고해상도 위성영상을 이용한 도로의 최적노선 선정에 관한 연구

박병욱* · 최윤수** · 강의성***
Park, Byung-Uk · Choi, Yun-Soo · Kang, Eui-Sung

1. 서 론

최근 해상도 1m의 IKONOS 위성, 해상도 0.61m의 QuickBird위성 등 고해상도 위성영상을 이용한 1:5,000 수준의 대축척 지도제작이 가능해져 고해상도 위성영상의 도로계획 및 설계, 도시계획 및 관리, 교통계획, 주요시설물관리 등 도시관리 및 국토건설사업 분야에 활용도가 높아지고 있다.

도로의 노선계획에 있어서 계획지역의 주변상황에 대한 최신의 정보를 취득하여 설계에 반영하는 하는 것은 매우 중요하므로, 여러 차례의 현장조사를 실시하고 수치지도 등을 이용하여 수집한 정보를 도로계획 및 설계의 기본 자료로 활용하고 있다. 그러나 모든 대상지역을 현장조사한다는 것은 경제적, 시간적으로 제약이 따르고, 광범위한 지역을 한눈에 파악하는데 있어서도 용이하지 않으며, 지도도 그 갱신 주기가 약 5년 정도로 최신의 정보를 수집하기가 쉽지 않다. 따라서 넓은 지역에 대해 최신의 정보를 얻기 위한 대안으로 인공위성을 이용한 원격탐사 자료의 이용을 제시할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 도로의 최적 노선선정 계획에 있어서 수치지도(S=1:5,000)를 계획 설계의 기본자료로 사용하여 노선선정을 한 후, 이를 고해상도 위성영상과 중첩하여 지형지물의 사실적 표현을 통한 문제점을 파악함으로써, 설계의 질적 내실화와 합리적이고 경제적인 선형의 도출을 위한 위성영상의 활용 방안에 대하여 연구하고자 한다. 본 연구는 유성~천안간 도로축조 및 포장공사 기본설계 구간에 대해 이루어졌다.

2. 수치지도를 이용한 노선선정

선형설계란 평면선형과 종단선형의 연계를 고려하고, 현지 지형지물에 적합하며, 적절한 크기의 선형요소를 갖는 도로 중심선을 결정하는 과정이다. 본 연구에서는 도로설계 전용프로그램인 Road Projector을 이용하여 각종 정보를 취득 자동화 하였으며, 평면선형을 위한 곡선반경은 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」에 의거 평지부 80km/hr, 산지부 60km/hr로 계획하였고, 설계속도에 따른 횡방향 마찰계수가 0.12, 0.14일 때 계산된 곡선반경 280m, 140m 이상으로 평면곡선반경을 적용 계획하였다(예: 그림 1). 종단선형 설계시 불규칙 삼각망에서 자동 추출된 지형에 대한 지반고를 기준으로 종단지반고 및 계획고, 종단구배, 종단곡선 등 설계에 필요한 요소들을 추출하였다(예: 그림 2). 상기 방법에 의해 노선 대안별 경제적, 기술적, 환경적 측면에서 비교 평가하여 가장 최적인 노선을 선정하였다.

3. 고해상도 위성영상지도 제작

본 연구에서의 위성영상지도 제작 작업흐름도는 그림 3과 같다.

3.1 위성영상 자료의 취득

본 연구에 사용된 위성영상은 공간해상도 1m의 IKONOS 위성영상(Pan-Shapened, Level 2)으로서, 최근

*정회원 · 한경대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 031-670-5099(E-mail:ukpark@hnu.hankyong.ac.kr)
**정회원 · 서울시립대학교 지적정보학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-2430(E-mail:choiys@uos.ac.kr)
***정회원 · 극동엔지니어링(주) 도로2부 · 공학석사 · 02-708-7245(E-mail:kanges31@gdeng.co.kr)

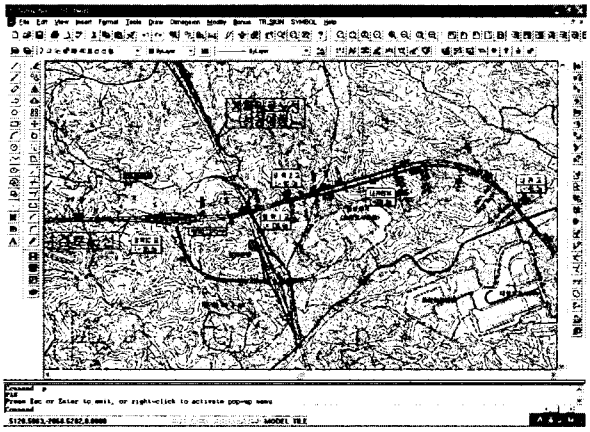

그림 1. 평면선형 계획의 예

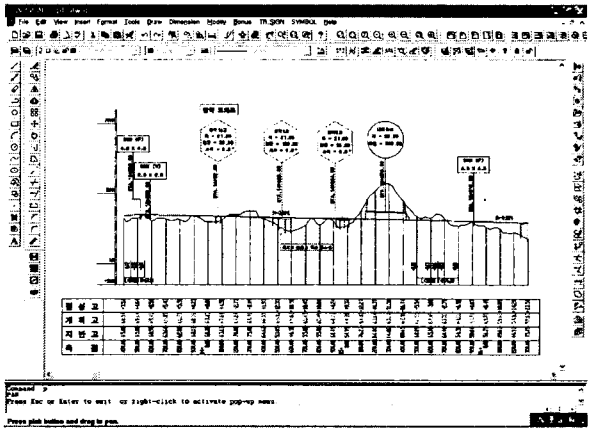

그림 2. 도로의 종단면도 예

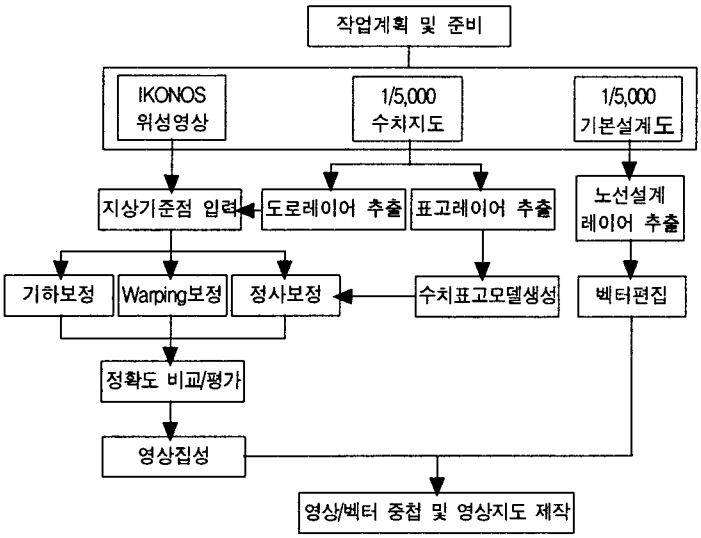

그림 3. 위성영상지도 제작 작업흐름도

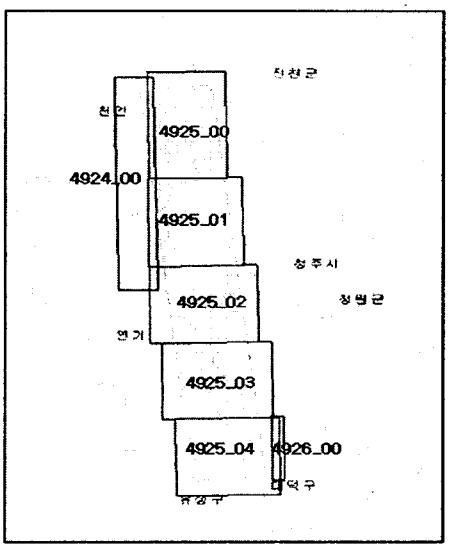

그림 4. 사용한 IKONOS 위성영상의 공간적 분포

에 촬영되고 구름이 없으며 기본 설계도를 완전히 포함하도록 하였다. 그림 4에 구입한 각 IKONOS 위성영상의 공간적 분포를 나타냈으며(촬영일 : 2000. 1), 빗금친 영역이 위성영상지도 제작 영역이다.

3.2 지상기준점 선정

지상기준점은 위성영상에서 도로교차점, 교량, 수로 또는 도로 굴곡부 정점, 인공구조물의 모서리 등과 같이 영상에서 명확하게 인식되고 작업자의 주관적인 식별력에 따라 정확도가 좌우되지 않는 지형·지물 위주로 영상 전체에 대해 균등하게 분포하도록 선정하였다. IKONOS 위성영상의 해상도 1m를 감안할 때 지상기준점의 지상좌표는 GPS 측량과 같은 현장측량을 통하여 취득하여야 하나, 본 연구에 사용된 지상기준점의 수가 매우 많고 효율적인 노선선정의 활용측면을 고려하여 1/5,000 수치지도에서 추출한 도로 레이어를 이용하여 획득하였다.

3.3 수치표고모델 제작

본 작업은 위성영상에서 기복변위로 인한 오차를 제거하기 위해 수행되는 정사보정에서 입력값으로 요구되는 표고값을 구하기 위해 수치표고모델을 제작하는 과정이다. 1/5,000 수치지도에서 표고 정보가 있는 레이어를 추출하였으며, TIN 보간법으로 표고값을 내삽하여 작업지역을 포함하는 수치표고모델을 제작하였다.

3.4 위성영상의 기하학적 보정

IKONOS 위성영상의 기하학적 보정에 있어서 기하보정, 정사보정, Warping보정 등의 방법을 적용해 보고 이 중 가장 평면위치 오차가 적은 방법을 선정하여 사용하였다. 오차 검토는 대상지역이 광범위하므로 데이터의 처리 등을 감안하여 3개 구간으로 나누어 실시하였다.

기하보정 방법으로는 가장 일반적인 부등각사상 변환법을 이용하였으며, 다른 보정 방법과의 정확도 비교를 위하여 가장 많은 수의 지상기준점을 요구하는 Warping 보정 방법에서 사용한 지상기준점을 모두(각 검토구간별 230개 이상의 기준점) 사용하여 1차, 3차, 5차 변환식에 의한 보정을 각각 실시하였다. 기하보정 방법은 차수가 증가할수록 평균제곱근오차(RMSE)가 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 한편으로 차수가 큰 변환식을 사용할수록 지상기준점이 부족한 지역에서는 오히려 왜곡이 증가됨을 알 수 있었다.

기복변위로 인한 오차를 제거할 수 있는 방안으로 수치표고모델을 이용한 정사보정을 실시하여 기하보정 결과와 정확도를 비교, 평가하였다. 표 1에서 보면 정사보정 결과의 평균제곱근 오차는 기하보정의 3차 변환식에 의해 발생한 오차보다 모두 작게 나타났으며, 5차 변환식의 경우와 비교시에는 검토 2구간에서 약간 크게 발생하였지만 전체 평균에서는 역시 더 작게 나타났다. 또한 고도가 높은 지점에서의 평면위치 오차를 육안으로 비교한 결과 기하보정 결과에서는 기복변위에 의한 수평방향 오차가 보정되지 않았음을 확인할 수 있었다.

Warping보정 방법은 평균제곱근오차를 계산할 수 없기 때문에 영상과 수치지도에서 판독할 수 있는 지형, 지물들을 중심으로 40점의 검사점들을 선정하여 평면위치오차를 계산하였다. 또한 Warping보정 결과를 정사보정 결과와 비교하기 위해서 정사보정 영상에서도 같은 검사점에서의 평면위치오차를 계산하였다. 그 결과, 정사보정 결과는 X방향 9.4m, Y방향 4.6m로서 평면위치오차가 10.4m이며, Warping보정 결과는 X방향 6.4m, Y방향 3.3m로서 평면위치오차가 7.2m로 나타나 Warping 보정결과의 정확도가 더 좋게 나타났다.

일반적으로 정사보정이 Warping보정보다 더 좋을 것으로 예상할 수 있으나, 이러한 현상이 발생한 것은 정사보정의 영상모델링 과정에서 필요한 위성의 위치 및 자세정보가 제공되지 않아 지상기준점 성과만으로 모델링하였고 지상기준점의 성과도 1/5,000 수치지도에서 독취되어 그 정확도가 위성영상의 해상도에 비하여 낮았기 때문으로 판단된다. 본 연구에서는 가장 좋은 결과를 나타낸 Warping보정 방법을 이용하여 위성영상지도를 제작하였다.

표 1. 변환식 차수에 따른 기하보정 오차 및 정사보정 오차

구 분	기준점수	1차 변환식		3차 변환식		5차 변환식		정사보정	
		X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
검토구간 1	254	12.3	6.2	10.4	6.1	9.1	5.9	9.0	5.5
검토구간 2	238	11.1	7.4	8.6	6.8	7.1	6.4	7.9	6.4
검토구간 3	254	25.2	11.7	18.7	8.9	19.0	9.1	12.9	6.5
전체 RMSE(XY)평균		18.2		14.6		13.7		11.6	

3.5 기본 설계도 편집 및 영상지도 제작

위성영상지도는 기하학적으로 보정된 위성영상자료에 1/5,000 축척의 기본설계도에서 필요한 벡터를 추출하여 중첩함으로써 제작된다. 기본설계도에서 행정경계, 행정명, 건물명 등의 인문적인 정보와 계획도로 레이어를 추출하였다. 또한 기본설계에 영향을 미치는 기존도로 및 철도 레이어 등도 추출하여 눈에 띄게끔 편집하였다. .이러한 레이어의 추출과 편집 작업은 AutoCAD Map을 이용하여 수행하였다. 구축한 영상자료와 기본 설계도에서 추출한 레이어를 Illustrator를 이용하여 중첩하고 디자인 작업을 거쳐 영상지도를 제작하였다.

4. 위성영상지도에 의한 노선변경

수치지도에 의한 선형결정시 사전에 수 차례의 현장조사를 거쳐 지형지물의 변화를 설계에 반영하여 노선을 결정하였으나, 지도상의 지형지물, 관련계획 등의 정보를 영상에 중첩 하였을시 상이한 부분들을 쉽게 발견 할 수 있었으며, 몇 군데 노선의 문제점을 발견되어 노선을 변경하였다.

그림 5와 그림 6은 수치지도에 의해 결정된 노선을 위성영상에 중첩하여 노선이 변경된 실 예를 보여주는 것으로, 수치지도에 의한 노선 선정시에는 노선 주변대에 중요 지장물이나 공장 등을 발견할 수 없었으나 위성영상과 중첩에 의해 쉽게 지형지물을 판독할 수가 있어 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 선형을 변경함으로써 차후 실시설계 단계에서의 선형변경을 미리 예방할 수가 있었으며, 보다 나은 도로의 최적노선을 선정할 수 있었다.

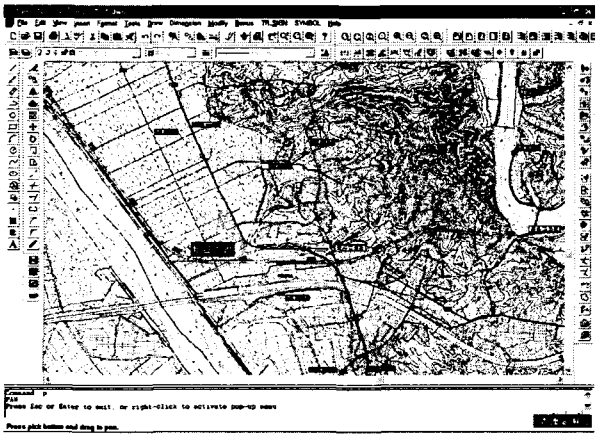

그림 5. 수치지도에 의한 노선결정

그림 6. 위성영상에 의한 노선결정

5. 결 론

본 연구에서는 도로의 최적노선 선정시 기존의 수치지도를 이용하여 계획하는 방법과 위성영상지도를 제작하여 계획하는 방법을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 기본설계 단계인 노선선정시 벡터 형태로 존재했던 기본설계도를 고해상도 위성영상에 중첩한 결과, 자료판독과 정보측면에서 위성영상지도는 지형·지물을 사실적으로 표현하여 전문가가 아닌 누구나 쉽게 이해할 수 있었다.
2. 위성영상지도를 이용하여 자료의 최신성을 확보함으로써 노선선정시 광범위한 대상지역의 현지조사 등에 대한 경제적, 시간적 절감을 기할 수 있었으며, 이에 따라 노선주변을 반복 검토함으로써 설계의 질적 내실화와 지형에 맞는 합리적인 도로의 선형을 도출 할 수 있었다.
3. 위성영상 지도제작시 기하학적 보정에 있어서 정사보정 결과의 평면위치오차는 10.4m가 발생하였고 Warping보정 결과에서는 7.2m가 발생하여 Warping보정 결과가 더 좋게 나타났다. 일반적으로 정사보정 결과가 가장 좋을 것으로 예상할 수 있으나, 지상기준점 수가 충분할 경우 Warping보정도 효과적인 기하학적 보정 수단으로 활용할 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 건설교통부(2000) **도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침**, 기문당, pp.109~226.
2. 건설교통부(2000) **도로설계편람(1)**, 한국건설기술연구원, pp.208~209.
3. 정보통신부, 한국전산원, 국토연구원(2000) **공간영상정보 제작지침 연구**, pp.34~104.
4. 이강원, 위광재, 이상훈(2000) 위성영상 활용의 최근동향 및 제언, **측량** 제50호, 대한측량협회, pp.70~75.
5. 정영동, 조규장, 김용백, 강상구(2001) 수치지도를 이용한 도로선형자료 자동 추출 연구, **2001년도 학술발표회 논문집**, 대한토목학회.
6. PCI Geomatics(2001) *Geomatica OrthoEngine Reference Manual*, pp.13~25.