

연구논문

일반측량성과도에 의한 수치지도의 실시간갱신방법 연구 A study on the Realtime Update of the Digital-Map by the General Survey Map

이상길* · 권재현** · 전재한***

Lee, Sang Gil · Kwon, Jay Hyoun · Jeon, Jae Han

要 旨

수치지도의 수정갱신은 NGIS사업으로 구축한 수치지도의 활용성 향상과 최신성 유지, 확보 차원에서 추진되어 전국 5개 권역 1권역씩 5년 주기로 항공사진, 위성영상 등을 이용해 수치지도를 일괄 갱신해오다가, 3차 NGIS시행과 더불어 갱신방안도 대도시 2년, 기타지역 4년 주기로 하여 일괄갱신과 부분, 수시(실시간)갱신을 병행하는 방안으로 개선되었다. 따라서 그 어느 때보다 다양한 지리정보(도면, 성과도, 지도 등)를 수치지도의 정 위치에 결합할 수 있는 매칭기법이 요구되고 있다. 본 연구에서는 중앙점 기반의 매칭 알고리즘을 개발하고 이를 활용하여 일반측량성과도(도면)를 수치지도 수정갱신에 이용할 수 있는 방법을 제시하였다. 본 연구를 통하여 일반측량성과도는 측량법상 일반측량업에서 실시하는 토지의 민간 개발행위 인허가시 실측되는 도면으로 개발시점에 실측된다는 최신성과 개발의사결정에 필요한 다양한 콘텐츠(도로, 건물, 배수관, 맨홀 등)를 포함하는 활용성 만족으로 수치지도의 실시간 갱신자료로 활용됨에 무리가 없음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 수치지도, 일반측량, GIS, 매칭, 수정갱신, 실시간

Abstract

The renewal update of the digital map constructed through NGIS has been conducted for the enhancement of usage, maintenance so that the latest data is guaranteed. The total update has been done every five years for five regions of the country using aerial photographs and satellite images. By launching the third phase of NGIS, the updating plan was changed from total to total or partial update including the real time update scheme. Furthermore, the update period was improved from five to two years and four years for a large and a small city, respectively. Therefore, it is necessary to develop a matching technique which combines various geographic information (such as drawing map, surveying drawing and map) with exact position on the digital map. In this study, we developed a matching algorithm based on central point and suggested a method which uses general surveying drawing for revision/update of the digital map. The general survey is conducted when a civilian development on lands are approved. Thus, the outcome from the survey, which is the general survey drawing, contains the latest various contents such as road, building, water pipe and manhole. A consistent and efficient method using the general survey drawing for near real time update of the digital map by applying the developed matching algorithm is presented.

Keywords : Digital map, General survey, GIS, Matching, Renewal update, Realtime

1. 서 론

1995년 NGIS사업으로 수치지도를 신규 제작한 이후 3차 NGIS사업이 시행되고 있는 현재, 수치지도의 수정 갱신분야에 있어 일괄갱신방법의 경제적, 시간적 한계성 때문에 수치지도를 수시로 부분 갱신하는 방법에 대한 연구와 논의가 활발히 진행되고 있다.

수치지도의 갱신에 대한 연구로는 우선 건설교통부 (2003)가 지자체, 공공기관 등에 비치된 공적자료를 DB 화, 포맷통일, 표준화 등을 통해 수치지도를 실시간갱신 하는 방안을 제시하였고, 2006년에는 다양한 형태로 존재하는 전국 공공기관의 지형도면을 수치지도에 접합 (매칭)하는 방법을 이동(Translation), 회전(Rotation), 축척 (Scale)의 Affine변환과 Rubber sheeting기법 위주로 소

2007년 6월 18일 접수, 2007년 7월 20일 채택

* 지투토지정보기술 소장 (lee691@chol.com)

** 교신저자·정회원·서울시립대학교 공간정보공학과 부교수 (jkwon@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 공간정보공학과 석사 과정 (jjh@uos.ac.kr)

개한 바 있다.

또한 김원대(2000)는 공공측량에 의해 실시되는 공공 기관 공공사업의 준공도면을 수치지도 수정갱신에 활용하는 방법을 제시하였으며, 이원희(2003)는 LiDAR자료를 이용해 모델링된 건물을 수치지도 갱신에 활용하였고, 그 외에도 CCD영상(송연경, 2005), 디지털카메라(최승필, 2004), 동영상(김용일, 1996) 등 다양한 자료를 활용하여 수치지도를 수정 갱신하는 사례를 제시하였다.

이러한 기존의 연구들에서 사례를 찾아보기 힘든 것이 바로 일반측량성과도의 활용이다. 일반측량은 측량법에 의해 등록된 일반측량업에서 실시하는 측량으로 측량목적이 주택, 상가, 공장 등을 건축하기위한 토지형질변경, 산지, 농지전용 등 개발행위 인허가 및 승인 신청 시 첨부되는 측량설계도서 작성을 위해 반드시 실시되는 측량이다. 일반측량 성과도가 포함하는 개발 대상지의 개발전후 지형정보는 개발행위 허가에서 준공에 이르는 주목적이 종료하더라도 활용가치가 높은 유용한 실측자료로서 본 연구는 이러한 자료들을 NGIS사업으로 구축한 수치지도와 연계, 수정갱신을 통해 다양한 분야와 목적에 응용할 수 있는 방안을 제시하기 위한 것이다.

제시하고자 하는 방안은 도면(Drawing)형태의 측량성과도와 지도(Map)형태의 도엽단위 수치지도를 일괄되게 매칭을 할 수 있도록 개발된 최적화된 매칭방법과 알고리즘을 이용하여 다양한 형태의 일반측량 실측자료들을 수치지도와 매칭이 가능하도록 함으로써 수치지도의 경우 I) 제작 시 항공사진으로 판독 불가능한 최근지형정보의 취득, ii) 개발시점 및 준공 실측자료를 활용하여 실시간(수시) 부분수정갱신, iii) 일괄갱신지역 및 시기결정을 위한 지형변화탐지, iv) 각종 개발계획이나 설계 등 지상관점의 세밀한 의사결정 등에 수치지도를 활용할 수 있도록 하고, 일반측량의 경우 I) 등고선이나 표고, 접근이 어려운 지형의 취득, ii) 임의좌표(xyz=0, 0, 0)의 절대좌표(TM좌표)화, iii) 측량지역 측량실시여부 확인(중복측량 감소) 등이 가능하도록 하는데 목적이 있다.

2. 일반측량성과도와 수치지도의 매칭

2.1 연구의 방법

본 연구는 일반측량 성과도의 다양한 지형정보를 수치지도 갱신에 활용하기 위하여 제시된 매칭방법의 최적화 알고리즘을 통해 수행한 일반측량성과도와 수치지도의 매칭과정, 수정갱신 등의 활용사례를 소개한 것이다.

수행한 연구과정을 흐름도로 표현하면 그림 1과 같다. 우선, 경계측량에 의해 타설된 필지경계점 말목을 기준점으로 하여 지적도와 현황측량도를 접합(도해법)시켜 일

반측량성과도를 생성한다.

또한, 일반측량성과도로부터 지적도 레이어를 추출하여 수치지도(토지특성도)의 편집된 연속지적 동일필지 경계선을 기준으로 필지기준매칭을 한다. 이때, TM좌표 도곽으로 제작된 수치지도(토지특성도)와 필지기준매칭을 함으로써 지적도에 TM좌표가 등록되며, 수치지도인 토지특성도와 수치지형도는 동일도엽의 TM좌표(도곽)체계로 구성되어 있으므로 도해법→필지기준매칭→도곽기준매칭을 통해 일반측량성과도에 도곽이 생성되며, 도곽을 기준으로 수치지도와 매칭을 할 수 있는 것이다.

2.2 지적도와 현황실측도 매칭

일반측량 및 토목설계를 실시하기 위해서 우선 개발대상지에 대해 경계복원 지적측량을 실시하게 되며, 일반측량은 현장에서 자체 도근점을 내린 후 경계측량 시 타설된 말목의 위치와 개발설계에 필요한 지형지물을 측량하여 성과를 작성하게 된다. 내업을 통해 지적도와 측량도를 매칭 하는데 각각의 도면을 그림 2와 같이 필지경계점을 기

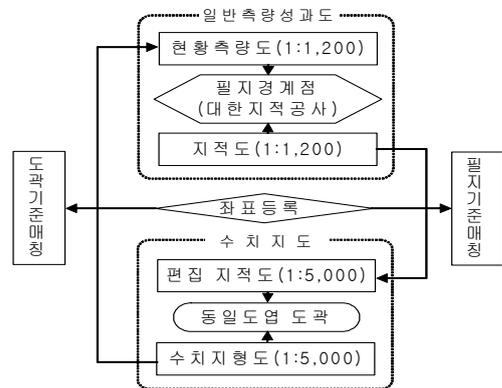


그림 1. 연구의 흐름도

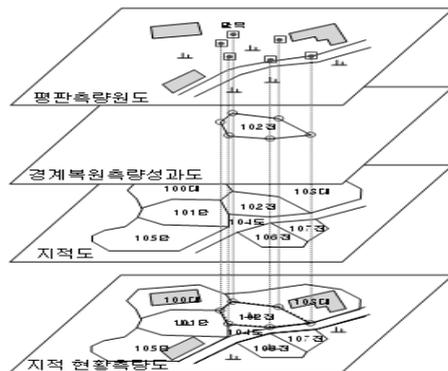


그림 2. 지적도와 현황측량도 매칭

준점으로 접합하여 매칭한다.

본 연구 대상지로 선정된 토지에 대하여 토털스테이션으로 선점한 자체 도근점 2점에서 지적 도근점으로부터 타설한 필지경계점 9점과 현황측량 300m×200m범위를 측량하였다.

그림 3과 표 1은 연구 대상지의 필지경계점에 대한 관측한 결과와 지적도와와의 편위, 상대오차, 표준편차로 정확도를 평가한 것인데 각각 도상 0.108mm와 0.267mm로 수치지도작성작업내규에 규정하는 상대오차(도상 0.7 mm) 및 표준편차(도상 0.4mm)를 만족하는 결과를 얻었음을 알 수 있다.

2.3 필지기준 매칭

필지기준매칭은 필지(지적)의 경계점 및 선의 형태를 가장 일치 또는 근사하도록 하여 위치를 결정하는 방법으로 반복적인 매칭과정을 통해 미세하게 위치를 수정(회

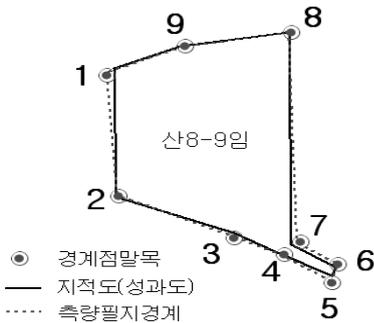


그림 3. 지적도와 관측점 위치 비교

표 1. 위치정확도 평가결과

점	편위 (m)	상대오차 (도상mm)	편차 (mm)	편차 ²
1	0.363	0.303	0.196	0.0384
2	0.044	0.037	-0.071	0.0050
3	0.103	0.086	-0.022	0.0005
4	0.006	0.005	-0.102	0.0104
5	0.076	0.063	-0.045	0.0020
6	0.112	0.093	-0.015	0.0002
7	0.253	0.211	0.104	0.0108
8	0.058	0.048	-0.060	0.0036
9	0.147	0.123	0.015	0.0002
평균	0.129	0.108	표준편차	0.267mm
결과	상대최대오차 0.303>0.70mm 표준편차 0.267>0.40mm로 만족			

전과 이동)하여 정성적으로 매칭패턴을 결정하는 방법이다. 이러한 매칭방법은 상위 정확도를 가진 지적도의 필지위치를 기준으로 대상 자료의 위치를 이동(translation), 회전(rotation)하여 수정 편집함으로써 일치점의 정확도를 향상시키는 작업이다.

2.3.1 점대점(Point to Point) 매칭

점대점 매칭은 두 자료 간에 일치하는 도근점이나 GCP, 표정점 등이 존재할 경우 정량적인 정확도의 도출 및 기대 정확도에 만족하는 위치결정이 가능한 매칭방법이다(그림 4). 주로, 두 매칭점 평면상 위치값(x, y좌표)을 이용해 Affine 변환에 의한 회전, 이동, 축척변환을 통하여 기준점 위치에 대한 매칭을 행한다(Sung-Chai Kim외, 2001).

2.3.2 선대선(Line to Line) 매칭

선대선 매칭은 동일지점의 점사상이 존재하지 않고 단순화한 선사상을 이용하여 정성적으로 매칭패턴을 결정하는 방법으로 유일한 패턴결정이 용이하지 않고 정량화된 정확도를 도출하기에는 무리가 있어 연구 및 적용의 사례가 거의 없다(그림 5).

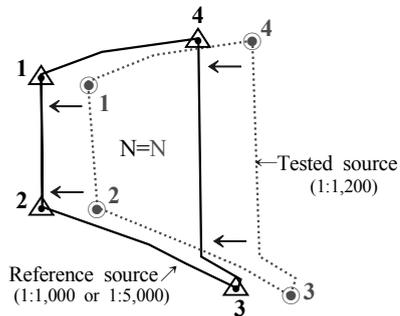


그림 4. Point to Point 매칭

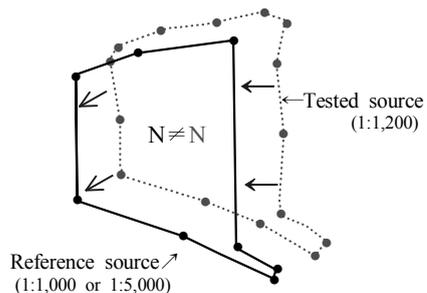


그림 5. Line to Line 매칭

2.3.3 중앙점 기반 회전매칭알고리즘

위에 설명한 선대선 매칭의 단점을 보완하고자 중앙점 기반 회전매칭알고리즘을 개발하였다(이상길, 2007). 이 방법은 다각형의 각 변을 이등분하여 연결한 다각형이 1/2씩 축소되어 무한소수 크기의 다각형 형태로 정점에 수렴하도록 중앙점을 구하고, 이를 기반으로 수 초(")에서 수 분('), 도(°)단위로 회전을 시켜 허용오차범위에 매칭율이 가장 높은 매칭패턴을 결정하는 방식이다. 그림 6과 같이 중앙점을 계산하고, 그림 7과 같이 중앙점을 기반으로 요구하는 매칭 정확도에 따라 초(")단위에서 분('), 도(°) 단위로 회전구간으로 세분화하여 360°회전시키며 매칭율을 분석한다.

매칭정확도 분석에는 Goodchild and Hunter가 1997년 제시한 방법을 이용하였는데 그림 8은 점사상이 아닌 선형사상으로 해석하는 방법으로 특히 도로나 필지경계와 같이 점(Point) 뿐만 아니라 선(Line)으로 표현되는 지물(feature)의 매칭 위치정확도를 측정하는 방법이다. 즉 기준자료(Reference source)에 허용 정확도 범위의 버퍼를 생성하고 실험자료(Tested source)와 중첩하여 버퍼 내에 속하는 실험자료(Tested source) 길이의 비율을 측정하여 허용표준편차 신뢰구간의 비교로 매칭의 정확도(매칭율)를 평가하는 것이다.

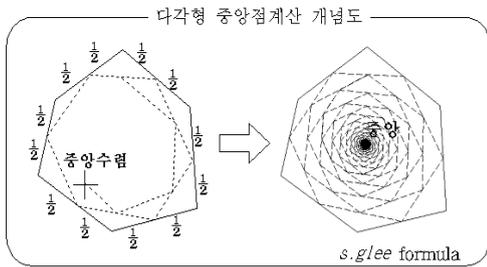


그림 6. 불규칙 다각형 중앙점 계산 개념도

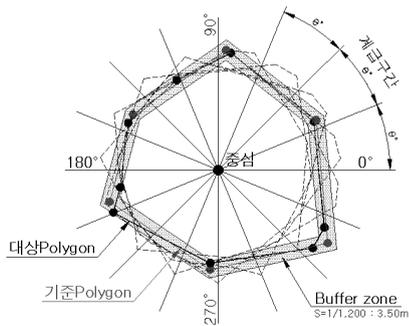


그림 7. 회전매칭 개념도

2.3.4 알고리즘에 의한 매칭 및 매칭율 계산

본 연구에서는 앞서 설명한 중앙점 기반 회전매칭알고리즘을 이용하여 연구 대상토지의 기준대상(1/5,000토지 특성도)과 테스트 대상(1/1,200지적도)의 중앙점을 구하고 두 중앙점을 기반으로 1도(°)씩 회전하여 버퍼크기 1~10m 각각에 포함되는 매칭율을 계산하였으며(그림 9), 그 결과는 표 2와 같다.

표 2에서 보듯이 본 연구에서 제안한 중앙점 기반 회전매칭 알고리즘의 매칭정확도는 버퍼크기 1~3m에서 92.7%가 정규분포 2σ구간에 포함되고, 식 (1)에 의해 계산된 기대정확도(±3.5m)를 버퍼 크기로 하여 분석하였을 때 93%의 신뢰수준을 보여 기대정확도에 충분히 만족하는 것으로 평가 되었다.

$$\begin{aligned}
 \text{기대정확도} &= \text{최대정확도} \times \text{축척분수} \\
 &= \text{도상} \pm 0.7\text{mm} \times 5,000 \\
 &= \pm 3.50\text{m}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

그림 10은 기대정확도 ±3.5m(1/5,000기준)에서 매칭율 93%의 매칭패턴을 보인 편집지적도와 일반측량성곽도 지적레이어의 매칭결과이다.

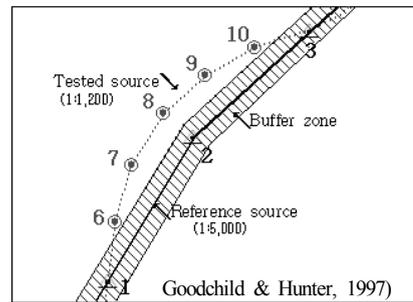


그림 8. 선형사상 매칭정확도 측정방법

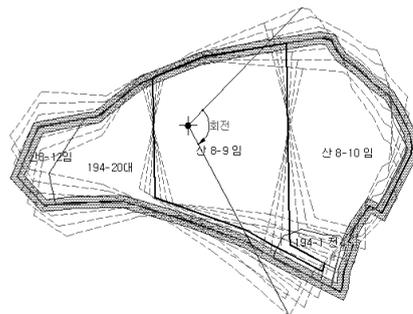


그림 9. 선형사상 매칭정확도 측정방법

표 2. 버퍼크기별 매칭율 계산

구분 버퍼크기(m)	필지경계선 전체 길이	버퍼포함 필지경계선 길이	버퍼포함길이 /전체길이비 (매칭율)	정규 분포 확률
1.00	599.3	429.7	71.7%	2σ (68.3~ 95%)
2.00	599.3	500.6	83.5%	
3.00	599.3	555.5	92.7%	
4.00	599.3	559.9	93.4%	
5.00	599.3	567.4	94.6%	
6.00	599.3	595.0	99.3%	3σ ↑ (95.1~ 100%)
7.00	599.3	599.3	100%	
8.00	599.3	599.3	100%	
9.00	599.3	599.3	100%	
10.00	599.3	599.3	100%	



그림 10. 매칭패턴 결정(매칭율93%)결과

2.4 지적도 TM좌표 등록

수치지도(토지특성도)와 필지를 기준으로 매칭된 지적도는 수치지도의 TM좌표 도곽내에 위치하게 되며 수치지도 도곽내의 객체위치 역시 TM좌표가 부여되게 되므로 수치지도 도곽내에 있는 지적도의 도곽에도 TM좌표가 등록되게 된다(그림 11, 12).

또한 ArcGIS8.1을 이용하여 각각의 객체에 TM좌표를 포함하는 속성테이블을 생성함으로써 지적도의 모든 필지노드에 좌표가 부여된다(그림 13).

2.5 도곽기준 매칭

필지기준매칭은 일반측량성과도에 포함된 지적레이어를 수치지도(토지특성도)의 연속지적과 중앙점 기반 회전매칭알고리즘으로 매칭을 한 것이다. 매칭을 통해 TM좌표의 도곽을 추출하고, 추출된 도곽을 일반측량성과도

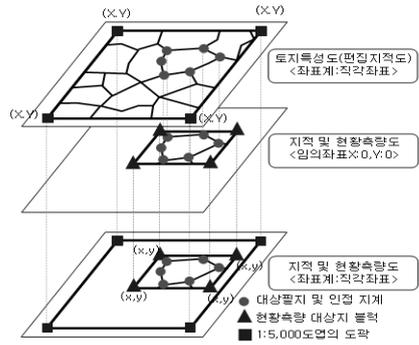


그림 11. 지적도 좌표등록 개념도

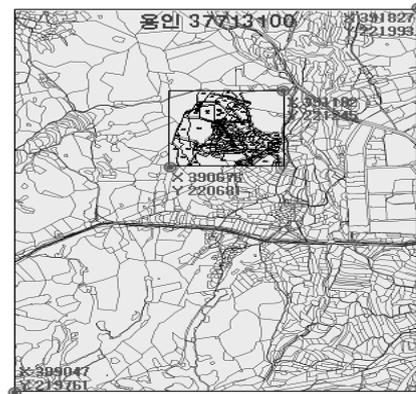


그림 12. 지적도 좌표등록 모습

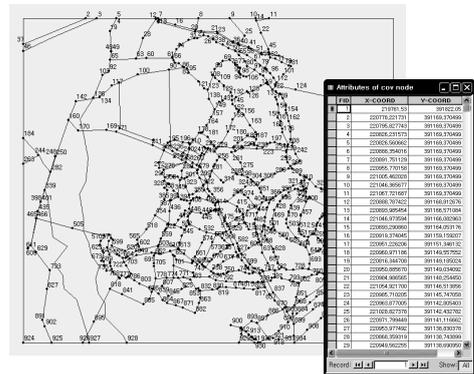


그림 13. 지적도 좌표속성 생성모습

의 현황실측레이어에 접합시킨다. 그 결과 일반측량성과도도 수치지도의 TM좌표 도곽을 갖게 됨으로써 모든 수치지도와 도곽을 기준으로 매칭을 할 수 있게 된다.

그림 15는 수치지도(수치지형도)와 일반측량성과도에 TM좌표 도곽 접합된 모습으로 도곽을 이용하여 도곽기

준매칭이 가능한 상태의 모습이다.

3. 수치지도의 수정갱신

3.1 레이어 분류

일반측량성과도의 지형정보를 수치지도의 수정갱신에 활용하기 위해서는 수치지도를 제작하는데 기준이 되는 수치지도작성작업 규칙에서 규정한 레이어코드 및 지형코드로 재분류하여야 한다.

수치지도(1/5,000수치지형도)는 세분류 지형코드 4자리 숫자로 표현되는데 일반측량성과도는 제도자나 업체의 자

체 매뉴얼에 따라 분류방법이 다소 차이가 있지만 숫자 코드가 아닌 객체의 용도와 성격 등을 직접명칭으로 사용하여 분류하는 것이 일반적이다. 표 3과 표 4는 각각 수치지형도와 일반측량성과도의 레이어분류체계 “건물”분류의 일부인데 예를 들어 “아파트”의 경우 수치지형도는 “4115”이고 일반측량성과도는 “건물” 또는 “건물(아파트)”로 분류한다.

이러한 일반측량성과도의 레이어 분류체계를 수치지도형도의 레이어코드로 재분류하는 방법은 AutoCAD나 Provec, MapInfo 등 객체 편집 범용 소프트웨어를 이용하면 비교적 간단한 방법으로 재분류를 할 수 있다.



그림 14. 도곽기준 매칭



그림 15. 수치지도 갱신요소 추출

3.2 수정갱신요소 추출

일반측량성과도의 레이어를 수치지도 지형코드로 재분류가 완료되면 육안판독을 통해 수치지형도 수정갱신 요소들을 일반측량성과도로부터 추출한다. 그림 16은 일반측량성과도로부터 1:5,000수치지형도에 누락된 최근에 건축된 아파트와 주차장, 개발 사업으로 공사 중인 주택과 담장, 수로, 도로 등과 수치지형도에도 표현된 기존주택들을 선정하여 추출한 것이다.

3.3 수치지도 수정갱신

지금까지의 연구과정이 중앙점 기반 회전매칭알고리즘에 의한 필지기준매칭, 일반측량성과도에 TM좌표 등록, TM좌표 도곽을 이용한 도곽기준매칭의 단계를 거쳐 레이어 재분류와 갱신요소 추출까지 완료되었다.

표 3. 수치지형도(1/5,000)레이어코드(지형코드)일부

대분류	중분류	소분류	세분류	분류코드 (조합)	내용	비고
4	1	1	4	4114	공사중건물	
4	1	1	5	4115	아파트	
4	1	1	6	4116	무벽건물	

표 4. 일반측량성과도 레이어코드분류체계 일부

수치지도 코드분류		일반측량성과도 레이어 분류체계	비고
레이어 코드	레이어 속성(대분류)		
3	도로	도로	
4	건물	건물	
5	지류	논밭	
		대지	
		담장 또는 울타리	

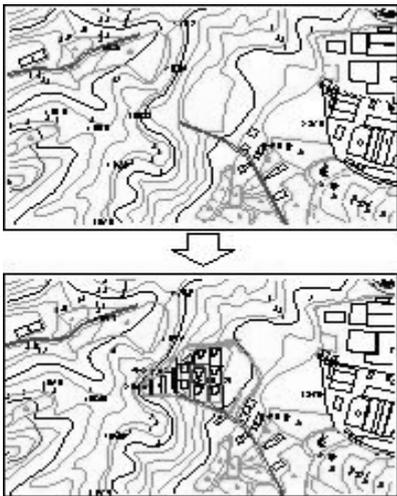


그림 16. 수치지도의 수정갱신 전후

마지막 단계로써 재분류되어 추출된 갱신요소를 매칭을 통해 접합된 TM좌표 도곽과 함께 새로운 파일로 저장하고 갱신이 요구되는 해당 수치지도 도엽과 도곽기준매칭을 하면 수정갱신이 완료된다.

4. 정확도 분석

일반측량성과도로부터 추출된 지형지물과 수치지도상의 같은 지형지물의 매칭된 위치를 이용하여 i) 위치의 정확성(正確性, Accuracy)과 ii) 모양의 유사성(類似性, Similarity), iii) 완전성(完全性, Completeness)을 평가하는 것으로 정확도를 분석 하였다.

평가결과 평가대상 건물 11동중 비교대상 누락건물 2동을 제외한 9동의 위치정확성은 상대오차 $\pm 0.23 \sim 2.56m \leq \pm 3.50m$ 로 기대정확도를 모두 만족하는 결과를 얻었다.

유사성 평가는 이원희(2003)가 수치지도 수정갱신 정확도 평가방법으로 채택한 방법을 응용한 것인데, 수치지도상의 건물과 일반측량성과도상 건물의 중첩 영역면적을 산출하고 각각의 건물면적과 차이를 비율로 환산하여 비율을 가중치와 정규화 하는 방법으로 평가하였다.

평가결과 중첩도는 63.48%~99.64%로 산술평균한 유사성은 67.38%~91.46%로 산출되었다. 이를 각각의 표본건물면적을 전체면적의 비율로 가중평균한 정규화(Normalization)된 유사성은 84.18%로 나타나 상당히 높은 유사도를 보였다.

완전성 평가는 현재의 실제지형지물을 얼마나 사실대로 반영하고 있는가를 비교한 것이다. 본 연구에서는 기준자료로 2002년 촬영한 항공사진을 이용하여 2000년에 제작

한 수치지형도와 2005년 실측한 일반측량성과 간 육안비교를 통해 지형지물의 획득정도를 평가하였다.

평가결과 비교대상 4개의 지형지물중 수치지도는 2002년 신축한 아파트1동과 일부건물2동이 누락되었고 일반측량성과도는 건물1동이 누락되어 각각 1/4(25%), 3/4(75%)의 완전성이 평가되었다.

더구나 일반측량성과도는 개발로 인한 지형변화시점의 지형정보이기 때문에 수시갱신자료로의 활용가능성을 발견할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구는 기준점 등을 사용하는 공공측량성과 위주로 제작되는 국가지리정보(NGIS)자료 (박용철, 2006)인 수치지도의 수정갱신에 일반측량성과도를 활용하는 방안을 제시하였다. 일반측량성과도는 주로 민간 토지개발사업의 인허가 등 공공의 의사결정 자료로 활용되고 있고, 측량장비의 첨단화 등으로 정확도도 향상되어 약간의 제도적 뒷받침과 자동화율의 증대가 보완된다면 수치지도의 수시수정갱신자료로 활용하는데 무리가 없을 것으로 판단하였다. 또한 매칭기법으로 활용된 중앙점기반 회전매칭알고리즘과 기존의 맵 매칭 알고리즘들(topological, probabilistic and a fuzzy-logic based map-matching algorithm 등)의 장점들을 통합 연계하고 결과를 검증하는 방법(Mohammed 외, 2006)이 보완된다면 일반측량성과도 뿐만 아니라 다양한 공간자료를 수치지도의 수시수정갱신자료로 활용할 수 있을 것으로 판단하였다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2006, "지역·지구 등의 지형도면 작성을 위한 지침 작성연구", pp. 17-18, pp. 42-43, pp. 54-62, pp. 85-90, pp. 103-113, pp. 155-177.
2. 건설교통부, 2003, *GIS DB 실시간 갱신방안에 관한 연구*, 국가 GIS지원연구 보고서 2003-68호.
3. 김용일, 편무욱, 1996, "동영상과 수치지도의 결합에 관한 연구", *한국지형공간정보학회 논문집*, 제4권 제2호, pp. 161-172.
4. 김원대, 이강원, 박흥기, 2000, "준공측량 도면을 이용한 수치지도 수정/갱신", *한국지형공간정보학회 논문집*, 제8권 제1호, pp. 85-95.
5. 박용철, 2006, *수치지도 수시갱신을 위한 지형변화 탐지*, 서울시립대학교 도시과학대학원 공학석사 학위논문.
6. 송연경, 문두열, 백태경, 2005, *CCD 영상에 의한 수치지도 갱신에 관한 연구*, 동의대학교 대학원 박사학위논문.
7. 이상길, 2007, *일반측량성과도에 의한 수치지도의 수시갱신방법 개발에 관한 연구*, 서울시립대학교 도시과학대학원 공학석사 학위논문.

6. 이원희, 2003, *수치지도와 LIDAR 자료를 이용한 도시지역 건물 3차원 모델링에 관한 연구*, 서울대학교 대학원 공학석사 학위논문.
8. 최승필, 박종선, 최철순, 2004, "디지털 카메라를 이용한 수치도면 작성", *한국지형공간정보학회 논문집*, 제12권 제3호, pp. 91-97.
9. M. F. Goodchild and G. J. Hunter, 1997, "A simple positional accuracy measure for linear features", *International Journal of Geographical Information Science*.
10. Mohammed A. Quddus, Washington Y. Ochieng, Robert B. Noland, 2006, "Integrity of map-matching algorithms", *ELSEVIER, Transportation Research Part C* 14, pp. 283-302.