

산악지역에서의 수치사진측량에 의한 DEM추출과 GIS를 이용한 3차원 도로시물레이션에 관한 연구

A Study On Choosing The Most Suitable Roadline Using Digital Photogrammetry and GIS in Mountain Area

권혁춘¹⁾ · 이병걸²⁾

Quan, He Chun · Lee, Byung-Gul

Abstract

The purpose of the paper is to make the three dimensional road simulation model based on the digital photogrammetry and GIS techniques in the middle of Halla mountain of Jeju island. To do this, we generate DEM (digital elevation model) and digital ortho image using GIS tools such as Arc View, Imagestation and MGE module. In GIS, the overlay map schemes combining of the hill shade, the land slope and aspect were applied. Based on the processes, we can build the best three dimensional road line along the hill side of the island. From the results, we also found that the derived DEM from digital ortho image and the GIS technique were very useful for choosing the best three dimensional road design before the real road construction works in Jeju island.

Keywords : Ortho image, Overlay map, Simulation, DEM

초 록

본 연구에서는 기존의 수치지도를 이용한 3차원 도로설계를 이용한 방법대신에 수치지도에서 뚜렷하게 나타나지는 않는 지역을 수치사진측량방법으로 항공사진을 이용하여 DEM을 추출하여 3차원 도로설계에 적용하였다. 이를 위하여 한 쌍의 입체항공사진으로부터 수치표고모델을 생성하고 정사사진을 추출한 다음 GIS기법을 적용하여 도로설계를 위한 최적노선을 선정하였다. GIS 프로그램인 Arc View 및 MGE module 소프트웨어를 이용하여 음영기복도, 경사도, 방향도 및 지형지물의 위치도등을 결합시켜 Overlay map을 형성하여 최적노선을 선정하고 이 노선에 따라 3차원 시물레이션을 진행하여 그 효과를 검토하고자 하였다. 그 결과 항공사진으로부터 얻어낸 수치표고모델과 정사사진은 최적노선선정에 매우 유효하였으며, 3차원 시물레이션을 진행함으로써 그 효과를 충분히 확인할 수 있었다.

핵심어 : 정사사진, 합성지도, 시물레이션, 수치표고모델

1. 서 론

도로시설은 물자나 사람을 수송하는데 있어서 없어서는 안 될 가장 기본적인 공공교통시설이며, 현재뿐만 아니라 향후에도 지속적인 발전을 해나가야 될 분야이다. 이러한 도로의 효율적인 설계를 위하여 공사이전에 경관 및 환경을 고려한 최적노선설계에 대한 3차원 시물레이

션은 매우 중요한 문제이다(강인준 등, 2001). 이를 위하여 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 대상지역의 고도, 경사, 음영기복도등 여러 가지 조건을 고려하여 가장 적합한 노선의 위치를 결정하여 도로교통의 특성인 이동성, 접근성을 최대한 증진시키는 방향으로 설계를 하여야 한다. 그런데 이러한 도로설계에 필요한 인자들을 고려하기 위해서는 최근에 지형정보에 관한 여러 가지 정보를

1) 정회원 · 제주대학교 대학원 해양토목공학과 박사과정(E-mail:qhc@naver.com)

2) 연결저자 · 정회원 · 제주대학교 해양토목공학과 교수, 공학박사(E-mail:leebgprof@empal.com)

복합적으로 응용할 수 있는 지형정보체계(GIS)의 구축은 매우 중요하다 할 수 있다(유복모, 1998; ESRI, 1998).

도로설계를 위한 GIS의 구축 및 활용을 위하여서는 우선적으로 질적, 양적으로 향상된 수치표고모델과 정사영상이 요구되며, 이러한 자료의 기반위에서 만이 적합한 도로의 설계가 가능하다(한창복, 1998; 이현직 등, 2003). 지금까지 수치사진측량을 이용한 지형정보획득과 3차원 도로설계에 관한 많은 연구가 있었다. 예를 들면 이현직 등은 2003년에 항공사진영상을 이용하여 도심지역의 지형공간정보취득에 관한 연구를 하였고 (최 등, 2001)은 2001년에 3차원 지형공간정보체계를 이용하여 도로설계 시뮬레이션에 관한 연구를 진행하였다. 하지만, 거의 대부분의 도로시뮬레이션에 관한 연구는 기존의 수치지도 위에 3차원 도로설계를 위한 시뮬레이션을 적용하였으며 제주도와 같이 수치지도가 제대로 만들어 지지 않은 산악 지역에서는 항공사진에 의한 지형자료를 추출한 후 수치표고모델(DEM)을 만들어서 도로시뮬레이션을 시도할 필요가 있다. 이러한 수치표고모델(DEM)이 만들어 지게 되면 이 수치표고모델로부터 지도의 등고선, 경사도, 사면방위도, 지형기복도 및 표고분포도작성 등을 시도할 수 있다.

본 연구에서는 지금까지 수치지도가 제대로 만들어 지지 않는 제주도 중산간 지역에 한 쌍의 입체항공사진으로부터 수치사진측량기법을 적용시켜 표고를 추출하고 생성된 수치표고모델을 이용하여 연구대상지역부분의 정사영상을 제작하여 지형모델을 만들었다. 그리고 이 지형모델에 GIS기법을 적용하여 최적노선을 설정하여 3차원 도

로시뮬레이션을 시도하였다. 사용된 GIS기법은 지형분석에 필요한 음영기복도, 경사도, 경사방향도, 지형지물 위치도등을 결합시킨 합성지도(Overlay Map)를 생성하여 최적노선을 선정하는데 사용되었다.

2. 연구대상지역

본 연구에서는 그림 1과 같이 제주도 중산간 지역을 연구대상지역으로 선정하였다. 이곳은 아직 도로가 많이 개설되어 있지 않고 오름들이 많이 분포하고 있으며, 지세가 복잡하고 노선의 운행 시 주변부의 오름의 변화를 시각적으로 검토할 수 있어 연구지역으로 선정하였다.

연구대상지역에 대하여 수치표고모델과 정사영상을 획득하기위하여 사용된 입체항공사진의 좌우측영상은 그림 2와 같다.

본 연구에 사용한 항공사진에 대한 자료는 표 1과 같으며 사용된 양화필름은 KODAK TECHNICAL PAN2415 이고 크기는 230mm × 230mm이며 사용된 자동독취기 정확도는 1200lines/inch이며 한 라인에 11042개의 픽셀이 있으며 모두 11978개의 라인이 있다.

3. 수치표고모델생성 및 정확도분석

3.1 수치표고모델과 정사영상 생성

현재 제주도에서 사용되는 수치지도는 1995년 국가지리정보체계(NGIS)구축기본계획에 근거하여 국가기본도인 지형도전산화사업이 추진 되었으며, 주된 대상축척은

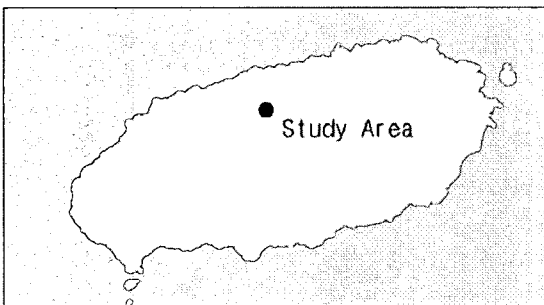


그림 1. 연구대상지역

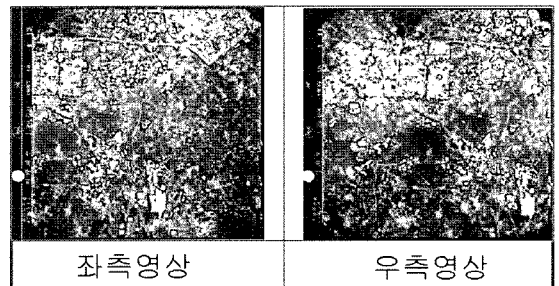


그림 2. 입체항공영상

표 1. 항공사진에 대한 정보

대상지역	사진축척	초점거리	촬영고도	촬영카메라	촬영년도	자동독취기 기종
제주시	1:20,000	153.4mm	3060m	Wild RC10	1995년10월	Intergraph PhotoScan TD

1:1,000, 1:5,000, 및 1:25,000의 지형도들이다. 이러한 수치지도들은 현재 짧게는 3년부터 길게는 5~7년 정도 지난 노후화된 지형자료들로 변화하게 마련이다. 또한 공사 현장에 따른 중·소규모지역의 지형지물 변화는 시시각각으로 바뀌고 있는 실정인므로 최적노선선정을 위해서는 많은 문제점을 안고 있다(강준목 등, 2002; 강인준 등, 2001).

이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존의 낡은 수치지도보다 최근에 입수된 항공사진을 이용하여 3차원 지형표고자료를 추출하는 것이 현실적으로 타당한 도로설계가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 기존에 있던 수치지도를 사용하지 않고 Intergraph(1996, 1999)의 수치사진측량시스템인 Image-Station Z를 사용하여 그림 3과 같은 모듈을 통하여 산악지역에 대한 수치표고모델을 자동 추출하고 정사영상을 제작하여 최적노선선정에 필요한 자료들을 추출하고자 하였다.

수치표고모델생성을 위하여 도로의 교차점이나 건물의 모서리등과 같이 항공사진에서 판독이 쉬운 8점을 측량하여 기준점으로 사용하여 외부표정을 실시하였고 사용된 기준점과 외부표정요소는 표 2와 같다.

위의 과정을 거쳐 내부표정과 외부표정을 완성한 다음 생성된 수치표고모델을 그림 4와 같이 지형을 높이에 따

라 20m 간격으로 색상으로 지형변화를 나타내어 지형분석을 실시하였다. 정사영상은 위에서 생성된 수치표고모델을 이용하여 수치적 미분편위수정방법을 이용하여 제작하였으며, 사용된 프로그램은 수치사진측량 모듈 중 ISBR(ImageStation Base Rectifier)를 사용하였으며 보간법으로는 공이차보간법을 사용하였다.

미분편위수정방법은 수치적 화상처리기법을 사용하여 수행되는 미분편위수정방법으로, 이 방법을 사용하면 한 점의 정보를 수치적으로 처리할 수 있으며, 화상처리기법의 사용으로 여러 사용자의 요구에 맞는 사진을 신속하게 제작할 수 있으며, 필요한 정보의 판독을 컴퓨터를 이용하여 수행할 수 있고 백터데이터, 특히 GIS데이터와의 통합기법사용에 유리하다(G. Konecny, 1979; 이현직 등, 2003).

항공사진이나 인공위성영상의 기준점자료를 이용하여 영상소를 재배열 할 경우에 이용되는 보간법으로는 최근 린보간법, 공일차보간법(bilinear interpolation), 공이차보간법 등이 있는데, 여기서 공이차보간법은 계산시간을 너무 많이 요한다는 단점이 있으나 기하학적 불연속 표현을 줄일 수 있고, 공일차보간법보다도 더 양질의 영상을 제공할 수 있어 본 연구에서는 이 방법을 채택하였다(유복모 등, 2003). 공이차보간법은 각 결과 단위 부근의 16개 영상소를 영상소 값으로 변환하여 계산하는 방법으로 최종 보간 된 밝기 값은 식 (1)과 (2)와 같이 계산된다(주영은, 2003).

위의 과정을 통하여 생성된 정사영상은 그림 5와 같다. 여기서

$$G_0(m, k) = -b(1-b)^2 G_d(i, j-1) + (1-2b^2 + b^3) G_d(i, j) + b(1+b-b^2) G_d(i, j+1) - b^2(1-b) G_d(i, j+2) \quad (1)$$

$$G_d(m, k) = -a(1-a)^2 G_p(j-1, k) + (1-2a^2 + a^3) G_p(j, k) + a(1+a-a^2) G_p(j+1, k) - a^2(1-a) G_p(j+2, k) \quad (2)$$

그림 3. 수치사진측량시스템 모듈

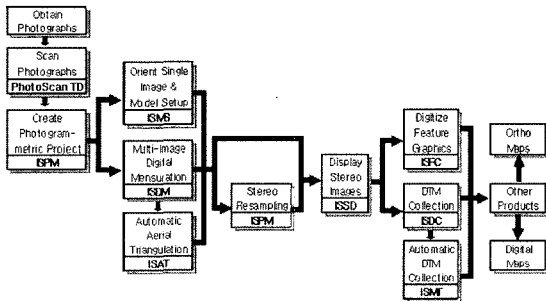


표 2. 기준점 및 외부표정요소

(단위:m)

	번호	X	Y	Z	번호	X	Y	Z	비고
기준점	1	49832.580	153139.02	78.1	5	47979.110	153464.61	136.4	
	2	49668.430	155276.53	75.8	6	49845.020	152775.84	68.7	
	3	46868.310	154751.88	183.5	7	49752.960	154233.91	72	
	4	48991.060	153603.55	105.1	8	48946.290	153113.74	98.1	
외부표정요소	영상	X_L	Y_L	Z_L	영상	ω	ψ	κ	
	좌측	47919.263	155005.162	3406.049	좌측	-0.140	0.205	-0.054	
	우측	47960.114	153334.927	3407.749	우측	0.128	0.018	-0.053	

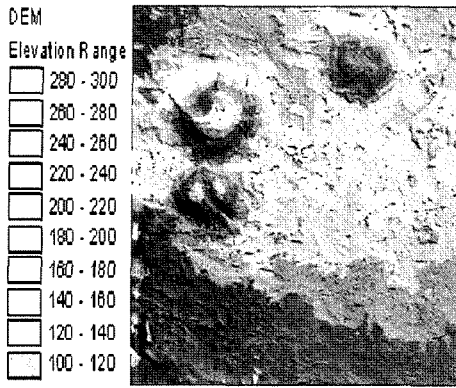


그림 4. 연구대상지역 수치표고모델

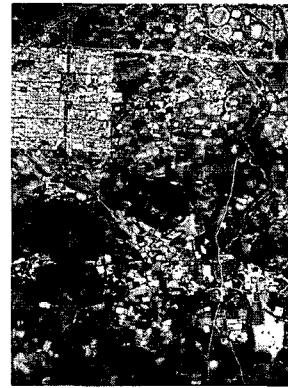


그림 5. 정사영상

3.2 수치표고모델의 정확도 분석

생성된 DEM의 정확도를 평가하기 위하여 기존에 나와 있는 1:5000수치지도로부터 추출한 DEM과 중첩시키고 그림 6과 같이 연구대상지역에 관측점 15점을 균일하게 분포시켜 표고의 정확도를 분석하고 가로 세로 각각 2개씩 단면을 절취하여 지형변화차이를 비교하여 보았다.

표 3과 같이 관측점에 대한 정확도를 분석한 결과 관측점의 표준편차는 항공사진측량작업내규 66조에서 제시한

표고점의 표준편차 0.5m을 만족하며 최대오차의 범위 내에 있고, 그림 7에서 위의 본 연구에서 생성된 DEM과 아래의 수치지도로부터 얻어진 기존 DEM 단면을 비교해 보면 전반적으로 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서 추출한 DEM이 현재의 지형변동을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서 만들어진 DEM을 이용하여 3차원 도로설계를 위한 최적노선을 선정하는 것은 실제 설계상에서 무리가 없는 것으로 판단된다.

표 3. 관측점의 정확도비교

점 번호	관측점의 TM 좌표 값(m)				Z ₁ -Z ₂
	X	Y	Z ₁ (기준표고)	Z ₂ (수치표고모델표고)	
1	47988.78	153059.97	130	129.3	0.7
2	47738.30	153667.13	152.1	151.5	0.6
3	47723.59	154105.28	223.6	223	0.6
4	47931.85	154493.97	157.63	157.67	-0.04
5	47370.90	153220.27	256.53	256.75	0.22
6	47247.37	153850.81	163.2	163.8	-0.4
7	47157.20	154190.85	166.3	165.7	0.6
8	47534.58	154759.21	162.05	162.15	0.1
9	46726.39	152895.66	213.3	214.1	-0.8
10	46856.63	153653.77	182.1	181.65	0.45
11	46913.40	154037.83	180	180.71	-0.71
12	46976.86	154585.54	176.08	175.67	0.41
13	46025.05	153015.89	234.03	234.06	-0.03
14	46215.41	153723.90	220.22	219.87	0.35
15	45954.91	153814.08	242.91	242.62	0.29
표준편차 = $\sqrt{\sum(X_i - \bar{x})^2 / (N-1)}$					0.50

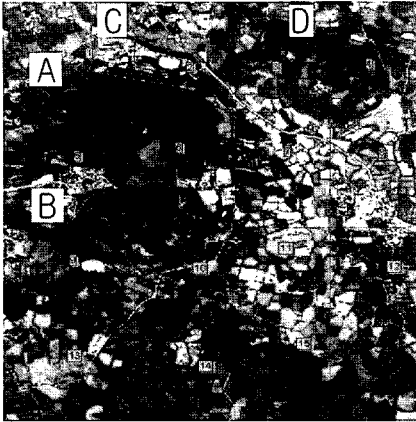


그림 6. 관측점과 단면의 분포도

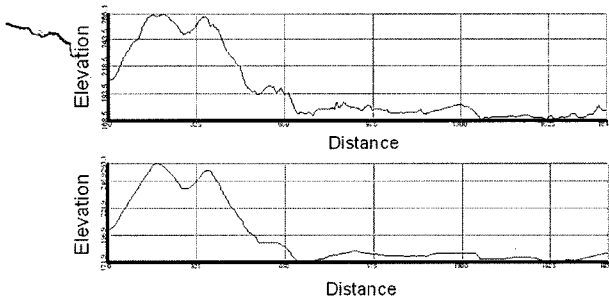


그림 7. 단면 B의 DEM 비교

4. 지형분석 및 최적노선선정

지형분석은 GIS의 중추적인 기능으로서 분석방법에는 공간분석(Spatial Analysis)과 통계분석(Statistical Analysis)이

표 4. 토지이용분류와 등급

토지이용분류	주거지	밭	과수원	목장	산	하천
등급	1	2	2	2	3	3

있다. 공간분석은 하나 혹은 그이상의 데이터계층에 나타난 정보의 공간구성을 운용하는 것이다. 일반적으로 GIS는 사칙연산을 통해 지도를 중첩함으로써 새로운 지도를 합성하고 네트워크연결을 추적하거나 방향이나 거리를 측정할 수 있으며 통계적인 분석 등이 가능하다.

본 연구에서는 GIS프로그램인 ArcView와 MGE Module를 이용하여 그림 8과 같이 Arithmetic Overlay 사칙연산을 이용한 최적노선을 선정하는데 필요한 주요구성성분요소를 고려한 모델구조를 형성하여 새로운 합성지도를 생성하였다. 이 합성지도를 생성함에 있어서 지형지물 위치도는 정사사진으로부터 추출하였으며 도로를 설계할 때 반드시 피해야 할 지형지물들의 위치를 합성지도상에 나타내는 역할을 하고 음영기복도는 지형의 기복변화를 나타내는데 기복변화가 작은 데로부터 큰 데로의 순서로 등급을 나누었다. 그리고 경사도는 지형의 경사정도를 수치적으로 나타낸 도면인데 지형경사가 작으면 도로설계에 유리하므로 경사가 작은 데로부터 큰 데로의 순서로 등급을 나누었다. 경사방향도에서 지형의 대부분이 동쪽면을 향하고 있으므로 동쪽면을 기준면으로 하고 등급을 나누었다. 토지사용에 있어서는 표 4에서와 같이 토지의 보상금액수의 크기에 따라 등급을 나누고 그 값들을 합성 지도를 생성 시 추가하여 분석하고 지형분석에 필요한 지형지물위치도, 경사방향도, 경사도, 음영기복도는 각각 그

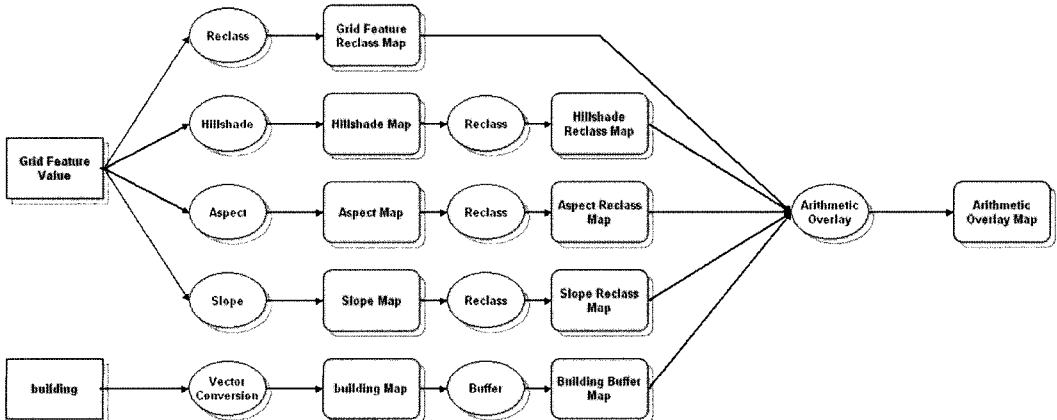


그림 8. 산술적 사칙연산 모델구조

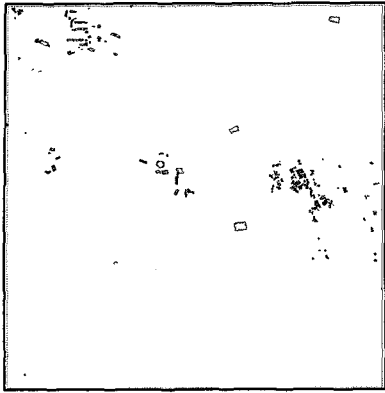


그림 9. 지형지물 위치도

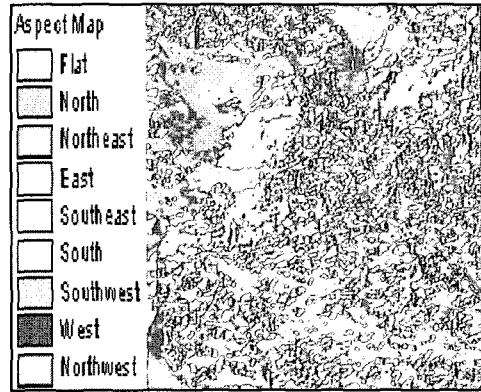


그림 10. 경사방향도

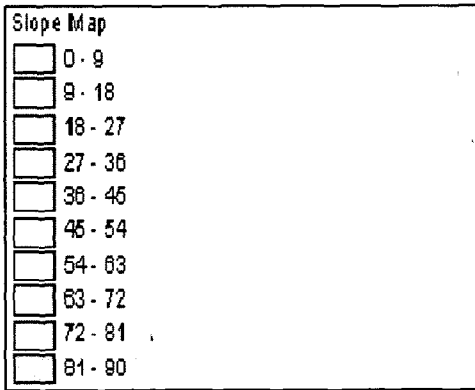


그림 11. 경사도

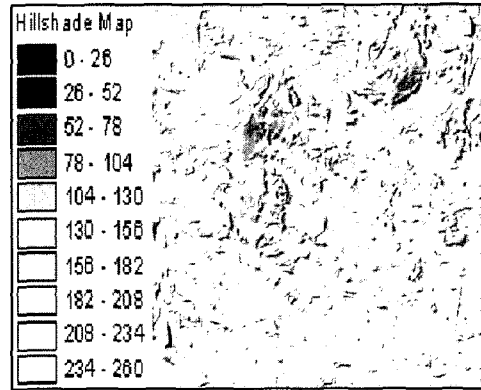


그림 12. 음영기록도

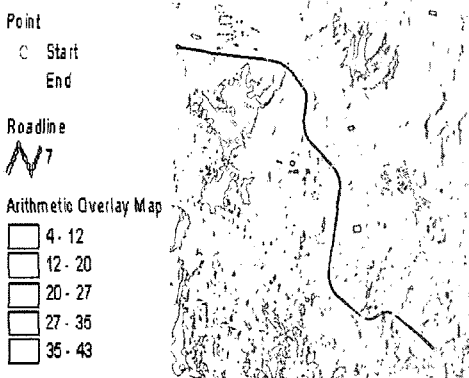


그림 13. 합성지도

5. 도로의 3차원 시뮬레이션

본 연구에서는 선정된 노선에 대하여 설계후의 효과를 판정하고자 도로설계프로그램인 Inroads를 이용하여 도로의 평면선형 및 종단선형, 확폭, 시거, 편경사 등을 고려하여 설계하였고 3차원 시뮬레이션을 통하여 최종의 결과를 확인해 보았다.

연구지역의 설계조건으로는 설계속도 80km/h, 차선폭 3.5m, 중앙분리대는 0.5m으로 왕복2차선도로로 하였고 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정에 근거하여 80km/h 일때 마찰계수는 0.12이고 최소곡선반경은 280m이며 도로의 종단면도는 그림 14와 같다. 하늘색은 기존지형선형을 나타낸 것이고 적색은 도로가 놓여 질 종단선형을 나타낸 것이다.

3차원 도로 시뮬레이션을 진행함에 있어서 연구지역의 광원은 2005년 6월 정각 12시로 하고 태양광은 1.0으로 설정하였다. 프레임은 모두 600개로 구성되고 묘사조건

림 9, 그림 10, 그림 11, 그림 12와 같다.

위의 과정을 통하여 얻은 합성지도와 노선의 시 종점, 최단노선 등을 고려하여 얻은 도로의 최적노선은 그림 13에 표시한바와 같다.

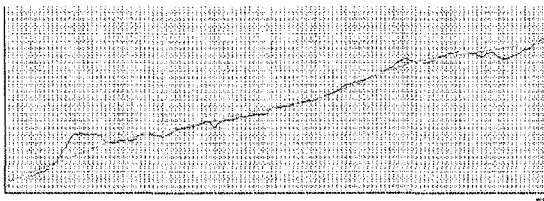


그림 14. 지형과 노선의 종단선형

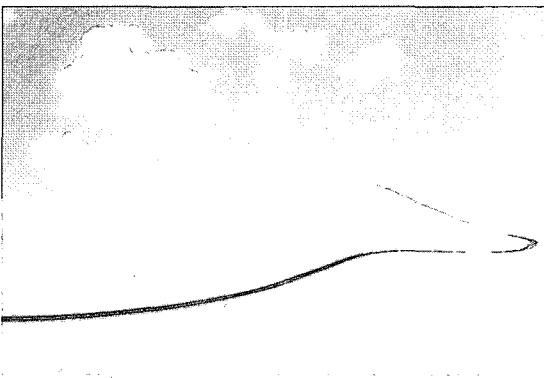


그림 15. 도로의 왼쪽에서 본 모습

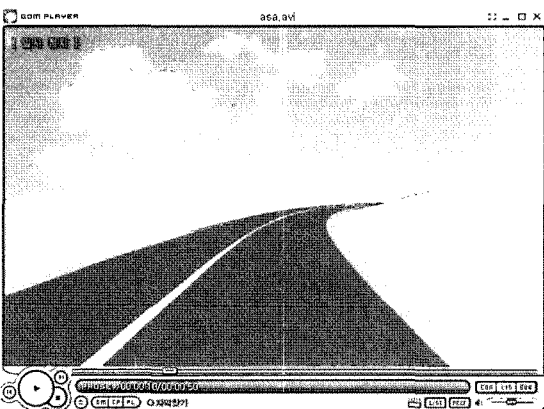


그림 16. 시뮬레이션의 한 장면

에 대한 해상도는 860×640으로 하고 RGB컬러로 구현하였다.

그림 15와 16은 주행경로를 설정하여 도로완성후의 모습을 일정한 각도에서 바라본 모습과 시뮬레이션을 진행할 때 주요 스테이션에서의 경관 및 선형을 분석한 결과를 보여주고 있다. 3차원 동영상을 살펴보면 제주도 중산간 지역의 다양한 경관 및 지형을 고려한 정보를 제공하고 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 수치사진측량을 이용하여 수치표고모델과 정사영상을 생성하고 이로부터 지형공간정보기술을 적용하여 지형분석을 통한 최적노선을 선정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수치사진측량방법으로 수치표고모델과 정사영상을 생성한 결과를 수치지도와 비교한 결과 사진측량으로 구한 지형자료가 현재의 지형정보를 잘 반영하고 있음이 나타났다.

2. 지형공간정보(GIS)를 이용하여 지형분석에 필요한 지형지물위치도, 경사방향도, 경사도, 음영기복도등을 구하여 overlay 기법으로 최적노선을 선정할 수 있었다.

3. 지형공간정보기술로 구한 최적노선에 대한 3차원 도로 입체 동영상 시뮬레이션을 실시한 결과 향후 제주도 중산간지역의 도로설계에 직접적으로 응용할 수 있는 자료를 제공함으로써 도로 준공 후에야 알 수 있는 도로설계의 문제점을 시공 전에 예측할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 제주대학교 BK사업단인 21세기 신해양인력 양성사업단의 2005년도 RA지원비에 의해서 이루어진 것으로 이에 대하여 감사드립니다.

참고문헌

- 강인준, 최현, 홍순현, 박동성 (2001), 항공사진을 이용한 수치지적도의 수정 및 갱신, 한국측량학회지, 제19권, 제4호, 한국측량학회, pp. 357-363.
- 강준목, 이철희, 이형석 (2002), 수치지도의 수정 및 갱신을 위한 고해상도 위성영상의 적용 가능성평가, 한국측량학회지, 제20권, 제3호, 한국측량학회, pp. 313-321.
- 김감래, 안병구, 김명배 (2003), SPOT영상을 사용한 3차원 모델링시 지상기준점수에 따른 정확도 평가, 한국측량학회지, 제21권, 제1호, 한국측량학회, pp. 61-69.
- 박운용, 이기부, 정성모, 이인수 (1998), DTM의 정확도 향상에 의한 정밀 수치정사사진 생성, 한국측지학회지, 제16권, 제2호, 1998, 한국측지학회, pp. 243-250.
- 유복모 (1998), 지형공간정보론, 박영사, pp. 1-25.
- 유복모, 토니 쉘크, (2003), 현대 디지털 사진 측량학, 피어슨 에듀케이션 코리아, pp. 348-351.
- 이현직, 김정일, 황창섭 (2003), 항공사진영상을 이용한 도심지역의 지형공간정보 취득, 한국측량학회지, 제21권, 제1호, 한국측량학회, pp. 27-36.

- 이현직, 정수, 이승호 (1999), 수치사진측량시스템 환경에서의 수치지도의 수정 및 갱신, 한국측량학회지, 제17권, 제4호, 한국측량학회, pp. 359-372.
- 조재호, 윤종성 (1998), 수치사진측량 기법을 이용한 항공사진의 정사투영사진 지도 생성에 관한 연구, 한국측지학회지, 제16권, 제2호, 한국측량학회, pp. 203-212.
- 주영은 (2003), 구조물 모니터링을 위한 수치근접사진측량 시스템 개발, 박사학위논문, 충남대학교, pp. 1-25.
- 최현, 강인준, 이병걸 (2001), 3차원 지형공간정보체계를 이용한 도로설계시뮬레이션, 대한토목학회지, 제21권, 대한토목학회, pp. 201-207.
- 한창복 (1999), 최적노선선정을 위한 지형공간정보체계의 적용에 관한 연구, 석사학위논문, 부산대학교, pp. 1-26.
- ESRI (1998), *Understanding GIS*, 1998, pp. 9-10.
- G. Konecny (1979), Methods and possibilities for digital differential rectification, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, Vol. 45, No.6, pp. 729-734.
- INTERGRAPH (1996), *MGE Grid Analyst*.
- INTERGRAPH (1996), *MGE Terrain Analyst*.
- INTERGRAPH (1999), *Working with Inroads Select CAD*.

(접수일 2006. 2. 28, 심사일 2006. 3. 10, 심사완료일 2006. 3. 20)