

중해상도 위성영상을 이용한 지도제작 시험연구 A Pilot Project on Producing Topographic Map Using Medium Resolution Satellite Image

박희주* · 한상득** · 안기원*** · 박병욱****

Park, Hee-Ju · Han, Sang-Deuk · Ahn, Ki-Won · Park, Byung-Uk

要 旨

본 연구에서는 중해상도 위성영상으로 대표적인 SPOT, 아리랑, IRS-1C 위성영상에 대하여 각기 하나의 입체모형을 이용한 지도제작 실험을 수행하였으며, 각각에 대한 위치정확도, 판독 및 묘사가능한 지형지물의 분석, 기존 수치지도와의 비교 등을 통하여, 제작가능한 지도축척의 범위에 대한 기술적인 검토 및 경제성 검토를 하였다. 도화작업에 있어서, SPOT 영상은 수치입체도화기를 사용한 3차원 도화를 하였으며, 아리랑 및 IRS-1C 위성영상은 데이터에 대한 시스템 지원상의 문제가 있어서 영상정합 방법으로 수치표고모형을 생성한 후 정사보정영상을 제작하여 head-up digitizing에 의한 2차원 도화를 실시하였다. 실험 결과 중해상도 영상으로 큰 도로, 하천, 수애선 등 일부 항목에 대하여 판독과 묘사가 가능하였지만, 불가능한 항목이 많았다. 지도제작 측면에서 SPOT은 1/50,000 지형도 수정용, 아리랑 및 IRS-1C는 1/25,000 지형도의 수정용으로 활용이 가능하다고 판단되었다.

ABSTRACT

This study conducted pilot mapping project to know the possibility of mapping with medium resolution satellite imageries. For this purpose, mapping experiments were conducted with each stereo model imageries of SPOT, KOMPSAT, and IRS-1C. And positional accuracy, analysis of detectable and describable features, and comparison with existing digital map were checked, possible mapping scale and cost analysis were conducted with these results. Regarding SPOT imagery, digital photogrammetric workstation was used for stereoplottting. Regarding KOMPSAT and IRS-1C imageries, because there were data format support problems, head-up digitizing was performed with ortho imageries rectified with DEMs generated by image matching. The results of experiments show that such features as wide road, river, coast line, etc are possible to detect and depict, but many other features are not for SPOT, KOMPSAT, and IRS-1C imageries. On the aspect of mapping, therefore, SPOT is available for 1/50,000 topographic map revision, KOMPSAT and IRS-1C for 1/25,000 topographic map revision.

1. 서 론

위성영상은 공간해상력에 따라 크게 저해상도, 중해상도, 고해상도로 분류할 수 있다.¹⁾ 중해상도는 일반적으로 3 m(5 m)~30 m의 공간해상력을 지칭하며, 이 중 지도제작이 가능한 대표적인 위성영상으로 SPOT, 아리랑, IRS 등의 위성영상이 있다. SPOT 위성은 1986년 프랑스에 의해 처음 발사되었으며, 가장 최근에 발사된 것은 1998

년에 발사된 4호이다. SPOT 1~3호까지는 HRV 센서, 4호에는 HRVIR 센서가 탑재되었으며, 전정색모드(해상력 10 m) 및 다중분광모드(해상력 20 m)의 영상을 제공한다. 인도의 IRS 위성은 1988년의 1A를 시작으로 1D까지 발사되었으며, IRS-1C 및 1D 위성에는 공간해상력 5.8m의 전정색 영상을 제공하는 PAN 센서가 탑재되어 있다. 아리랑 위성(KOMPSAT)은 1999년에 국내에서 발사된 것으로, 지도제작을 위한 전자광학 카메라 EOC 센서가 탑재되어 있는데 공간해상력 6.6m의 전정색 영상을 제공한다.

중해상도 위성영상을 활용하기 위한 대표적 연구로, 박병욱 등에 의해 SPOT 영상을 이용한 DEM 제작 및 정

*신구대학 지적과 조교수
**국립지리원 향측과장
***경상대학교 토목공학과 교수
****한경대학교 토목공학과 부교수

사영상 지도제작에 대한 연구가 수행된 바 있으며^{2),3)}, 아리랑 EOC 위성영상에 대한 연구로는 조우석 등에 의한 정사영상제작에 대한 연구가 있다.^{4),5)} IRS-1C 영상의 활용에 있어서는 안기원 등에 의한 수치표고모델 생성 연구를 비롯하여⁶⁾ 1/250,000 세계지도제작을 위한 정사영상제작에 IRS-1C 영상이 활용된 바 있다.⁷⁾ 그러나 이러한 연구들은 주로 수치표고모형 제작, 위치정확도 검토, 정사영상제작 등에 치중하고 있다.

한편, 위성영상을 이용한 지도제작 측면에서는, 그동안 산업체를 중심으로 SPOT 위성영상을 이용한 지도제작이 수행되었으나, 이는 필름 형태로 제작된 SPOT 위성영상을 해석도화기를 이용하여 도화하는 것이었고, 도화작업의 가능성 및 도화된 지형·지물에 대한 정확도 평가 등만이 이루어진 상황이며, 지도제작시 중요한 축척의 기준, 지형·지물의 묘사 등에 관한 구체적인 방안 제시가 없었다. 따라서 본 연구에서는 중해상도 위성영상을 이용한 지도제작에 대한 종합적인 판단을 하기 위하여, 디지털 형태의 SPOT, 아리랑, IRS 위성영상에 대하여 수치입체도화기 및 컴퓨터 시스템을 이용한 지도제작 실험을 통하여 다각적인 연구조사를 수행하였다. 모든 세부도화작업은 경력 10년 이상의 도화사에 의해 진행되었다.

구체적으로는 각각의 입체 위성영상을 이용한 지도제작 결과에 대하여 위치정확도를 평가하고, 지도제작에 필요한 지형지물 요소에 대한 판독 및 묘사 가능성을 조사하고, 기존의 항공사진측량으로 제작된 수치지도와의 전체적인 비교를 통하여 제작 가능한 지도축척, 활용 가능한 범위에 대한 기술적 검토, 그리고 경제성에 대한 검토를 수행하였다.

2. 지도제작 실험방법

2.1 대상지역 및 사용영상

대상 지역의 선정에 있어서 1/1,000 및 1/5,000 수치지도가 제작된 수도권 일원에서 최신 촬영일의 위성영상

구입이 가능한 지역으로, 건물, 하천, 도로, 산악 등 추출 가능한 지형지물이 고르게 분포되어 있는 지역을 선정 기준으로 하였으며, 이에 따라 수도권의 안산, 안양, 시흥 일대지역을 주 대상지역으로 선정하였다. 그러나 아리랑 위성영상의 경우 동일 지역의 입체영상 구입이 불가능하여 대전지역에 대한 영상자료를 사용하였다.

지도제작에 사용된 각 위성영상에 대한 자세한 사항은 표 1과 같다.

2.2 사용장비 및 작업방법

2.2.1 SPOT 위성영상

SPOT 영상처리에는 수치입체도화기인 인터그래프사의 ImageStation2000 시스템을 사용하였다. 이 장비는 편광에 의한 입체시를 지원하며, 제공되는 위성모델로는 SPOT, IRS, LANDSAT, IKONOS가 있다.

ImageStation의 작업흐름에 따라 먼저 위성의 궤도 및 자세정보, 지상기준점을 이용하여 영상에 대한 외부표정요소를 구하였다. 이로부터 Epipolar Image를 생성하여 입체시를 하면서 세부도화를 수행하였다. 전체적인 영상처리의 흐름은 그림 1과 같다.

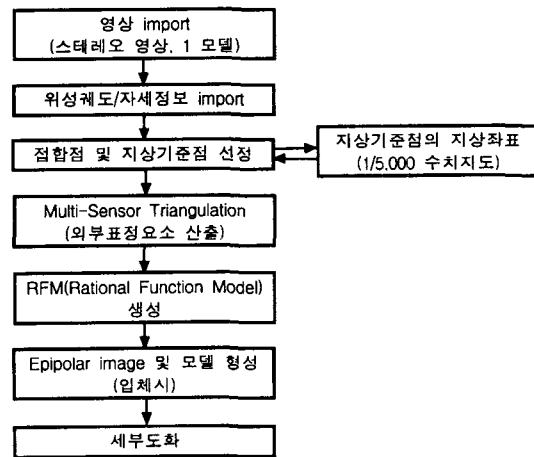


그림 1. SPOT 위성영상처리 흐름도

표 1. 연구에 사용된 위성영상 제원

위성영상 종류 (공간해상력)	SPOT(10 m)		아리랑(6.6 m)		IRS-1C(5.8 m)	
	좌측영상	우측영상	좌측영상	우측영상	좌측영상	우측영상
영상취득일	1998. 11. 3	1998. 11. 3	2000. 3. 9	2000. 3. 1	1998. 11. 5	1999. 10. 18
Path/Row	303/275	304/275	927/1325	928/1325	140/44	140/44
촬영경사각(°)	L17.9	R30.4	-28.92	+4.28	+23.29	-14.97
처리수준	Level 1A	Level 1A	Level 1A	Level 1A	Level 1A	Level 1A

지상기준점은 1/5,000 수치지도와 위성영상에서 모두 식별이 가능한 점을 선택하였으며 3차원 좌표를 동시에 취득하기가 용이하지 않은 관계로 수평기준점, 수직기준점으로 분리하여 각각 27점, 24점을 선점하였다. 접합점으로는 좌우영상에 고르게 분포된 34점을 선택하였다.

2.2.2 아리랑 위성영상

ImageStation2000에는 아리랑 위성영상 모듈이 없으며, DLT(Direct Linear Transformation)나 다항식을 이용해 근사적인 센서모델링을 하는 기능이 없다. 한편 일반 위성영상처리 소프트웨어인 PCI OrthoEngine7.3에서는 도화기능은 취약하지만 일반 Pushbroom센서에 대한 모델링을 지원하고 수치표고모형생성, 정사영상생성이 가능하므로, 이 기능을 이용하여 아리랑 위성영상으로부터 영상정합 방법으로 수치표고모형을 추출한 후 정사보정을 수행하였다. 이후 인터그래프의 Image Analyst를 이용하여 head-up digitizing으로 2차원 도화를 실시하였다.

작업의 흐름은 그림 2와 같다. 번들조정을 위하여 18개의 접합점 및 GPS 실측에 의한 7개의 지상기준점을 선택하여 사용하였다. 수치표고모형은 2화소 간격(13.2m)으로 추출하였으며, 수치표고모형의 정확도 검증에 위해 1/5,000 수치지도에서 표고점 40개를 높이 및 평면 분포

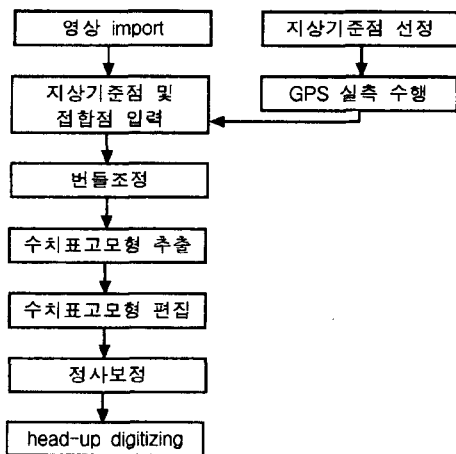


그림 2. 아리랑 및 IRS-1C 위성영상처리 흐름도

가 고르게 추출하여 비교하였다. 전반적으로 표고가 높은 산악지역이 평지 및 도심지보다 오차가 크게 나타났으며, 104 m의 과대오차가 발생한 1점을 제외한 나머지의 RMSE는 13.96 m로 나타났다.

2.2.3 IRS-1C 위성영상

본 연구에 사용된 IRS-1C 영상은 한국지구관측센터에서 수신한 Superstructure 포맷의 영상이다. ImageStation 2000에서 IRS 모듈을 지원하고 있어 화면에 출력하는데에는 문제가 없었으나, 영상 header의 위성자세 및 위치정보 부분이 표준화된 국제적 포맷과 다르게 되어 있어, 이를 ImageStation에서 자동으로 인식하는데 실패함으로써 3차원 도화를 할 수 없었다.

따라서 IRS-1C 영상도 아리랑 영상과 같은 방법으로 2차원 head-up digitizing을 수행하였다. 접합점으로는 좌우영상에 고르게 분포된 16개의 점을 선택하여 사용하였으며, 지상기준점으로는 9점의 GPS 실측성과를 이용하였다.

2화소 간격으로 수치표고모형을 자동 추출하였으며, 아리랑 영상의 경우와 마찬가지로 40점에 대하여 1/5,000 수치지도와 비교하여 정확도 검증을 하였다. 그 결과 산악지역에서 최대 59 m의 과대오차가 발생하였고, 이러한 50m이상의 오차를 가지는 4점을 제외할 경우의 RMSE는 11.53 m로 나타났다.

3. 지도제작 실험 결과 및 평가

3.1 위치정확도 평가

지도제작 결과에 대한 위치정확도 평가를 위하여 각 영상별로 20개의 검사점을 고르게 배치하였다. 검사점에 대하여 SPOT 영상의 경우 GPS 실측에 의하여 3차원 좌표를 취득하였으며, 아리랑 및 IRS-1C 영상의 경우에는 1/1,000 수치지도에서 평면좌표를 독취하였다. 위치정확도 평가결과는 표 2와 같으며, 여기서 SPOT 위성영상의 경우는 1점이 매우 큰 과대오차를 나타내 이를 제외한 결과이다. 세 가지 위성영상 모두 수평위치의 평균계

표 2. 종해상도 위성영상을 이용한 지도제작의 위치정확도 평가 결과

구 분	SPOT		아리랑		IRS-1C	
	RMSE	최대오차	RMSE	최대오차	RMSE	최대오차
수평위치오차	10.60 m	19.67 m	6.43 m	13.59 m	5.89 m	8.99 m
수직위치오차	9.58 m	25.55 m	-	-	-	-

표 3. 중해상도 위성영상의 판독성 종합 결과

구 분	Identify	Distinguish between	Detect	판독불가	Other	합계
SPOT	19(24.36%)	2(2.56%)	13(16.67%)	34(43.59%)	10(12.82%)	78(100%)
아리랑	11(18.65%)	1(1.69%)	6(10.17%)	28(47.46%)	13(22.03%)	59(100%)
IRS-1C	17(22.37%)	0(0.0%)	14(18.42%)	30(39.47%)	15(19.74%)	76(100%)

곱근오차(RMSE)가 각각의 해상도와 비슷한 것으로 나타났다. 최대오차는 해상도의 약 2배 정도가 되는 것으로 나타났다. 3차원 도화가 실시된 SPOT 위성영상에서의 수직위치오차는 9.58 m, 최대오차 25.55 m로 나타났다.

3.2 판독 및 묘사가능성 평가

SPOT, 아리랑, IRS-1C 위성영상에 대한 판독 및 묘사가능성을 분석하기 위하여 사용된 지형코드는 ‘수치지도작성작업규칙’(건설교통부령 제17호-1995년 5월 개정)에서 규정하고 있는 1/25,000 축척에 해당하는 항목들을 기준으로 하였고 지도도식규정을 참조로 하였다.^{8),9)} 1/50,000 지형도의 경우에도 1/25,000 지형도와 같은 항목들을 사용한다. 9개의 대분류 항목 중 현지조사에 의해서만 구분할 수 있는 행정 및 지역경계와 주기를 제외한 7개 대분류 항목에 대하여 분석하였으며 이는 총 89개의 세분류 항목으로 이루어졌다. 한편 각 위성영상별로 대상지역에 존재하지 않는 지형코드를 수치지도에서 검색하여 이를 미리 제외하였으며, 그 수는 SPOT이 11개, 아리랑이 30개, IRS-1C가 13개로 각각 조사되었다.

판독성의 평가는 Detect, Distinguish between, Identify의 3단계로 하였으며, 그 의미는 다음과 같다.

■ Detect : 대상물 중에 설치 시설, 특정 목적 대상, 활동 또는 관심있는 항목이 현존하는가의 여부를 대상물의 일반적인 모양이나 화상 상의 인접한 다른 물체들과의 관계성에 근거하여 발견할 수 있는 경우

■ Distinguish between : Detect된 두 개의 대상물이 서로 다른 형태를 가지거나 다른 계층에 속해 있다는 사

실을 하나 이상의 특색에 근거하여 밝힐 수 있는 경우

■ Identify : 대상물을 외형과 상세한 구성요소에 근거하여 형태나 계층별로 명명할 수 있는 경우를 말하는데 외형과 구성요소에 대한 정보는 오직 영상을 통해 얻어진 것이어야 한다.

각 위성영상에 대한 판독성 분석 결과는 표 3과 같으며, 여기서 Other는 두가지 이상의 판독 형태를 갖는 경우이다. 묘사가능성은 완전묘사, 대부분묘사, 경우에 따라 묘사, 묘사불가 등으로 분석하였으며, 그 결과는 표 4와 같다. 구체적으로 세분류 항목별 판독 및 묘사가능성에 대한 결과를 표 5에 나타냈다. 전체적으로 보면, 일부 두러진 지형지물에 대하여 판독과 묘사가 가능하며, 지도제작에 필요한 많은 항목들을 판독하거나 묘사하지 못하는 것으로 나타났다. 한편 아리랑, IRS-1C 위성영상의 경우, 스테레오가 아닌 정사영상을 사용하였으므로 능선, 건물 등 여러 지형지물 판독에서 SPOT 보다 못한 결과가 나온 것으로 추정된다.

3.3 기존지도와의 비교

각 위성영상에 대한 세부도화 결과의 일부를 그림 3~그림 5에 나타냈다. SPOT 위성영상의 도화결과는 1/50,000 지형도와 비교하였으며, 아리랑 및 IRS-1C 위성영상은 1/25,000 수치지도와 비교하였다. 각 대분류 항목을 기준으로, 묘사정도, 비교 대상물에 대한 누락여부 정도, 선형 지형지물에 대한 선형의 일치성 등을 비교하였다. 한편 시설물의 경우 모든 영상에서 묘사불가이었으므로 제외하였으며, 아리랑 및 IRS-1C에서는 2차원 도화만 이루어졌으므로 지형에 대한 비교를 하지 않았다.

표 4. 중해상도 위성영상의 묘사가능성 종합 결과

구 분	완전묘사	대부분묘사	경우에 따라	묘사불가	합계
SPOT	12(15.38)	19(24.36%)	13(16.67%)	34(45.59%)	78(100%)
아리랑	5(8.47%)	15(25.42%)	9(15.25%)	30(50.84%)	59(100%)
IRS-1C	8(10.53%)	20(26.32%)	13(17.10%)	35(46.05%)	76(100%)

표 5. 중해상도 위성영상의 세분류 항목별 판독 및 묘사가
가능성

대분류	세분류	항목	SPOT		아리랑		IRS-1C	
			판독	묘사	판독	묘사	판독	묘사
철도	보통철도		D	○	D	○	D	○
	특수철도					D	○	
	건설중철도		D	○				
	지하철		D	○		D	○	
	삭도		N	×	N	×	N	×
	철교		I	○	I	○	N, D	○
	고가부		I	○	B	○	N, D	○
	실폭하천		I	◎	I	◎	I	◎
하천	세류(폭10m이하)		N~I	△	N~I	△	N~I	△
	건천		N	×	N	×	N	×
	호수, 저수지		I	◎	I	◎	I	◎
	해안선(섬)		I	◎			I	◎
	해안선(육지)		I	◎			I	◎
	제방(기호표시)		N, D	△	N	×	N, D	△
	방조제(콘크리트)		I	◎			I	△
	방조제(흙)							
	방파제(기호표시)							
	배수갑문		N	×			N	×
	보		N	×	N	×	N	×
	잔교(콘크리트)		I	○			I	×
	잔교(목재)							
	나루(자동차용)							
	나루(사람용)							
	나루노선							
	해수욕장		D	△			D	△
	갯벌		I	◎			I	◎
	모래		N, D	△	N, D	△	D	△
	습지		N, D	△	N, D	△	D	△
	염전		I	○			I	○
	용수구역		D	△			I	○
	집수경계		B	○	I	△	I	○
	수역경계		B	○	I	○	I	○
	담유역계		I	◎	I	◎	I	◎
	폭포							
	도로	고속도로		I	◎	I	◎	I
일반국도			D	○	D	○	D	○
지방도			D	○	D	○	D	○
면리간 도로			D	○			D	○
부지안도로			N	×	N~I	△	N, D	△
소로(기호표시)			N	×	N, D	△	N, D	△
터널안도로			N	×	N	×	N	×
건설중도로			I	○	I	○	I	○
콘크리트교			D	○	D	○	D	○
강교			D	○	D	○	D	○
고가차도			I	○	I	○	I	○
터널입구			N	×	N	×	N	×

표 5. 계속

대분류	세분류	항목	SPOT		아리랑		IRS-1C		
			판독	묘사	판독	묘사	판독	묘사	
건물	주택외건물		D	○	N~B	△	N~B	△	
	주택		N	×	N	×	N	×	
	연립주택		N	×	N	×	N	×	
	공사중건물		N	×	N	×	N	×	
	아파트		B, I	○	B, I	○	B, I	○	
	콘크리트돌담		N	×	N	×	N	×	
	집단가옥경계		I	◎	I	○	I	◎	
	생울타리		N	×	N	×	N	×	
	지류	지류계		I	○	I	◎	I	○
		기타경계		D	△	N, D	△	N, D	×
논			D, I	○	D, I	○	D, I	○	
밭			D	△	N, D	○	N, D	○	
과수원			N	×	N, D	×	N, D	×	
목초지			N	×	N	×	N, D	×	
황무지			D	△	N, D	△	N, D	×	
조립지			N	×	N	×	N	×	
묘지			N	×	N	×	N	×	
능묘			N	×	N	×	N	×	
명승고적			N	×	N	×	N	×	
성			N	×	N	×	N	×	
유적지			N	×	N	×	N	×	
채석장			D, B	△	D	×	D	△	
토취장			D, B	△			D	△	
골재채취장			D, B	△			D	△	
광산									
온천			N	×	N	×	N	×	
시설물		동상		N	×	N	×	N	×
		전파탑		N	×	N	×	N	×
		등대		N	×			N	×
		우물		N	×	N	×	N	×
		관정		N	×	N	×	N	×
		굴뚝		N	×	N	×	N	×
		헬기장		N	×	N	×	N	×
		등고선		I	◎				
		등고선(블록지)		I	◎				
	지형	봉토지							
사태지									
벼랑바위			N	×			N	×	
너덜바위			N	×			N	×	
능선			I	◎	N-I	○	N~I	△	
성토(상단)			N	×	N	×	N	×	
성토(하단)			N	×	N	×	N	×	
성질토(하단)			N	×	N	×	N	×	

주) I : Identify, B : Distinguish Between, D : Detect, N : Not Detect
◎ : 완전묘사, ○ : 대부분 묘사, △ : 경우에 따라 묘사, × : 묘사 불가능

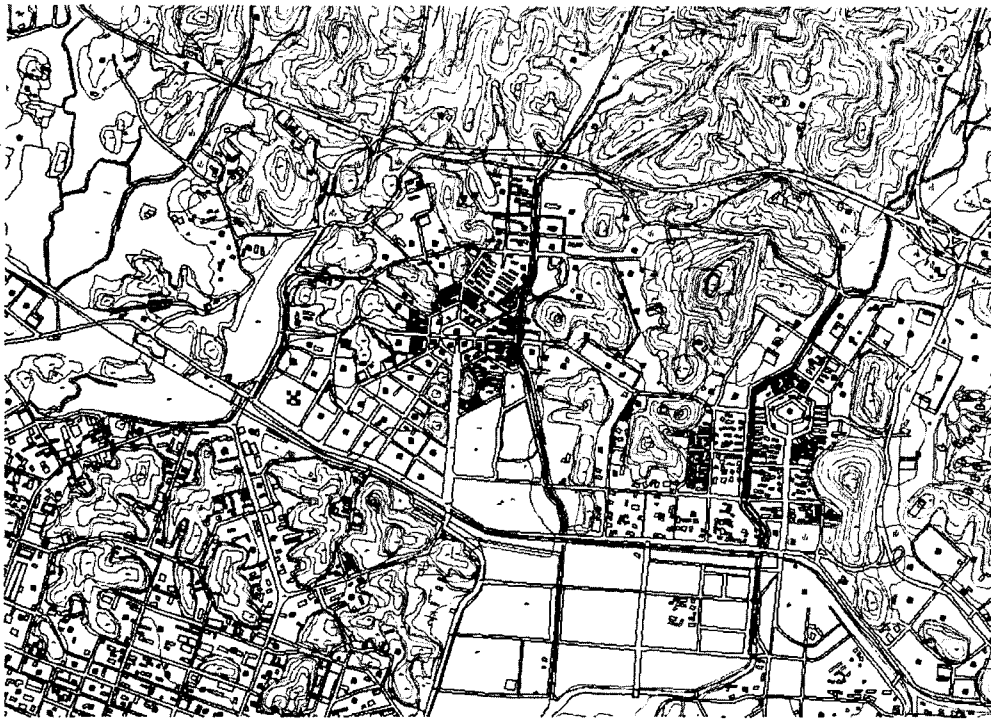


그림 3. SPOT 위성영상에 의한 3차원 도화 결과



그림 4. 아리캠 위성영상에 의한 2차원 도화 결과

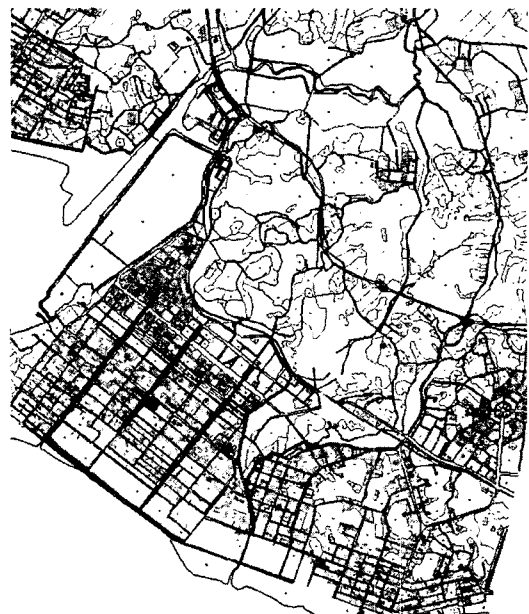


그림 5. IRS-1C 위성영상에 의한 2차원 도화 결과

3.3.1 철도

SPOT 영상에서는 철도는 대부분 추출가능하나 해상도

가 10m로 낮은 이유로 인해서 정확한 철도 노선을 묘사하기엔 불가능하였다. 이러한 이유로 도화사의 판독 착

오로 인해 선로가 세류로 잘못 표현된 경우도 발생하였다. 선형은 전반적으로 유사하나, 일치성 면에서는 일부 구간에서 다소 차이를 보이고 있다.

아리랑 영상에서의 철도는 여러 노선이 복합적으로 배열되어 있는 경우에는 정확한 묘사가 수행되지 못하나, 전체적인 선형에 대한 추출은 가능하였으며, 판독 오류로 인하여 철도가 도로로 묘사되어지는 경우도 있다.

IRS-1C 영상의 경우에도 철도의 전체적인 선형은 대부분 묘사되었다. 그러나 공간해상도의 문제로 역 부근에 여러 선로가 조밀하게 배치되어 있는 경우는 선로 자체의 판독이 어려웠으며, 실제 개수만큼 명확하게 묘사할 수 없었다.

3.3.2 하천

SPOT 위성영상에서 실폭 하천의 경우 대부분 묘사되었으며, 특히 호수, 저수지, 해안선 등을 표시하기 위한 수애선은 대부분 묘사되었고 누락도 없었다. 그러나, 영상 내에서도 육안으로 식별이 거의 되지 않는 세류의 경우에는 대부분 묘사가 불가능하였다. 기존 지도와의 비교결과, 하천과 육지와의 경계면을 묘사에 있어서 매우 흡족한 결과를 얻어내었으며, 그에 대한 일치성 또한 매우 정확하였다. 그러나, 세류, 간천, 제방, 보 등 일부 항목들에 대해서는 판독 자체가 어려워 묘사가 안되는 경우도 발생하였다.

아리랑 위성영상에서는 수치지도와 위성영상의 촬영시기의 차이로 인하여 시간에 따라 변화하는 퇴적층과 같은 요소들의 도화결과에서 차이를 보이고 있으나 하천 경계 및 흐름을 나타내는 선형을 추출하는 것은 가능하였다. 또한 저수지를 묘사하는데 있어서 유량의 차이로 인한 저수지 경계 묘사결과에 차이가 있지만 선형추출은 완벽하게 되고 있으며, 하천의 묘사에 있어서 가장 많은 누락을 보이는 항목은 세류 항목이었다.

IRS-1C 위성영상에서는 실폭하천의 경우 대부분 묘사되었으며 수치지도와 비교할 때 시간의 변화에 따른 선형과 폭의 변화까지 감지할 수 있었다. 수치지도에는 세류로 표시되었지만 영상에는 실폭으로 나타나고 흐름의 방향이 바뀐 것이 발견되었다. 이것은 위성영상을 이용하여 수계의 변화된 부분을 감지하고 묘사할 수 있다는 사실을 나타내고 있다. 바다와 인접한 해안선, 제방, 잔교의 경우 대부분 묘사되었으며 모래, 습지, 염전과 같은 수부 지형의 경우 큰 규모의 것에 한하여 그 경계와 기호가 묘사되었지만 중, 소형의 경우는 누락되거나 잘못

묘사되는 경우가 있었다.

3.3.3 도로

SPOT 영상의 지형지물 묘사에서 가장 많은 대상체의 판독과 묘사가 가능한 항목이 도로이다. 고속도로, 국도, 지방도 등 대부분의 도로가 선형의 추출 및 묘사가 가능하였으나, 부지안 도로, 소로 등 폭이 좁은 선형에 대해서는 육안으로는 식별이 가능하지만 묘사가 가능할 정도로 명확하게 판명되지는 않았다. 국가 지형도와의 중첩한 결과, 직선도로의 경우는 선형의 형태와 방향 등이 일치성을 보이고 있으나, 곡선도로의 경우 선형은 유사하나, 위치에 있어서 편차를 보이고 있었으며 일부지역에서는 일정 방향으로 편차를 가지는 경우도 발생하였다. 또한, 시가지 중심에서의 도로 교차로에서 전체적인 선형과 폭이 일치함을 보이고 있으나 도로의 모서리 부분이 명확하게 묘사되지 못하는 형태를 많이 볼 수 있었다.

아리랑 영상의 경우 고속도로 및 시내 중심가의 폭이 넓은 도로는 완전한 묘사가 가능하며, 그 선형 또한 기존 수치지도와 흡사하다. 그러나, 도심지의 도로 교차로를 표현하는데 있어서 정확한 도로 모서리를 추출하지 못하여 다소 과장되게 표현되어진 부분도 있다. 또한 산악지역을 통과하는 도로는 영상 내에서의 판독이 어려울 뿐만 아니라 정확한 선형을 추출해 내는 것이 어려웠다. 시가지 내의 좁은 도로들은 묘사가 전혀 되지 않았다.

IRS-1C 영상의 경우 소로와 부지안 도로를 제외한 대부분의 도로가 묘사되었다. 일부 입체교차부의 경우 명암이 분명치 않아 판독 및 묘사가 불가능하였다. 묘사된 도로들의 모양과 폭이 수치지도의 것과 조금씩 상이하였는데 이것은 영상의 해상도가 높지 못하여 도화사가 경험에 의하여 경계의 선형을 추출하는 경우가 많았기 때문이다.

3.3.4 건물

모든 위성영상에서 건물은 아파트와 공장, 학교 건물 등 중대형 건물들 및 일부 독립 건물만이 묘사되었으며, 단독주택 및 소규모 독립 건물의 경우 묘사가 거의 되지 않았다. 묘사된 건물의 형태나 위치에 있어서도 기존 지형도와 많은 차이를 보이고 있는데, 이는 지형도 자체의 편집과정에서 건물의 모양과 크기가 기호화되어지고, 단순화되어지는 이유인 것으로 판단된다.

3.3.5 지류

SPOT 영상에서는 지류계, 경지계 등 경계선들이 명확

히 구분되어 대부분의 선형 추출이 가능하였으나, 밭, 과수원, 목초지, 채석장, 토취장 등의 특정 목적으로 사용되는 토지에 대한 구분이 명확하게 이뤄지지 않는다. 따라서 판독 한계 내에서의 경계를 묘사하는 것이 가능하였지만, 확연한 사용 용도에 따른 지류 기호를 표기하기는 불가능하였다.

아리랑 및 IRS-1C 위성영상의 경우 지류경계는 대부분 묘사되었으나 수치지도 수준만큼 자세하지는 못하였다. 경지정리된 논외의 경우 판독 및 묘사가 가능하였으나 산지에 논, 밭, 과수원이 함께 배치되어 있는 경작지의 경우는 그 종류가 잘못 표시된 경우가 많았다.

3.3.6 지형

입체시에 의한 3차원 도화가 이루어진 SPOT 영상에서 대부분의 등고선 묘사가 가능하였다. 기존의 지형도의 등고선 형태의 일치성 정도를 비교해본 결과, 전체적인 모양과 윤곽은 비슷하지만 두 자료간에 정확하게 일치되지는 않으며, 기존 지형도 상의 등고선이 더욱 세밀하고, 자연스럽게 묘사되어지고 있다.

3.4 제작 가능한 축척 분석

제작 가능한 축척을 검토하기 위해 먼저 3.1절의 위치정확도를 평가결과를 기준으로 평가하고, 여기에 묘사 결과를 감안하였다. 현재 국내 기준으로 항공사진측량 작업내규, 수치지도작업규정, 지도도식규칙 등에서 단계별로 정확도에 대한 규정이 있으나, 최종성상에 대한 기준은 아직 명확하지 않다. 한편 1998년 국립지리원의 “수치지도 위치정확도에 관한 연구”¹⁰⁾에 따르면, 기존 1/1,000 수치지도에 대하여 실측을 통하여 위치정확도를 분석한 결과 수평위치오차는 ± 0.66 m, 표고점 수직위치오차는 ± 0.19 m로 분석되었음을 보여주고 있다. 또한 이 보고서에서는 현행 1:5,000 원도를 규정에 따라 수치지도로 제작할 경우 기대정확도가 수평위치 ± 5.02 m, 수직위치 ± 3.97 m 정도가 될 것으로 제시하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 상황을 고려하여, 위치정확도 평가 결과로부터 지도제작 가능 축척을 분석함에 있어서 위의 결과와 가장 유사한 일본의 위치정확도 기준을 적용하였다. 즉, 수평위치오차는 도상 ± 0.7 mm, 표고점의 수직위치오차는 주곡선 간격의 1/3을 기준으로 지도제작 가능 축척을 분석하였다.

SPOT 위성영상의 도화결과 수평위치오차는 10.60 m

로 나타나 1/25,000 지도의 수평위치오차(도상 0.7 mm 적용시 지상거리 17.5 m) 범위내에 들어오지만, 수직위치오차는 9.58 m로서 1/50,000 지도의 주곡선 간격인 20 m의 1/3(약 7 m)도 초과하는 것으로 나타났다. 또한 묘사 가능한 지형지물요소도 한정적이어서 지형도 제작 측면에서는 부적합한 것으로 평가된다. 따라서 SPOT 위성영상은 1/50,000 지도 중 신설도로나 철도 등 부분적인 지형요소에 대한 수정도화에 사용이 가능할 것으로 판단되며, 지형이 급격히 변화된 지역에 대한 1/50,000 지형도의 신속한 등고선 수정작업 등에 이용이 가능할 것이다.

아리랑 및 IRS-1C 위성영상에 대한 이번 지도제작 실험은 입체시에 의한 도화작업이 이루어지지 못하고, 정사보정후 head-up digitizing하였으므로 수평위치정확도만을 기준으로 평가하였다. 아리랑 영상의 수평위치오차가 6.43 m, IRS-1C 영상의 수평위치오차가 5.89 m로 각각 나타나 1/10,000 지도의 기준(7 m)을 만족한다고 볼 수 있다. 그러나 지형지물의 묘사 가능성 측면에서는 SPOT 영상처럼 많은 한계가 있는 것으로 나타났다. 물론 입체시 상태에서 작업을 하게되면 묘사 가능한 지형지물의 수가 보다 많아질 것으로 예상되지만, 이 경우에도 일부 지형요소에 대한 수정도화에 사용이 바람직할 것이다. 즉, 아리랑 및 IRS 영상은 1/25,000 지형도의 철도, 하천, 도로 레이어 중 일부에 대한 수정도화 작업에 활용이 가능할 것으로 판단된다. 기타 이러한 중해상도 위성영상들은 정사영상지도, 관광안내지도 등의 제작에 활용이 가능할 것이다. DMZ 지역처럼 접근이 안되는 지역의 경우 기존에 실측지도가 없다면 중해상도 위성영상을 사용하여 신규로 1/25,000 지형도나 1/50,000 지형도를 지도를 제작하기에는 적절하지 않으며 영상지도로는 활용이 가능하다고 판단된다.

3.5 지도제작 경제성 분석

각 위성영상별 지도제작의 비용을 조사하고 이것을 기존의 지도제작 방법인 항공사진 측량방법과 비교하였다. 그러나 이 두 가지 방법의 작업공정 및 작업여건이 서로 다르기 때문에 객관적인 비교는 불가능하였으며, 비교가 가능한 항목을 기준으로 구분해서 비교하였다.

3.5.1 작업계획 비용

작업계획의 소요비용은 도화축척 및 작업면적에 크게 좌우되지 않으므로 항공사진과 위성영상 작업으로 크게

표 6. 작업계획에 대한 소요비용

단위 : 원

공정	항목	항공사진	위성영상
작업계획	소요인원	고급기술자 1인 중급기술자 1인	특급기술자 1인 고급기술자 1인 중급기술자 1인
	일수	1일	2일
	소계	170,440	583,720
정리	소요인원	고급기술자 1인 중급기술자 1인	고급기술자 1인 중급기술자 1인
	일수	4일	3일
	소계	691,360	511,320
합계		861,800	1,095,040

구분하여 산정하였다. 표 6에서 보는 바와 같이 위성영상 작업이 새로운 기술분야이기 때문에 항공사진 작업보다 다소 소요비용이 많게 산정되었다.

3.5.2 자료취득 비용

항공사진의 촬영비용은 작업여건에 따라 가변성이 많아 정확히 산출하기가 곤란하지만 비교를 위하여 대상지역을 안산, 시흥 일대로 가정하여 산출하였다. 위성영상의 경우 1 scene의 면적이 상대적으로 넓어 해당축척의 지도를 여러 도엽 제작할 수 있지만, 입체면적이 관측조

건에 따라 가변적이며 또한 촬영지역을 항공사진처럼 정확히 해당 도엽에 맞게 임의로 조정하기가 어려운 점을 감안하여 여기서는 1개의 입체영상 모델로 지도 1도엽을 제작한다는 것을 가정하였다. 항공사진은 1도엽을 제작할 때 드는 비용을 기준으로 하였다. 표 7에서 보면 IRS 영상의 경우 항공사진 촬영보다 높게 산출되었으나, 위성영상의 포괄면적을 감안하여 비교한다면 전반적으로 위성영상에 의한 자료취득이 항공사진보다 훨씬 경제적이다.

3.5.3 기준점측량 비용

항공사진측량의 경우 품셈에 의하여 평면기준점, 표고기준점, 사진기준점으로 나누어 산출되지만, 위성영상의 경우 기준점측량의 방법 및 기준점 수에 대한 명확한 기준이 없다. 본 연구에서는 위성영상의 경우, 시험제작에서 주로 사용한 GPS측량을 기준(GPS에 의한 정밀2차기 기준점측량 품셈적용)으로 산출하였으며(SPOT 영상은 1/5,000에서 독취하였으나 11점을 GPS 측량하는 것으로 가정함), 결과는 표 8과 같다.

아리랑 및 IRS 영상에서 기준점측량 비용이 항공사진측량보다 매우 높게 산출되었으나, 이는 상대적으로 일반지상측량 품셈이 GPS측량 품셈보다 낮게 책정된 것에 기인하고 있다. 즉 위성영상이 소요 기준점의 수도 적으

표 7. 자료취득 소요비용

단위 : 원

	항공사진		위성영상			
	1/50,000	1/25,000	제작축척	1/50,000	1/25,000	
제작축척	1/50,000	1/25,000	제작축척	1/50,000	1/25,000	
사진축척	1/37,500	1/37,500	사용위성	SPOT	아리랑	IRS
대상면적	600 km ²	150 km ²	1 scene 면적	3,600 km ²	289 km ²	4,900 km ²
촬영비용	7,093,022	5,206,707	영상 구입비 (입체모델)	6,200,000	330,000	8,500,000

표 8. 기준점측량 소요비용

단위 : 원

	항공사진		위성영상			
	1/50,000	1/25,000	제작축척	1/50,000	1/25,000	
제작축척	1/50,000	1/25,000	제작축척	1/50,000	1/25,000	
평면기준점	20점	10점	사용위성	SPOT	아리랑	IRS
	13,644,460	6,822,230				
표고기준점	110.4 km	27.6 km	지상기준점	11점	7점	9점
	21,085,075	5,271,268				
사진기준점	32모델	8모델	GPS 측량비용	28,931,383	18,410,880	23,671,132
	3,150,368	787,592				
합계	37,879,903	12,881,090	합계	28,931,383	18,410,880	23,671,132

표 9. 수치도화 소요비용

단위 : 원

제작축척	1/50,000		1/25,000	
	도화방법	항공사진	SPOT	항공사진
소요인원	고급기술자 25.1인 중급기능사 251인	고급기술자 7.5인 중급기능사 75인	고급기술자 6.5인 중급기능사 65인	고급기술자 2.5인 중급기능사 25인
기계비	429,461	222,225	111,215	74,075
작업일수	251일	75일	65일	25일
합계	23,406,226	6,993,892	6,061,373	2,362,597

며, 또한 포괄면적이 해당 축척의 도엽면적보다 훨씬 크다는 것을 고려한다면, 기준점측량 비용에 있어서 위성영상이 항공사진보다 비경제적이라고 단정할 수는 없다.

3.5.4 수치도화 비용

위성영상에 대한 도화비용은 모두 3차원 입체도화를 가정하고 해당 축척의 1도엽에 대한 모든 요소를 도화하는 것을 가정하여 추정하였다. 표 9에서 보면 일반적으로 위성영상으로 도화하는 것이 훨씬 경제적인 것으로 분석되고 있다. 이것은 항공사진으로 작업을 할 때에는 모델 수가 많고 각 모델의 결과를 접합시키는 과정에도 많은 작업시간이 소요되지만, 위성영상으로 작업할 때에는 하나의 모델로 작업이 이루어지기 때문이다.

3.5.5 종합평가

이상의 각 단계별 소요비용을 종합하여 표 10에 나타냈다. 1/50,000 지도제작에 있어서는 SPOT 위성영상을 이용하는 것이 더 경제적인 것으로 분석되었다. 그러나 현재 1/50,000 지도는 직접 항공사진 측량을 하지 않고 1/25,000 지도를 편집하여 제작하고 있으며, 또한 SPOT 위성영상으로는 1/50,000의 모든 지형지물을 판독할 수 없는 것이 현실이다. 따라서 SPOT 위성영상은 1/50,000 지형도의 커다란 지형변화를 신속히 수정 도화하는데 경제적으로 활용할 수 있을 것이다.

1/25,000 지도제작에 있어서는, 자료취득 비용이 매우 저렴한 아리랑 위성영상을 이용하는 경우에 항공사진측량보다 경제적인 것으로 분석되었으며, IRS 위성영상을 이용하는 경우에는 항공사진보다 비경제적인 것으로 평가되었다. 그러나 IRS 영상의 경우에도, 가장 넓은 포괄면적(4,900 km²)을 가지고 있음을 고려한다면 탈락될 수 있다. 한편, 현실적으로 아리랑 및 IRS 위성영상 모두 1/25,000 지도의 모든 지형지물을 판독하기에는 어려움이 많다. 따라서 아리랑 및 IRS 위성영상은 1/25,000 지도

표 10. 도화축척별 1도엽 제작시 총소요비용 추정

단위 : 원

축척	도화면적	항공사진	위성영상	
1/50,000	600 km ²	69,240,951	SPOT	43,220,315
1/25,000	150 km ²	25,010,970	아리랑	22,198,517
			IRS	35,628,769

의 철도, 하천, 도로 등의 일부 레이어에 대한 수정도화 작업에서 항공사진측량보다 경제적인 수단으로 활용될 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 중해상도 위성영상에 의한 지도제작 가능성을 평가하고자 하였으며, 이를 위하여 SPOT, 아리랑, IRS-1C 등 3가지 위성영상에 대하여 각각 위치정확도, 판독 및 묘사 가능한 지형지물을 조사하고 시범제작한 지도와 기존의 수치지도를 비교하여 제작가능한 지도 축척과 경제성을 분석하였다.

그 결과 중 해상도의 위성영상으로써 지형도를 완전히 제작하는 것은 불가능하다고 판단된다. 그러나 지도상의 큰 도로, 철도, 하천, 수에선 등 일부 항목의 수정도화에 는 활용할 수 있으며, 적용 가능한 축척으로 SPOT은 1/50,000, 아리랑 및 IRS-1C 위성영상은 1/25,000 정도로 평가되었다.

이러한 위성영상별 지도제작 가능축척을 바탕으로 경제성을 분석한 결과, SPOT 및 아리랑 위성영상을 이용하여 해당축척의 수정도화에 활용하는 것은 기존 항공사진측량에 의한 방법보다 경제적인 것으로 분석되었다. 반면, IRS 위성영상의 경우에는 항공사진측량에 의한 방법보다 비경제적인 것으로 분석되었는데, 이는 주로 기준

점측량 비용의 산정시 서로 다른 측량폼셈을 적용한 것에 기인하고 있으며, 여기에 위성영상의 포괄면적을 고려한다면 위성영상으로 가능한 동일한 작업에 대해서는 항공사진보다 위성영상에 의한 작업이 경제적인 것으로 판단된다.

한편 위성영상은 지도제작측면 뿐만 아니라 수치표고 모델제작, 영상지도제작, 고속도로 및 철도망도, 관광지도제작, GIS 데이터의 개략적이고 신속한 수정 등 부가적인 활용측면이 많다. 따라서 우리나라에서도 이번 시범연구사업을 바탕으로 위성영상을 이용한 지도제작에 관한 기술축척을 해 나가야 할 것이며, 위성영상을 이용한 지도제작과 활용에 필요한 소프트웨어, 하드웨어 개발에도 많은 연구 및 투자가 병행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2000년 국립지리원의 연구지원사업의 일부로 이루어졌으며, (주)빔아엔지니어링에서 영상판독 및 도화 등의 자료처리를 하였습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박경윤, 이규성, 김계현, "위성영상정보 활성화 전략 연

- 구", 정보통신기술연구과제 99-22, 2000.
2. 박병욱, "SPOT 위성데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1991.
3. 국방과학연구소, "위성영상을 이용한 3차원 정사투영영상에 관한 연구", 1997.
4. 조우석, "다목적 실용위성(KOMPSAT)을 이용한 지형도 제작의 가능성 분석", 한국측지학회지, 제16권, 제2호, 1998, pp. 281-289.
5. 항공우주연구소, "다목적 실용위성 아리랑 1호 위성영상을 이용한 정사영상제작에 관한 연구", 2000. 4. 조우석, "다목적 실용위성(KOMPSAT)을 이용한 지형도 제작의 가능성 분석", 한국측지학회지, 제16권, 제2호, 1998, pp. 281-289.
6. 안기원, 이효성, 서두천, 신석효, "IRS-1C 데이터를 이용한 수치표고모델 생성에 관한 연구", 한국측지학회지, 제17권, 제3호, 1999, pp. 293-300.
7. 국립지리원, "지구지도제작 용역 결과보고서", 2000.
8. 대한측량협회, "지도도식규칙", 1994.
9. 대한측량협회, "측량관계법령", 2000.
10. 국립지리원, "수치지도 위치 정확도에 관한 연구", 1998.
11. 국립지리원, "위성영상을 이용한 제도제작 시험연구", 2001.

(2001년 11월 15일 접수)