

국가기본도 수치지도제작 과정에서 입출력장비에 따른 위치정확도 분석

The Analysis of Positional Accuracy with Input/Output Instruments in Digital Mapping of National Base Map

이현직* · 손덕재**
Lee, Hyun-Jik · Sohn, Duk-Jae

要 旨

일반적으로 수치지도제작을 수행하기 위해서는 종이에 인쇄된 원도를 컴퓨터상에서 작업할 수 있는 수치자료로 변환하는 자료입력과정과 작업이 끝난 자료를 출력하는 도면출력과정에 입출력장비가 이용된다. 본 연구에서는 수치지도 작업과정에 수반되는 입력장비중 벡터형태의 자료를 직접적으로 생성할 수 있는 장점에 의해 부분 도화된 수정도화 원도의 입력시 주로 이용되는 디지털라이저와, 작업의 용이성에 의해 주로 원도의 입력과정에 이용되는 스캐너에 대해 작업방법 및 입출력장비 특성에 따른 위치오차를 분석하였으며, 출력장비에 따른 위치오차분석에서는 플로터방식과 출력도면의 재질에 따른 위치정확도를 분석하였다.

ABSTRACT

In order to accomplish the digital map production I/O devices should be used which are used for data input procedure to convert original paper map(hardcopy) data into computer compatible digital map data, and for the mapsheet output procedure of worked out data. For the input device, digitizer and scanner are most frequently used. Digitizer has possibility of direct production of digital data, and are mainly used for input procedure of partly plotted source map. In contrary, scanner is rather easy to operate the instrument, so that is widely used for the input procedure of original sheet map. In this study, to extract the input device characteristics, some kinds of digitizers and scanners were choosed and used for the positional error analysis through the operational method and types of instruments. Also for the output device characteristics, some kinds of plotter and materials are used and compared to analyze the positional error through the instrumental types and output sheet materials.

1. 서 론

국가지리정보시스템(National Geographic Information System: NGIS) 구축사업은 1차 사업인 국가 기본도 수치지도제작사업(1:1000, 1:5000, 1:25000)이 완료됨에 따라 이를 국가기관 및 민간에게 제공하는 유통시스템 개발을 추진하고 있는 실정이다.

국가기본도 수치지도자료는 중앙부처, 지방자치단체 및 정부투자기관이나 민간에 제공되어 다양한 활용분야의 기본 자료로 활용되어야 함에 따라 기본적인 자료

의 품질 및 신뢰도가 확보되어야 한다.

특히, 국가기본도 수치지도자료의 위치정확도는 기본도의 위치정확도를 필요로 하는 지하시설물 종합도 수치화사업과 같은 응용분야의 성패를 좌우하는 주요 요소로 제작방법과 단계는 물론, 법규 및 규정을 준수한 입출력장비를 이용하여 축척별 정확도 기준을 만족하여야 한다.

일반적으로 수치지도제작을 수행하기 위해서는 인쇄(hardcopy)상태의 종이원도를 컴퓨터상에서 작업할 수 있는 수치자료로 변환하는 자료입력과정과 작업이 끝난 자료를 출력하는 도면출력과정에 입출력장비가 이용되며, 작업과정에서 이용되는 사용기기에 따라 위치

*상지대학교 토목공학과 조교수

**대전대학교 토목공학과 조교수

오차가 발생된다.

따라서, 본 연구에서는 기존 수치지도제작 과정에서 이용된 입력장비와 출력장비에 따른 위치오차분석을 수행하고 입력장비와 관련된 작업규정 및 법규의 합리성을 파악함으로써 향후 수치지도의 갱신 및 신규제작시 위치정확도의 향상에 기여하는데 목적이 있다.

본 연구에서는 수치지도제작시 수반되는 입출력장비에 따른 위치오차분석을 위해 입출력장비에 관한 작업규정과 정확도기준을 분석하였으며, 실제 지도크기와 같은 표준격자판(plate)을 제작하여 실험에 이용하였다.

입력장비에 따른 위치오차분석에서는 정밀제작된 표준격자판을 이용하여 수동입력기(digitizer) 및 자동입력기(scanner) 방식별 위치오차분석을 수행하였으며, 디지털이저에 대해서는 주사해상도 및 투입방법에 따른 위치오차분석도 수행하였다.

또한, 출력장비에 따른 위치오차분석에서는 플로터 방식과 출력도면의 재질에 따른 위치오차를 분석하였다.

2. 수치지도제작시 입출력기기에 관한 정확도 기준 및 오차요인

국가기본도의 수치지도제작은 관련 법규에서 규정하는 방법 및 단계에 의하여 이루어져야 하며, 제작과정에서 규정하는 정확도기준을 만족하여야 한다.^{1,2)}

본 연구에서는 수치지도제작시 이용되는 입출력장비에 따른 위치정확도 분석을 위해 수치지도제작과 관련된 국내 법규 및 규정분석을 수행하여 위치정확도와 관련된 표현항목을 조사하였다.

2.1 입출력장비에 따른 정확도 기준

수치지도제작과정에 이용되는 입출력장비에 따른 위치정확도 기준은 수치지도작성작업규정(건교부령 제17호) 및 수치지도작성작업내규(국립지리원내규 제71호)에 포함되어 있으며,³⁾ 주로 자료변환 및 조작과정에서 수반되는 자동독취(scanning)와 수동입력(digitizing) 및 출력장비의 항목으로 분류된다.

자동독취성과에 대한 위치오차는 독취화일 확인, 모니터 및 출력물 확인, 출력도면과 원도 확인으로 파악된다.⁶⁾

표 1. 입출력장비에 따른 위치정확도 기준

항목	정확도 기준
자동독취 (Scanning)	- 독취성과의 해상도 : 해상도 400 dpi 이상 - 독취성과의 Noise 여부 : 모니터 및 출력물 확인 - 래스터화일과 도곽좌표의 차이 : 도상 0.2 mm 이내(출력도면과 원도 확인)
수동독취 (Digitizing)	- 표정오차 : 도상 0.2 mm 이내(출력도면과 원도 확인) - 확인용출력도면과 지도원판의 비교(출력도면과 원도 확인) · 상대최대오차: 도상 0.7 mm 이내 · 표준편차: 도상 0.4 mm 이내
출력오차	- 출력장비의 위치오차: 도상 0.1 mm 이내 - 출력오차: 도상 0.38 mm 이내

또한, 수동입력성과에 대한 위치오차는 출력도면과 원도를 확인함으로써 파악되며, 출력오차는 출력장비에 따른 위치오차와 출력시 발생하는 출력오차로 분류하여 규정하고 있다. 작업규정 및 법규상의 입출력장비에 따른 위치정확도 기준은 표 1과 같다.

2.2 입출력장비에 따른 위치오차 요인

일반적으로 수치지도의 위치정확도를 평가하기 위해서는 자료원과 제작과정에 수반되는 자료조작 및 변환과정의 위치오차의 절대 및 상대정확도와 표현정확도를 분석하여야 한다.⁷⁾

본 연구에서는 기존 수치지도제작의 배경 및 제작방법에 대한 정확한 자료수집과 제작과정 중의 위치정확도 저해요인을 파악하기 위해 수치지도제작에 참여한 제작업체와 감독기관에 대한 방문조사를 수행하였다.

수치지도제작사 및 감독기관의 방문조사에서는 기존 수치지도제작시 작업환경과 제작방법 및 과정을 파악하고 작업과정 중에 포함되는 위치정확도 저해요인을 파악하기 위해 직접 인터뷰방식으로 국가기본도 수치지도제작에 참여한 2개업체와 접수과정의 위치정확도 고려사항을 파악하기 위해 2개 감독기관(국립지리원, 국토개발원)에 대하여 조사하였다.

일반적으로 파악된 제작사의 작업환경하에서 발생할 수 있는 수치지도제작시 위치정확도 저해요인 분석은 향후 추진될 각종 축척의 수치지도제작과 갱신시 제작단계와 제작방법 및 입출력장비에 따른 위치정확도 평

가에 대한 기본방향을 설정하기 위해 수행하는 과정으로 본 연구를 통해 수행한 제작사의 작업환경에서 발생가능한 입출력장비에 따른 위치오차 요인은 다음과 같다.

2.2.1 원판의 스캐닝오차

- 스캐너 오차 분석
- 스캐너 검정
- 각 판별 스캐닝시 도곽좌표의 오차분석
- 스캐너 방식별 오차 비교

2.2.2 수정도화원도의 디지털라이징 오차

· 디지털라이저 세팅오차: 현행 0.02% 이내 인정(디지털라이징후 출력도면의 오차가 없는 상태)

2.2.3 입력오차에 따른 벡터편집오차

· Wapping 오차: 일반적으로 어핀(affine)변환을 사용(오차범위 1 pixel 이내)

- 등고판 및 하천판 벡터라이징오차
- 인공판 작업시 작업자의 숙련도에 따른 오차

2.2.4 인접작업오차

· 주로 등고선에서 많이 발생 : 인접의 등고선이 상이할 경우 중점에서 합치하여야 하나, 일반적으로 한 곳에 붙임

· 지형지물의 인접시에서도 중점으로 합치하지 않는 경우가 많음.

2.2.5 출력오차

- 플로터 방식별 오차
- 도지신축오차(종이 및 트레이싱지)

표 2에 나타난 바와 같이 수치지도제작사 역시 감독기관의 검수과정에서 수행되는 전산 화일의 논리적인

관성이나 완전성에 대한 고려가 대부분이었으며, 작업과정에서 위치정확도를 파악할 수 있는 근거로 이용되는 관련 법규의 모호함에 의해 3차에 걸친 육안검수와 각 판별 작업시 도곽의 모서리(TIC) 좌표를 표시하는 것을 제외하고는 위치정확도 파악을 위한 검수가 부족함을 알 수 있었다.^{8,9)}

3. 입출력장비에 따른 위치정확도 분석

본 연구에서는 수치지도 작업과정에 수반되는 입력장비중 벡터형태의 자료를 직접적으로 생성할 수 있는 장점에 의해 부분 도화된 수정도화 원도의 입력시 주로 이용되는 디지털라이저와, 작업의 용이성에 의해 주로 원도의 입력과정에 이용되는 스캐너에 대해 작업방법 및 입출력장비 특성에 따른 위치오차를 분석하였으며, 출력장비에 따른 위치오차분석에서는 플로터 방식과 출력도면의 재질에 따른 위치정확도를 분석하였다.

3.1 입력기기의 위치오차 분석

본 연구에서는 원도입력시 이용되는 입력장비인 디지털라이저와 스캐너의 작업시 수반되는 위치오차를 파악하기 위해 수치지도의 원도크기와 동일한 표준 격자판을 정밀제작하여 이용하였다.

입력장비 위치오차 분석에서는 장비 제원이 유사한 2개사 6개 디지털라이저와 주사원리가 상이한 2개 방식의 스캐너를 이용하였으며, 관측값 해석을 위해서는 표준 격자판의 기지좌표와 관측좌표의 편차에 대한 표준편차를 이용하였다.

본 연구에서 입력장비의 위치오차분석에 이용된 표준 격자판의 형상 및 격자점 번호체계는 그림 1과 같다.

3.1.1 디지털라이저의 위치오차

수치지도제작 과정중 디지털라이저는 벡터형식의 자료를 직접적으로 생성하여 벡터라이징과정이 생략되고 스캐너에 비해 저가인 장점에 의해 초기 수정도화의 입력과정에 이용도가 많았으나, 작업과정이 신속치 못해 최근에는 수치지도제작사의 활용도가 저하되는 실정이다.^{10,11,12)}

본 연구에서는 디지털라이저에 의한 입력과정의 위치오차를 파악하기 위해 제품사양(성능: 25 μm, 버튼수: 12개, 크기: A0)이 유사한 2개사(SAM, TD)의 6개 디지털

표 2. 작업시 발생하는 주요 오류유형

실무에서 나타나는 문제점	백분율(%)
○도로선의 중복, 접합, 폐합, 교차 문제점	20
○공사중인 도로, 건물의 표현방법 문제점	7
○삼각점, 수준점, 표고점이 주변사항과 맞지 않을 때의 문제점	10
○등고선의 처리의 문제점	13
○경계를 어떻게 할 것인가의 문제점	13
○시설물 표현의 문제점	10
○미정된 코드의 문제점	10
○주기에 관한 문제점	10
○Raster data의 품질에 관한 문제점	7
합 계	100

(주: 1997년 국토개발원 수치지도제작사업 시행교육).

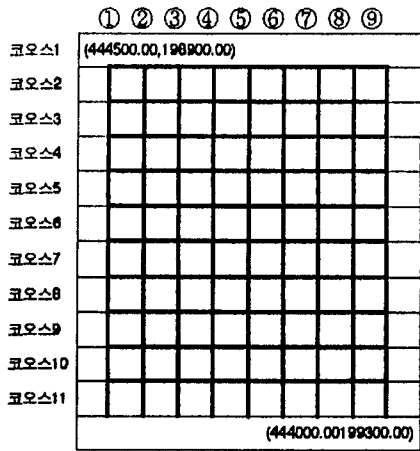


그림 1. 입력장비의 위치오차 분석을 위한 표준 격자판 형상

타이저(SAM1, TD30, SAM2, TD13, TD12, TD11)에 대해 6명의 관측자가 표준 격자 판에 대한 총 99개 격자점 좌표를 관측하여 분석하였다.

디지털타이저의 위치오차 분석을 위한 각 격자점의 관측에서는 실제 지도입력시의 상황과 유사하도록 마우스의 십자선을 격자점의 교차점과 어긋나도록 하여 관측하였다. 각 디지털타이저별 위치오차는 표 3과 같다.

표 3에서 나타난 바와 같이 관측에 이용된 모든 디지털타이저의 평균위치오차는 ± 0.18 m로서, 도상 ± 0.18 mm로 나타나 도상 ± 0.2 mm로 규정하고 있는 디지털타이저의 표정오차한계 범위내에 속하였으며, 다만 TD13 디지털타이저에서 표정오차 한계를 초과하였다.

3.1.2 스캐너의 위치오차

스캐너는 자료취득이 용이하고, 수치지도제작용 전문패키지 소프트웨어에 벡터라이징 모듈이 많이 포함됨에 따라 최근 수치지도제작의 원도입력에 가장 많이 이용되는 장비로서, 지도입력시 이용하는 스캐닝방식

표 3. 디지털타이저별 위치오차

Digitizer 명	Digitizer별 위치오차(m)		
	X축	Y축	위치오차
SAM1	± 0.10	± 0.14	± 0.17
TD30	± 0.13	± 0.11	± 0.17
SAM2	± 0.13	± 0.09	± 0.16
TD13	± 0.21	± 0.14	± 0.25
TD12	± 0.10	± 0.13	± 0.17
TD11	± 0.11	± 0.12	± 0.16
표본표준편차의 평균	± 0.13	± 0.12	± 0.18

에 따라 드럼(DRUM)방식과 롤(ROLL)방식으로 분류된다.¹³⁾

본 연구에서는 수치지도제작사 및 감독기관에서 원도입력을 위해 가장 많이 이용되는 롤 방식 스캐너로 Intergraph Eagle 스캐너와 드럼 방식인 Tangent 스캐너에 대해 표준 격자판을 이용하여 주사방식에 따른 스캐너의 특성을 분석하였다.

스캐너 방식별 위치오차분석에서는 원도 입력시 관련 법규에서 규정하는 400 dpi보다 낮은 주사해상력인 300 dpi으로 도면투입방향을 변화시켜 affine 변환식을 이용한 warpping 방법을 이용하였다.^{14,15)}

또한, 본 연구에서는 일반적으로 국립지리원 수치지도제작 원도의 주사시 가장 많이 이용되고 있는 롤 방식인 Intergraph Eagle 스캐너로 주사해상력(300 dpi, 400 dpi, 500 dpi)과 스캐닝시 원도 투입방향 및 자동독취된 원도 작업시 반드시 수행되는 warpping 방법을 변화시켜 이에 따른 위치오차의 변화를 분석하였다.

본 연구에서 표준 격자판을 이용하여 수행한 드럼방식 Tangent 스캐너 격자점 관측성과, 위치오차 분석결과와 주사해상력과 투입방향 및 warpping 방법을 변화시켜 분석한 롤방식 Anatech Eagle 스캐너의 분석결과는 표 4와 같고, 스캐너 방식별 도면투입방향에 따른 위치오차는 그림 2와 같다.

표 4 및 그림 2에 나타난 바와 같이 도면 주사방식에 따른 스캐너의 위치오차는 롤 방식(± 0.18 m)이 드럼방식(± 0.22 m)에 비해 다소 위치정확도가 높게 나타났으며, 두 방식 모두 종방향 투입방법(± 0.19 m)이 횡방향 투입방법(± 0.22 m)에 비해 다소 높은 위치정확도를 나타내었다.

그러나, 드럼 방식 스캐너는 도면투입방향에 따른 각 축성분의 위치오차 편차가 롤 방식 스캐너에 비해

표 4. 스캐너 방식에 따른 위치오차

Scanner (300 dpi, Affine)	도면투입방법에 따른 위치오차(m)					
	종방향			횡방향		
	X	Y	위치	X	Y	위치
Drum type (Tangent)	± 0.15	± 0.15	± 0.21	± 0.14	± 0.17	± 0.22
Roll type (Anatech eagle)	± 0.16	± 0.07	± 0.17	± 0.17	± 0.13	± 0.21
표본표준편차의 평균	± 0.16	± 0.11	± 0.19	± 0.16	± 0.15	± 0.22

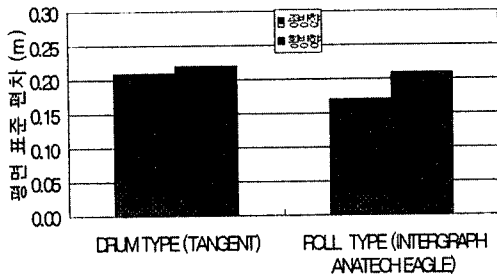


그림 2. 스캐너 방식별 투입방법에 따른 위치오차

작아 투입방법에 따른 위치오차의 영향이 적음을 알 수 있었다. 스캐너 방식별 도면투입방향에 따른 각 격자점의 위치오차를 3차원 그래프로 표시한 예는 그림 3과 같다.

또한, 본 연구에서는 스캐너 방식별 위치오차분석을 통해 다소 높은 정확도를 나타내는 롤방식 Anatech Eagle 스캐너를 이용하여 주사 해상력과 warpping 방법에 따른 위치오차를 분석한 결과, 표 5 및 그림 4를 얻을 수 있었다.

그림 4에서 나타난 바와 같이 동일한 스캐너로 해상력을 변화시켜 분석한 결과, 해상력의 증가에 따라 위치오차가 감소하였으나, 범규상의 자동동축 해상력인 400 dpi보다 높은 500 dpi 해상력의 경우, 400 dpi와 위치정확도가 유사하여 자료저장용량 측면에서 원도의 주사시 400 dpi의 주사해상력으로도 충분함을 알 수 있었다.

또한, warpping 방법에 대해서는 종방향 투입시 어떤 변환식을 이용한 방법이 좌표축의 직교성을 유지하는 헬름트(Helmert) 변환식을 이용한 방법에 비해 높은 정확도를 나타낸 반면, 횡방향 투입시는 과도한 영상변환에 의해 Helmert변환식을 이용한 Warpping방법이 높

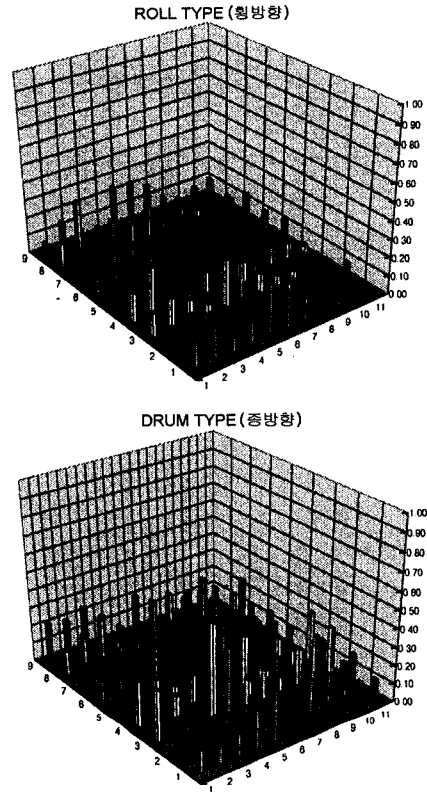


그림 3. 스캐너 방식별 투입방향에 따른 각 격자점의 위치오차 분석에

은 위치정확도를 나타내었다.

이상과 같이 표준 격자판을 이용하여 자료입력과정에 이용되는 디지털라이저와 스캐너의 방식 및 작업방법에 따른 위치정확도를 분석한 결과, 디지털라이저에 의한 위치오차보다 400 dpi의 주사해상력과 Affine 변환식을 통한 warpping을 수행할 경우 스캐너에 의한 자료입력과정이 높은 위치정확도를 나타냄을 알 수 있었다.

표 5. 주사해상력 및 warpping방법에 따른 위치오차

분석 방법(Anatech eagle)		주사해상력에 따른 위치오차(m)									평균	
		300 dpi			400 dpi			500 dpi				
		X	Y	평면	X	Y	평면	X	Y	평면		
투입방법	종방향	Helmert	±0.18	±0.08	±0.19	±0.14	±0.10	±0.17	±0.14	±0.08	±0.17	±0.17
		Affine	±0.16	±0.07	±0.17	±0.15	±0.04	±0.15	±0.12	±0.08	±0.15	
	횡방향	Helmert	±0.08	±0.12	±0.14	±0.06	±0.12	±0.13	±0.07	±0.13	±0.14	±0.15
		Affine	±0.17	±0.13	±0.21	±0.06	±0.12	±0.13	±0.04	±0.13	±0.14	
표본표준오차의 평균			±0.15	±0.10	±0.18	±0.10	±0.10	±0.15	±0.09	±0.11	±0.15	±0.16

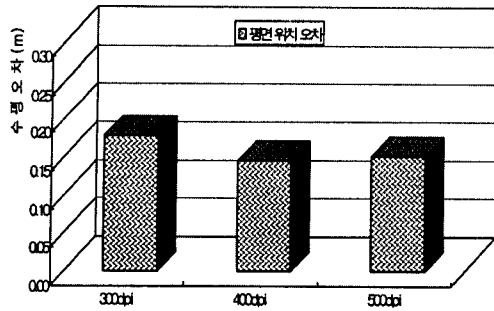


그림 4. 주사해상력에 따른 위치오차 분석

3.2 출력기기의 위치오차 분석

수치지도제작 과정에 이용되는 출력기기는 작업이 완수된 수치도면을 검수나 납품을 목적으로 출력하는 플로터가 이용된다.

본 연구에서는 수치지도의 출력과정에서 수반되는 플로터의 출력오차를 분석하기 위해 기존 수치지도를 ± 0.2 mm의 출력오차를 나타내는 자동제도기 (DRAFT MASTER)를 이용하여 신축이나 변형이 거의 없는 KIMOTO MICRO TRACE(#500) 용지로 출력하였다.

출력된 도면의 종방향 도곽길이를 횡방향 도곽길이에 좌표전개기에 의해 정밀관측하여 도곽의 표준길이를 이용하였다.

또한, 본 연구에서는 동일한 수치지도를 잉크젯 플로터(HP 755CM)와 정전식 플로터(CALCOMP 68436)로 출력한 후, 출력된 도면의 도곽길이를 좌표전개기로 관측하여 자동제도기의 표준길이를 비교하였으며 잉크젯 플로터의 출력시 도면재질을 종이와 SKC MATT 잉크젯용 필름으로 출력하여 도면재질에 따른 출력오차도 분석하였다. 출력기기 종류와 도면재질에 따른 출력오차 분석 결과는 표 6 및 그림 5와 같다.

표 6과 그림 5에서 분석된 바와 같이 동일한 재질인

표 6. 출력기기의 종류 및 도면재질에 따른 출력오차

도면재질	표준길이(cm)		관측길이(cm)		위치오차 (mm)	Plotter
	횡	종	횡	종		
Kimoto micro trace	44.21	55.50	44.21	55.50	0.00	자동제도기
SKC MATT film	44.21	55.50	44.25	55.50	0.40	inkjet
종이	44.21	55.50	44.30	55.50	0.90	inkjet
종이	44.21	55.50	44.40	55.50	1.90	정전식

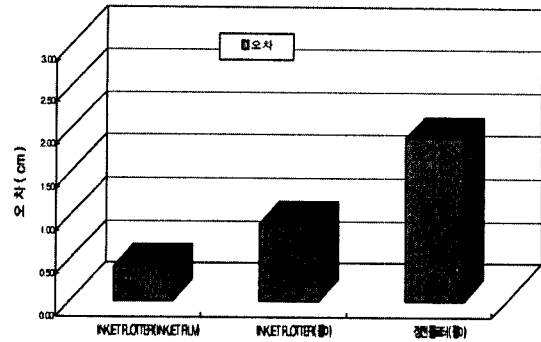


그림 5. 출력기기의 종류 및 도면재질에 따른 출력오차

종이를 통해 잉크젯 플로터와 정전식 플로터의 출력오차를 분석한 결과, 잉크젯 플로터(0.9 mm)가 정전식 플로터(1.9 mm)에 비해 출력정확도가 2배 이상 양호하게 나타났다. 그리고 Kimoto Micro Trace 용지를 이용한 자동제도기 사용시는 실측오차가 거의 없는 것으로 나타났다.

또한, 동일한 잉크젯 플로터로 도면재질을 달리하여 출력한 도면재질에 따른 출력오차는 신축이 적은 필름재질(0.4 mm)이 일반종이를 이용한 경우(0.9 mm)에 비해 양호하였다.

그러나, 본 연구에 이용한 2개의 플로터 방식 및 재질에서 수치지도작성규정에 정하고 있는 출력오차 한계인 도상 0.38 mm를 모두 초과하므로, 납품자료의 육안검수를 위한 출력도면 납품시 플로터장비 및 도면재질에 대한 신중한 고려가 요망된다.

4. 결 론

본 연구에서는 활용도가 급격히 증가될 것으로 보이는 수치지도의 위치정확도를 분석하고자 자료입력 및 출력과정에서의 입출력장비에 따른 위치오차를 파악하므로써 향후 고품질 수치지도제작을 위한 위치정확도 개선방향을 제시하고자 하였다.

1. 수치지도제작사 및 감독기관의 방문조사를 통해 제작사의 작업과정 및 감독기관의 자료검수과정에서는 수치지도의 위치정확도 향상을 위한 노력보다는 전산 화일구조의 논리적 일관성이나 완전성에 관한 정확도에 편중되어 있음을 알 수 있었다.

2. 원도를 이용하여 검사용 표준격자판을 정밀제작하여 입출력장비에 따른 위치정확도를 분석한 결과, 자료

입력기기에 따른 위치오차에 있어서는 디지털라이저에 의한 자료입력과정 보다 400 dpi 이상의 주사해상력과 어핀변환식을 통한 warpping을 수행할 경우 스캐너에 의한 자료입력과정의 높은 위치정확도를 나타내었다.

3. 출력오차를 도면재질에 따라 분석한 결과, 신축이 적은 트레이싱지나 필름을 이용하는 것이 일반 종이에 비해 위치정확도 측면에서 바람직함을 알 수 있었다.

4. 플로터방식에 따른 출력오차를 분석한 결과, 모든 경우에서 법규 및 규정에서 정하는 출력오차 한계를 모두 초과하였으므로 관련 항목의 정확도 규정에 문제점이 있음을 알 수 있었으며 이를 개선하기 위한 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 유복모, 지형공간정보론, 동명사, 1994, pp. 538-542.
2. 최석근, 이현직, 조재호, 수치지도제작, 형설출판사, 1997.
3. 국립지리원, 수치지도작성작업규칙, 국립지리원, 1995.
4. 국립지리원, 수치지도작성작업내규, 국립지리원, 1995.
5. 국립지리원, 수치지도제작 성과검사기준, 국립지리원, 1995.
6. 국립지리원, 국립지리원용역사업검사업무규정, 국립지리원, 1994.
7. 국립지리원, 1/5,000 수치지도제작 용역업체 간담회 회의 자료, 국립지리원, 1997.
8. 신동빈, 김재영, 정문섭, 국가기본도 수치지도화 방안 연구, 국토개발연구원, 1996.
9. 국토개발연구원, 수치지도 검사 프로그램 개발, 국토개발연구원, 1997.
10. 이현직, 최석근, 신동빈, 박경열, “국가기본도 수치지도 제작 데이터베이스의 품질 확보에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제15권, 제1호, 1997.
11. 최선용, 이용웅, 조봉환, “지도 위치정확도 평가방안 연구”, 한국지형공간정보학회 학술발표회 개요집, 1997, pp. 25-44.
12. 신동빈, “국가기본도 수치지도 자료기반의 오류발생 빈도에 관한 연구”, 한국지형공간정보학회 학술발표회 개요집, 1997, pp. 1-16.
13. DMA, “DCW Error Analysis”, DMA 600-89-C-0023, CDRL C002, 1991.
14. Guptill, S. C. and Morrison, J. L., Elements of Spatial Data Quality, PERGAMON, 1995, pp. 81-107.
15. The American Society of Photogrammetry, “Accuracy Specification for Large-scale Line Maps”, PE & RS, Vol. 51, No. 2, 1998, pp. 195-199.