

수치임도망도 제작방법 및 정확도 비교

김태근* · 윤정숙* · 우충식* · 이규성* · 홍창희**

Comparison of Methodology and Accuracy of Digital Mapping of Forest Roads

Tae-Geun Kim* · Jong-Suk Yoon* · Choong-Shik Woo* · Kyu-Sung Lee* · Chang-Hee Hong**

요 약

임도는 산림자원을 효율적으로 관리하기 위한 주요 기간 시설물로서, 임업 시업측면뿐만 아니라 휴양, 산림재해, 산촌경제 등의 다양한 목적에 반드시 필요한 시설물이다. 우리나라에서는 지난 1980년대 이래 효율적 산림자원 관리를 위한 국가적 사업으로 임도개설이 활발하게 이루어져 왔으나, 저예산의 사업특성에 따라 정확한 임도 위치를 나타내는 임도망도가 제대로 갖추어져 있지 않다. 산림지리정보체계 사업의 중요 주제도로써 수치 임도망도의 개선이 시급한 실정이다. 본 연구의 목적은 현존 임도망의 위치를 정확히 보여줄 수 있는 수치임도망도의 제작 및 갱신 방법에 따른 수치지도의 정확도와 제작과정의 효율성을 비교분석하고자 한다. 국공유림과 민유림에 다양한 임도가 분포하고 있는 충남 오서산 지역의 35km 임도를 대상으로 GPS 측량, 위성영상, 정사항공사진, 수치항공사진 도화 등 네 가지 방법으로 수치 임도망도를 제작 비교하였다. 벡터지도의 정확도는 수치사진측량시스템으로 도화된 임도망도가 GPS를 이용한 실측 임도망과 가장 일치된 결과를 보여주고 있으나, 작업에 소요되는 시간은 다른 방법에 비하여 가장 길게 나타났다.

주요어 : 임도, 수치지도 제작, 지도 정확도, 정사사진, 수치사진측량

ABSTRACT : Forest road has been an essential infrastructure for various forestry practices as well as for recreational use, disaster management, and local economics promotion. Since 1980s, extensive network of forest roads has been constructed as a national project in Korea.

*인하대학교 공과대학 지리정보공학과(ksung@inha.ac.kr)

**한국건설기술연구원 GIS/LBS 연구센터

However, due to the minimal-budget of the project, accurate maps of forest road are not usually available. Although forest road map is a main thematic layer for the Forest Geographic Information System (FGIS), its locational accuracy has not been sufficient for the practical applications and, therefore, the update of digital forest road maps is urgent. The objectives of this study is to compare the methodology of generating and updating digital forest road maps from the aspects of the map accuracy and the efficiency of methods. Four mapping methods (GPS surveying, satellite imagery, ortho aerial photograph, and digital photogrammetry) were applied to generate the forest road maps over the study area of Mt. Oseo in Chungchungnam-do, which has a 35km forest roads distributed on national, public and private forests. The forest road map produced by digital photogrammetric method is the most accurate and comparable to GPS surveying although it required the greatest amount of labor time.

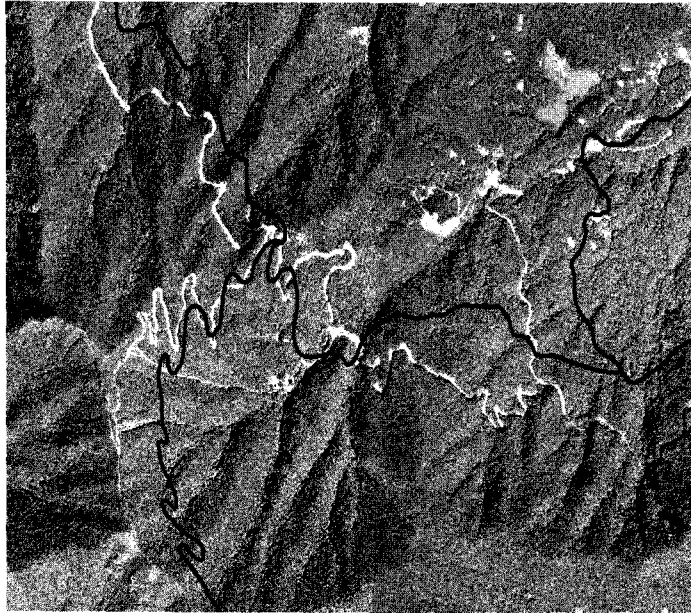
KeyWords : Forest road, digital mapping, map accuracy, orthophoto, digital photogrammetry

1. 서 론

조림, 벌채, 육림 등을 위한 기계적 임업을 위한 선결요건으로 적절한 임도(forest road)가 구비되어야 한다. 임도는 또한 최근 자주 발생되는 산불이나 여름철 산사태 등의 재난 발생시 효율적 대처와 복구에 필요하며, 그 밖에 휴양 및 산촌경제에 기여 등 그 중요성이 증대되고 있다. 우리나라에서는 1968년 임도 개설사업이 시작된 이래 1980년대부터 본격적인 임도사업을 꾸준히 수행해 온 결과 2002년까지 전국적으로 15,356km의 임도가 개설되었다. 임도의 길이를 산림의 면적으로 나눈 임도밀도는 2.39m/ha이지만, 약 10m/ha의 밀도를 가진 임업선진국들에 비해 현저히 낮기 때문에 산림청에서는 장기적으로 2030년까지 총 56,000km의 임도를 확보하는 계획을 추진하고 있다(산

림청, 2004). 한편 새로운 임도의 개설과 함께 고려하여야 할 사항은 현존하는 임도에 대한 유지와 관리를 철저히 하는 점이다.

산림청에서는 전국 산림자원에 대한 효율적 관리를 위하여 산림지리정보체계(FGIS: Forest Geographic Information System)를 구축 운영하고 있다. FGIS에는 임상도, 산림이용기본도, 국유임소반도, 임도망도 및 산림입지도의 5개 산림관련 주제도를 갖추고 있으며, 이 중 임도망도는 임도노선, 소유구분, 시공년도, 시설 거리 및 구역, 연장거리, 시설물 현황 등의 정보를 제공한다(산림청, 2002). 그러나 현존 수치임도망도는 1/25,000 지형도위에 개략적으로 그려진 종이 임도망도를 수치화한 것에 불과하여 임도의 실제 현황과 많은 차이를 나타내고 있다. [그림 1]은 2001년 8월 항공사진을 이용하여 제작된 정사사진 위에 FGIS의 수치 임도망도를 중첩한 결



[그림 1] 충청남도 오서산 지역의 정사항공사진위에 중첩된 FGIS 수치임도망도의 위치오차

과를 보여주고 있다. 저예산으로 시행된 임도개설 사업의 특성상 정확한 임도의 위치를 보여주는 설계도면의 부재와 정밀한 임도측량작업이 곤란한 까닭에 이와 같은 수치임도망도의 위치 오차는 전국적인 현상이라 할 수 있다.

산림관리를 위한 현지 실무자의 입장에서 정확한 임도망도는 필요성이 날로 증가하고 있으며, 다양한 방법을 통하여 수치 임도망도를 자체적으로 제작 갱신하고 있는 실정이다(박세은, 2005). 본 연구의 목적은 현존하는 임도의 유지관리를 위한 첫 번째 조건으로서 정확한 임도망도의 필요성을 강조하고, 현재 FGIS사업으로 구축된 수치임도망도의 정확도 향상을 위한 수치지도 제작 및 갱신 방법을 비교하고자 한다. 더 나아가 수치임도망도와 같

이 벡터형 수치지도자료의 정확도 분석을 위한 방법론을 제시하고자 한다.

2. 벡터형 수치지도자료의 정확도 비교 방법

영상자료로부터 벡터형 수치지도자료를 획득할 경우 영상자료의 해상도에 따라 그 수치지도의 정확도가 결정된다. 본 장에서는 불규칙한 간격의 점들로 이어지는 벡터형 수치지도 자료들의 위치정확도를 표현하는 방법을 검토하고자 한다. GPS측량이나 위성영상 및 항공사진을 이용하여 수치 임도망도를 제작할 경우, 각각의 방법에 의하여 제작되는 벡터형 자료를 구성하는 점(node)의 위치는 대개 동일한 지

점이 아닐 경우가 많다. 이와 같이 점의 위치가 동일하지 않은 벡터형 자료의 정확도를 정량적으로 설명하기는 쉽지 않다 (Van Niel and McVicar, 2002).

벡터형 자료의 위치정확도를 측정하기 위한 접근 방법으로 기준자료와 비교자료에서 상응하는 점들을 가지고 비교하는 방법이 있으나, 두 자료로부터 상응점을 찾는 과정이 쉽지 않다. Kawaga 등(1999)은 선형자료에서 가상의 상응점을 구성하여 정확도를 비교하는 방법을 제시하였다. 기준자료와 비교자료에서 두 선의 형태 일치 여부를 가지고 벡터형 자료의 정확도를 비교하는 접근 방법이 상응점을 이용한 방법보다 널리 이용된다고 할 수 있다. Goodchild와 Hunter(1997)는 정확도가 높은 기준자료의 선을 중심으로 buffer를 형성한 후, buffer 구간에 포함되는 비교자료의 선의 비율을 가지고 선형자료의 정확도를 비교하였다. Tveite와 Langaas(1999) 역시 비슷한 방법을 제시하였는데, 기준자료의 선으로부터 폭을 달리하여 여러 개의 buffer 구간을 설정한 후, 비교자료를 그 위에 중첩하여 형성되는 면(polygon)의 수, 면적, 둘레 등의 통계값을 산출한 후 buffer의 폭과 면의 통계값 관계를 이용하여 정확도를 비교하는 방법을 제시하였다. 우리나라에서도 수치지도의 품질 평가를 하기 위하여 이와 같은 buffering 기법을 이용하여 위치오차의 허용 범위에 대한 기준을 결정하였다(박경식 외, 2001). Skopeliti와 Tsoulos(2000)는 선형 자료를 형태별로 유사한 구간으로 나눈 뒤, 각 구간의 기준점을 이용하여 수평위치정확도를 분석하고, 선의 정확도는 기준선과 비

교선이 이루는 면으로부터 Euclidean 거리, Hausdorff 거리 등을 이용하여 정확도를 비교하였다.

3. 연구 방법

3.1 연구지역의 수치임도망도 제작

연구 지역은 충청남도 보령시, 홍성군, 청양군에 걸쳐있는 오서산 지역으로 국공유림 및 사유림에 분포하는 약 35km의 임도를 대상으로 하였다. 이 지역의 임도는 산림청에서 관리하는 국유임도와 지방자치단체가 관리하는 민유림 임도로 이원화 되어 있으며, 임도의 유지관리 및 이용 실태가 다르게 분포하고 있다. 이 지역 역시 FGIS의 수치임도망도에 개략적인 임도 노선이 입력되어 있으나, 앞에서 언급하였듯이 노선의 정확도가 떨어지고 일부 민유림도의 경우 노선 자체가 누락되어 있는 형편이다.

연구지역에 분포하는 모든 임도를 대상으로 위성측위시스템(GPS)을 이용한 현지 측량, 정사항공사진 및 Landsat TM 위성영상에서 임도 추출, 그리고 수치사진측량시스템을 통한 도화의 네 가지 방법을 이용하여 수치임도망도가 제작되었다. 첫째로, 이 연구에서 벡터형 임도자료의 비교 기준이 되는 가장 정확한 임도노망자료는 2004년 4월 21일부터 3일 동안 GPS 측량을 통하여 획득하였다. Trimble사의 Pathfinder Pro-XR 측량 장비를 이용하여 임도노선 중심을 따라서 도보로 측량하였으며, 측정된 자료는 충남 서산에 있는

GPS상시관측소에서 제공되는 자료를 이용하여 보정 처리하였다. 보정 처리한 결과 수평위치오차 약 0.2m는 수치지도 작성 작업 내규에서 1:1000 축척 지도의 오차 허용범위 이내에 포함되므로 정확도 비교를 위한 기준 자료로서 적합하다고 할 수 있다.

수치임도망도 제작을 위한 두 번째 방법은 2001년 8월에 촬영된 1:15,000축척의 항공사진 8장을 정사보정한 후 화면에서 직접 임도망을 디지털화하였다. 세 번째 방법은 수치사진측량시스템을 통한 입체도화에 의하여 제작되어진 임도로서, 두 번째 방법에서 사용된 항공사진의 양화필름을 스캐닝(scanning)하여 얻어진 수치영상을 이용하였다. 촬영당시 카메라 내부 상황을 재구현하는 내부표정은 카메라보정계수와 사진지표를 이용하여 10 μ m 이내로 수행하였다. 사진좌표와 지상좌표를 연결하는 외부표정은 8장의 항공사진의 외부표정요소와 지상좌표를 동시에 조정하는 항공삼각측량을 4점의 지상기준점을 이용하여 수행하였다. 내부표정요소와 외부표정요소를 이용하여 형성된 입체모델에서 입체경을 이용하여 수치임도를 도화하였다.

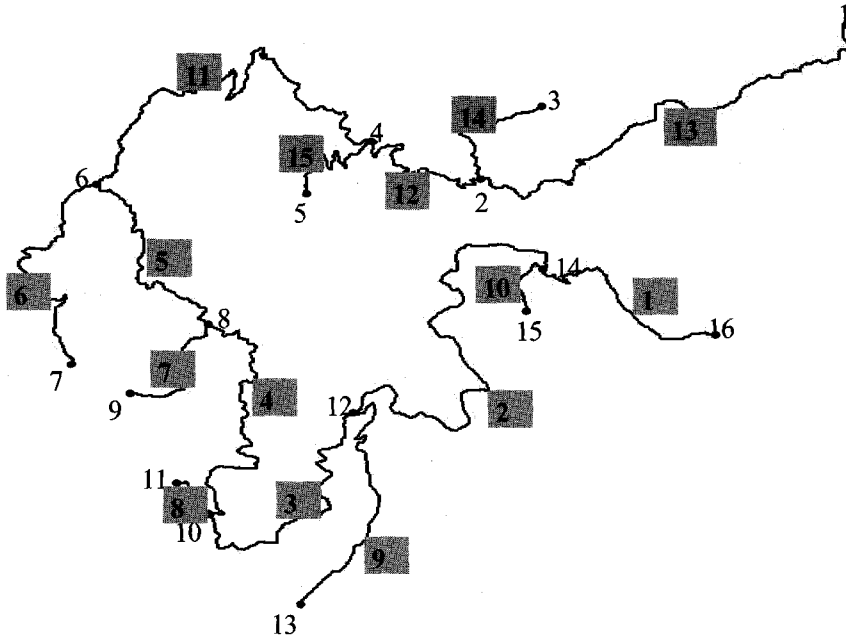
수치임도망도 추출을 위한 마지막 방법은 1999년 5월에 촬영된 Landsat TM 위성 자료를 이용하는 방법이다. 물론 30m 공간해상도를 가진 TM영상에서 정확한 임도망도를 추출하는 데 근본적인 한계가 있지만, 항공사진측량이나 GPS측량에 비하여 자료획득 및 처리과정이 단순하고 한번에 넓은 지역을 포함하므로 전국적인 임도망도 제작을 위한 가능성을 검토하고

자 사용하였다. 1:5,000 축척의 지형도와 TM영상에서 확인할 수 있는 19개 지상기준점을 선정하여 단순 기하보정처리를 한 영상을 화면에 출력하여 육안으로 확인되는 임도망을 직접 디지털화하여 수치임도망도를 제작하였다.

3.2 수치임도망도 비교

벡터형 수치지도자료의 정확도는 선형을 구성하는 점들의 위치정확도와 선 형태의 유사성으로 구분되는 데, 이 연구에서도 수치임도자료의 정확도를 비교분석하기 위하여 이 두 가지 측면에서 비교하고자 한다. 첫째, 위치정확도 측면에서 임도 상에서 분기점 및 각 임도 구간의 시작점과 끝점의 좌표를 이용한 오차와 수치 지도의 정확도 비교에서 많이 사용되는 buffering을 이용한 분석을 통해 비교하였다. 둘째, 선형형태의 유사성 측면에서 선형자료를 중첩하여 두 선형자료의 변위에 의해서 형성되는 공간(폴리곤)을 이용하여 선형 자료의 형태유사성을 비교하였다. 또한 수치임도자료의 정확도외에 각 제작 방법에 따라 소요되는 작업의 효율성을 비교하여 현존하는 임도의 유지 관리에 필요한 수치임도망도 제작 작업의 현실적인 측면까지 고려하였다. 수치임도망도의 비교는 GPS를 이용하여 현지 측량된 임도 노선([그림 2])을 기준으로 하였으며, 정사항공사진의 디지털화, 수치사진측량시스템 및 기하보정된 TM 영상으로부터 얻어진 수치임도망도들을 비교 노선으로 하였다.

연속적인 점들에 의하여 연결, 형성되



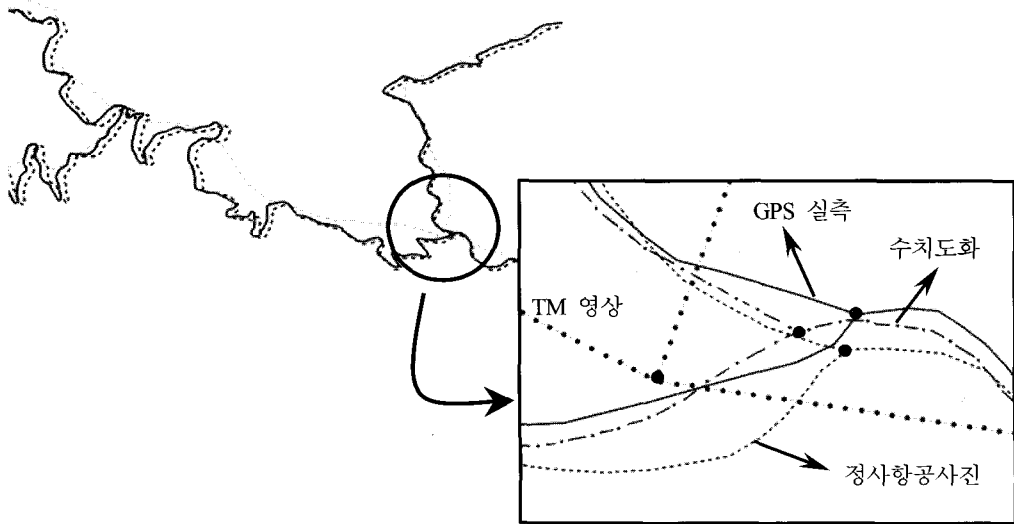
[그림 2] 위치정확도 비교를 위한 16개 지점(번호)과 임도구간(음영 번호)

어지는 선형 벡터자료는 정확도를 비교할 수 있는 공통된 점들을 선형 상에서 찾는 것이 쉽지 않다. 그러므로 비교 대상이 되는 선형자료들에서 공통적으로 존재하는 지점을 찾아 위치정확도를 측정한다. 모든 선형자료에서 공통적으로 존재하는 지점은 각 선형의 시작점이나 끝점, 분기점이 되므로 각 임도망에서 이러한 지점의 수평좌표를 측정하여 실측 자료와의 비교를 통해 평면 위치정확도를 측정한다. 연구지역의 임도에서는 16개 지점이 선형자료의 분기점, 시작점, 끝점이 되므로 이 지점의 위치정확도를 측정한다. [그림 2]는 대상 지역의 임도의 위치정확도를 측정하기 위한 16개 지점과 임도의 구간별 비교를 위하여 구간 번호를 표시하였다.

[그림 3]의 왼쪽은 앞서 설명한 네 가지

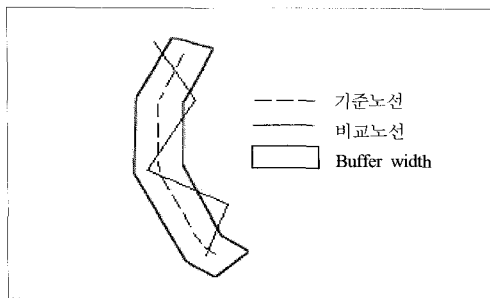
방법에 의하여 제작되어진 임도망을 모두 중첩한 연구지역의 한 부분을 보여주며, 오른쪽은 [그림 2]의 2번 분기점을 확대하여 보여준다. 각 임도는 2번 지점에서 분기되어지나 분기점 및 선의 위치가 각각 다른 것을 보여주고 있다.

임도 노선의 몇 개 지점을 이용하여 위치정확도를 살펴보는 것 외에 Goodchild와 Hunter(1997)의 Buffering 기법을 적용하여 정확도를 검증하였다. 위치정확도를 정량적으로 분석하는데 있어서 임도와 같이 선형적인 공간자료의 위치정확도 분석은 현실적으로 쉽지 않다. [그림 4]는 buffering 기법을 이용한 정확도를 비교하는 방법으로 보여주고 있는데, 기준 노선을 중심으로 일정 간격의 폭을 지정하여 비교 노선 중 이 폭(buffer)에 포함되는 길이의 비



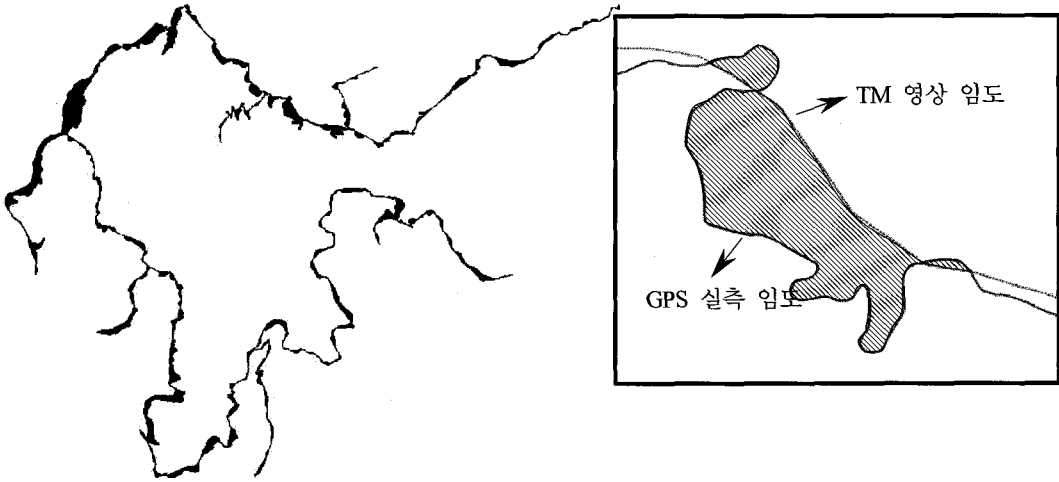
[그림 3] 네 종류 임도노선의 중첩(왼쪽)과 2번 분기점을 확대하였을 때 나타나는 각 임도망도의 위치오차(오른쪽)

올로서 정확도를 분석하는 방법이다. Buffering 기법을 이용한 정확도 비교는 공간처리 기능을 일괄 처리 할 수 있는 AML(Arc Macro Language)을 작성하여 처리되었다. 적용된 buffer 크기는 buffer 영역 내에 비교노선의 95%가 포함되는 buffer 폭을 산출하였으며, 두 선의 형태가 유사할 경우 좁은 buffer 영역에서 비교노선의 대부분이 포함되게 된다.



[그림 4] Buffering 기법에 의한 벡터형 수치지도자료의 비교

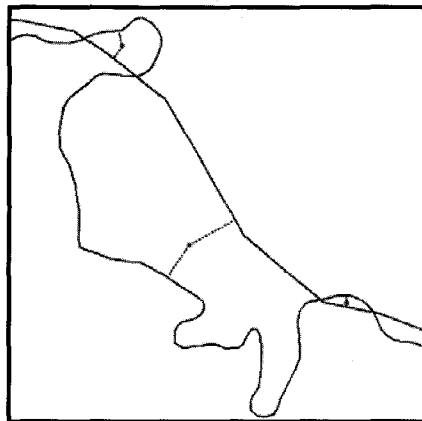
임도에서 추출된 특정 지점의 좌표 및 buffering 기법을 이용한 위치정확도 이외에 선형 자료의 형태유사성을 비교하기 위한 분석을 수행하였다. 이 방법은 기준노선과 비교노선을 중첩하여 형성되는 면(polygon)의 면적 및 두 임도 간의 최단 거리를 이용하는 방법이다. [그림 5]는 GPS를 이용한 실측 임도와 TM 위성영상에서 추출되어진 임도를 중첩함으로써 두 임도 사이에 형성되는 면(폴리곤)을 보여주고 있다. 그 공간은 세밀한 실측 임도와 TM 영상에서 추출한 개략적인 형태를 보이는 임도와의 차이를 보여주며, 이와 같이 기준선과 비교선 사이에 형성되는 공간(폴리곤)의 면적이 작을수록 두 선이 밀접도가 높게 된다.



[그림 5] 전 연구지역에 해당하는 GPS 실측 임도와 TM 영상에서 추출한 임도의 중첩에 의해 형성되는 폴리곤

형태유사성을 비교하기 위하여 적용된 다른 방법으로 두 임도노선의 중첩으로 형성된 폴리곤의 무게중심에서 각 임도까지 가장 가까운 거리를 계산함으로써 두 임도가 거리상 어느 정도의 차이를 보여주고 있는지를 살펴보고자 한다. [그림 6]은 두 임도에 의하여 형성된 폴리곤의 무게 중심에서 각 임도까지의 최단거리를 보여주고

있다. 그러므로 각각의 선분은 무게 중심점에서 각 임도까지의 가장 가까운 거리를 찾아낸 것으로, 이 거리가 짧을수록 두 선형자료의 형태유사도가 높은 것을 의미한다. GPS 측량에 의한 임도노선을 기준으로 세 가지 임도노선의 정확도 및 형태유사도 비교는 [그림 2]에서 보여준 15개 임도 구간별로 나누어 실시하였다.



[그림 6] 중첩에 의하여 형성된 공간(폴리곤)의 중심에서 각 임도의 거리

4. 결과 및 고찰

현지 GPS측량에 의한 임도노선을 기준으로 한 세 종류의 임도노선의 정확도는 먼저 16개 기준점의 수평위치와 15개 임도구간의 길이로 비교하였다. 표 1은 16개 지점의 수평위치오차를 보여주고 있다. 이미 [그림 3]에서 볼 수 있듯이 TM 위성영상에서 추출된 임도가 기준 노선에 비하여 가장 큰 위치오차를 보여주고 있

다. 항공사진에 비하여 공간해상도가 크게 떨어지는 TM 위성에서 임도의 미세한 굴곡이나 분기점을 정확하게 표시하는 것이 어렵기 때문에 이와 같은 위치오차는 어느 정도 예견되는 현상이다. 동일한 항공사진을 이용하여 추출된 임도노선의 위치정확도는 정사항공사진에서 19.18m이며 수치입체도화에서는 16.26m로 나타났다.

<표 2>는 GPS 실측을 포함한 네 가지 수치임도망도 방법에서 얻어진 임도의 구간별 길이를 보여주고 있다. 실측 임도의

<표 1> 확인이 가능한 16개 임도상 지점을 이용한 위치정확도 (RMSE-단위: m)

정사항공사진(RMSE)			수치도화 (RMSE)			TM 영상 (RMSE)		
평면	x	y	평면	x	y	평면	x	y
19.18	10.75	13.44	16.26	11.69	11.63	51.40	37.98	36.49

<표 2> 임도 구간별 길이 비교

(단위 : m)

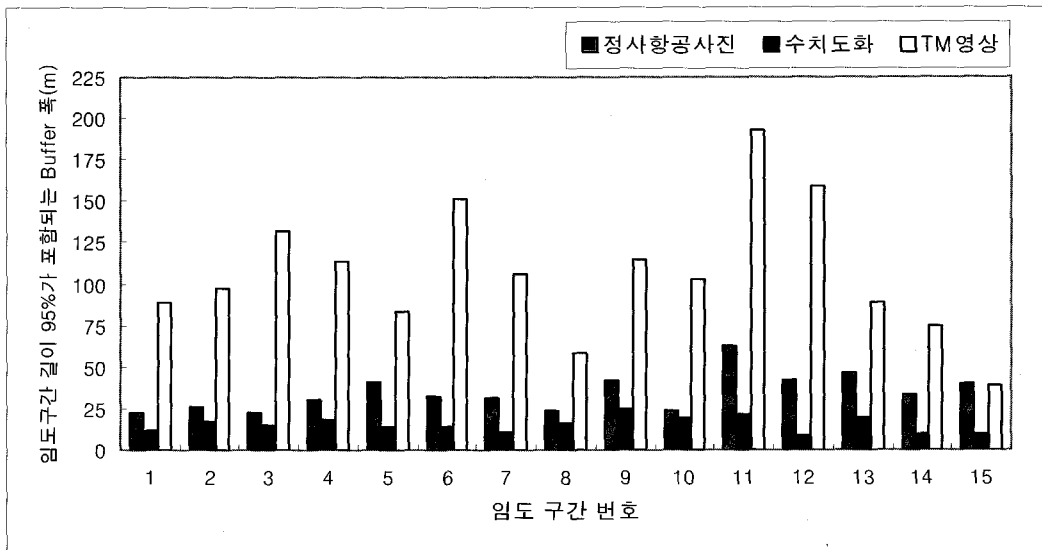
임도구간	GPS 실측 임도	수치정사사진	수치도화	TM 영상
1	1,915.084	1,880.496	1,902.615	1,671.506
2	4,563.410	4,546.955	4,558.157	4,643.892
3	2,778.236	2,804.315	2,811.583	2,437.332
4	3,064.961	3,032.227	3,042.864	2,243.151
5	2,125.565	2,133.324	2,111.150	1,815.411
6	2,558.120	2,564.646	2,569.428	2,120.580
7	1,194.214	1,222.656	1,215.718	1,009.031
8	405.950	395.402	388.934	354.131
9	2,623.259	2,655.612	2,647.693	2,307.673
10	621.867	616.308	608.583	586.268
11	4,522.65	4,537.752	4,427.392	3,372.242
12	1,943.199	1,885.535	1,908.069	936.601
13	4,206.200	4,133.069	4,318.485	3,535.635
14	1,257.333	1,239.609	1,248.363	1,065.602
15	1,565.252	1,580.572	1,561.442	813.543
합계	35,345.304	35,228.478	35,320.476	28,912.598

총 임도 길이의 차이를 비교해 보면 수치정사사진과 수치입체도화에 의한 임도는 각각 116.826, 24.828m의 차이를 나타내고 있다. 수치입체도화에 의하여 얻어진 임도는 GPS 실측 임도의 길이와 가장 근접한 값을 보여주고 있다. TM 위성영상에서 추출된 임도는 전체 길이가 실측 임도보다 6.4km나 짧게 나타나고 있는 데, 약 35km 전체 임도 길이를 감안하면 지형적 특성에 따라 굴곡이 심한 임도노선의 세밀한 부분을 나타내지 못하고 간략화됨으로써 상당부분이 누락되었음을 알 수 있다.

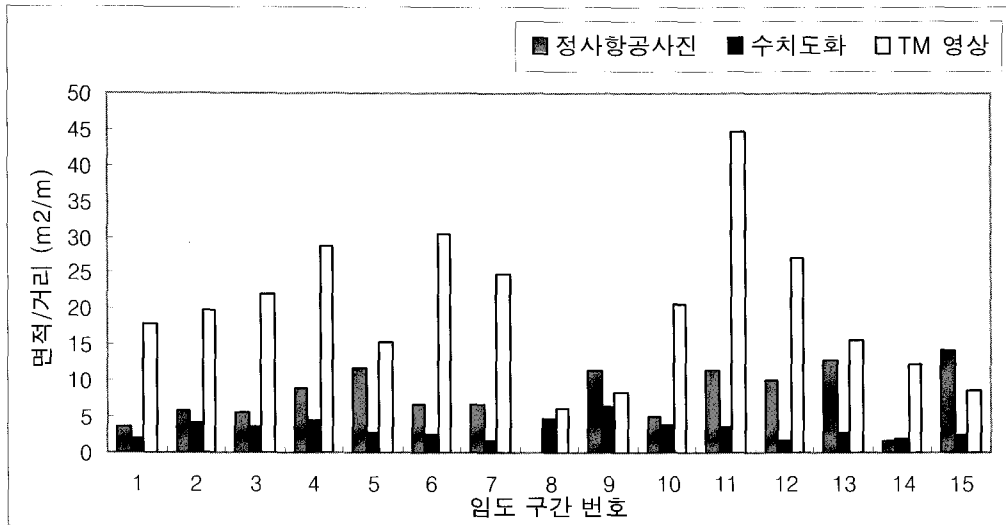
[그림 7]은 기준 임도노선을 중심으로 비교노선의 95%가 포함되는 buffer의 폭을 나타내고 있다. 임도구간의 굴곡도 등에 따라 다소의 차이가 있지만, 수치입체도화에 의하여 얻어진 임도노선이 가장 좁은 buffer 폭을 보여주고 있다. 구간별로 비교노선의 95%가 포함되는 buffer폭의 평균은 정사항공사진은 34.6m, TM 위성

영상은 106.6m, 그리고 수치입체도화는 15.3m로 나타났다. 위치정확도를 비교한 위의 세 가지 방법에서 모두 수치입체도화에 의하여 얻어진 임도노선이 가장 정확한 결과를 보여주고 있으며, 항공사진에 비하여 해상도가 떨어지는 근본적인 문제를 가지고 있는 TM 위성영상의 경우 정확도가 가장 낮음을 볼 수 있다.

두 가지 선형 자료의 중첩에 의해서 생성되는 폴리곤의 면적은 두 선의 형태 유사성을 비교하는 척도가 된다. [그림 8]은 각 임도구간별로 GPS 실측 임도와 세 가지 임도제작 방법에 의하여 얻어진 임도 각각을 중첩하여 얻어지는 폴리곤의 면적을 그 임도구간의 길이로 나눈 값을 보여주고 있다. 즉, 단위 임도길이에 대한 폴리곤의 면적 비를 말한다. 위치정확도와 마찬가지로 TM 위성영상에서 추출된 임도가 실측임도에 비하여 형태유사도가 크게 떨어짐을 알 수 있으며, 특히 임도의



[그림 7] 임도 구간별 세 가지 비교 임도의 95%가 포함되는 buffer의 폭



[그림 8] 기준임도와 비교임도를 중첩하여 형성된 폴리곤 면적 대비 임도길이 (m²/m)

굴곡이 심한 11, 4, 6, 12번 구간에 그 차이가 크게 나타나고 있다. 그러나 13번 구간과 같이 굴곡이 비교적 적은 임도구간에서는 TM영상과 정사사진에서 얻어진 임도의 형태유사도가 크게 차이가 나지 않는다.

기준노선과 비교노선을 중첩하여 형성된 폴리곤의 무게중심에서 두 임도까지 최단거리를 이용하여 두 선형 자료의 형태유사성을 비교한 결과, 앞의 다른 비교방법의 결과와 같은 결과를 나타냈다. <표 3>은 각 임도 구간별로 형성된 폴리곤의 중심에서 두 임도선까지 거리의 최대값과 합을 보여주고 있다. 이 거리가 짧을수록 두 선의 형태유사도 높기 때문에, 수치항공사진 도화에 의하여 얻어진 임도선이 가장 짧은 거리를 나타냈다. 13번 구간을 제외한 모든 임도구간에서 수치항공사진 도화 결과가 가장 짧은 거리 값을 보여주고 있다. 13번 구간은 다른

임도구간과 비교하여 임도의 굴곡이 심하지 않고 능선을 따라 비교적 곧게 임도가 개설된 구간이므로, 정사항공사진으로부터 얻어진 임도와 수치항공사진 도화 결과가 큰 차이가 나지 않고 있다. 기준자료인 GPS 측량결과에 TM 영상에서 얻어진 임도를 중첩하였을 경우, 가장 큰 차이를 보여주고 있는 데 특히 11번의 구간에서 최대 156.3m의 이격 거리를 보여주고 있다. 기준자료와 비교자료의 임도를 중첩하여 형성된 폴리곤의 면적과 거리 비교에서 모두 11번 임도구간에서 가장 큰 오차를 보여주고 있다. 11번 임도구간은 비교적 산림이 울창한 지역이므로 임도 주변 수관의 영향으로 항공사진 및 위성영상에서 정확한 임도노선을 추출하기가 까다로운 구간이므로 가장 큰 오차가 발생한 것으로 판단된다.

수치임도망도의 정확도 비교에 있어서 수치항공사진 도화에 의한 임도가 실측

<표 3> 기준임도와 비교임도를 중첩하여 형성된 폴리곤의 중심에서 두 임도선까지거리의 최대값과 합 (단위 : m)

임도구간	정사항공사진		수치도화		TM 영상	
	최대값	합	최대값	합	최대값	합
1	12.392	53.516	9.611	48.763	50.895	132.691
2	14.813	160.032	11.415	108.420	32.370	333.551
3	11.253	99.968	7.483	91.500	78.276	407.281
4	16.707	108.862	8.927	103.021	45.865	261.052
5	21.661	126.299	7.949	67.762	45.914	257.920
6	14.956	86.344	6.601	63.164	72.677	174.706
7	14.089	38.878	4.291	24.441	31.630	133.922
8	12.250	12.250	5.351	5.351	19.938	19.938
9	18.085	94.501	10.801	64.706	45.324	157.205
10	9.700	16.716	7.571	11.024	49.537	85.670
11	25.968	261.049	9.856	158.335	156.271	527.738
12	21.933	175.709	10.181	92.124	78.825	261.722
13	17.932	144.335	18.828	204.399	44.684	388.326
14	10.031	33.700	7.072	43.666	49.605	106.636
15	18.928	100.756	5.532	35.511	56.893	232.792
합계	240.698	1,512.915	131.469	1,122.187	858.704	3,481.15

임도와 가장 근접한 결과를 나타냈고, 공간해상력이 떨어지는 위성영상 제작되어진 임도가 가장 낮은 정확도를 보여준다. 그러나, 전국에 걸쳐 있는 15,000km의 임도에 대한 수치임도망도를 제작 또는 갱신할 경우 작업에 소요되는 시간과 비용 등이 고려되어야 할 것이다. <표 4>는 연구지역에 적용된 네 가지 수치임도망도 제작방법에 따른 작업과정별로 소요시간을 보여주고 있다. 가장 정확한 결과를 얻을 수 있는 GPS를 이용하여 임도 노선

을 할 경우 1시간당 도보로 약 2km 정도 측량할 수 있다. 물론 도로 상태가 양호한 경우 차량을 이용할 수 있지만, 임도의 경우 도로 상태가 열악하기 때문에 도보로 측량하여야 하는 경우가 많다. 본 연구지역의 35km 임도에 대한 GPS측량은 약 17시간이 소요되었다.

GPS 측량에 의한 전국적인 임도측량은 장비가격은 제외하더라도, 측량에 소요되는 시간과 인력이 과다하여 단 기간에 작업을 완료하기에 어려움이 많다. 항공사

<표 4> 네 가지 제작방법에 의한 연구지역 수치임도망도 제작 작업과정별 소요 시간

제작 방법	위성측위시스템 (GPS)		정사항공사진		수치사진측량시스템 입체도화		Landsat TM 영상	
	작업 과정별 소요 시간	현지 측량	도보 측량시 2km/1시간 ->약 17시간 (35km)	내부 표정	자동 1분/1장 -> 8분(8장)	내부 표정	자동 1분/1장 -> 8분(8장)	GCP 선정
지상 기준점 선정				16분/1점 ->약 1시간 4분 (4점)	지상 기준점 선정	16분/1점 ->약 1시간 4분 (4점)		
항공 삼각 측량				자동 1시간/1장 -> 약 8시간 (8장)	항공 삼각 측량	자동 1시간/1장 -> 약 8시간 (8장)	기하 보정	약 10분
정사 보정				자동 10분/1장 ->약 1시간20분				
GPS 자료 처리	GPS 상시관측자료 이용한 보정처리 후 좌표변환 ->약 20분	임도 도화	1분/150m -> 약 3시간 50분 (35km)	임도 도화	1분/100m (입체시 과정포함) ->약 5시간 50분 (35km)	임도도 화	10초/100m ->약 58분 (35km)	
계	약 17시간 20분		약 14시간 38분		약 15시간 2분		약 6시간 12분	

진을 이용하여 수치임도망도를 제작할 경우, 항공사진을 처리하여 정사사진을 얻거나 수치도화에 필요한 입체모델을 형성하기 위해 필요한 내외부 표정요소 산출 등 도화작업 전에 요구되는 처리과정에 많은 시간이 소요된다. 실제 임도노선을 도화하는 작업시간은 입체경을 이용해야 하는 수치항공사진측량사진 방법에 비하여 정사항공사진에서 도화하는 작업이 빠르게 이루어 질 수 있었다. 현재 보급이 확대되고 있는 디지털항공사진카메라에 의하여 촬영되는 사진은 표정작업이 자동으로 처리되므로, 정사사진제작 및 입체시를 위한 사전 작업은 아주 간단히 처리

될 수 있으므로, 실제 작업시간은 크게 단축될 수 있다. 수치사진측량시스템을 이용하여야 할 경우 시스템 구축에 필요한 하드웨어 및 소프트웨어 가격을 고려하여야 할 것이다.

본 연구에서 사용된 TM 위성영상은 낮은 공간해상도에 기인하여 제작된 임도망도의 정확도가 가장 낮게 나타났으나, 비교적 단순한 작업과정으로 수치임도망도 제작을 가장 빨리 이룰 수 있었다. 위성영상자료의 보급 확대와 TM영상보다 해상도가 높은 위성영상을 이용한다면 정확도를 향상시킬 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 현존하는 임도의 효율적 유지 관리에 필요한 보다 정확한 수치임도망도의 제작 및 갱신을 위하여 네 가지 제작방법을 비교 분석하였다. 벡터형 수치지도자료의 비교는 GPS를 이용한 실측 임도노선을 기준으로 수치항공사진의 입체도화로 제작한 임도, 정사항공사진과 TM 위성영상에서 화면 디지털화하여 제작한 임도를 비교하였다. 수치임도 노선의 위치정확도, 형태유사성, 그리고 수치임도망도 제작에 소요된 작업 시간을 통하여 비교하였다. 선형 자료의 위치정확도 측정을 위하여 임도에 존재하는 분기점 및 각 구간의 시작점과 끝점의 위치를 비교한 결과, 수치항공사진 입체도화에 의하여 얻어진 임도망도가 가장 정확한 결과를 보여주었으며, TM 위성영상에서 추출한 임도가 가장 정확도가 떨어지는 것을 알 수 있었다. 선형 자료의 형태유사성을 비교하기 위한 buffering 방법과 두 임도선의 중첩에 의하여 형성되는 폴리곤 분석법 등을 적용한 결과, 위치정확도와 마찬가지로 수치항공사진 도화에 의한 방법이 실측 임도와 가장 근접하게 나타났다. 즉, 수치임도망도를 제작 또는 갱신할 경우 수치항공사진 입체도화에 의한 방법이 높은 정확도를 보여주었다.

현재 전국의 임도는 약 15,000km에 이르고 앞으로 선진국 수준의 산림관리를 위해서는 임도 개설이 계속 확대될 전망이다. 따라서 수치임도망도의 제작 방법을 선정할 때 정확도와 함께 제작에 소요되는 작업시간과 비용이 함께 고려되어야 할 것이

다. 본 연구지역의 35km 구간에 대한 수치임도망도 제작에 소요된 시간을 비교한 결과, GPS 현지측량이 가장 긴 작업시간이 필요했고 TM 위성영상을 이용하였을 때 최단 작업시간이 나타났다. 항공사진을 이용하여 수치임도망도를 제작할 경우, 임도노선을 판독 도화하는 시간보다 도화하기까지 필요한 항공사진의 표정작업 등에 많은 시간이 소요됨을 알 수 있었다. 수치임도망도 제작만을 위한 수치항공사진측량을 적용하는 것 보다는 향후 다른 국가적 사업에서 보급이 확대될 정사항공사진과 디지털항공사진 등을 이용한다면 적은 비용과 노력으로 수치임도망도를 제작할 수 있을 것이다. 또한 수치임도망도가 활용되는 실무 분야에서 최대한 허용될 수 있는 오차범위를 고려한다면, 적은 비용과 작업시간으로 전국적 수치임도망도를 제작할 수 있는 위성영상자료도 대안이 될 수 있을 것이다. 결국 수치임도망도의 제작은 대상임도의 특성에 대한 고려와 함께 각 측량방법의 효율성 및 위치정확도의 객관적인 결과를 상호보완적으로 활용하는 방안에서 시행되어야 한다.

참고문헌

- 박경식, 임인섭, 최석근, 2001. 수치지도 일반화 위치정확도 품질평가, 한국측량학회지, 제 19권 제 2호, pp.173-181.
- 박세은, 2005. FGIS 장비 활용사례, FGIS Workshop 자료집. pp. 239-251.
- 산림청, 2004, 임정연차보고서
- 산림청, 2002, FGIS 구축을 위한 GIS 소프트웨어 비교 분석 연구.

- Goodchild, M., Hunter, G., 1997. A simple positional accuracy measure for linear features, *International Journal of Geographical Information Science*, 11(3):299-306.
- Kagawa, Y., Y. Sekimoto., and R. Shibasaki, 1999. Comparative Study of Positional Accuracy Evaluation of Line Data, Proc. of 1999 Asian Conference on Remote Sensing.
- Skopeliti, A. and L. Tsoulos, 2000, Estimating Positional Accuracy of Linear Features, Spatial Information Management Experiences and Visions, FIG Commission 3.
- Tveite, H. and S. Langaas, 1999. An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering, *International Journal of Geographical Information Science*, 13(1):27-47.
- Van Niel, T.G. and T.R. McVicar, 2002. Experimental evaluation of positional accuracy estimates from a linear network using point- and line-based testing methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(5):455-473.