기준

미국식 기준에 관한 문제점은 다음과 같다.

- 오차에 대한 종래의 통계적 표현과 맞지 않는다.
- 좌위치에 대한 이들 기준은 형상에서의 변화를 측정하지 못한다. 즉 RMSE는 전체적으로 허용된다 해도 그려지는 형상은 큰오차를 가질수 있다. 역으로 오차는 허용값을 초과하였다 해도 형상에서의 오차는 작을 수 있다. 예를 들어 도로, 철도, 강 등과 같은 선형물은 그들을 서로 구별할 수 있도록 분리 시키기 위한 일반화를 요구하므로 1/50,000 이상의 소축척에서는 이와같은 현상이 빈번하게 발생한다.

- 지도제작자에 의한 크기변화 또는 생략과 같은 오차가 소축척지도에서는 일반적이다.
- 이들 표준은 정오차 또는 우연오차를 가려낼 수단을 제공하지 않는다.
- 항공사진, 위성영상과 같지 않은 지도에서는 해상도의 기준이 정해져있지 않다.

도화 가능한 최소의 형상은 선형 또는 면적을 갖고 있는 형상에만 관계가 있다. 가장 속련된 지도 제작자(예를 들면 스위스, 일본)는 0.5 mm보다 작은 크기의 색칠된 면적을 포함하지만, 대부분은 이보다 수준이 낮다. ONC chart는 0.8mm보다 작은 면적의 형상은 일반적으로 제외시킨다.

2) 높이 정확도의 규정 : 매핑 기준

지도상에 표현된 높이에 대한 정확도 규정은 Koppe의 방법에 따른다. 그는 높이 오차가 지형의 경사에 따라 직접적으로 증가하므로 경사각이 α 일때 다음과 같은 식으로 정확도를 표현하였다.

$$\text{높이의 RMSE } M_h = \pm(A + B \tan \alpha)$$

$$\text{평면의 RMSE } M_p = \pm(B + A \cot \alpha)$$

A와 B는 지도의 축척에 따른 상수이다. 이 표현방법에 대한 논란이 계속되어 왔으나 현대의 지형도 제작에서 높이의 정확도 규정에 대한 기초로 여전히 사용되고 있다.

축척	사용국가	Mh (meter)	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=30^\circ$
1/5 000	독일	$\pm(0.4 + 5 \text{ tana})$	± 1.28	± 3.29
1/10 000	스위스	$\pm(1 + 3 \text{ tana})$	± 1.53	± 2.73
	영국	$\pm\sqrt{(1.82 + 32 \text{ tana})}$	± 2.20	± 2.49
	독일	$\pm(0.5 + 5 \text{ tana})$	± 1.38	± 3.39
1/25 000	스위스	$\pm(1 + 7 \text{ tana})$	± 2.23	± 5.04
	영국	$\pm\sqrt{(1.82 + 7.82 \text{ tana})}$	± 3.74	± 4.85
	스위스	$\pm(1.5 + 10 \text{ tana})$	± 3.26	± 7.27
1/50 000	미국	$\pm(1.8 + 15 \text{ tana})$	± 4.44	± 10.46

3) 디지털이징 방법에 관한 조사

(1) OEEPE에 의해 1984년에 발표된 보고서

"blind" (non-interactive) 디지털이징의 표준오차는 0.1 mm정도이다.

(2) 지적도면을 디지털이징한 Israel의 연구 결과

국지 기준망에서 경계점의 해석적 위치오차 M_p 의 추정값은 0.14 m ~ 0.15 m이며, 수작업으로 도화할 때의 도화정확도 M_{map} 을 도면축척에서 0.25 mm라고 추정하고, 디지털이징의 정확도 M_{dig} 를 도면상에서 0.1mm라고 한다면, 디지털이징한 점의 정확도 추정량 M_{pDATA} 는

$M_{pDATA} = \sqrt{M_p^2 + M_{map}^2 + M_{dig}^2}$ 으로 계산되어야 한다.

디지털이징 자료의 표준오차는 1/625 일때 0.22 m, 1/1250 일때 0.37 m, 1/2500 일때 0.63 m 이었다.

수치 데이터베이스의 신뢰도는 일반측량으로 부터 직접 계산된 자료인 경우의 정확도인 0.15m로 부터 오래된 지적도면으로 부터의 디지털이징으로 얻어진 자료인 경우의 정확도인 1.28m 까지 추정할 수 있다.

(3) 디지털이징한 값에 대한 지도좌표로의 변환

지도좌표로의 변환에는 inverse projection과 polynomial approximation의 두가지 방법이 있으나, 지도로 부터의 디지털이징한 경우 좌표변환은 polynomial approximation법을 적용하며 변환계수를 계산하기 위해 기준점을 이용하여야 한다. 기준점 관측에서 오직 한개의 잘못된 관측 값이라도 포함되면 틀린 계수를 만들어 낸다.

(4) 지형도의 등고선을 디지털이징한 자료로 부터 얻어진 DTM의 정확도

- 영국의 Glasgow대학에서 1/50,000 지형도상의 등고선을 수동 line following 방식으로 디지털이징한 후 PANACEA package를 사용하여 DTM처리한 2500점을 항공사진으로 관측한 값과 비교한 결과는 다음과 같았다.

RMSE = +6.75 m

평균 = -2.21 m

평균값의 표준편차 = ± 6.44 m

4) DTM 정확도

측량방법에 따른 DTM 표고값의 상대정확도 (Accuracy factor 1= high, 500= low)

Source	Data measured	Accuracy factor
Ground Survey		
Large scale model (1:500)	Directly measured spot heights	1
Photogrammetric measurement		
Aerial photographs for topographic mapping (e.g. 1:10,000)	Photogrammetric spot heights (measured in a stationary mode)	5
	Photogrammetric contours (measured in a dynamic mode)	15
Cartographic digitizing		
Medium scale Topographic maps (e.g. 1:50,000)	Contours generalised from medium scale maps	25
	Contours measured by field survey in the 19th century	50
Small scale topographic maps (e.g. 1:250,000)	Spot heights at grid nodes derived by interpolation from digitized contours	500

5) 기타

사진 필름은 온도나 습도의 변화에 대해 0.2% 이하의 변형으로 매우 안정성이 있으나, 종이는 최대 3%까지 변화가 발생한다.

4. 지형공간정보에서 고려할 정확도의 종류

1) 위치 정확도

어떤 물체의 실제 위치와 지도상의 위치와의 차이에 대한 기대값은 편의(검사점들의 위치오차에 대한 오차평균으로 표시)와 정밀도(검사점들의 위치오차에 대한 표준편차로 표현)로 구성된다.

일반적으로 지도는 0.5mm의 정확도를 갖는다.

2) 속성 정확도

조사방법의 신뢰도에 따라 차이가 발생한다.

① 이산적인 속성(예: 토양분류 등)

분류정확도 평가와 같이 오분류행렬을 작성하여 Cohen's Kappa값으로 평가

- ② 연속적인 속성(예: 온도 등)
위치 정확도의 평가와 유사하게 평가

3) 논리적 일관성(Consistency)

관련 자료들 간의 논리적 관계를 잘 표현하고 있는가를 나타내는 정도로서, 특히 도로망도의 제작시 논리적인 불일치가 나타나기 쉽다.

5. 오차의 원인

- 1) 대상에 대한 fuzzy data
- 2) 관측오차
- 3) 자료구조나 모형
- 4) 자료처리와 변환

6. GIS에서의 Data Quality

GIS에서의 Data Quality는 크게 cartographic quality와 information quality로 나눌 수 있다.

1) Cartographic Quality

① 상대 정확도

대상물의 실제 위치와는 관계없이 지도상의 두개 대상물간의 간격에 대응하는 실제 간격과의 최대편차로서, 일반적으로 $\pm 1.8m - \pm 3m$ 를 요구한다.

② 절대 정확도

지도상의 위치와 실제 지상에서의 위치와의 최대편차로서, 미국 USGS에서 발행하는 지도에서의 지형지물 및 시설물의 위치 정확도는 12m이내로 하고 있다.

③ Graphic Quality

데이터의 판독성, 그래픽 표현의 일관성 및 미적인 측면 등을 측정하는 것으로, 요구하는 그래픽 표준을 준수하여야 한다.

2) Information Quality

① Completeness(완결성)

모든 시설물들이 소스문서로부터 완전하게 변환되어야 하며 단지 지도상 1%정도의 누락 오차만을 허용한다. 구체적인 검사항목은 그래픽, 속성, 주석, 연결성, 위상 등이다.

② Correctness(정확성)

실제 대상물의 형태에 따라 올바른 위치에 올바른 심볼로 표현되어 있는가에 대한 정도로서, 검증을 위해서는 자동과 수동의 혼합적인 방법을 사용한다.

③ Timeliness(시기적절함)

자료획득 대상인 지도, 도면, 서류 등이 얼마나 최신의 정보를 포함하고 있는가를 나타내는 것으로, 정확성과 관련이 있다.

④ Integrity(무결성)

그래픽 측면: Overshoot, Undershoot이 없는가?

위상적 측면: 모든 선들이 서로 연결되어 있고 속성이 있는가?

DB구조측면: 누락되거나 중복된 필드가 없는가?

3) GIS의 위치정확도

① 비용과의 관계

높은 정도의 위치정확도를 갖는 데이터변환에는 많은 비용과 시간이 소요된다.

정확도	비 용
± 3m	\$ X
± 1.5m	\$ 4X
± 0.3m	\$ 16X
> ± 0.3m	\$ 160X

② 축척과의 관계

지도 축척	정확도
1:600	± 0.5m
1:1,200	± 1.0m
1:2,400	± 2.0m
1:4,800	± 4.0m
1:24,000	± 12.0m

③ 측정방법

위치정확도(상대, 절대)의 시험은 외부 테스트를 요구하지만, 비용문제로 불가능하며 일반적으로는 통계학적 방법을 사용한다. 절대위치 정확도의 통계적인 테스트를 위한 점의 표본은 일반적으로 10점/지도, 20점/항공사진, 또는 데이터베이스 내에서 5%의 점을 선정한다. 상대위치정확도의 통계적 테스트도 유사한 방법으로 수행하지만 좌표오차 대신 거리오차로서 계산한다.

④ 일반적인 GIS 위치 정확도에 대한 요구사항

사용 목적에 따라 completeness와 currentness가 위치정확도보다 더 중요한 경우가 있으나 동일한 수준으로 가정한다면 다음과 같은 사용목적에 따라 일반화할 수 있다.

사용 목적	정확도
Tax Mapping	± 0.6 ~ 1.5 m
Final Engineering Design	± 0.3 ~ 3.0 m
Conceptual Plans	± 0.6 ~ 30.0 m
Preliminary Facility Layout	± 0.6 ~ 3.0 m
Vehicle Routing	± 3.0 ~ 15.0 m
Master Plans	± 6.0 ~ 30.0 m
Urban Planning	± 1.5 ~ 3.0 m

7. Northern Forest Lands Inventory(NFLI)의 Basic Quality Control Techniques

Quality Control이란 첫째, 오차를 줄이고 과오를 제거하기 위한 기술과 과정을 실행하고, 둘째, 어떤 결과물을 제공하기 전에 오차를 확인하고 수정하기 위해 모든 작업을 재조사하는 과정으로 요약할 수 있다.

다양하고 방대한 데이터베이스를 만들기 위해서는 숙련도가 다른 많은 사람들이 프로젝트에 종사하게 되며, 작은 데이터베이스는 사용자가 직접 만드는 경우도 있으므로, 포함된 오차를 조사하기 위해서는 quality control이 필요하다.

Quality Control를 위한 방법

1) 일반적인 기술

- ① Procedure Sheets : coverage, theme을 작성하기 위해 실제 사용된 명령어를 포함한 작업 과정에 대한 상세한 기록
- ② Record Keeping : 전과정에 대한 상세한 기록을 coverage에 대한 log sheet과, 작업자에 대한 log book으로 보관
- ③ Macros 활용

2) 디지털라이징 처리

- ① Equipment considerations : 기기오차의 영향을 줄이기 위해서 표준화된 작업과정이 필요
- ② Personnel considerations : 동일 coverage는 같은 사람이 작업하며 4시간이상 계속작업을 해서는 안됨.

3) S/W를 사용한 예비조사

작업이 완료되기 전에 GIS S/W를 사용하여 point 및 polygon에 대한 중복 및 누락자료를 조사하기 때문에 수정이 빠르고 쉽다. 또한 topology integrity도 조사

4) Edit Plot

quality control의 마지막 단계. source map과 같은 축척으로 출력하여 light table상에서 source map과 edit plot을 비교.

- 중복되거나 누락된 feature는 없는가?
- 허용범위를 초과한 위치오차가 발생하지는 않는가?
- 속성값은 맞는가?