

도로의 최적노선 선정시 고해상도 위성영상의 활용 방안

박병욱* · 최윤수** · 안기원*** · 강의성****

Applications of high resolution satellite image in road alignment design

Byung-Uk Park* · Yun-Soo Choi** · Ki-Won Ahn*** · Eui-Sung Kang****

요 약

현행 노선선정시 1:5,000 축척의 수치지도를 이용하여 계획, 검토하고 있으나, 수치지도는 수정, 갱신주기가 원활치 못하여 급속한 개발에 따른 지형·지물의 변화 등이 반영되지 않아 실제와 상이한 부분들이 존재한다. 이에 대한 대안으로서, 본 연구에서는 기존 노선계획 방법에 의해 수치지도를 기본자료로 사용하여 노선선정을 한 후, 이를 IKONOS 위성영상과 중첩하여 지형·지물의 사실적 표현을 통한 문제점을 파악하고, 이에 따른 노선변경을 하였다. 이로써 기본설계의 질적 내실화와 지형에 맞는 합리적인 도로의 선형을 도출할 수 있었으며, 차후 실시설계 단계에서의 노선변경을 미리 예방함으로써 경제성을 도모할 수 있었다. 한편, IKONOS 영상의 기하학적 보정에 있어서 지상기준점 수가 충분할 경우에는 TPS(Thin Plate Spline)변환을 효과적으로 활용할 수 있음을 알 수 있었다.

주요어 : 노선선정, IKONOS, 수치지도, TPS변환

ABSTRACT : Nowadays, digital maps of 1:5,000 scale are used to plan and review for road alignment design. However, the updating and modifying period of digital maps is not so harmonious as topographical changes caused by rapid developments can be reflected in digital

* 한경대학교 토목공학과 교수(Professor, Department of Civil Engineering, Hankyong National University)

** 서울시립대학교 지적정보학과 교수(Professor, Department of Geoinformatics, University of Seoul)

*** 경상대학교 토목공학과 교수, 경상대학교 공학연구원 책임연구원(Professor, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Researcher, Engineering Research Institute, Gyeongsang National University)

**** 극동엔지니어링(주) 도로2부(Geukdong Engineering Co., Ltd.)

maps, the different areas between real surface and digital map can be found easily. This research is aimed to suggest that the use of high resolution satellite image is effective way to get latest topographical information for road alignment design about wide region. IKONOS satellite images were geometrically corrected, and the road alignment data previously designed by traditional procedure were overlapped on the satellite images. As a result, the satellite image maps clearly described wrong road alignment, and modification of road alignment could be accomplished adequately. By these procedures, road alignment design was improved in quality, and could be reasonable and economic design to prevent modification that would be happened in the next step of practical plan. For the geometric correction method of IKONOS images, Thin Plate Spline(TPS) transformation with large number of ground control points, as well as ortho rectification, was effective.

Keywords : Road Alignment Design, IKONOS, Digital Map, TPS Transformation

1. 서론

도로의 노선계획에 있어서 계획지역의 주변상황에 대해 최신의 정보를 얻고 설계에 반영할 수 있도록 하는 것은 매우 중요하므로, 여러 차례의 현장조사와 수치지도 등의 정보를 수집하여 계획, 설계의 기본 자료로 사용하고 있다. 그러나 모든 대상지역을 현장조사한다는 것은 경제적, 시간적으로 제약이 따르고, 광범위한 지역을 한눈에 파악하는데 있어서도 용이하지 않다. 또한 수치지도도 종이 지도를 수치화하거나 항공사진을 수치도화한 것으로, 그 갱신 주기가 약 5년 정도로 최신의 정보를 수집하기가 쉽지 않다. 물론 새로이 항공사진측량을 하는 것이 가장 좋은 방법이라 할 수 있지만 노선의 기본적 선형을 결정하는 기본설계 단계에서는 경제성 등 때문에 실시하지 않고 본격적인 실시설계 단계에서 항공사진측량

을 실시하고 있다. 따라서 기본설계 단계에서 넓은 지역에 대해 최신의 정보를 얻기 위한 대안으로 인공위성을 이용한 원격탐사 자료의 이용을 제시할 수 있다(강준목 등, 2002).

위성영상은 센서기술의 발전에 따라 공간해상도가 나날이 향상되고 있으며, 대표적으로 미국 Space Imaging사의 IKONOS 위성은 1m 해상도의 전정색영상과 4m 해상도의 다중파장대영상을 제공하고 있고, 2001년에 발사된 EarthWatch사의 QuickBird 위성은 전정색영상의 해상도를 61cm 수준까지 향상시켰다. 이러한 고해상도 위성영상의 발전은 지형·지물의 판독을 대축척 수준까지도 가능하게 하고 있으며, 도시계획, 교통량 조사, 녹지계획, 주요 시설물 관리 등의 도시·토목공학 분야에서 활용 가능성이 증대되고 있다. 우리나라에서도 현재 공간해상도 6.6m의 아리랑 1호 위성을 운영하고 있으며, 2004년도에는 1m 해상도의 아리랑2호 위성발사를 계획

하고 있어, 향후 고해상도 위성영상의 활용이 매우 활발해질 것으로 예상된다. 그러나 아직까지 국내의 고해상도 위성영상에 대한 연구는 센서모델링(안기원 등, 2002) 및 지도제작에의 활용(국립지리원, 2001)이 주류를 이루고 있으며, 기타 분야에의 활용은 미진한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 노선계획 방법에 고해상도 위성영상을 활용함으로써, 노선 설계의 질적 내실화와 합리적이고 경제적인 선형의 도출을 도모하고자 하였으며, 이를 위하여 구체적인 위성영상의 처리 방법을 제시하였다. 일차적으로는 기존 노선계획 방법에 의해 수치지도(S=1:5,000)를 계획 설계의 기본자료로 사용하여 노선선정을 한 후, 이를 고해상도 위성영상과 중첩하여 지형·지물의 사실적 표현을 통한 문제점을 파악하고, 이에 따른 노선 변경을 실시하였다. 본 연구는 유성~천안간 도로축조 및 포장공사 기본설계 구간(총 연장 44km)에 대해 이루어졌다.

2. 수치지도를 이용한 노선선정

2.1 노선계획의 개요

노선계획은 크게 개략계획, 노선선정(기본설계), 도로설계(실시설계)의 3단계로 분리할 수 있다. 먼저 개략계획 단계에서는 1:50,000~1:25,000 지형도를 바탕으로 광역적 관점에서 노선대의 기본축을 결정하며, 노선선정 단계에서는 개략계획에서 선정된 노선대에 대해서 1:5,000 수치지도

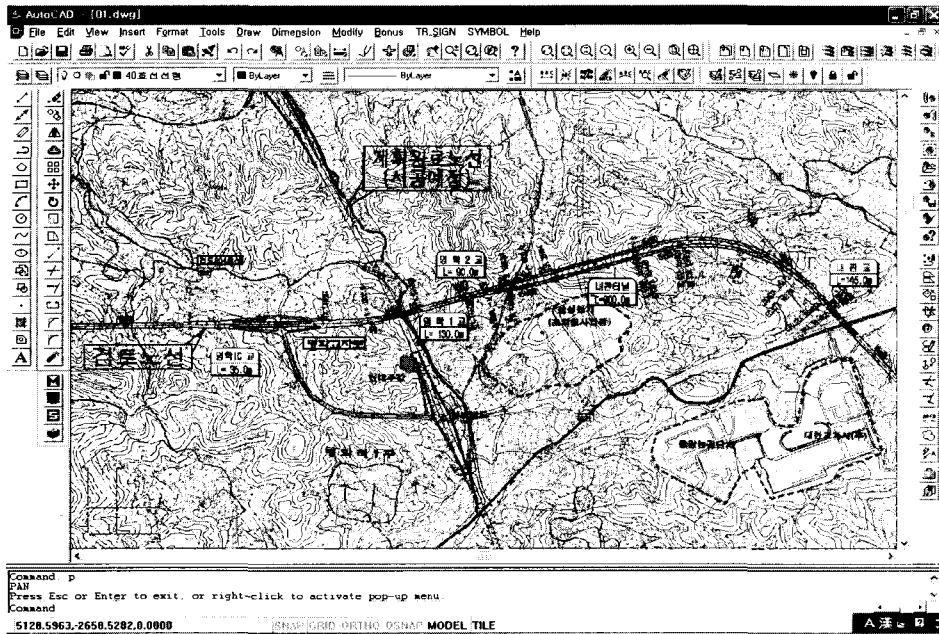
에 의한 세부적 검토를 실시하여 최적노선을 선정하고, 마지막 단계인 도로설계 단계에서는 최적노선에 대한 1:1,200 지형측량을 실시하여 면밀한 기술적 검토와 함께 시공가능한 설계도서가 만들어진다(강재수, 1998).

즉 각종 도로망 계획, 경제조사, 교통조사 및 기술조사 등의 개략계획을 거쳐 노선의 연장, 계획규모 등을 계획한 후 1:5,000 수치지도에 의한 선형계획시 전문 기술자들의 현지조사 등을 실시하여 세부 노선검토를 실시하며, 본 연구는 이러한 노선선정 단계까지를 연구 대상으로 하였다.

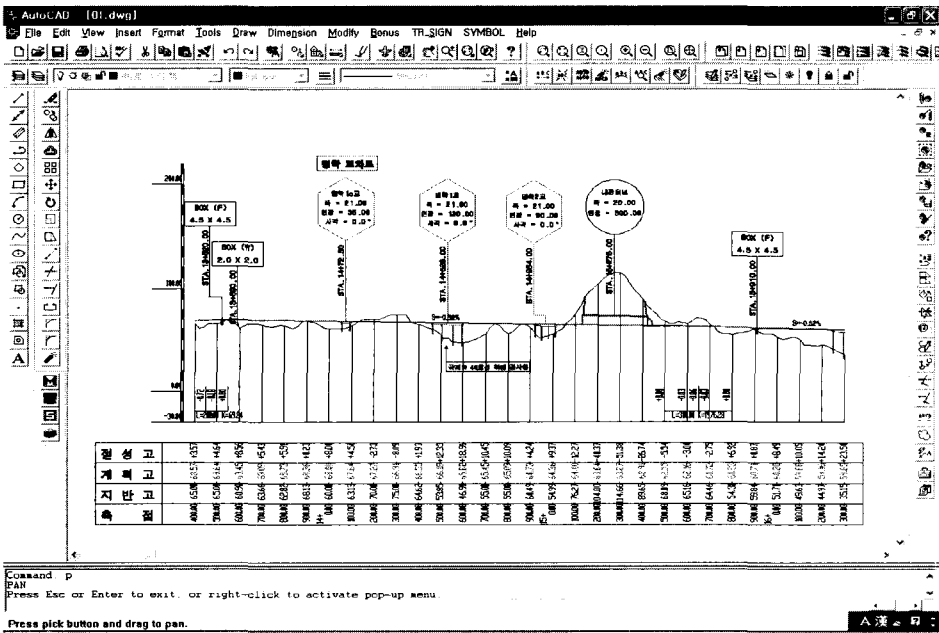
2.2 평면 및 종단선형 설계

선형설계란 평면선형과 종단선형의 연계를 고려하고, 현지 지형지물에 적합하며, 적절한 크기의 선형요소를 갖는 도로 중심선을 결정하는 과정이다. 본 연구에서 기본설계도 등의 벡터 편집은 AutoCAD Map R3을 사용하였으며, 도로설계 전용 프로그램인 Road Projector와 NS-CAD를 이용하여 각종 정보를 취득 자동화하였다.

평면선형을 위한 곡선반경은 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에 의거(건설교통부, 2000) 평지부 80km/hr, 산지부 60km/hr로 계획하였고, 설계속도에 따른 횡방향 마찰계수가 0.12, 0.14일 때 계산된 곡선반경 280m, 140m 이상으로 평면곡선반경을 적용 계획하였다. 종단선형 설계시 불규칙삼각망(TIN)에서 자동 추출된 지형에 대한 지반고를 기준으로 종단 지반고 및 계획고, 종단구배, 종단곡선 등 설계에 필요한 요소들을 추출하였다.



[그림 1] 평면선형계획의 예



[그림 2] 도로의 종단면도 예

[그림 1]은 Road Projector에 의한 평면선형계획의 예를 표현한 것이며, [그림 2]는 종단면도로부터 계획된 종단선형의 예를 나타낸다. 이러한 방법에 의해 노선 대안 별로 경제적, 기술적, 환경적 측면에서 비교 평가하여 가장 최적인 노선을 선정하였다.

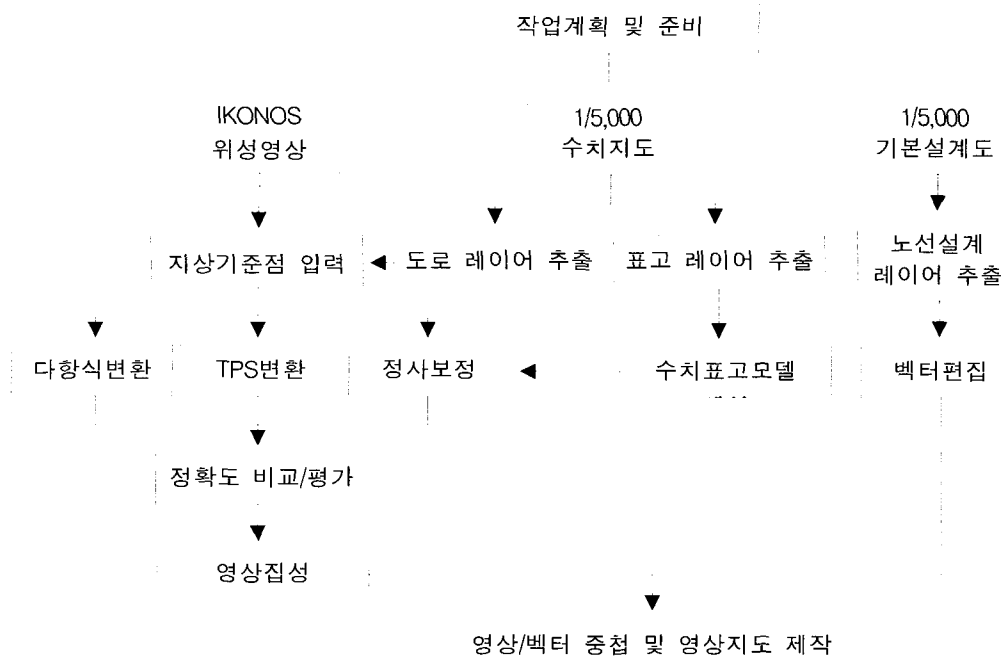
3. 고해상도 위성영상지도 제작

본 연구에서의 위성영상지도 제작 작업 흐름도는 [그림 3]과 같으며, 영상처리를 위하여 PCI Geomatics v7.0을 사용하였다.

3.1 위성영상자료의 취득

본 연구에 사용된 위성영상은 공간해상도 1m의 IKONOS 위성영상(Pan-Shapened, Level 2)으로서, 최근에 촬영되고 구름이 없으며 기본 설계도를 완전히 포함하도록 영상자료를 조사하여 구입하였다. [그림 4]에 구입한 각 영상의 공간적 분포를 나타냈으며, 여기서 4924 영상은 2000년 1월 5일, 4925 영상은 2000년 1월 25일, 4926 영상은 2000년 11월 11일에 각각 촬영되었고, 빗금친 영역이 본 연구의 위성영상지도 제작영역이다.

위성영상지도 제작은 주로 4925(4925_00~4925_04) 영상을 대상으로 이루어졌으

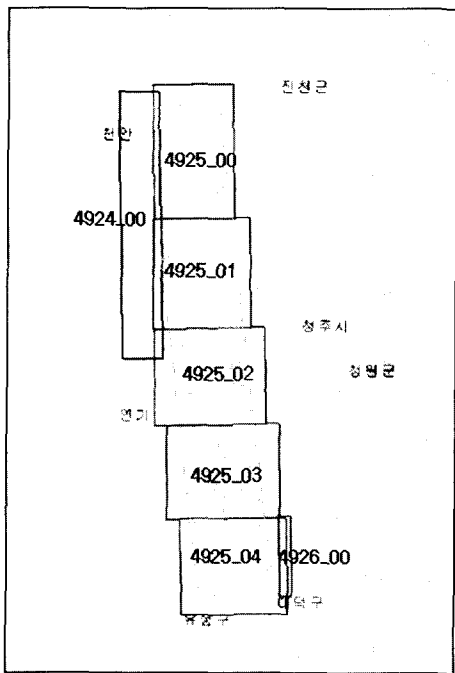


[그림 3] 위성영상지도 제작 작업흐름도

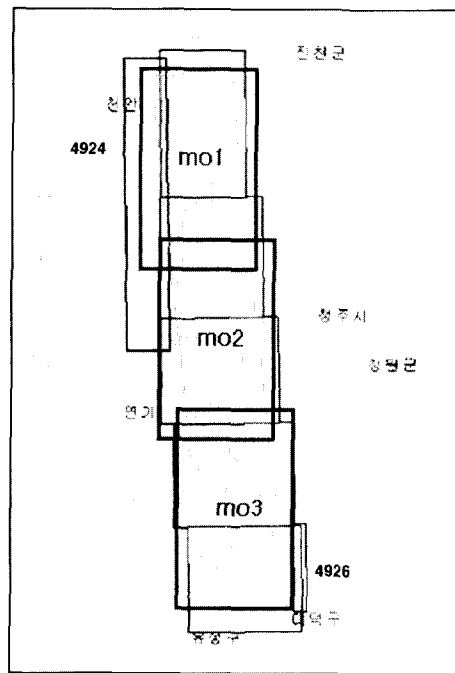
며, 나머지 영상은 참고 및 보조자료로 활용하였고, 작업의 편의상 [그림 5]와 같이 약간씩 중복된 3개의 구간으로 나누어 영상처리를 하였다.

지상기준점만 있어도 되지만, 본 연구에서는 TPS(Thin Plate Spline)변환의 적용을 위하여 각 구간별로 230개 이상의 지상기준점을 선정하였다.

IKONOS 위성영상의 해상도 1m를 감안



[그림 4] IKONOS 위성영상의 공간적 분포도



[그림 5] 영상처리시 구간별 작업도

3.2 지상기준점 선정

지상기준점은 도로교차점, 교량, 수로 또는 도로 굴곡부 정점, 인공구조물의 모서리 등과 같이 위성영상에서 명확하게 인식되고 작업자의 주관적인 식별력에 따라 정확도가 좌우되지 않는 지형·지물 위주로 영상 전체에 대해 균등하게 분포하도록 선정하여야 한다(박병욱, 1996). 다항식변환에 의한 기하보정시에는 소수의

할 때 지상기준점의 지상좌표는 1/1,000 수치지도를 활용하거나 GPS 측량과 같은 현지측량을 통하여 취득하는 것이 바람직하지만, 대상지 전역에 대한 1/1,000 수치지도가 제작되어 있지 않고 사용된 지상기준점의 수가 매우 많으며, 효율적인 노선선정에 위성영상을 활용한다는 측면에서 정확도는 약간 떨어지지만 이용이 손쉬운 1/5,000 수치지도에서 추출한 도로레이어를 이용하여 획득하였다.

3.3 수치표고모델 제작

정사보정시 필요한 수치표고모델을 제작하기 위하여 총 231도엽의 1/5,000 수치지도로부터 표고 정보가 있는 등고선, 표고점, 삼각점, 수준점의 레이어를 추출하여 집성한 후, ArcView에서 TIN 보간법으로 표고값을 내삽하여 작업지역을 포함하는 5m 격자간격의 수치표고모델을 제작하였다(정보통신부 등, 2000).

3.4 영상의 기하학적 보정

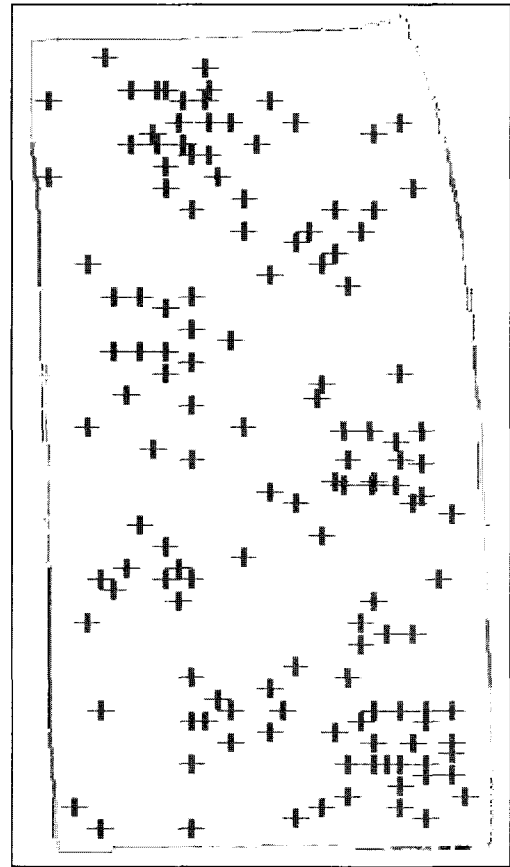
위성영상지도 제작에 있어서 영상의 기하학적 위치정확도는 매우 중요하다. 본 연구에서 IKONOS 위성영상의 기하학적 보정을 위하여 다항식변환, 정사보정, TPS변환 등의 방법을 각각 적용해 보고 이 중 위치오차가 가장 적은 방법을 선정하여 사용하였다.

1) 다항식변환

다항식변환 보정방법으로는 가장 많이 사용하는 1차 affine 변환식을 비롯하여, 3차, 5차 다항식변환에 의한 보정을 각각 실시하였다. 각 변환식의 결정에 소요되는 최소 지상기준점의 수는 각각 3개, 10개, 21개 이지만(박병욱, 1996), 다른 보정방법과의 비교를 위하여 가장 많은 수의 지상기준점을 요구하는 TPS변환 방법에서 사용한 지상기준점 모두를 사용하였다.

다항식변환 보정결과 <표 1>에 나타난 바와 같이 차수가 증가할수록 평균제공근 오차가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

한편, [그림 6]은 구간 1(mol)에 대한 지상기준점의 분포 및 5차 다항식변환의 보정결과를 나타낸 것으로, 차수가 큰 변환식을 사용할수록 지상기준점의 밀도가 부족한 지역에서는 오히려 왜곡이 증가됨을 알 수 있었다.



[그림 6] 지상기준점 분포 및 5차 다항식변환 보정결과와 왜곡 정도

2) 정사보정

단순한 기하학적 변환이 아닌 지형의 기복변위로 인한 오차까지 제거할 수 있는 방안으로 수치표고모델을 이용한 정사

보정을 실시하였으며, 위의 동일한 지상 기준점에 대하여 위치오차를 계산한 결과를 <표 1>에 같이 나타냈다.

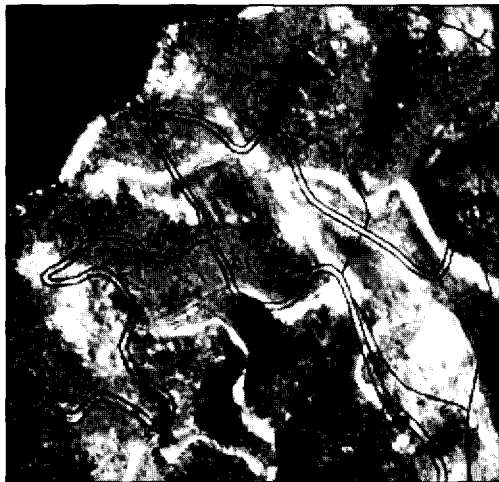
<표 1>에서 보면 정사보정 결과의 평균 제공근오차가 11.6m로 일반적인 기대 정확도보다 훨씬 낮게 나타났다. 이것은 정사보정을 위한 IKONOS 영상의 센서모델링으로 일반적으로 RPC(Rational Polynomial Coefficient)를 이용한 RFM(Rational Function Model)을 적용하지만(안기원 등, 2002), 본 연구에 사용된 IKONOS 영상은 RPC가 제공되지 않는 단모델 영상자료이어서 지상 기준점 성과만으로 번들조정에 의한 자체

모델링을 하였고 지상기준점의 성과도 1/5,000 수치지도에서 독취되어 그 정확도가 위성영상의 해상도에 비하여 낮았기 때문으로 판단된다.

<표 1>에서 다항식변환과 정사보정 결과를 비교해 보면, 정사보정의 평균제공근오차는 3차 다항식변환에 의해 발생한 오차보다 모두 작게 나타났으며, 5차 다항식변환의 경우와 비교시에는 검토 2구간에서 약간 크게 발생하였지만 전체 평균에서는 역시 더 작게 나타났다. 한편 고도가 높은 지점에서의 평면위치 오차를 육안으로 비교한 결과, [그림 7]과 [그림 8]

<표 1> 다항식변환 및 정사보정의 평균제공근오차 (단위 : m)

구 분	기준 점수	1차 변환식			3차 변환식			5차 변환식			정사보정		
		X	Y	XY	X	Y	XY	X	Y	XY	X	Y	XY
구간 1(mo1)	254	25.2	11.7	27.8	18.7	8.9	20.7	19.0	9.1	21.1	12.9	6.5	14.4
구간 2(mo2)	238	11.1	7.4	13.3	8.6	6.8	11.0	7.1	6.4	9.6	7.9	6.4	10.2
구간 3(mo3)	254	12.3	6.2	13.8	10.4	6.1	12.1	9.1	5.9	10.8	9.0	5.5	10.5
전체 평균		16.2	8.4	18.3	12.6	7.3	14.6	11.7	7.1	13.7	9.9	6.1	11.6



[그림 7] 3차 다항식변환 영상



[그림 8] 정사보정 영상

에서 볼 수 있듯이 다항식변환 결과에서는 기록변위에 의한 수평방향 오차가 보정되지 않았음을 확인할 수 있으며, 따라서 다항식변환이 IKONOS 영상의 기하보정 방법으로는 적합하지 않음을 알 수 있었다.

3) TPS변환

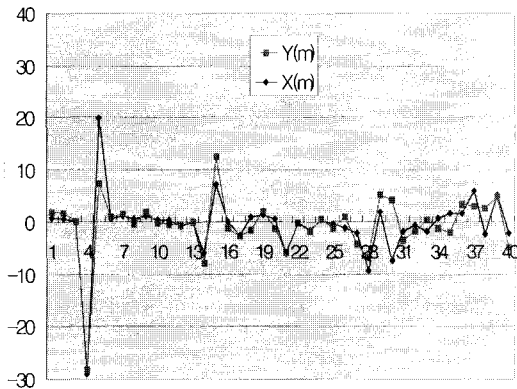
TPS(Thin Plate Spline)변환은 다항식변환처럼 영상 전체에 동일한 함수를 적용하지 않고, 각 지상기준점들 사이가 최소곡률을 갖도록 하면서 그 지상기준점으로부터 먼 지점은 거의 선형이 되도록 하여 각 지상기준점의 영향이 국소적이 되도록 하는 방법이다. 이 방법은 보정결과가 만족스럽지 못한 지역에는 별도의 기준점을 추가하여 보완할 수 있는 장점이 있으나, 거친 지형에서는 산정이나 골짜기마다 기

준점을 설정해야하므로 기준점의 수가 많이 소요되고 매 화소마다 함수값을 결정하므로 처리속도가 느리다는 단점이 있다. 또한 TPS변환은 각 지상기준점에 대해 보정 후의 위치가 정확히 자기 값을 갖기 때문에 변환식에 대한 오차를 자체 평가할 수 없으며 별도의 검사점을 선정하여 검증하여야 한다(PCI, 1997).

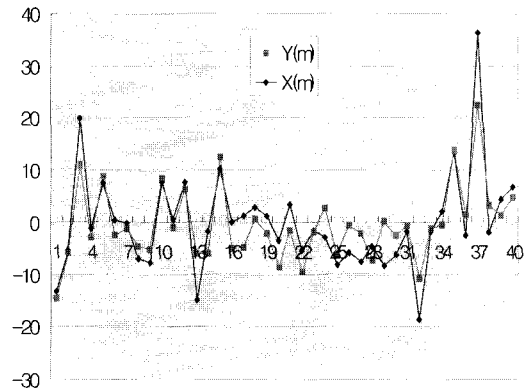
본 연구에서는 각 구간별로 230개 이상의 지상기준점을 사용하여 TPS변환을 시행하였으며, [그림 7, 8]의 영역에 대하여 육안으로 비교한 결과 [그림 8]의 정사보정 영상 결과와 거의 같게 나타났다. TPS 변환 영상의 정확도를 검증하기 위하여 수치지도에서 판독할 수 있는 지형, 지물들을 중심으로 40점의 검사점들을 선정하여 평면위치오차를 계산하였으며, 정사보정 영상에 서도 동일 검사점에 대하여

<표 2> 검사점에 대한 TPS변환 및 정사보정의 평균제곱근오차

구 분	TPS변환			정사보정			검사점수
	X	Y	XY	X	Y	XY	
평균제곱근오차(m)	6.4	3.3	7.2	9.4	4.6	10.4	40



[그림 9] TPS변환의 검사점 위치오차



[그림 10] 정사보정의 검사점 위치오차

평면위치오차를 계산하여 상호 비교하였다.

분석 결과, <표 2>에 나타난 바와 같이 TPS변환에서는 평면위치오차가 7.2m로 나타났고, 정사보정 결과에서는 평면위치오차가 10.4m로 나타나 TPS변환 결과의 정확도가 더 좋게 나타났다. 일반적으로 정사보정이 TPS변환 보정보다 더 좋을 것으로 예상할 수 있으나 이러한 현상이 발생한 것은 앞서 언급한 바와 같이 정사보정이 완벽하게 수행되지 않았기 때문으로 판단된다. [그림 9]와 [그림 10]은 각 보정영상에 대해 검사점별 평면위치오차를 도식화 한 것이다. 본 연구에서는 가장 좋은 결과를 나타낸 TPS변환 방법을 이용하여 위성영상지도를 제작하였다.

3.5 기본설계도 편집 및 영상지도 제작

위성영상지도는 기하학적으로 보정된 위성영상자료에 1/5,000 축척의 기본설계도에서 필요한 백터를 추출하여 중첩함으로써 제작된다. 구축된 영상자료는 지형·지물에 대해 자세한 정보를 제공하므로 기본설계도에서는 영상에서 표현되지 않는 행정경계, 행정명, 건물명 등의 인문적인 정보와 계획도로 레이어 등만 추출하였다. 또한 기본설계에 영향을 미치는, 설계도로와 연결되는 주변의 기존도로 및 고속도로, 철도 레이어 등도 추출하여 눈에 띄게끔 편집하였다. 이러한 레이어의 추출과 편집 작업은 AutoCAD Map을 이용하여 수행하였다. 최종적으로 영상자료와

기본설계도에서 추출한 레이어를 Illustrator를 이용하여 중첩하고 디자인 작업을 거쳐 영상지도를 제작하였다.

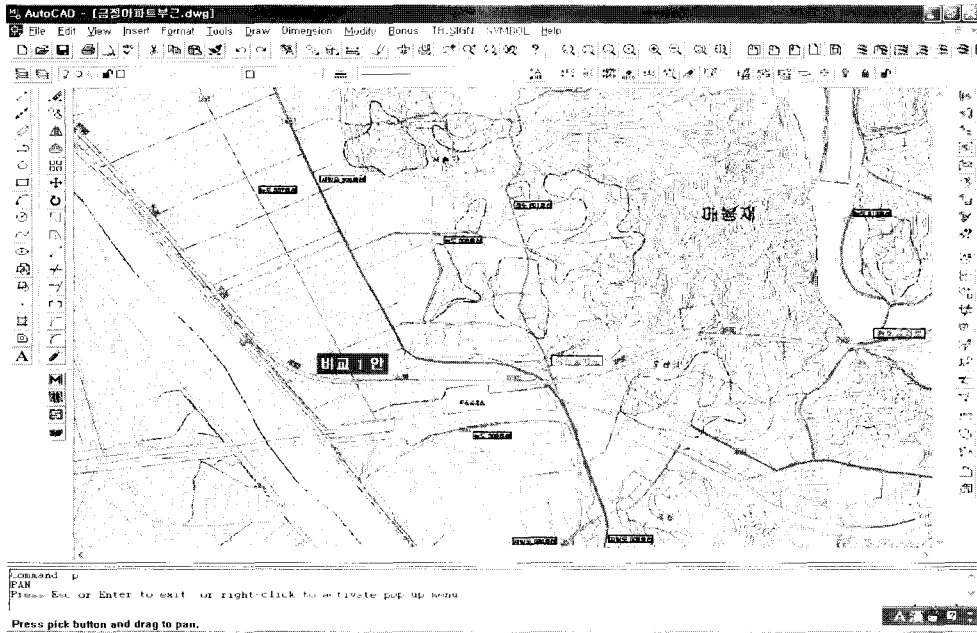
4. 위성영상지도에 의한 노선변경

수치지도에 의한 선형결정시 사전에 수차례의 현장조사를 거쳐 지형·지물의 변화를 설계에 반영하여 노선을 결정하였음에도 불구하고, 수치지도상의 지형·지물, 관련계획 등의 정보를 위성영상에 중첩하였을 때 상이한 부분들을 쉽게 발견할 수 있었으며, 검토결과 몇 군데 노선의 문제점을 발견되어 노선을 변경하였다.

[그림 11]과 [그림 12]는 수치지도에 의해 결정된 노선을 위성영상에 중첩하여 노선이 변경된 실제 예를 보여주는 것으로, 수치지도에 의한 노선 선정시에는 계획노선 주변에서 중요 지장물이나 공장 등을 발견할 수 없었으나 위성영상과 중첩에 의해 쉽게 지장물이 판독되어 계획을 변경함으로써 합리적인 선형을 도출해 낼 수가 있었다.

본 연구에서 위성영상지도를 바탕으로 전구간에 대한 도로선형을 검토한 결과 4개소에서 선형변경이 불가피함을 알 수 있었으며, 이에 따라 위의 사례와 같이 노선을 변경함으로써 차후 실시설계 단계에서의 노선변경을 미리 예방할 수가 있었으며, 보다 나은 도로의 최적노선을 선정할 수 있었다.

도로의 최적노선 선정시 고해상도 위성영상의 활용 방안



[그림 11] 수치지도에 의한 노선선정



[그림 12] 위성영상지도에 의한 노선변경

5. 결 론

본 연구에서는 도로의 최적노선 선정시 기존의 수치지도를 이용하여 계획하는 방법의 개선 방안으로서, 고해상도 위성영상을 활용하여 영상지도를 제작하고 이를 바탕으로 최적노선을 결정하는 방법을 제시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수치지도를 이용하여 결정된 벡터 형태의 노선 기본설계도를 고해상도 위성영상에 중첩한 결과 노선의 문제점을 쉽게 발견할 수 있었으며, 위성영상지도는 판독과 정보제공 측면에서 지형·지물을 사실적으로 표현하므로 전문가가 아니더라도 쉽게 이해할 수 있다.

2. 노선선정시 광범위한 대상지역의 현지조사 대신 위성영상지도를 이용함으로써 자료의 최신성 확보 및 효율적인 조사를 수행할 수 있어 경제적, 시간적 절감을 기할 수 있으며, 노선주변을 반복 검토함으로써 설계의 질적 내실화와 지형에 맞는 합리적인 도로의 선형을 도출할 수 있고, 차후 실시설계 단계에서의 노선변경을 미리 예방할 수 있다.

3. 본 연구의 IKONOS 영상에 대한 기하학적 보정에 있어서 검사점에 대한 평면위치오차를 검증한 결과, 정사보정 영상에서는 10.4m, TPS변환 영상에서는 7.2m로 산출되어 TPS변환이 더 좋게 나타났다. 이것은 IKONOS 영상의 RPC가 제공되지 않아 본 연구의 정사보정이 완벽하게 수행되지 않았기 때문으로 판단되며, 한편으로 지상기준점 수가 충분할 경우에는 TPS변환도 효과적인 기하학적 보정 수단으로 활용할 수 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2001년도 한국과학재단 특정 기초연구(R01-2000-000-00370-0) 지원으로 수행된 결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 강재수, 1998, “도로계획과 설계”, 엔지니어즈, pp.134-155.
- 강준목, 이철희, 이형석, 2002, “수치지도의 수정 및 갱신을 위한 고해상도 위성영상의 적용 가능성 평가”, 한국측량학회지, 제20권 제3호, pp.313-321.
- 건설교통부, 2000, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침, 기문당, pp. 109-226.
- 건설교통부, 2000, 도로설계편람(1), 한국건설기술연구원, pp.208-209.
- 국립지리원, 2001, 「위성영상을 이용한 지도 제작 시험연구」.
- 박병욱, 1996, “수치위성자료를 이용한 광역의 토지피복분류 기법”, 한국측지학회지, 제14권 제1호, pp.39-47.
- 안기원, 임환철, 서두천, 2002, “고해상도 인공위성 영상데이터의 기하보정을 위한 RFM의 적용”, 한국측량학회지, 제20권 제2호, pp.51-60.
- 정보통신부, 한국전산원, 국토연구원, 2000, 공간영상정보 제작지침 연구, pp. 34-104.
- 정영동, 조규장, 김용백, 강상구, 2001, “수치지도를 이용한 도로선형자료 자동 추출 연구”, 2001년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회.
- PCI, 1997, GCPWorks Reference Manual, pp.8-9.