

碩士學位論文

數值寫眞測量과 GIS를 利用한  
最適路線選定에 관한 研究



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

權 赫 春

2004年 11月

# 數值寫眞測量과 GIS를 利用한 最適路線選定에 관한 研究

指導教授 李 秉 杰

權 赫 春

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



權赫春의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 \_\_\_\_\_ ㉠

委 員 \_\_\_\_\_ ㉠

委 員 \_\_\_\_\_ ㉠

濟州大學校 大學院

2004年 11月

# A Study on The Optimum Road Design Based on Digital Photogrammetry and GIS

He-Chun, Quan

(Supervised by professor Byung-Gul Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements  
for the degree of Master of Engineering

2004. 11.

This thesis has been examined and approved.

DEPARTMENT OF CIVIL & OCEAN ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 目次

Summary .....	1
1. 서론 .....	2
1.1 연구배경 및 동향 .....	2
1.2 연구목적 .....	4
2. 기본이론 .....	6
2.1 영상피라미드 .....	6
2.2 영상채배열 .....	7
2.2.1 최근린보간법 .....	7
2.2.2 공일차보간법 .....	8
2.2.3 공이차보간법 .....	8
2.3 기하학적 변환 .....	9
2.4 광속조정법 .....	11
2.4.1 광속조정법의 기본 모형 .....	11
2.4.2 공간후방교선법과 공간전방교선법 .....	14
3. 연구대상지역 .....	16
4. 수치표고모델 생성 .....	18
4.1 DEM 생성과정 .....	18
4.2 생성된 DEM의 정확도평가 .....	21
5. 정사영상 생성 .....	26
6. 지형분석 및 최적노선선정 .....	31
6.1 GIS 구축 및 지형분석 .....	31
6.2 노선선정 .....	41
6.3 도로의 설계 및 3차원 시뮬레이션 .....	44
7. 결론 .....	50
참고문헌 .....	51

## List of Figures

Fig 1. The collinearity condition .....	12
Fig 2. Location of study area .....	16
Fig 3. A pair of stereo air photograph .....	16
Fig 4. 1/5,000 Digital map .....	17
Fig 5. Model of digital photogrammetric system .....	18
Fig 6. Grid feature of study area .....	19
Fig 7. Contribution of observe point and section line .....	21
Fig 8. Section A of DEM .....	23
Fig 9. Section B of DEM .....	23
Fig 10. Section C of DEM .....	24
Fig 11. Section D of DEM .....	24
Fig 12. Work flow of differential rectification .....	29
Fig 13. Overlay process of DEM and air photograph .....	29
Fig 14. Ortho photo of study area .....	30
Fig 15. Building map .....	33
Fig 16. Hill shade map .....	34
Fig 17. Attributes of hillshade map .....	34
Fig 18. Slope map .....	35
Fig 19. Attributes of slope map .....	35
Fig 20. Aspect map .....	36
Fig 21. Attributes of aspect map .....	36
Fig 22. Histogram of aspect map .....	38
Fig 23. Arithmetic overlay model building .....	39
Fig 24. Arithmetic overlay process .....	39
Fig 25. Arithmetic overlay data .....	40
Fig 26. Typical roadway construction work flow .....	41

Fig 27. Work flow of suitable roadway design .....	42
Fig 28. Arithmetic overlay map .....	43
Fig 29. Original surface and road line surface of Study area .....	46
Fig 30. TIN shapes of study area .....	47
Fig 31. TIN-Terrain after designed road .....	47
Fig 32. Perspective view on left .....	48
Fig 33. Perspective view on right .....	48
Fig 34. Front view .....	49
Fig 35. Backsight view .....	49



## List of Table

Table 1. Information of air photograph .....	17
Table 2. Ground control points and exterior orientation parameters .....	19
Table 3. Standard of accuracy .....	21
Table 4. Accuracy comparison of observe point .....	22
Table 5. Characteristics of differential rectification method .....	28
Table 6. Alignment curve set and horizontal alignment geometry .....	45
Table 7. Minimum horizontal curves and inclination pitch according .....	45



# Summary

The road design is very important for the transformation of goods and people because it is the most basic public transportation design system. To do this, it's the necessary to considering the various conditions of the target area and deciding about the location of the roadline. In the case, the digital photogrammatry and GIS(Spatial Information System) technique was very useful.

The purpose of this research is to design a road using digital photogrammatry method to generate DEM(digital elevation model) and digital ortho image based on GIS which was applied to the road simulation. The example study area was the suburbs of Jeju city. To this study, DEM of the study area and GIS technique were used for optimum road design of the island based on Arc View software. Using this software we can get an overlay map by combination of hill shade map, slope map, aspect map, and building buffer map. Based on this overlap map, we designed the best road line and along this line we performed three dimensional road simulation using Microstation CAD and Inroads road design programs.

From the results, we found that the DEM and digital ortho image acquired from stereoairphoto using digital photogrammatry was satisfied for choosing the best roadline and the developed three dimensional road simulation technique using GIS technique was very useful to estimate the reasonable road design before the real road construction works.



# 1. 서론

## 1.1 연구배경 및 동향

경제의 급속한 발전과 함께 인류들의 환경개발활동은 더욱 가속화되고 있고 그에 따라 무단적인 개발, 부실공사 등에 의한 환경파괴도 잇따르고 있으며 결국에는 인류자신이 엄청난 피해를 입게 되는 것이다. 그러므로 공사계획, 및 시공은 전반적인 계획, 주위환경에 대한 정확한 이해, 지형에 대한 정확한 분석 하에서 엄밀히 진행되어야 한다. 특히 도로시설은 물자나 사람을 수송하는데 있어서 없어서는 안 될 가장 기본적인 공공교통시설이고 현재나 앞으로도 개척이 향상될 것이므로 이에 의한 환경파괴를 최대한으로 감소시키고 그 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 대상지역의 여러 가지 조건을 고려하여 가장 적합한 노선의 위치를 결정하여 도로교통의 특성인 기동성, 편리성, 경제성을 최대한 증진시키고 경제, 사회발전을 촉진시키며 국민생활 향상에 기여할 것이 절실히 필요한 상황이다. 이것의 실현을 위해서는 우선 지형공간정보체계가 구축되어야 한다.

포괄적인 의미의 지형공간정보체계 GISIS(Geo-Spatial Information System)는 지구에 관한 정보를 수집, 저장, 분석, 보급하기 위한 하드웨어, 자료, 인력, 조직체계를 포함한다. 좀더 간결하게 표현하면 지형정보체계는 지형정보와 속성 정보를 효율적으로 결합하여 주어진 문제의 해결 및 의사결정에 최대한 효용을 얻기 위해 결합된 정보체계를 말한다. 그리고 지형정보체계는 방대한 양의 자료관리 및 그것을 사용자가 원하는 형태의 자료로 표현하는 기능이 우수하며 뛰어난 지형표현 및 분석기능을 토대로 의사결정을 돕는 보조 수단으로 널리 사용될 수 있다(유복모, 1998).

GISIS 구축 및 활용을 위하여서는 질적, 양적으로 향상된 수치표고모델과 정사영상이 요구되며, 활용분야 또한 광범위하게 확대되고 있다. 특히 지도제작 분야에 있어서는 정사투영영상의 작성뿐만 아니라, 지형도의 신속한 제작, 등고선도, 경사도, 사면방위도, 지형기복도 및 표고 분포도 작성 등에 수치표고모델이 많이 활용된다. GISIS는 엄청난 시장 잠재력과 응용분야의 다양성에도 불구하고, 3차원 데이터 구축의 자료획득 및 데이터베이스 구축의 고비용, 3차원 모델링 기술, 대용량 데이터베

이스 처리 기술 등의 기술적인 어려움으로 인하여 개발이 부진한 실정이다.

그러나 최근에는 고해상도위성 및 국산위성인 아리랑 호 등에 의하여 공간 해상도가 1m~5m인 지도 제작용 위성영상의 획득이 가능하고, 3차원 정보를 취득할 수 있는 GPS(Global Position System)등과 같은 정보원이 다양해지고 항공디지털카메라와 컴퓨터에 의한 수치사진측량(Digital Photogrammetry)의 비약적인 발전에 의하여 3차원 데이터의 구축이 용이해지고, 최근 하드웨어 기술의 발달 및 컴퓨터 그래픽과 가상현실 기술의 발달로 인하여 비약적인 발전이 예상된다(고영호, 2002).

특히 수치사진측량은 소프트웨어적으로 좌표가 관측되므로 기계적 마모가 없고 2인 이상이 동시에 입체영상을 관측할 수 있으므로 성과의 품질을 보다 객관적으로 평가할 수 있다. 또한 수치영상을 배경으로 하여 도화가 수행되므로 오류나 누락이 즉시 확인될 수 있고 자동영상정합에 의한 등고선의 자동추출, 자동 수치정사투영 영상 생성이 가능하다.

수치사진측량은 1980년대부터 본격적으로 시작되어, 기계적 도화기와 해석도화기 이후 제 3세대 사진측량 방법으로 인식되고 있으며, 상업적 목적으로 개발된 시스템은 1990년대 이후에 와서야 소개 및 보급되기 시작했다.

수치사진측량시스템은 수치사진측량방법에 의해 사진측량과정을 자동화하는 것을 목적으로 한다. 그러나 수치사진측량은 현재까지도 개발단계에 있으며 사진측량과정의 전자동화를 최종목적으로 다양한 이론과 장비들이 연구, 개발되고 있는 중이므로, 아직까지 완전 자동화가 구현된 수치사진측량시스템의 개발은 이루어지지 않고 있다(이현직 등, 2003).

## 1.2 연구목적

보통 항공사진, 현지조사 자료와 같은 원 자료(raw data)로부터 수치지도 완성까지의 기간은 비교적 많이 소요되며, 한번 갱신하는데도 시간과 비용이 많이 필요하다. 1995년 국가지리정보체계(NGIS) 구축 기본계획에 근거하여 국가기본도인 지형도 전산화 사업이 추진 되었으며, 주된 대상축척은 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 공사현장에 따른 중·소규모지역의 지형지물 변화는 시시각각으로 바뀌고 있는 실정이므로 최적노선선정을 위해서는 최적의 기술력을 이용하여 성과물을 갱신하는 것이 효율적일 수 있다(강준목 등, 2002).

최근 컴퓨터와 전자기술의 발달에 힘입어 새로운 해석 기법이나 첨단장비들이 수치자료 구축에 활용되고 있다. 수치사진측량에 의한 영상해석 기법은 수치영상을 이용하고 실시간 처리의 필요성을 만족시킬 수 있으며 작업속도를 증가시킬 수 있고 일관된 결과물 산출이 가능하며 자료의 변형이 없음은 물론 벡터와 래스터 자료를 동시에 생성할 수 있어 건설 분야에서 각종 구조물에 대한 수치도면 작성, 시설물의 유지관리 및 안전성 검토, 특히 지형정보 분야에 그 활용 가능성이 높아지고 있다(주영은, 2003).

수치사진측량은 수치영상을 기본 자료로 이용한다는 점에서 종래의 사진측량과 구분된다. 필름형태의 자료대신 수치영상을 이용한다는 것은 단순히 매체가 바뀐다는 의미를 넘어서 컴퓨터에 의한 자동화의 가능성을 부여하게 된다.

현재까지 대부분의 상용 수치사진측량시스템은 특수한 부가장치에 의해 컴퓨터의 모니터 상에서 입체시를 구현하고, 해석도화기에서 기계적으로 제어되었던 좌표관측을 소프트웨어적으로 처리함으로써 기존해석도화기의 기능을 컴퓨터 환경 내에 구현한 형태이다. 더불어 부분적인 자동화 기능들이 추가 되었다. 특히, 자동영상정합에 의한 등고선의 자동추출, 자동 수치정사투영영상 생성 등은 기존의 해석도화기에서는 제공되지 않던 새로운 기능들이다. 현재 보급되고 있는 상용수치사진측량시스템을 이용하여 수치도면을 제작하는 경우에는 궁극적으로 완전자동화는 불가능하며 해석도화기에 의한 도면 제작과 마찬가지로 작업자의 수작업에 의존하여 제작

이 이루어져야 한다(이현직 등, 2003).

그리하여 본 연구에서는 한 쌍의 입체항공사진으로부터 수치사진측량기법을 적용시켜 수치표고모형을 추출하고 생성된 수치표고모형을 이용하여 연구대상지역부분의 정사영상을 제작하고 수치표고모형과 정사사진으로부터 GIS정보체계를 구축하고 Arithmetic Overlay 사칙연산을 이용하여 지형분석에 필요한 음영기복도, 경사도, 경사방향도, 건축물위치도등을 결합시킨 합성지도(Overlay Map)를 생성하여 최적노선을 선정하는데 그 목적을 두었으며 최종으로 3차원 시뮬레이션을 진행하여 그 효과를 검증하였다.



## 2. 기본이론

### 2.1 영상피라미드

영상 피라미드의 기법은 영상의 해상력을 변화시켜 대상을 다양한 해상력의 2차원적 배열로 연속적으로 생성하므로 중요한 특징만을 남게 하여 영상의 크기를 감소시킴으로써, 그 처리속도를 증가시키는 방법이다.

피라미드 P는 다음과 같은 영상집합으로 나타낼 수 있다.

$$P = \{A_{1 \times 1}, A_{2 \times 2}, A_{4 \times 4}, \dots, A_{256 \times 256}, A_{m \times m}\} \quad (2-1)$$

여기서,  $m = 2n$ 이다. 이러한 피라미드식 표현에서,  $A_{m \times m}$ 는 영상의 최고 또는 최대 해상력이고  $A_{1 \times 1}$ 은 해상력이 저하된 1영상소로 이루어진 영상이다. 사지수 또는 피라미드를 생성할 때 입력된 영상에서 4개의 영상소에 대해서 계산되며 하나의 해상력에 대해 다른 해상력으로 옮겨갈 때 평균적인 접근법을 통하여 수준n에서 입력영상이 주어지면 피라미드는 다음의 식을 통하여 새로운 영상이 생성된다.

$$f(i, j, k) = \frac{1}{4} \sum_{p=0}^1 \sum_{q=0}^1 f(2i+p, 2j+q, k+1) \quad (2-2)$$


## 2.2 영상재배열

영상재배열은 수치영상의 기하학적 변환을 위해 수행되고 원래의 수치영상과 변환된 수치영상 관계에 있어 영상소의 중심이 정확히 일치하지 않으므로 영상소를 일대일 대응관계로 재배열할 경우에는 영상의 왜곡이 발생하게 된다. 따라서 일반적인 방법에 있어서는 인접영상의 밝기 값들을 이용하여 보간에 의한 방법으로 재배열하게 된다.

항공사진이나 인공위성영상의 기준점자료를 이용하여 영상소를 재배열할 경우에 이용되는 보간법으로는 최근린보간법, 공일차보간법(bilinear interpolation), 공이차보간법 등이 있다(유복모 등, 2003).

### 2.2.1 최근린보간법

최근린보간법은 입력격자 상에서 가장 가까운 영상소의 밝기 값을 이용하여 출력격자로 변환시키는 방법으로 보간 과정은 식(2-3)과 같다.



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$G_0(m,n) = G_p(i,j) \quad (2-3)$$

여기서  $i = nint(x)$ ,  $j = nint(y)$ ,  $x = f_1(m,n)$ ,  $y = f_2(m,n)$

$f_1, f_2$  : 입력영상과 출력영상사이의 변환함수

$x, y$  : 입력영상에서의 변환된 좌표를 나타내는 실수

$(m,n), (i,j)$  : 입력 및 출력 격자에서의 영상소 위치

$G_0(m,n)$  : 입력 격자에서  $(m,n)$  영상소의 밝기 값

$G_0(i,j)$  : 출력 격자에서  $(i,j)$  영상소의 밝기 값

최근린보간법은 원래의 자료 값을 다른 방법들처럼 평균하지 않고 그대로 사용하기 때문에 자료 값의 최대값과 최소값이 변하지 않는다. 또한 위에서 언급한 다른 두 가지 방법보다 처리속도가 가장 빠르고 출력영상으로 밝기 값을 정확히 변환시킨다는 장점이 있으나, 영상소 간격당  $\pm 1/2$  정도의 기하학적 불연속이 영상에 나

타날 수 있는 단점을 가지고 있다.

### 2.2.2 공일차보간법

공일차보간법은 선택된 영상소에 대해 식 (2-4)에 의해 가장 가까이 있는 4개 영상소의 평균값을 취하는 방법이다.

$$G_0(m, n) = (1-a)(1-b)G_p(i, j) + a(1-b)G_p(i+1, j) \\ + (1-a)bG_p(i, j+1) + abG_p(i+1, j+1) \quad (2-4)$$

이 방법은 출력영상에서 나타나는 기하학적 불연속은 줄일 수 있으나, 원래의 밝기 값을 변화시키는 평활화 과정에서 발생하는 영상 흐림을 유발할 수도 있다.

### 2.2.3 공이차보간법

공이차보간법은 각 결과 단위 부근의 16개 영상소를 영상소 값으로 변환하여 계산하는 방법으로 최종 보간 된 밝기 값은 식 (2-5)과 같이 계산 된다

$$G_0(m, k) = -b(1-b)^2G_d(i, j-1) + (1-2b^2+b^3)G_d(i, j) \\ + b(1+b-b^2)G_d(i, j+1) - b^2(1-b)G_d(i, j+2) \quad (2-5)$$

여기서

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

공이차보간법은 기하학적 불연속 표현을 줄일 수 있고, 공일차보간법보다도 더 양질의 영상을 제공할 수 있으나 계산시간을 너무 많이 요한다는 단점이 있다.

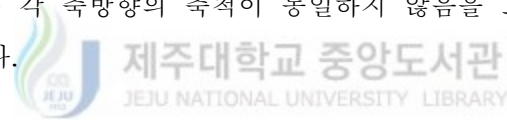
## 2.3 기하학적 변환

평면과 평면간의 좌표변환 관계를 설정하는 데에는 다양한 변환 식들이 사용되며 각 변환 식마다 그 특성이 다르고 필요한 매개변수의 수도 다르게 나타난다. 따라서 평면좌표변환 식을 설정할 때에는 적용할 변환의 기하학적 특성과 변환매개변수의 개수 이상의 변환기준점을 취득할 수 있는지의 여부를 조사하여야 한다.

선형등각사상변환은 x방향과 y방향이 직교하는 것을 조건으로 하여 도입된 평면좌표계의 변환으로 식 (2-6)과 같다.

$$\begin{aligned}x &= a_1x' - a_2y' + a_3 \\y &= a_2x' + a_1y' + a_4\end{aligned}\tag{2-6}$$

부등각사상변환은 각 축방향의 축척이 동일하지 않음을 고려한 것으로 그 변환식은 식(2-7)과 같다.



$$\begin{aligned}x &= b_1x' + b_2y' + b_3 \\y &= b_4x' + b_5y' + b_6\end{aligned}\tag{2-7}$$

또한 부등각사상변환에  $xy$ 의 항을 추가한 의사부등각사상변환은 식 (2-8)과 같다.

$$\begin{aligned}x &= c_1x' + c_2y' + c_3x'y' + c_5 \\y &= c_6x' + c_7y' + c_8x'y' + c_9\end{aligned}\tag{2-8}$$



2차원 평면간의 좌표변환 시 사용하는 투영변환은 식 (2-9)과 같다.

$$\begin{aligned}x &= \frac{d_1x' + d_2y' + d_3}{d_7x' + d_8y' + 1} \\y &= \frac{d_4x' + d_5y' + d_6}{d_7x' + d_8y' + 1}\end{aligned}\tag{2-9}$$

이러한 평면좌표변환들은 영상좌표의 취득, 카메라 검정을 위한 모형식 설정, 2차원 기하보정영상 생성 등 수치사진측량의 다양한 부분에서 이용되어 진다.



## 2.4 광속조정법

광속조정법(bundle adjustment)이란 지상기준점과 각 사진 상에서 관측된 기준점의 사진좌표(photo coordinate)를 관측 값으로 하여 최소제곱법을 이용하여 각 사진의 외부표정요소 및 미지의 지상좌표 값에 대한 최확값을 결정하는 방법이다(Moffitt, 1980). 광속조정의 기본단위는 광속에 의한 사진좌표이며 공간후방교선법(spatial resection)과 공간전방교선법(spatial intersection)의 두 단계로 분류할 수 있다. 공간후방교선법은 항공사진의 외부표정요소를 결정하는 과정이고 공간전방교선법은 외부표정요소와 공액점을 이용하여 대상물의 3차원 좌표를 결정하는 방법이다. 광속조정법은 다항식법이나 독립입체모형법에 비해 정확도가 높으며 해석사진 측량의 조정계산에 널리 이용되고 있다(ASPRS, 1980).

### 2.4.1 광속조정법의 기본 모형

광속조정법에서는 각 사진 상에서 관측된 기준점과 중횡접합점의 사진좌표가 관측값이며, 이들 좌표값의 잔차의 제곱을 최소화하여 각 사진의 외부표정요소  $(X_L, Y_L, Z_L, \omega, \phi, \kappa)$  및 중횡접합점의 절대좌표  $(X, Y, Z)$ 를 해석한다. 광속조정법의 기본적인 수학적 모형은 Fig 1과 같은 공선조건으로 나타낼 수 있다(Paul R. Wolf, 1983).

Fig. 1에서와 같이 공간상의 임의의 점  $A(X_A, Y_A, Z_A)$ 와 그에 대응하는 사진 상의 점  $a(x_a, y_a)$  및 사진기의 투영중심  $L(X_L, Y_L, Z_L)$ 이 동일 직선상에 있어야 하는 조건을 공선조건(collinearity condition)이라고 한다. 공선조건식은 최소한 3점의 지상기준점을 이용하여 투영중심  $L$ 의 좌표  $(X_L, Y_L, Z_L)$ 와 표정인자  $(\omega, \phi, \kappa)$ 을 구하는 공간후방교선법과 공간전방교선법에 의해 결정된 6개의 표정인자와 사진 상의 점  $(x, y)$ 를 이용하여 새로운 지상 점의 좌표  $(X, Y, Z)$ 를 구하는 공간전방교선법에 이용된다.

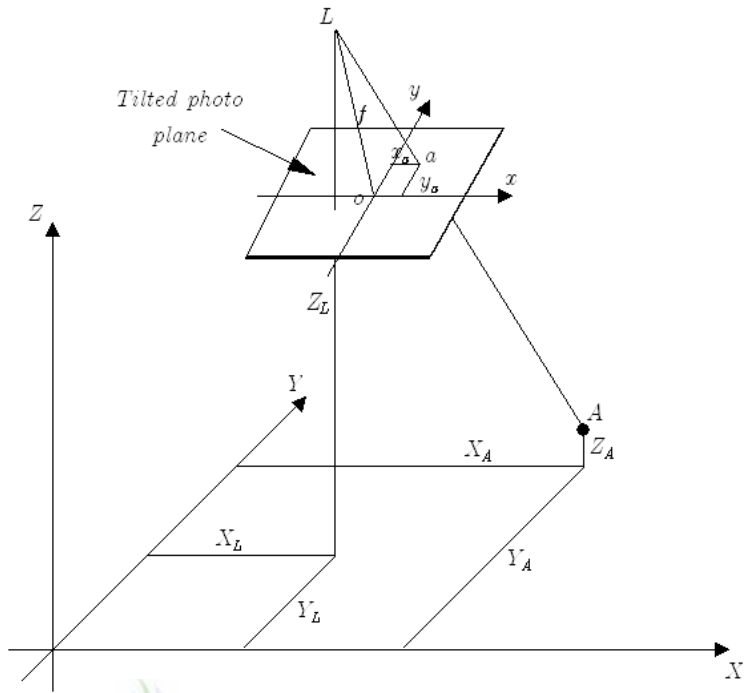


Fig 1. The collinearity condition

사진 상의 점과 지상 점에 대한 공선조건식은 기하 적 관계를 이용하여 식 (2-10)과 같이 얻을 수 있다.

$$x = -f \left[ \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \right] \quad (2-10a)$$

$$y = -f \left[ \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)} \right] \quad (2-10b)$$

여기서

- $f$  : 사진기의 초점거리  
 $x, y$  : 사진 상에서의 좌표 값  
 $X, Y, Z$  : 사진좌표와 대응 되는 점의 지상좌표 값  
 $X_L, Y_L, Z_L$  : 사진기 노출 점의 지상좌표

이다.

또한,  $m_{11} \sim m_{33}$ 은 회전형렬의 요소로서 식 (2-11)과 같다.

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \cos\phi \cos\kappa \\
 m_{12} &= \sin\omega \sin\phi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa \\
 m_{13} &= -\cos\omega \sin\phi \sin\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\
 m_{21} &= -\cos\phi \sin\kappa \\
 m_{22} &= -\sin\omega \sin\phi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa \\
 m_{23} &= \cos\omega \sin\phi \sin\kappa + \sin\omega \cos\kappa \\
 m_{31} &= \sin\phi \\
 m_{32} &= -\sin\omega \cos\phi \\
 m_{33} &= \cos\omega \cos\phi
 \end{aligned} \tag{2-11}$$

공선조건식은 비선형이므로 Taylor 급수를 사용하여 선형 식으로 정리하면 식 (2-12)와 같다.

$$v_x = b_{11}(d\omega) + b_{12}(d\phi) + b_{13}(d\kappa) - b_{14}(dX_L) - b_{15}(dY_L) - b_{16}(dZ_L) + b_{14}(dX) + b_{15}(dY) + b_{16}(dZ) + J \tag{2-12a}$$

$$v_y = b_{21}(d\omega) + b_{22}(d\phi) + b_{23}(d\kappa) - b_{24}(dX_L) - b_{25}(dY_L) - b_{26}(dZ_L) + b_{24}(dX) + b_{25}(dY) + b_{26}(dZ) + K \tag{2-12b}$$

## 2.4.2 공간후방교선법과 공간전방교선법

해석사진측량 분야에서 대상물의 삼차원 좌표를 해석함에 있어 도해적 및 수치적 방법에 의한 수학적 모형을 적용시킬 때 다루어지는 기본적인 문제가 공선조건식에 의한 공간 후방교선법이다.

식 (2-12)을 행렬 요소로 간단히 나타내 보면 식 (2-13)이 된다.

$$\begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dw \\ d\phi \\ d\kappa \\ dX_L \\ dY_L \\ dZ_L \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} b_{14} & b_{15} & b_{16} \\ b_{24} & b_{25} & b_{26} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} \quad (2-13)$$

식 (2-13)을 간단히 표현하면 식 (2-14)과 같다.

$$\lambda_1 d_1 + \lambda_2 d_2 = \epsilon_0 + \nu_0 \quad (2-14)$$

여기서

- $\lambda_1$  : 미지 외부표정매개변수 행렬
- $\lambda_2$  : 미지 대상점 좌표 행렬
- $d_1$  : 미지 외부표정매개변수의 보정량
- $d_2$  : 미지 대상점의 보정량
- $\epsilon_0$  : 계산 후 근사값
- $\nu_0$  : 관측된 영상좌표 잔차

대상 점 A의 지상좌표( $X_A, Y_A, Z_A$ )을 알고 있다면 식 (2-12)은 점 A에 대하여


식(2-15)과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_x = b_{11}(dw) + b_{12}(d\phi) + b_{13}(d\kappa) - b_{14}(dX_L) - b_{15}(dY_L) - b_{16}(dZ_L) + J \quad (2-15a)$$

$$v_y = b_{21}(dw) + b_{22}(d\phi) + b_{23}(d\kappa) - b_{24}(dX_L) - b_{25}(dY_L) - b_{26}(dZ_L) + K \quad (2-15b)$$

이와 같이 지상좌표를 알고 있는 기준점이 최소 3점 이상 있으면 각 기준점에 대하여 식 (2-15)이 성립하므로 영상의 외부표정요소 ( $X_L, Y_L, Z_L, \omega, \phi, \kappa$ )을 산출할 수 있으며 이러한 과정을 공간후방교선법이라 한다.

지상 기준점을 이용하여 영상의 외부표정요소가 결정되면 식 (2-12)은 미지점 A에 대하여 식 (2-16)과 같이 나타낼 수 있다.



$$v_x = b_{14}(dX_A) + b_{15}(dY_A) + b_{16}(dZ_A) + J \quad (2-16a)$$

$$v_y = b_{24}(dX_A) + b_{25}(dY_A) + b_{26}(dZ_A) + K \quad (2-16b)$$

식 (2-16)을 한 쌍의 입체모델을 이루는 좌우측영상에 모두 적용시키고 최소제곱법으로 풀면 미지점의 좌표( $X_A, Y_A, Z_A$ )을 산출할 수 있으며 이 과정을 공간전방교선법이라 한다.

### 3. 연구대상지역

본 연구에서는 Fig 2와 같이 제주도 제주시 교외지역을 연구대상지역으로 선정하였으며 Fig 3에서 표시한 4각형 부분에 해당한다. 이곳은 아직 도로가 많이 개설되어 있지 않고 오름 들이 많이 분포하고 있으며 지세가 복잡하고 노선의 운행 시 주변부의 오름의 변화를 시각적으로 검토할 수 있어 연구지역으로 선정하였다.



Fig 2. Location of study area

연구대상지역에 대하여 수치적사진측량방법으로 수치표고모델과 정사영상을 획득하기위하여 사용된 입체항공사진의 좌우측영상은 Fig 3과 같으며 사용된 1/5000 수치지도는 Fig 4와 같다.

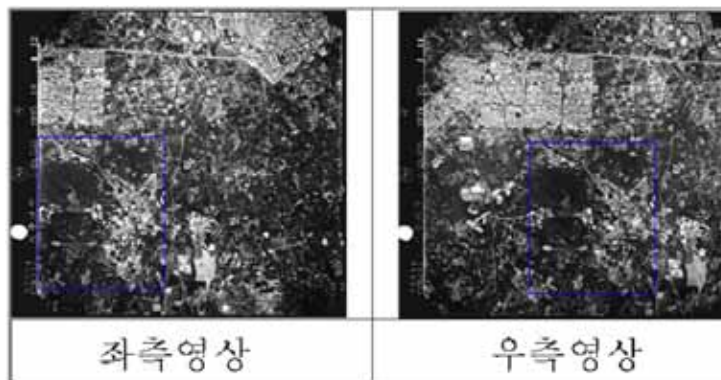


Fig 3. A pair of stereo air photograph

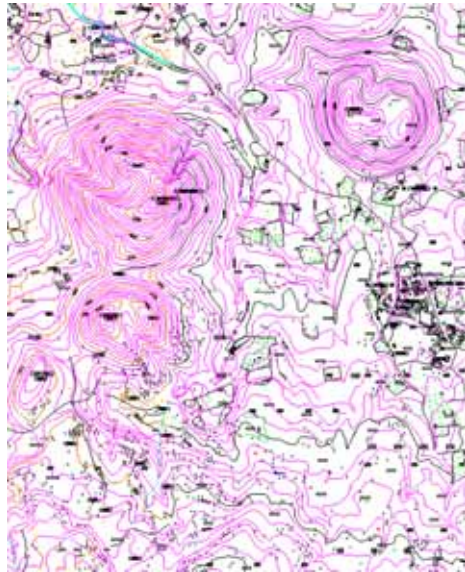


Fig 4. 1/5,000 Digital map

본 연구에 사용한 항공사진에 대한 자료는 Table 1과 같으며 사용된 양화필름은 KODAK TECHNICAL PAN2415이고 크기는 230mm × 230mm 이며 사용된 자동독취기 정확도는 1200lines/inch이며 한 라인에 11042개의 픽셀이 있으며 모두 11978개의 라인이 있다.

Table 1. Information of air photograph

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



## 4. 수치표고모델생성

### 4.1 DEM 생성과정

수치표고모델(DEM)은 지형공간정보체계(GSIS)에서 없어서는 안 될 요소이다. DEM은 규칙적인 격자나 삼각형으로 연결된 임의의 고도점을 이용하여 표면의 고도를 표현한다. 수치표고모델의 목적은 지구의 표면이나 대상물의 표면을 컴퓨터로 나타내기 위함이고 불연속적인 3차원의 점들로 구성된 자료기반(data base)관리체계를 이용하여 지형을 디지털적으로 표현하며 이러한 체계를 이용하는 장점은 DEM으로부터 여러 결과를 유도할 수 있고, 이것을 GSIS의 다른 자료층과 결합하여 활용할 수 있다는 데 있다. 고도 자료취득은 DEM을 생성하는 과정에서 매우 중요한 단계인데, 이는 디지털 모형의 정확도를 결정하기 때문이다(유복모, 2003).

본 연구에서는 기존에 있던 수치지도를 사용하지 않고 Intergraph사의 수치사진측량시스템인 Image-StationZ를 사용하여 Fig 5와 같은 모듈을 통하여 산악지역에 대한 고도자료를 점 형식으로 추출하고 수치표고모델을 자동 생성하였으며 정사영상을 제작하여 최적노선선정에 필요한 자료들을 추출하고자 하였다.

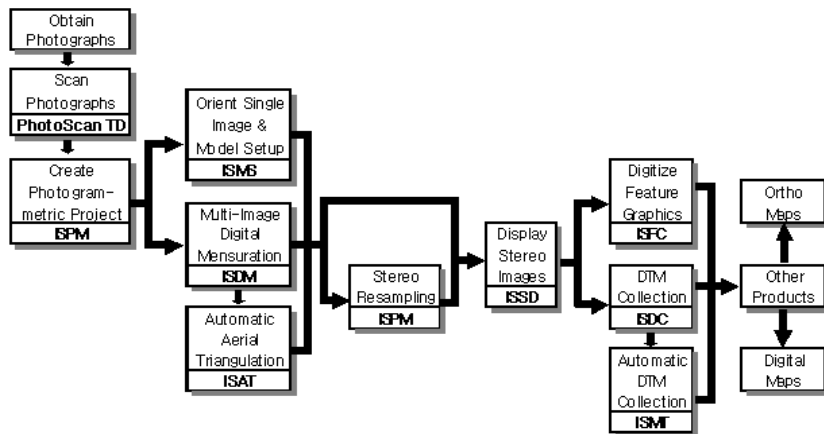


Fig 5. Model of digital photogrammetric system

수치표고모델생성을 위하여 1/1000수치지도에서 도로의 교차점이나 건물의 모서리 등과 같이 항공사진에서 판독이 쉬운 8점을 추출하여 기준점(GCP)으로 사용하여 외부표정을 실시하였고 사용된 기준점과 외부표정요소는 Table 2과 같다.

Table 2. Ground control points and exterior orientation parameters

	번호	X	Y	Z	번호	X	Y	Z	비고
	기준점	1	49832.580	153139.02	0	5	47979.110	153464.61	
	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	
외부표정	영상좌측	$X_L$	$Y_L$	$Z_L$	영상좌측	$\omega$	$\psi$	$\kappa$	
	우측	47919.263	155005.162	3406.049	우측	-0.140	0.205	-0.054	
	우측	47960.114	153334.927	3407.749	우측	0.128	0.018	-0.053	



일반적으로 컴퓨터를 통해 디지털적으로 지형표면을 표현하는 데는 두 가지 방법이 사용된다. 하나는 격자형(Raster) DEM이며, 다른 하나는 불규칙 삼각망(TIN: Triangulated Irregular Network) DEM이다(김의명, 2000).

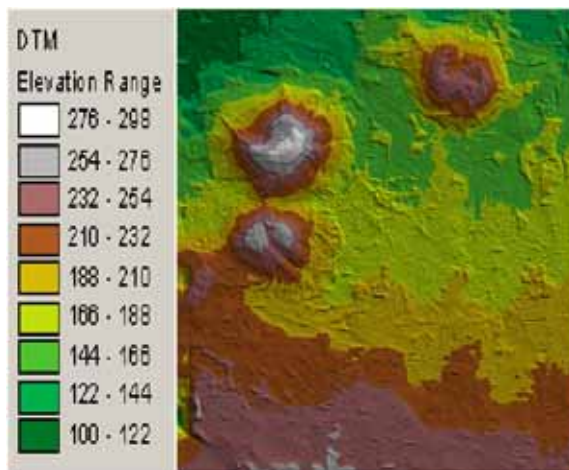


Fig 6. Grid feature of study area

지형을 표현하는 데 TIN을 이용하면 Raster에 의한 표현보다 더 적은 점들이 필요하다. 상각망에서 원점(original point)이 직접적으로 지형표면에 형성되는 반면, Raster는 보간에 의해 2차적인 자료로 유도된다.

내부표정과 외부표정을 완성한 다음 생성된 수치표고모델을 TIN으로 만든 다음 Fig 6과 같이 지형을 높이에 따라 22m 간격으로 부동한 색상으로 지형변화를 나타내어 지형분석에 이롭게 하였다. 이 DEM모형은 Fig 3의 항공사진에서 4각형부분에 해당되는 부분이며 이 부분에 대하여 지형을 분석하고 최적노선을 선정하였다.



## 4.2 생성된 DEM의 정확도평가

생성된 DEM의 정확도를 평가하기 위하여 1/5000수치지도로부터 추출한 DEM과 중첩시키고 Fig 7과 같이 연구대상지역에 관찰점 15점을 균일하게 분포시켜 표고의 정확도를 분석하고 가로 세로 각각 2개씩 단면을 절취하여 지형변화차이를 비교하여 보았다. Table 3은 분석에 사용된 정확도 기준이다.

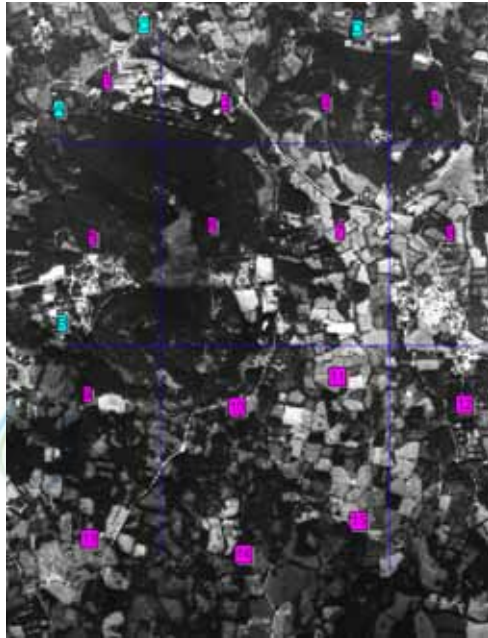


Fig 7. Contribution of observe point and section line

Table 3. Standard of accuracy

DEM 및 정사투영영상 (항공사진측량작 업내규 66조)	수치지도 축척	규정					
		표준편차			최대오차		
		평면오차	등고선	표고점	평면오차	등고선	표고점
	1:1,000	0.2mm	0.3m	0.15m	0.4mm	0.6m	0.3m
	1:5,000	0.2mm	1.0m	0.50m	0.4mm	2.0m	1.0m

Table 4. Accuracy comparison of observe point

점 번호	관측점의 TM 좌표 값(m)				Z <sub>1</sub> -Z <sub>2</sub>
	X	Y	Z <sub>1</sub> (기준표고)	Z <sub>2</sub> (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
$\text{표준편차} = \sqrt{\sum (X_i - \bar{x})^2 / (N-1)}$					0.501

Table 4와 같이 관측점에 대한 정확도를 분석한 결과 관측점의 표준편차는 Table 3에서 제시한 표고점의 표준편차에 거의 만족하며 최대오차의 범위 내에 있으므로 수치사진측량의 방법으로 생성된 수치표고모델은 최적노선을 선정하기 위하여 사용되기에는 무리가 없는 것으로 사료된다.

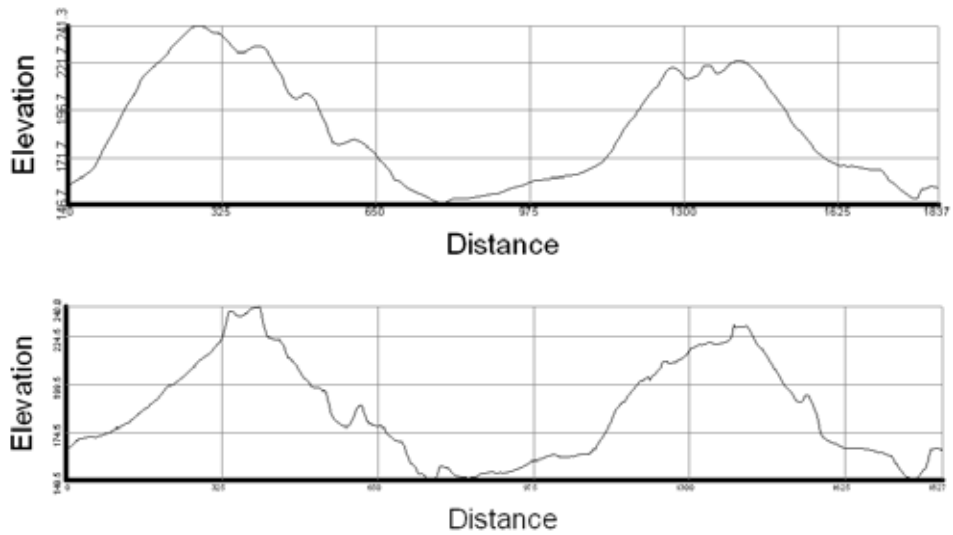


Fig 8. Section A of DEM

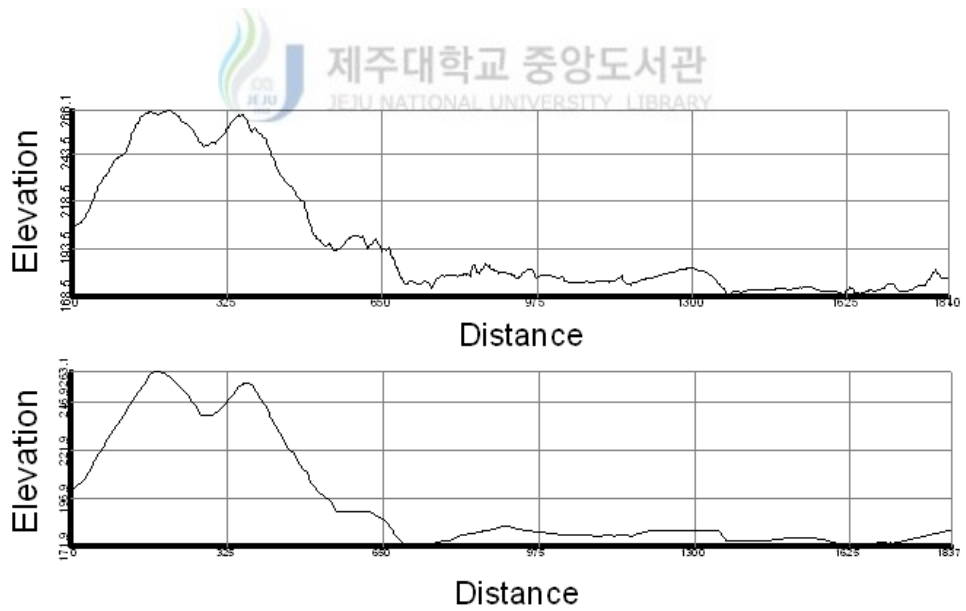


Fig 9. Section B of DEM

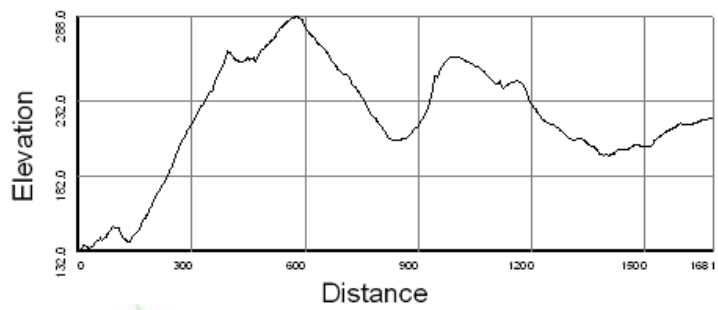
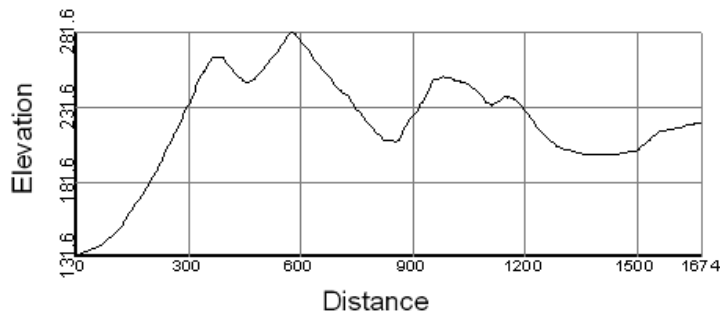


Fig 10. Section C of DEM

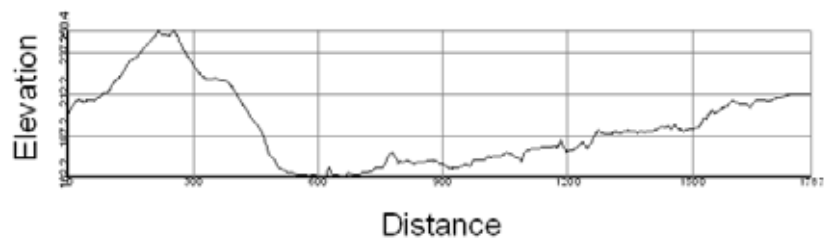
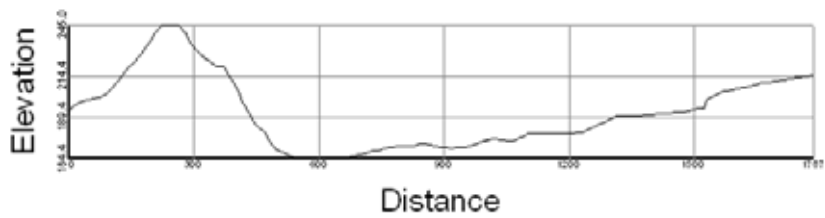


Fig 11. Section D of DEM

Fig 7과 같이 A, B, C, D 네 개 단면으로 나누어 1/5000수치지도로부터 생성된 DEM과 수치사진측량으로 생성된 DEM을 비교한 결과 Fig 8, Fig 9, Fig 10, Fig 11과 같다. 각 그림에서 위의 곡선은 1/5000수치지도로부터 생성한 DEM의 단면선이고 아래 곡선은 수치사진측량으로부터 생성한 DEM의 단면선이다. 그림에서 보면 두 곡선은 전체적으로 같은 모양을 형성하고 있으나 세부적으로는 일정한 차이를 나타내고 있다. 특히 Fig 8에서는 산봉우리부근에 더욱 큰 차이를 나타내는데 이것은 기준점을 배치할 때 사진 상에서 판별이 가능한 점을 선택해야 하는데 이 부근에서 판독 불가능으로 기준점설치가 없었고 또한 입체영상 해석 시 발생하는 평면위치오차로 인해 발생한 편위로 사료되며 기타 부분에 대해서는 단면의 높이의 차이는 극히 미소함을 알 수 있다.





## 5. 정사영상 생성

사진은 사진기 렌즈의 중심으로 투영되어 얻어지기 때문에 지형의 기복에 따른 변위가 포함되어 있으며, 또한 촬영당시의 사진기 자세에 의한 피사체의 왜곡이 존재한다. 이러한 변위를 제거하여 지도와 같은 정사투영의 기하학적 특징을 가지는 사진을 제작하는 과정을 정밀편위수정(differential rectification)이라 하며, 정밀편위수정을 거쳐 정사투영사진을 만든다.

항공사진을 이용하여 정사투영사진을 제작하기 위한 연구는 사진측량으로 지형도를 제작하기 위한 이론이 대두됨과 동시에 시작되었으며, 1903년 Scheimpflug가 항공사진을 이용한 정사투영사진제작에 대한 제안을 하였고, 1930년대부터 1970년대 중반에 이르기까지는 주로 광학적 편위수정방법에 의해 정사투영사진이 제작되었다.

1970년 말부터 항공사진을 스캐닝한 후 수치고도모형을 이용하여 수치편위수정방법으로 기복변위를 소거함으로써 정사투영사진을 제작하는 연구가 이루어졌고, 이로부터 정사투영사진의 제작은 광학적 편위수정에서 점차 수치편위수정방법으로 변화하게 되었다.

정사투영사진은 사진 상에 포함된 모든 지모·지물의 상호위치관계가 지형도와 동일함에 따라 사진을 통해 직접적으로 거리, 각도, 지형(지모와 지물)의 수평 및 수직위치좌표, 면적 등의 정보를 얻을 수 있음은 물론 사진형태이므로 지형도와는 달리 시각적 효과가 양호하며 많은 분야에서 활용도가 크다(유복모 등, 2003).

본 연구에서의 정사영상은 위에서 생성된 수치표고모델을 이용하여 정밀수치 편위수정방법에서 간접법을 이용하여 제작하였으며 사용된 프로그램은 수치사진측량 모듈 중 ISBR(ImageStation Base Rectifier)를 사용하였으며 보간법으로는 공이차 보간법을 사용하였다.

정밀수치 편위수정방법은 인공위성이나 항공사진에서 수집된 영상자료와 수치고도모형 자료를 이용하여 정사투영사진을 생성하는 방법으로 수치고도모형의 자료가 입력용으로 사용 되는가 출력용으로 사용되는가의 구분에 의해 직접법(direct rectification)과 간접법(indirect rectification)으로 구분된다(G. Konecny, 1979).

직접법을 적용하기 위해서는 식 (5-1)을 이용한다.

$$X = (Z - Z_0) \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{21}(y - y_0) + r_{31}f}{r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}f} + X_0 \quad (5-1a)$$

$$Y = (Z - Z_0) \frac{r_{12}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{32}f}{r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}f} + Y_0 \quad (5-1b)$$

간접법을 적용하기 위해서는 식 (5-2)을 이용한다.

$$x = x_0 - f \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{21}(y - y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (5-2a)$$

$$y = y_0 - f \frac{r_{12}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(x - x_0) + r_{23}(y - y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (5-2b)$$

여기서,  $X, Y, Z$ : 지상좌표

$X_0, Y_0, Z_0$ : 투영중심

$x, y$ : 영상좌표

$x_0, y_0$ : 영상좌표의 중심좌표

$f$ : 초점 거리

$r_{11}, r_{12}, \dots, r_{33}$ : 회전형렬요소 이다.

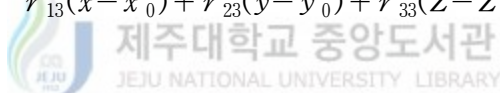


Table 5는 정밀수치 편위수정방법의 특징을 나타내고 있다(김의명, 2000).

Table 5. Characteristics of differential rectification method

방법 구분	간접법	직접법
단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 수치고도모형(X, Y)좌표로부터 영상좌표(x, y)를 결정</li> <li>● 보간법에 의해 영상의 밝기 값을 추정</li> <li>● 보간 된 밝기 값을 수치고도 모형자료의 각 격자에 해당</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 영상좌표(x, y)를 이용하여 수치고도 모형(X, Y)좌표를 결정</li> <li>● 영상의 밝기 값을 가장 가까운 수치고도모형자료의 격자에 할당</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 모든 수치고도모형자료가 밝기 값을 가짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 영상의 밝기 값은 변하지 않음</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 영상의 밝기 값 보간에 시간이 소비됨</li> <li>● 최종 편위수정된 영상은 밝기 값의 보간에 의해 원영상과 동일하지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 수치고도모형자료의 모든 격자가 영상의 밝기 값을 가지는 것이 아니기 때문에 인접한 격자로부터 밝기 값을 보간 해야 됨</li> </ul>

정밀수치 편위수정방법은 수치적 화상처리기법을 사용하여 수행되는 미분편위수정 방법으로, 이 방법을 사용하면 한 점의 정보를 수치적으로 처리할 수 있으며 화상처리 기법의 사용으로 여러 사용자의 요구에 맞는 사진을 신속하게 제작할 수 있으며, 필요한 정보의 판독을 컴퓨터를 이용하여 수행할 수 있고 백터데이터, 특히 GIS데이터와의 통합기법 사용에 유리하다.

Fig 12는 정밀수치편위수정에 의한 정사투영영상 생성과정을 나타내는 것으로 광속조정법에 의해 항공사진의 외부표정요소를 결정한다. 또한 수치고도모형은 영상정합과정을 통해 생성되며 공선조건식을 이용하여 생성된 수치고도모형자료로부터 사진좌표를 결정한다. 사진좌표는 다시 부등각사상변환(affine transform)에 의해 영상좌표로 변환되며 영상좌표의 밝기 값을 보간에 의해 결정한 후 수치고도모형자료의 각 위치에 옮김으로써 정사투영영상을 생성하게 된다.

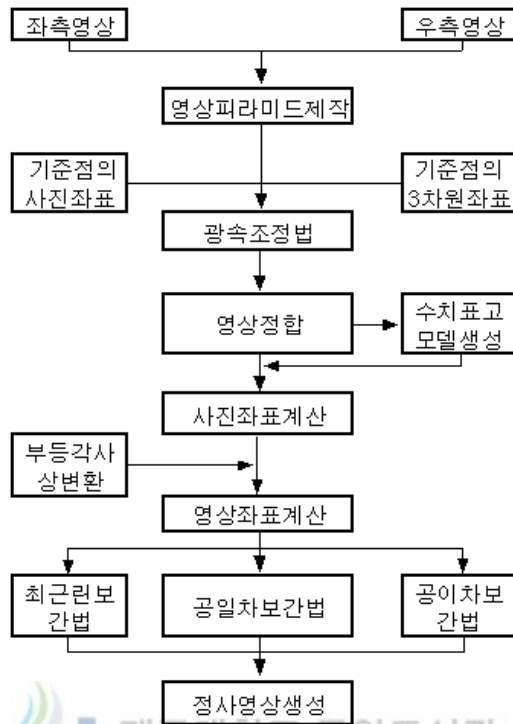


Fig 12. Work flow of differential rectification

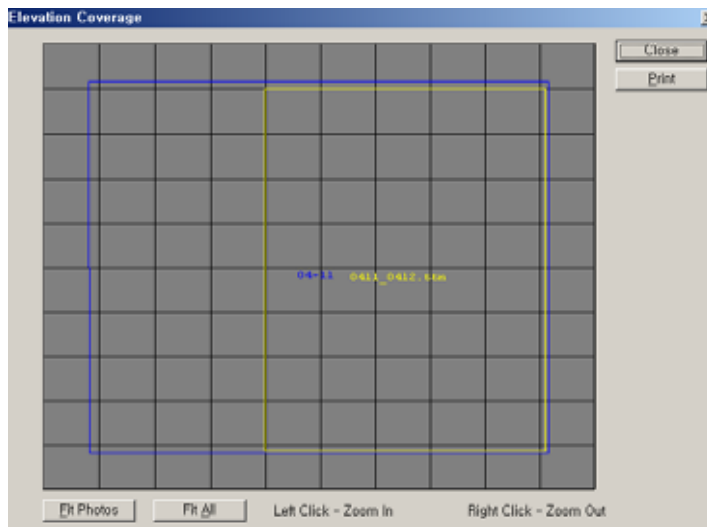


Fig 13. Overlay process of DEM and air photograph

Fig 13은 정사영상생성과정에서 좌표설정을 거쳐 DEM자료와 항공사진을 중첩시키는 과정의 일부를 나타낸 것이다.

위의 과정을 거쳐 얻은 최종 정사영상은 Fig 14와 같다.



Fig 14. Ortho photo of study area

## 6. 지형분석 및 최적노선선정

### 6.1 GIS 구축 및 지형분석

지형공간정보체계를 이루는 지형공간정보는 위치정보와 속성정보로 구분할 수 있으며, 위치정보(Position Information)는 공간적 해석이 가능하도록 대상물에 절대적 또는 상대적 위치를 부여하기 위한 것이고, 특성정보(Descriptive Information)는 도형정보, 영상정보, 속성정보로 구성된다. 도형정보(Graphic Information)는 도면 또는 지도에 의한 정보이고, 영상정보(Image Information)는 일반사진, 항공사진, 인공위성영상, 비디오 및 각종영상에 의한 정보이며, 속성정보(Attribute Information)는 대상물의 자연, 인문, 사회, 행정, 경제, 환경적 특징을 나타내는 정보로서 지형공간 분석이 가능하도록 도형 및 영상정보와 관련되어야 한다.(유복모, 1998)

현재 지형공간정보체계의 활용범위는 토지, 자원, 도시, 환경, 교통, 농업, 해양 및 군사에 이르기까지 광범위한 분야에 걸쳐 있다. 지형공간정보체계의 활용 면에 있어서 토지정보체계(Land Information System), 지리정보체계(Geographic Information System) 및 도시정보체계(Urban Information System), 도면자동화 및 시설물관리(Automated Mapping and Facility Management) 등이 주요 부분을 이루고 있다.

지형공간정보체계는 토지, 자원 및 환경 등에 관련된 다양한 정보를 위치와 특성에 맞추어 입력, 저장하여 전산기에 의해 종합적, 단계적으로 처리함으로써, 여러 목적에 맞게 활용, 분석 및 출력할 수 있도록 발전하고 있다.

위치 및 특성정보는 소정의 축척, 투영법 및 좌표계에 따라 전산기에 적합한 수치형식의 자료기반으로 저장되며, 자료기반은 개념적으로 자료층(layer) 또는 면(plane)을 구성되어 각 층마다 상이한 주제의 정보가 수록된다. 이렇게 주제별로 수치 기록된 다수의 층은 주어진 문제에 대한 자료은행(data bank)을 구성하게 되며, 각각의 자료집단이 주어진 기본도(base map)를 기초로 좌표계의 통일이 되면 중첩 또는 합성해석(composite analysis)이라 한다.

지형분석 및 최적노선을 선정하기 위해서는 우선 GIS 구축이 필요하다. 정사투영사진지도는 영상 내에 포함된 모든 지형의 상호위치관계가 지형도와 동일하므로 영상을 통해 직접적으로 거리, 각도, 고도 면적 등의 정보를 얻을 수 있고 사진의 형태로 표현되므로 지형의 세세한 부분까지도 판독이 용이하다. 따라서 지형도를 이용하는 기존의 제작 분야에 있어서 정사투영사진지도의 이용성은 매우 다양하며 차세대 새로운 형태의 지형도로 이용될 가능성이 매우 높다.

디지털 정사투영사진은 아날로그형에 비해서 매우 많은 장점을 가지고 있는데, 특히 다루기 쉽고, 하나의 제작품으로부터 다른 것을 유도해 낼 수 있으며, 다른 자료집단과 연결시킬 수 있다는 것이 장점이다. 충분한 자원, 쉬워진 입력 자료의 취득, 증가된 디지털 자료의 생성, 많은 상업적 정사사진 제작체계 등과 더불어 보다 강력해진 컴퓨터의 발전에 힘입어 디지털 정사투영사진의 제작은 더욱 효율적이다. 무엇보다도 디지털 정사투영사진은 지형공간정보체계와 주요한 연계가 있다.

지형공간정보체계에서는 2가지 중요한 사항을 들 수 있다. 그 첫 번째가 이차원 평면자료와 지형 및 공간자료들과 상호연관을 맺고 있는 자료기반구조이며, 두 번째는 코드화된 자료와 연관속성을 처리할 수 있다는 것이다. 자료층(layer)모형을 이루고 있는 원격탐측, 수치지도 작성, 시각예술의 자료기반으로 최근에 발달되고 있는 영상 복사인 소프트 카피(soft copy)의 개념과 유사하다.

디지털 정사투영사진은 GIS 자료조작에 높은 잠재력을 제시하고 있다. 디지털 정사투영사진은 하나의 새로운 GIS 자료층일 뿐 아니라, GIS '협력자(partner)'이다. 디지털 정사투영사진을 GIS에 연관시킴으로써, GIS의 자료들은 활용성을 보다 증대시키며, 모든 단계에서의 일관성을 유지할 수 있게 한다. 이러한 디지털 정사투영사진과 GIS의 연결은 자동 래스터, 선이나 DEM 정보추출 등에 새로운 가능성을 제시하고 있다(유복모 등, 2003).

본 연구에서는 우선 지형분석과 최적노선선정을 위한 GIS 구축에 필요한 건축물 위치 도를 위에서 획득한 정사사진으로부터 추출하였다. 건축물의 정보를 추출하기 위해서는 우선 경계선 추출연산자를 선택하여야 하는데 현재 가장 많이 사용되고 있는 연산자로는 Sobel 연산자, Log(Laplacian of Gaussian)연산자, Canny 연산자가 있다. 연구대상지역에 건물들의 개수가 많지 않기 때문에 본 연구에서는 수동의 방법으로 건물들의 추출을 완성하였다.

Fig 15는 정사사진으로부터 추출된 연구대상지역의 건축물 위치도이다.



Fig 15. Building map

또한 최적노선을 선정하는데 필요한 음영기복도, 경사도, 경사방향도는 수치사진 측량방법으로 생성한 DEM으로부터 GIS프로그램인 arcview를 이용하여 추출하였고 이 자료들로서 GIS체계를 형성하였다.

음영기복도는 연구대상지역을 격자형으로 형성한 다음 태양의 방위각과 고도각을 설정한 후 각 셀에서의 밝기 값을 검은색과 흰색사이의 범위인 0부터 254사이에서 변화시켜 지형을 밝기정도 즉 밝음과 그림자 형태로 표현하는 도형이다.

본 연구에서 방위각은 315도로 하고 고도각은 45도로 하여 음영기복도를 추출하였고 Fig 16과 같다.



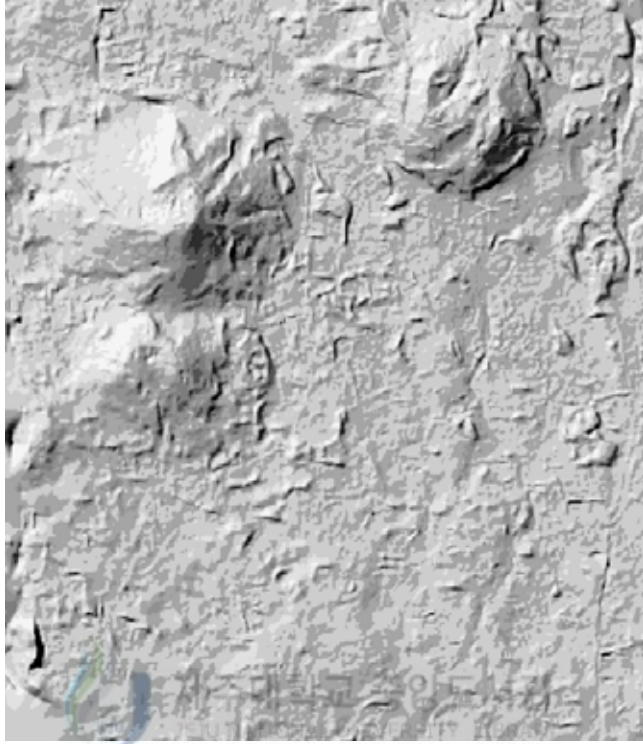


Fig 16. Hill shade map

Fig 17은 음영기복도의 밝기 값과 각 밝기 값에 해당하는 셀의 개수와의 상호관계를 나타낸 속성자료의 일부분이다.

Attributes Of Hillshade Map	
Value	Count
225	852
226	791
227	699
228	682
229	650
230	638
231	609
232	548
233	569
234	515
235	494
236	514
237	447

Fig 17. Attributes of hillshade map

경사도는 두점사이의 고도변화를 경사각으로서 나타낸 도형이다. 즉 경사각이 작으면 지형은 평탄하고 경사각이 크면 지형이 가파르다. 또한 격자형의 셀이 값은 0부터 90사이에서 변하며 0도는 수평을 나타내고 90도는 직각을 나타낸다.

Fig 17은 연구대상지역의 경사도를 나타낸 것이다.

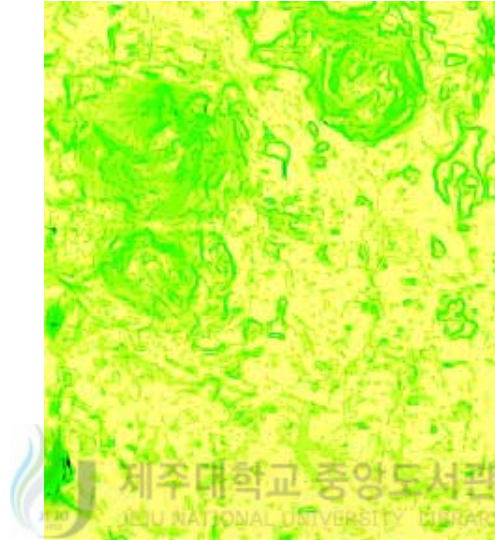


Fig 18은 경사각과 그 경사각에 해당하는 셀의 개수와의 상호관계를 나타낸 속성 자료이다.

Value	Count	Label
1	116104	0 - 9
2	64767	9 - 18
3	33434	18 - 27
4	14736	27 - 36
5	5108	36 - 45
6	2009	45 - 54
7	290	54 - 63
8	17	63 - 72

Fig 19. Attributes of slope map

경사방향도는 연구대상지역의 각 셀에 대하여 부동한 색상으로 지형의 각 방향으로의 분포형태를 표현한 도형이다.

Fig 19는 연구대상지역의 경사방향도를 나타낸 것이다.

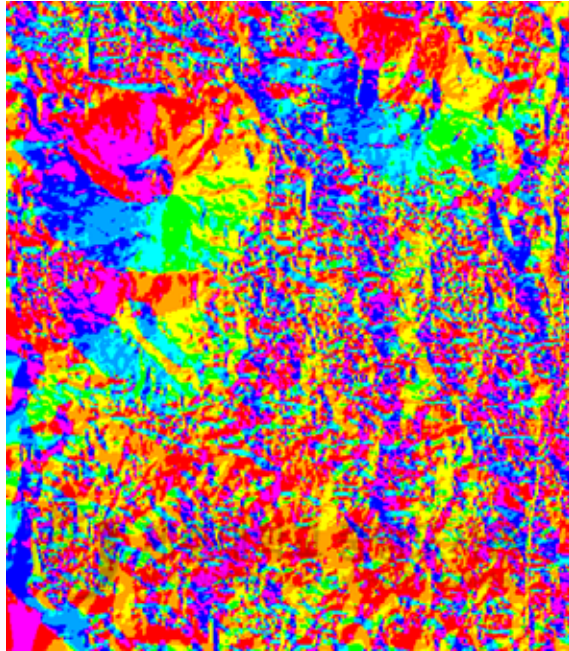


Fig 20. Aspect map


Fig 21은 지형의 각 방향으로의 분포형태와 그 부분에 해당하는 셀의 총 개수와 의 관계를 나타낸 속성자료이다.

Attributes Of Aspect Map		
Value	Count	Label
2	46604	North
3	38611	Northeast
4	27201	East
5	18515	Southeast
6	17906	South
7	21393	Southwest
8	29917	West
9	36314	Northwest

Fig 21. Attributes of aspect map

자료의 분석은 GIS의 중추적인 기능으로서 분석방법에는 공간분석(Spatial Analysis)과 통계분석(Statistical Analysis)이 있다. 공간분석은 하나 혹은 그이상의 데이터 계층에 나타난 정보의 공간구성을 운용하는 것이고, 통계적 분석이란 GIS에서 논의되는 많은 도구들과 같이 GIS의 일반적 정보 흐름에서 예비과정 중의 질적 보증, 데이터 보고서와 같은 데이터 집합의 요약, 또는 분석중의 새로운 데이터 첨가를 위해 요구되는 통계적 과정을 말한다. 일반적으로 GIS는 사칙연산을 통해 지도를 중첩함으로써 새로운 지도를 합성하고 네트워크 연결을 추적하거나 방향이나 거리를 측정할 수 있으며 통계적인 분석 등이 가능하다.

중첩에 의한 결과로 나타나는 속성 값의 변화는 중첩에 사용된 다수의 레이어에서 동일한 위치에 해당하는 하나의 점이나 폴리곤, 혹은 주변 지역의 속성 값의 영향을 받아 일어난다. 즉, 식 (6-1)에 나타난 것과 같이 중첩에 의하여 생성되는 새로운 속성 값은 중첩에 사용된 여러 레이어에 해당되는 속성값이 함수로 정의될 수 있는 기능에 의하여 변환되어 생성된 것이다. 이때 적용가능한 기능은 더하기나 빼기 등과 같은 단순 연산에서 보다 복잡한 연산이나 패턴에 의한 수식의 적용이 가능하다.



제주대학교 중앙도서관  
UNIVERSITY LIBRARY

$$U = f(A, B, C, \dots)$$

(6-1)

$U$  : 중첩에 의하여 생성된 속성값

$f$  : 중첩에 적용된 변환기능

$A, B, C \dots$  : 중첩에 사용된 레이어의 속성값

이러한 중첩과정은 격자구조에서는 단위 구조인 각각의 격자를 대상으로 이루어지며, 벡터 구조에서는 기본 구조인 점을 바탕으로 점, 선, 면을 대상으로 적용이 강하다.

중첩기능과 중첩과정에서 가능한 변환함수를 통하여 단순한 레이어의 정보 합성을 위한 중첩이외에도 보다 논리에 바탕을 둔 수학적 중첩이 가능하다. 나아가 이러한 수학적 중첩은 현실에 유용한 정보의 추출이나 의사결정을 위한 모델링 기능을 제공한다. 수학적 중첩은 레이어에 존재하는 수치 값에 다른 레이어에서 상응하는 지역의 값을 대상으로 일정한 연산을 부여하여 새로운 수치 값을 얻는 것을 말한다(김계현, 2000).

본 연구에서는 GIS프로그램인 ArcView를 이용하여 Fig 23과 같이 Arithmetic Overlay사칙연산을 이용한 최적노선을 선정하는데 필요한 주요구성성분요소를 모두 고려 한 모델구조를 형성하여 필요한 레이어들을 중첩시켜 새로운 합성지도를 생성하였다.

이 합성지도를 생성함에 있어서 건축물 위치도는 도로를 설계할 때 반드시 피해야 할 건축물들의 위치를 합성지도상에 나타내는 역할을 하고 음영기복도는 지형의 기복변화를 나타내는데 기복변화가 작은 데로부터 큰데로의 순서로 등급을 나누었다. 그리고 경사도는 지형의 경사정도를 수치적으로 나타낸 도면인데 지형경사가 작으면 도로설계에 유리하므로 경사가 작은 데로부터 큰 데로의 순서로 등급을 나누었다. 경사방향도 에서의 등급은 Fig 22에 근거하여 나누었다. 막대그래프는 경사방향도 에서 각 분류체계에 속하는 Grid개수의 총합이며 지형의 대부분이 동쪽 면을 향하고 있다. 지형분석에 필요한 건축물위치도, 음영기복도, 경사도, 경사방향도는 각각 Fig 15, Fig 16, Fig 18, Fig 20과 같다.

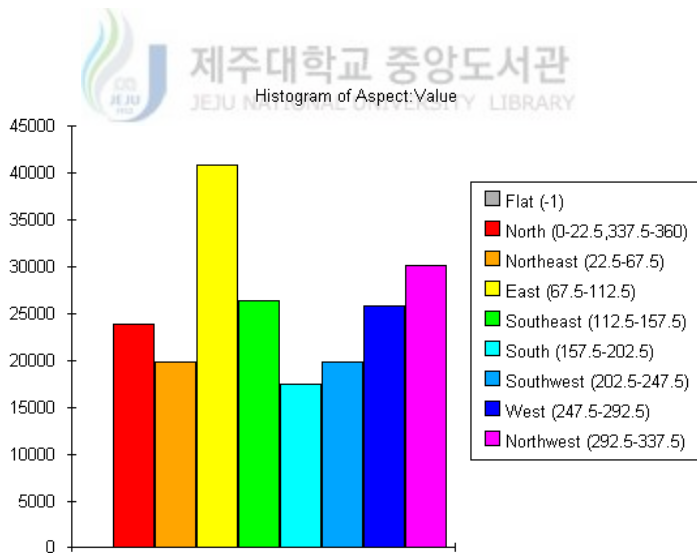


Fig 22. Histogram of aspect map

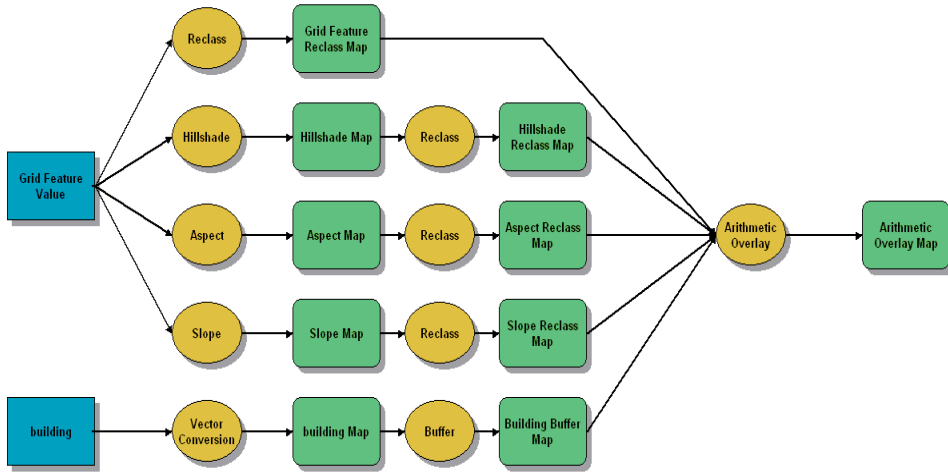


Fig 23. Arithmetic overlay model building

Fig 23은 수치사진측량방법으로 획득한 DEM에서 지형지도를 획득하고 정사사진으로부터 획득한 건물위치도형을 수치적 중첩을 진행하기 위하여 Fig 25와 같이 등급을 다시 나누고 Arithmetic overlay사칙연산을 통하여 최종 합성지도를 생성하는 모델구조이다. Arithmetic Overlay연산법의 과정을 예를 들어 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

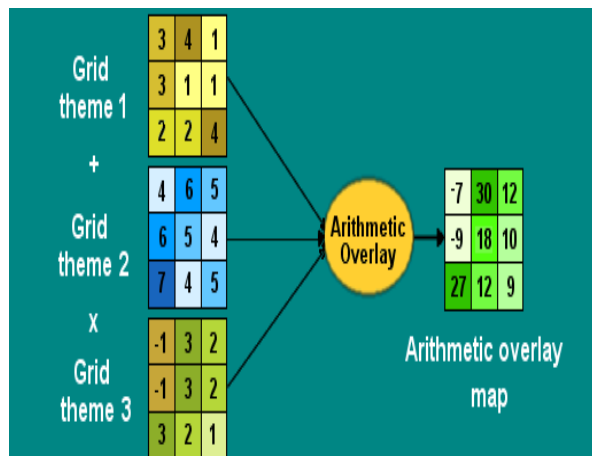


Fig 24. Arithmetic overlay process

Arithmetic overlay 연산법은 Fig 24와 같이 노선선정에 필요한 지형지도들을 등급별로 나누어 산수적연산법을 통하여 종합적인 합성지도를 형성한다.

위의 과정을 거쳐 형성된 최종 합성지도는 Fig 28과 같다. 그림에서 지형을 5개의 부동한 색상으로 노선선정에 좋고 나쁨을 나타내었다. 즉 하늘색은 매우 좋은 상태를 표시하고 빨간색은 매우 나쁜 상태를 표시하고 그사이를 3개의 색상으로 등급을 나누었다.

Input Theme	Op	Multiplier	Input Field	Label	Value
<b>Building Buffer Map</b>	<b>+</b>	<b>1</b>	<b>Value</b>		
			1	0 - 2	20
			NODATA	No Data	0
<b>Slope Reclass Map</b>	<b>+</b>	<b>1</b>	<b>Value</b>		
			1	0 - 9	1
			2	9 - 18	2
			3	18 - 27	3
			4	27 - 36	4
			5	36 - 45	5
			6	45 - 54	6
			7	54 - 63	7
			8	63 - 72	8
			9	72 - 81	9
			10	81 - 90	10
			NODATA	No Data	0
<b>Hillshade Reclass Map</b>	<b>+</b>	<b>1</b>	<b>Value</b>		
			1	0 - 52	1
			2	52 - 104	2
			3	104 - 156	3
			4	156 - 208	4
			5	208 - 260	5
			NODATA	No Data	0
<b>Aspect Reclass Map</b>	<b>+</b>	<b>1</b>	<b>Value</b>		
			1	Flat	1
			2	North	5
			3	Northeast	4
			4	East	2
			5	Southeast	3
			6	South	6
			7	Southwest	7
			8	West	9
			9	Northwest	8
			NODATA	No Data	0
<b>Grid Feature Reclass</b>	<b>+</b>	<b>1</b>	<b>Value</b>		
			1	101 - 120	1
			2	120 - 140	2
			3	140 - 160	3
			4	160 - 179	4
			5	179 - 199	5
			6	199 - 219	6
			7	219 - 239	7
			8	239 - 258	8
			9	258 - 278	9
			10	278 - 298	10
			NODATA	No Data	0

Fig 25. Arithmetic overlay data

## 6.2 노선선정

도로의 계획 및 설계과정은 교통계획(Planning), 노선계획(Location), 도로설계(Design)세 단계로 이루어진다.

새로운 노선의 필요성 여부는 교통계획(Planning)에서 판단되며, 이 때 노선의 기·종점, 일반적인 위치, 크기 및 등급, 중요한 교차점 및 터미널의 개략적인 위치, 개략적인 서비스 용량 및 수준, 계획교통량 등과 같은 그 도로의 근본적인 특성이 결정되며, 그 다음 단계는 노선의 위치를 결정하는 것이다. 이 노선선정은(location)은 그 노선의 기·종점을 연결하는 교통 축(Corridor)내에 몇 개의 노선 대안 가운데서 하나의 노선을 선택하는 단계이며, 선택된 노선에 대해 도로의 정확한 위치나 크기, 종단경사, 건설을 위한 표준, 사용되어질 재료의 종류 및 양 등을 구체화하는 도로설계(Design)를 한다. 그 다음에 건설이 수행되며 이것이 완료된 후 도로를 운용 또는 이용하게 되며, 이러한 과정을 도표로 나타내면 Fig 26과 같다.



Fig 26. Typical roadway  
construction work flow



노선 선정에 있어서는 경제적, 기술적, 기타 모든 조건을 신중히 조사 연구하여 가장 적합한 노선을 선정해야 한다. 노선선정의 구체적인 과정은 도로의 규모나 사업 주체에 따라 차이가 있지만, 국도와 같은 일반적인 도로에 대한 노선 선정의 과정은 개략노선의 검토, 개략설계, 최적노선이 선정, 예비설계, 실시설계의 순서로 이루어지며 도로계획·노선계획·도로설계의 흐름도는 아래에 나타난 Fig 26과 같다.

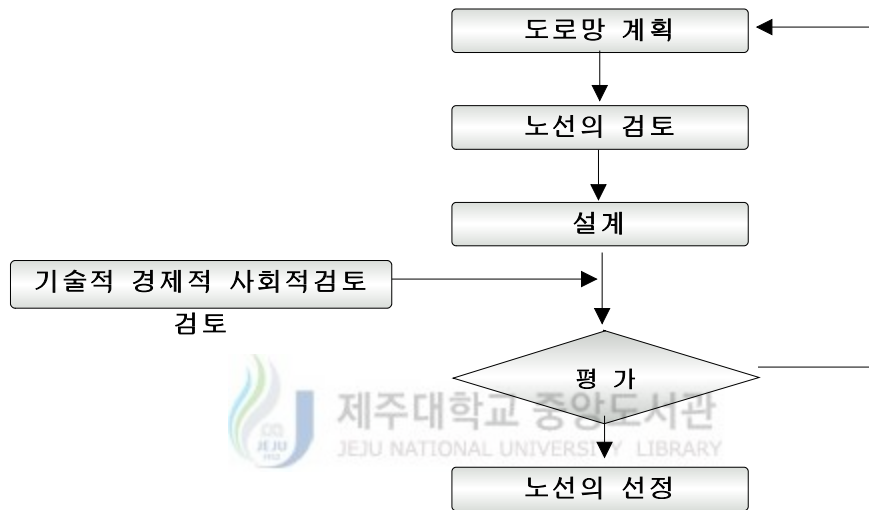


Fig 27. Work flow of suitable roadway design

또한 노선의 선형설계는 자동차의 주행의 충분한 안전성, 쾌적성, 경제성을 확보할 수 있도록 배려함과 동시에 선형이 지형, 지물, 경관 등의 조건에 대해서 적응성을 가지며 기술적, 경제적으로 타당한 것으로 하여야 한다(한창복, 1999).

위의 과정을 거쳐 형성된 합성지도를 분석하고 노선의 시 종점, 최단노선 등을 고려하여 얻은 최적노선은 Fig 28에 표시한 것과 같다.

도로의 총길이는 약 3406m이고 노선의 시점의 평면직각좌표 값은 X: 47933.28, Y: 152606.84이고 종점의 평면직각좌표 값은 X: 45914.55, Y: 154531.54이다.

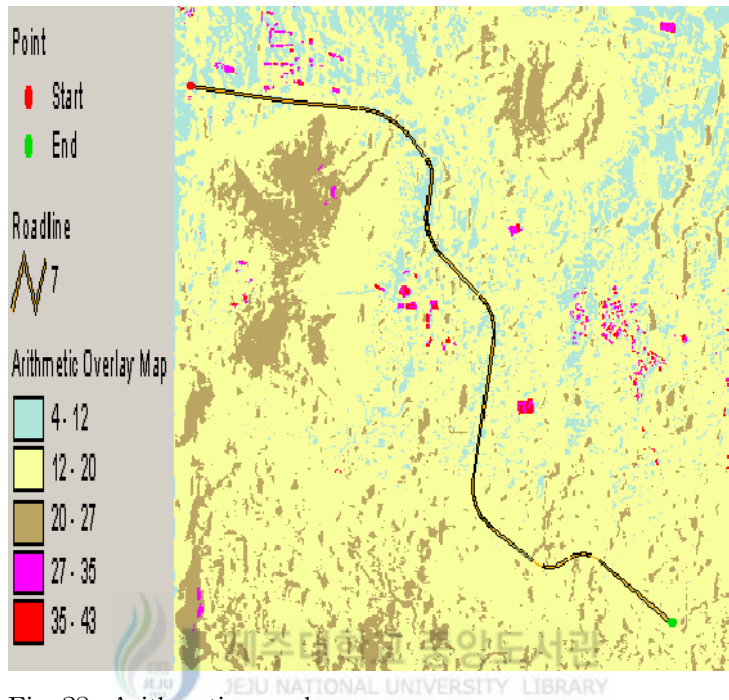


Fig 28. Arithmetic overlay map

### 6.3 도로의 설계 및 3차원 시뮬레이션

도로의 선형은 그 도로의 골격을 형성하므로 도로의 계획, 설계, 시공의 전반을 지배하는 기준이 되는 것이기 때문에 선형이 확정된 후 실시하게 되는 도로설계나 토공, 포장, 구조물 등의 시공이 난이 및 공사에 소요되는 비용의 경제성 등을 충분히 고려해서 종합적인 판단을 바탕으로 설계해야 할 것이며, 도로의 완성 후에는 도로선형의 변경이 거의 불가능하게 되며 반영구적으로 자동차의 주행을 규제하기도 한다.

이 때문에 선형설계의 양부가 때때로 그 도로의 종합적인 설계 및 효용에 대한 주된 평가의 기준이 되므로 선형 설계 시에는 그 도로가 구비해야 할 기능과 효과를 충분히 고려해서 신중한 검토를 하여야 한다.

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.

일반적으로 도로의 선형은 자동차가 안전하게 주행할 수 있도록 해야 할뿐만 아니라 주행의 쾌적성에 대해서 고려할 필요가 있다. 이와 같은 관점에서 도로의 평면선형은 자동차의 주행궤적에 따르도록 직선, 원곡선, 완화 곡선으로 구성되며, 그 설계 요소로는 곡선반경, 곡선의 길이, 곡선부의 편구배, 곡선부의 확폭 및 완화구간 등이 있다.

연구지역의 설계조건으로는 설계속도 80km/h, 차선폭3.5m, 길어깨는 2m, 중앙분리대는 0.5m으로 왕복1차선도로로 하였으며 설계된 도로의 종단면도는 Fig 29와 같다. 하늘색은 기존지형선형을 나타낸 것이고 적색은 도로가 놓여 질 종단선형을 나타낸 것이다.

Table 6은 연구대상지역 노선의 평면선형과 곡선반경을 나타낸 것이고 Table 7은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정에 근거하여 최소곡선반경과 편구배 및 확폭의 값을 나타 내었다. 규정에 의하여 곡선 반경이 280을 넘으면 확폭의 설계가 필요 없으므로 본 설계에서는 확폭의 값을 계산 하지 않았다.

Table 6. Alignment curve set and horizontal alignment geometry

	X	Y	곡선반경	비고
<u>B.P</u>	47933.28	152606.84		
<u>I.P</u>				
1	47877.97	152988.46	800	
2	47839.26	153403.27	600	
3	47629.09	153574.72	700	
4	47369.14	153536.01	700	
<u>5</u>	47076.01	153834.67	400	
<u>6</u>	46340.42	153718.52	600	
<u>7</u>	46102.60	154039.30	400	
<u>8</u>	46196.62	154183.10	500	
<u>E.P</u>	45914.55	154531.54		

Table 7. Minimum horizontal curves and inclination pitch according to vehicle velocity

설계속도(km/h)	마찰계수(f)	최소곡선반경(m)		비고
		계산값	규정치	
120	0.1	709	710	
100	0.11	463	460	
80	0.12	280	280	
70	0.13	203	200	
60	0.14	142	140	
설계속도(km)	곡선반경(m)	편구배(%)	확폭(m)	
80	800	4.5	~	
	600	5	~	
	700	4.7	~	
	700	4.7	~	
	400	7.5	~	
	600	5	~	
	400	7.5	~	
	500	6	~	

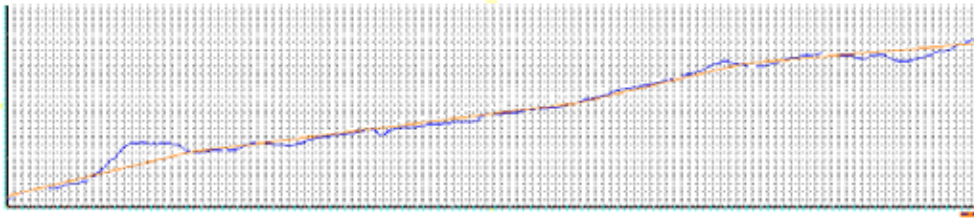


Fig 29. Original surface and road line surface of Study area

도로의 설계가 완성된 후 시뮬레이션 진행에 필요한 3차원지형 형성을 위해서는 연구대상지역의 고도 값이 필요하므로 수치사진측량방법으로 생성한 DEM으로부터 불규칙TIN망을 만든 후 각 Vertex의 X, Y, Z의 값을 추출하였다. 불규칙TIN망은 관측대상의 기준이 되는 기준점의 모서리를 이용하여 삼각형을 생성하고 이웃하는 점들과 연결되어 삼각형의 한 변을 이룬다. 그리하여 3차원지형표면은 각각의 작은 평면들로 구성된 다수의 삼각형이 연결되어 표현된다(최현 등, 2001).

Fig 30은 연구대상 지역의 수치지도의 등고선만을 추출하여 Inroads 및 MTA에서 TIN망을 구성한 것이다.

Fig 30은 도로망을 형성한 새로운 TIN망의 모습이다. 이 그림은 도로를 설계하여 표면처리를 한 후 등고선을 재작성하고 TIN망을 다시 처리하였다.

시뮬레이션을 진행함에 있어서 연구지역의 광원은 2004년 9월 정각 12시로 하고 태양광은 1.0으로 설정하였다. 프레임은 모두 600개로 구성되고 묘사조건에 대한 해상도는 860×640으로 하고 컬러로 구현하였다.

아래의 Fig. 32~35는 각각의 주행경로를 설정하여 도로완성후의 모습을 부동한 각도에서 바라본 모습과 시뮬레이션을 진행할 때 시·종점 및 주요 스테이션에서의 경관 및 선형을 분석한 결과를 보여주고 있다.

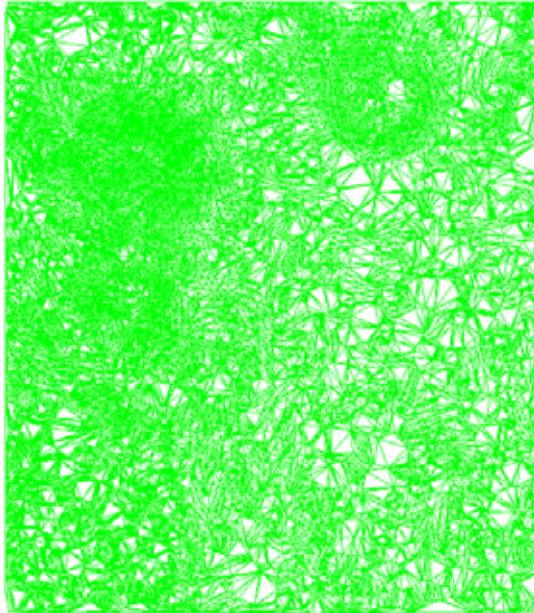


Fig 30. TIN shapes of study area

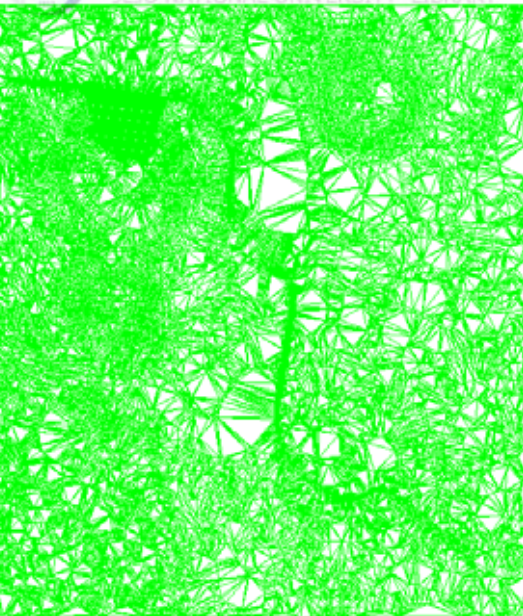


Fig 31. TIN-Terrain after designed road

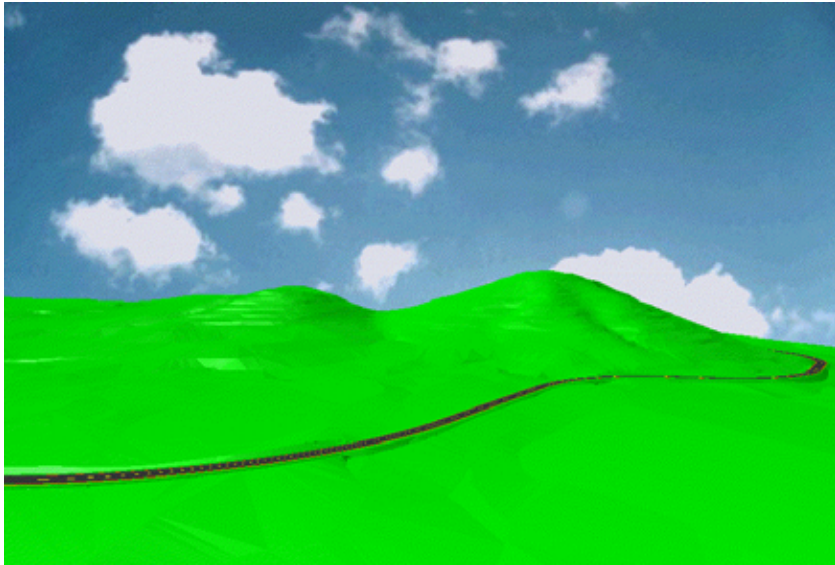


Fig 32. Perspective view on left

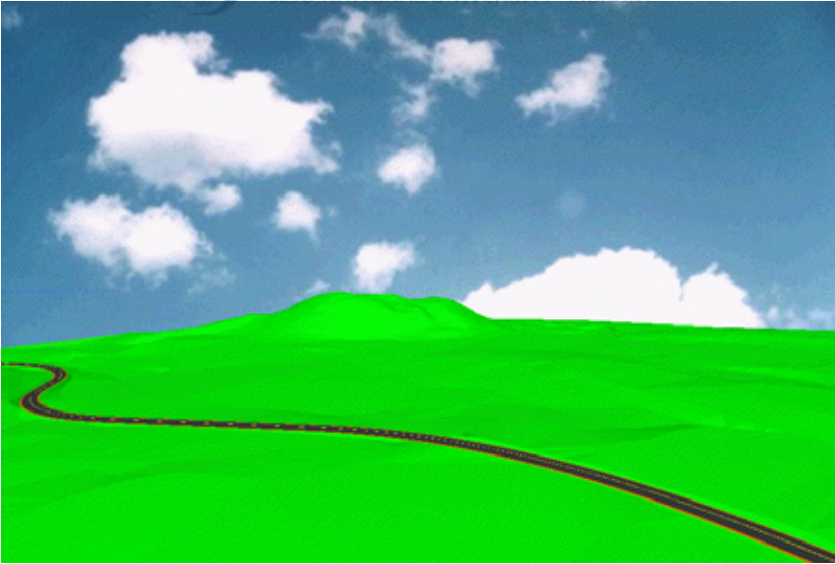


Fig 33. Perspective view on right



Fig 34. Front view



Fig 35. Backsight view



## 7. 결론

본 연구는 수치사진측량을 이용하여 수치표고모델과 정사영상을 생성하고 이로부터 지형공간정보체계를 형성하고 지형분석을 통하여 최적노선을 선정하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수치사진측량방법으로 수치표고모델과 정사영상을 생성하고 지형공간정보체계를 구축하여 최적노선을 효과적으로 선정할 수 있었다.

2. 수치사진측량방법으로 형성한 연구대상지역의 DEM은 1/5000 수치지도로부터 생성된 DEM과 비교 시 관측점의 표준편차는 규정한 표고점의 표준편차에 거의 만족하며 최대오차의 범위 내에 있으므로 수치사진측량의 방법으로 생성된 DEM은 최적노선을 선정하는데 사용될 수 있었다.

3. 지형공간정보체계를 이용하여 노선선정에 관계되는 여러 가지 요소를 모두 고려한 합성 지도를 형성하여 객관적이고 과학적인 방법으로 적합한 노선선정이 가능하였다.

4. 수치표고모델추출, 및 최적노선선정 전 과정이 전산화되어 있어 노선 변경 및 수정이 용이하며, 또한 구축된 지형공간정보체계는 노선선정뿐만 아니라 여러 가지 용도로 기타방면에도 넓게 사용될 수 있다.

5. 3D GIS에서 양방향으로의 시뮬레이션을 진행함으로써 도로의 전체적인 선형과 최적노선선정의 결과를 효과적으로 검토할 수 있었으며 준공 후에야 알 수 있는 문제점을 시공 전에 예측할 수 있었다.

## 참고문헌

- 유복모, 지형공간정보론, 박영사, 1998, pp.1~5
- 김의명, 시설물의 삼차원 모형화를 통한 대축척 정사영상생성, 연세대학교 박사학위논문, 2000.6 pp. 31~37
- 주영은, 구조물 모니터링을 위한 수치근접사진측량 시스템 개발, 충남대학교 박사학위논문, 2003.2 pp. 1~25
- 한창복, 최적노선선정을 위한 지형공간정보체계의 적용에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문, 1999.8 pp. 1~26
- 김계현, GIS 개론, 대영사, 2000, pp. 206~225
- 고영호, 가상 지형공간정보체계를 이용한 도로시물레이션, 제주대학교 석사학위논문, 2002.8 pp. 3~20
- 이현직·김정일·황창섭, 항공사진 영상을 이용한 도심지역의 지형공간정보 취득, 한국측량학회지, 제21권 제1호, 2003, pp.27~36
- 김감래·안병구·김명배, SPOT영상을 사용한 3차원 모델링 시 지상기준점수에 따른 정확도 평가, 한국측량학회지, 제21권 제1호, 2003, pp.61~69
- 강준목·이철희·이형석, 수치지도의 수정 및 갱신을 위한 고해상도 위성영상의 적용 가능성 평가, 한국측량학회지, 제20권 제3호, pp.313~321
- 유복모·토니 쉥크, 현대 디지털 사진 측량학, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2003, pp. 348~351
- 대한토목학회, 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정, 1997, pp.149~223
- 조규전 외3인, DTM에서 최단노선과 토공량을 고려한 최적노선 선정에 관한 연구, 한국 측지학회지 제12권 제2호, 1994, pp.219~226
- 정영동 외3인, 수치지형모형을 이용한 최적노선선정에 관한 연구, 한국측지학회지 제11권 제2호, 1993, pp. 17~25
- 최현 외 2인, 3차원 지형공간정보체계를 이용한 도로설계시물레이션, 대한토목학회 논문집 제21권, 2001.3, pp.201~207
- 박인철 외1인, GIS를 이용한 도로의 기본설계기법, The 5th 95 GISWORKSHOP,,

- 1995, pp. 371~381
- 박운용, 도로교통공학, 형설출판사, 1993, pp.147~234
- 최철웅, 지형공간정보체계를 이용한 수문인자 결정에 관한 연구, 부산대학교 박사학위논문, 1999.2
- 유희상, WWW GIS에서 클라이언트기반 검색시스템의 설계 및 구현, 인하대학교 석사학위논문, 1998.2
- ASPRS, Manual of Photogrammetry, Fourth Edition, 1980, pp. 37~103
- G. Konecny, Methods and Possibilities for Digital Differential Rectification, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.45, No.6, 1979, pp. 729~734
- Understanding GIS, ESRI, 1998, pp. 9~10
- INTERGRAPH, Working with Inroads SelectCAD, 1999
- Paul R. Wolf, Elements of photogrammetry, McGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY, 1983, pp. 587~609
- INTERGRAPH, MGE Terrain Analyst, 1996
- INTERGRAPH, MGE Grid Analyst, 1996

## 감사의 글

중국에서 제주대학교에 와서 본 논문이 완성되기까지 저에게 따뜻한 사랑과 학문적 지도를 해주시고 항상 신심을 주신 지도교수님이신 이병걸 교수님에게 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 그리고 지금까지 많은 관심과 격려를 아끼지 않으시고 많은 학문을 세심하게 가르쳐 주신 양성기 교수님, 남정만 교수님, 박상렬 교수님, 김남형 교수님, 김상진 교수님, 김성근 교수님에게도 감사를 드립니다.

2년 동안 대학원 생활을 하면서 어려운 일이 있을 때마다 항상 도움을 주고 격려를 해주신 김창훈, 김래우, 최현, 부성욱 선배님들에게도 감사의 마음을 전합니다. 또한 여러모로 도움을 준 양철영, 양태혁, 김광일에게도 고마움을 전합니다.

본 논문에 사용되는 프로그램을 배워주기 위하여 특별히 연구실까지 찾아와서 세심하게 가르쳐주신 한국 아이엠유 사의 성재열씨와 논문자료수집에 많은 도움을 준 고영호, 문재윤 선배님에게도 감사를 드립니다.

마지막으로 오늘 이날 까지 항상 저를 걱정하시고 사랑으로 뒷받침해 주신 부모님과 형님 그리고 사랑스러운 동생들에게 이 논문으로써 감사의 마음을 표시하고자 합니다.

2004년 11월 연구실에서