

## GIS를 이용한 3차원도로시뮬레이션에 관한 연구

권혁춘·이병걸

제주대학교 토목공학과

(2004년 2월 23일 접수; 2004년 5월 14일 채택)

### A Study on the Three Dimensional Road Design Technique Based on GIS Technique

He-Chun Quan and Byung-Gul Lee

Dept. of Civil and Ocean Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

(Manuscript received 23 February, 2004; accepted 14 May, 2004)

The purpose of this research is to apply GIS(Geographic Information System) for the road simulation and find some benefits analysis for the design processes. The northern Jeju island was selected as a case study. The 1/5,000 digital map 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 the overlay map, we designed the optimum road line and performed three dimensional simulation. From the results, we found that the developed three dimensional road simulation technique using GIS technique that was very useful tool to estimate the reasonable road design before the real road construction works.

Key Words : GIS, Overlay map, Hill shade map, Slope map, Simulation

#### 1. 서론

최근 들어 시설물 관리 및 도시관리 영역에서 GIS 기술을 적용한 정보화프로젝트가 잇따라 추진되고 있으며, 지상 시설물이나 지하 매설물의 위치 검색과 수정은 물론 도시경관 계획, 재해관리시스템, GPS 등의 일반 영역으로까지 그 적용 대상이 빠르게 확산되고 있다. 그렇지만 무엇보다도 중요한 것은 이를 국가정보 인프라로 인식하고 국가 차원에서의 GIS, 공간데이터처리, 공간분석기술에 대한 표준화에 대한 연구가 절실히 필요한 실정에 있다<sup>1)</sup>.

포괄적인 의미의 지형정보체계 GIS(Geographic 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 주어질 문제의 해결 및 의사결정에 최대한 효

용을 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.

토목공사의 설계 및 시공단계에 있어서, 3차원시뮬레이션을 실행하면 경관이나 주행성 등의 문제점을 공사 전에 파악하게 되므로 부설시공의 방지, 시공비용절감, 시공 전 경관분석 예측이 가능하다. 그러나 정밀한 모델을 묘사하는 데는 컴퓨터 과부하문제, 주변기기 지원 등 어려운 점이 있다<sup>2)</sup>.

따라서 도로계획부에서 지형정보체계는 지형의 전체모형을 DTM(Digital Terrain Model)으로 구성하여 시거성, 쾌적성, 안정성 등을 시각적으로 예측할 수 있는 도로설계를 진행 할 수 있다.

GIS는 엄청난 시장 잠재력과 응용분야의 다양성에도 불구하고, 3차원 데이터 구축의 자료획득 및 데이터베이스 구축의 고비용, 3차원 모델링 기술, 대용량 데이터베이스 처리 기술 등의 기술적인 어려움으로 인하여 개발이 부진한 실정이다. 그러나 고해상도위성 및 국산위성인 아리랑 호 등에 의하여

Corresponding Author : He-Chun Quan, Dept. of Civil Engineering, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea  
Phone : +82-64-754-3455  
E-mail : qhchun@hanmail.net

공간 해상도가 1m~5m인 지도 제작용 위성영상의 획득이 가능하고, 3차원 정보를 취득할 수 있는 GPS(Global Position System)등과 같은 정보원이 다양해지면서 3차원 데이터의 구축이 용이해지고, 최근 하드웨어 기술의 발달 및 컴퓨터 그래픽과 가상현실 기술의 발달로 인하여 비약적인 발전이 예상된다.

3차원 지형공간정보체계를 이용한 기법에서 가상현실기법의 개발에 대한 주요연구를 살펴보면, 가상현실을 위한 교통 환경 시뮬레이션, 경관 설계평가에 대한 유용성의 실증에 대한 연구가 진행되었다<sup>3)</sup>. Gert VanMaren은 공간 데이터를 위한 가상현실을 이용하여 3차원 지형공간정보체계를 좀더 사용하기 쉽게 만들었다. 그리고 원격탐사자료를 이용한 3차원 표현기법을 적용하여 실질적이고 본질적인 자료 표현에 관해서 연구하였다<sup>4)</sup>. 국내에서의 지형공간정보에 대한 적용사례를 보면 인터넷 GIS기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며<sup>5,6)</sup>, 가상현실이라는 새로운 분야에 대한 관심이 급증하면서 자동추출 및 실감 표현기술 개발이나 인터넷 환경 하에서의 3차원 지형분석 모듈 개발 등의 연구가 진행 중이다<sup>7)</sup>. 3차원 지형공간정보체계를 이용한 도로시뮬레이션에 대한 기법에 대한 연구도 진행 되었다<sup>8)</sup>.

본 연구에서는 GIS정보체계를 구성하고 Arithmetic Overlay 사칙연산을 이용하여 지형분석에 필요한 음영기복도, 경사도, 경사방향도, 건축물위치도 등을 결합시킨 합성지도(Overlay map)를 생성하여 최적노선을 선정할 후 1:5000수치지형도를 이용하여 불규칙TIN망을 생성하고 렌더링시켜 현실과 접근하는 3차원지형공간을 생성한 다음 2차원 도로설계보다 실질적인 3차원지형공간정보를 이용한 도로주행시뮬레이션을 진행함으로써 최적노선선정과 도로설계후의 평가에 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 연구대상지역 선정

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 제주도 북제주군에 인접한 지역을 연구대상지역으로 선정하였다. 이곳은 아직 도로가 개설되어 있지 않고 오름들이 많이 분포하고 있으며 지세가 복잡하고 노선의 운행을 주변부의 오름의 변화를 시각적으로 검토할 수 있어 연구지역으로 선정하였다. 노선의 길이는 약 3112m이고, 노선 시점의 평면직각좌표는 X: 37223.3213, Y:166113.5834이고 종점의 평면직각좌표는 X:39513.2541, Y:164283.8757이다. Fig. 2는 노선이 놓여질 지역의 수치지도로부터 등고선을 추출하여 격자해상도가 5×5m인 Grid 망을 형성하여 렌더링한 모습이다. 또한 지형을 높이에 따라 20m 간격으로 부동한 색상으로 지형변화를 나타내어 지형

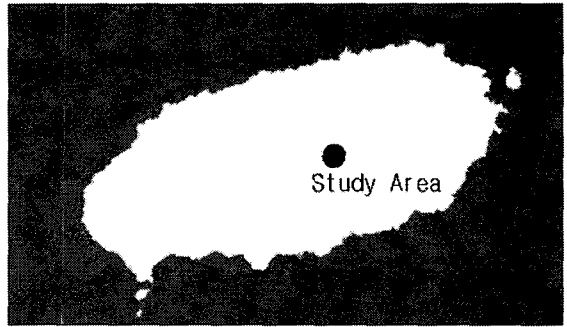


Fig. 1. Location of study area.

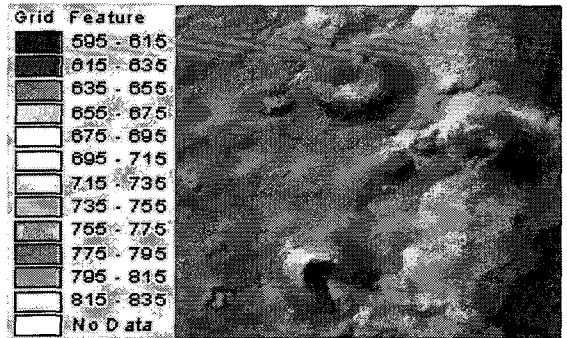


Fig. 2. Grid feature of study area.

분석에 이롭게 하였다.

## 3. 최적노선 선정과 시뮬레이션

### 3.1. 지형분석

자료의 분석은 GIS의 중추적인 기능으로서 분석 방법에는 공간분석(Spatial Analysis)과 통계분석(Statistical Analysis)이 있다. 공간분석은 하나 혹은 그 이상의 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. 본 연구에서는 GIS프로그램인 ArcView를 이용하여 Fig. 3와 같이 Arithmetic Overlay사칙연산을 이용한 최적노선을 선정하는데 필요한 주요구성요소들을 모두 고려한 모델구조를 형성하여 새로운 합성지도를 생성하였다. 이 합성지도를 생성함에 있어서 건축물 위치도는 도로를 설계할 때 반드시 피해야 할 건축물들의 위치를 합성지도상에 나타내는 역할을 하고 음영기복도는 지

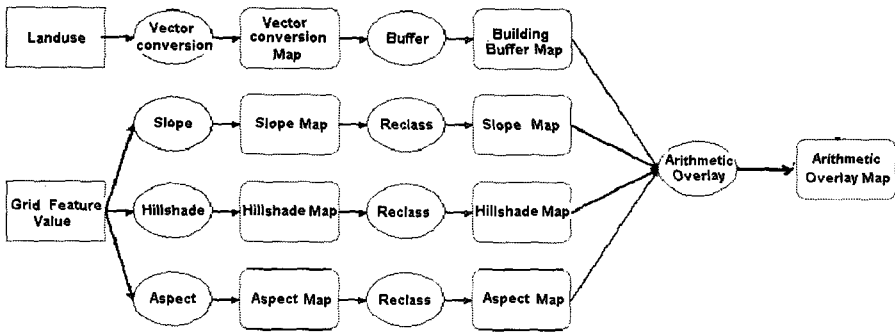


Fig. 3. Arithmetic overlay model building.

형의 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. 9에 근거하여 나누었다. 막대그래프는 경사방향도 에서 각 분류체계에 속하는 Grid개수의 총합이다. 지형의 대부분이 동쪽 면을 향하고 있다. 지형분석에 필요한 음영기복도, 경사도, 경사방향도, 건축물위치도는 각각 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7과 같다.

Arithmetic Overlay 연산법은 Table 1과 같이 노선선정에 필요한 지형지도들을 등급별로 나누어 산수적연산법을 통하여 종합적인 합성지도를 형성한다.

Arithmetic Overlay 연산법의 과정을 예를 들어 그림으로 나타내면 Fig. 8과 같다.

### 3.2. 노선선정

노선 선정에 있어서는 경제적, 기술적, 기타 모든

조건을 신중히 조사 연구하여 가장 적합한 노선을 선정해야 한다. 노선선정의 구체적인 과정은 도로의



Fig. 5. Slope map.

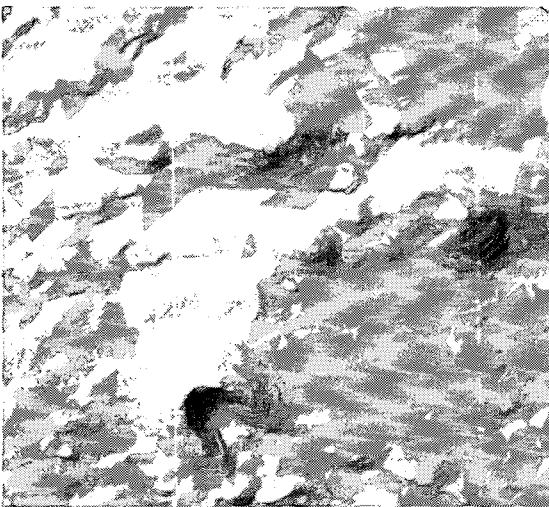


Fig. 4. Hill shade map.



Fig. 6. Aspect map.

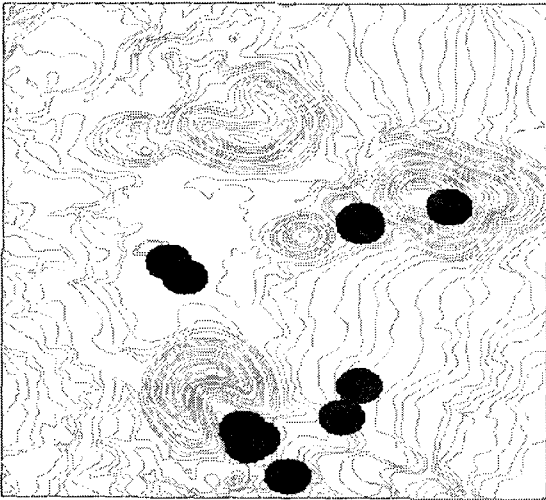


Fig. 7. Building buffer map.

규모나 사업 주체에 따라 차이가 있지만, 국도와 같은 일반적인 도로에 대한 노선 선정의 과정은 개략 노선의 검토, 개략설계, 최적 노선의 선정, 예비설계, 실시설계의 순서로 이루어지며, 도로계획·노선계획·도로설계의 순서로 이루어지며, 도로계획·노선계획·도로설계의 흐름도는 아래에 나타낸 Fig. 10과 같으며 위의 과정을 거쳐 얻어진 Arithmetic Overlay Map는 Fig. 11과 같다. 새로 얻은 이 종합적인 지도와 노선의 시 종점, 최단노선 등을 고려하여 얻은 도로의 최적노선은 Fig. 11에 표시한바와 같다.

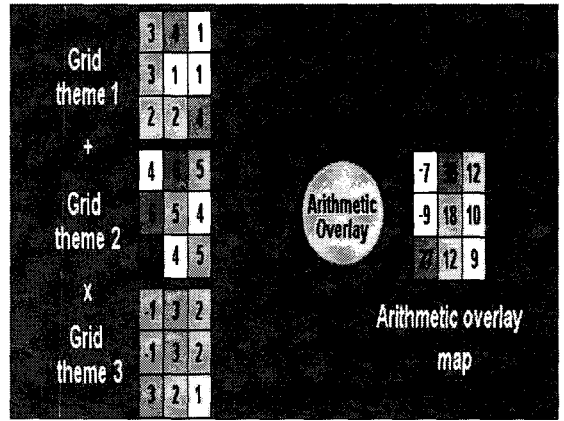


Fig. 8. Arithmetic overlay process.

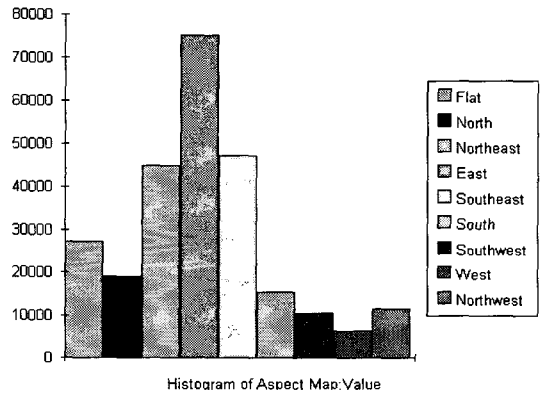


Fig. 9. Histogram of aspect map.

Table 1. Arithmetic overlay data

Input Theme	Op	Multiplier	Input Field	Label	Value
<b>Building buffer Map</b>	+	1	Value		
			1	0 - 100	5
			NODATA	No Data	0
<b>Slope map</b>	+	1	Value		
			1	0-5	1
			2	5-10	2
			3	10-15	3
			4	15-20	4
			5	20-25	5
			6	25-30	6
			7	30-35	7
			8	35-40	8
			9	40-45	9
			10	45-90	10
			NODATA	No Data	0
<b>Hillshade map</b>	+	1	Value		
			1	0 - 51	1
			2	51 - 102	2
			3	102 - 152	3
			4	152 - 203	4
			5	203 - 254	5
			NODATA	No Data	0
<b>Aspect map</b>	+	1	Value		
			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

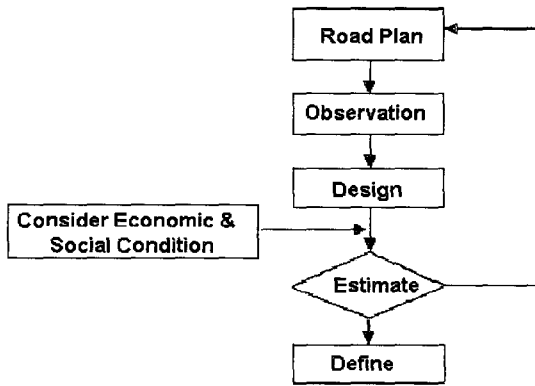


Fig. 10. Work flow of suitable roadway design.

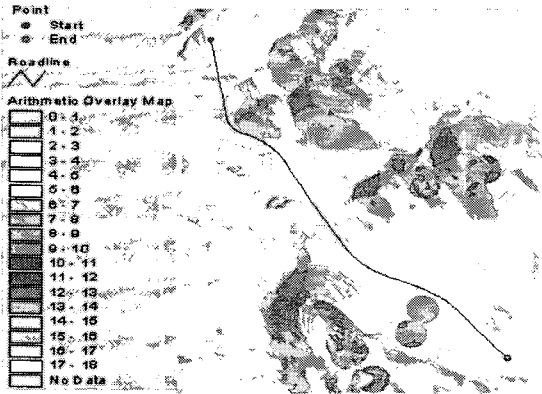


Fig. 11. Arithmetic overlay map.

### 3.2.1. 도로설계

도로설계는 선정된 후보노선에 대하여 지형도를 이용하여 구체적인 노선을 설계하는 단계이다. 도로설계에서는 지형에 대한 정확한 정보에 의한 기본도 구축이 중요하다. 합리적인 지형도 구축을 위해서 본 연구에서는 1:5000 수치지도로부터 DTM을 구축하여 TIN구조를 작성하였다.

선정된 노선에 대해 도로설계프로그램인 Inroads를 이용하여 도로의 평면선형 및 종단선형, 확폭, 시거, 편경사 등을 고려하여 설계를 하였다.

일반적으로 도로의 선형은 자동차가 안전하게 주행할 수 있도록 해야 할뿐만 아니라 주행의 쾌적성에 대해서 고려할 필요가 있다. 이와 같은 관점에서 도로의 평면선형은 자동차의 주행특성에 따르도록 직선, 원곡선, 완화 곡선으로 구성되며, 그 설계 요소로는 곡선반경, 곡선의 길이, 곡선부의 편구배, 곡선부의 확폭 및 완화구간 등이 있다. Table 2는 연구대상지역 노선의 평면선형과 곡선반경을 나타낸 것이다.

Table 3은 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정에 근거하여 최소곡선반경과 편구배 및 확폭의 값을

Table 2. Alignment curve set and horizontal alignment geometry

	x	y	Circle Radius	etc
B.P	37223.3213	166113.5834		
LP				
1	37683.2197	165703.8812	700	
2	37883.3731	165203.7562	500	
3	38773.4127	164663.3713	500	
4	38873.3174	164393.5124	400	
E.P	39513.2541	164283.8757		

Table 3. Minimum horizontal curves and inclination pitch according to vehicle velocity

Speed(km/h)	Friction(f)	Min. curve radius(m)	
		Computation	Requirement
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
Speed(km)	Radius(m)	Cant(%)	Slack(m)
80	700	0.047	~
	500	0.06	~
	500	0.06	~
	400	0.07	~

나타 내었다. 규정에 의하여 곡선 반경이 280을 넘으면 확폭의 설계가 필요 없으므로 본 설계에서는 확폭의 값을 계산 하지 않았다<sup>9)</sup>.

연구지역의 설계조건으로는 설계속도 80km/h, 차선폭3.5m, 길어깨는 2m, 중앙분리대는 0.5m으로 왕복 1차선도로로 하였으며 설계된 도로의 종단면도는 Fig. 12와 같다. 적색은 기존지형선형을 나타낸 것이고 하늘색은 도로가 놓여질 종단선형을 나타낸 것이다.

### 3.2.2. 연구대상지역의 수치표고모델형성

수치표고모델이란 공간상에 나타난 연속적인 기복변화를 수치적으로 표현하는 방법을 말한다. 수치표고모델은 각종 지형정보를 수치화 할 수 있기 때문에 기본적인 표고, 면적, 체적, 지형의 경사와 곡률, 사면의 방향 및 지형기복 상태를 가시적으로 평가 할 수 있으며, 등고선도와 3차원투시도, 지형의 3차원 표현과 조경설계 및 계획을 위한 입체적인 표현 등 여러 분야에서 이용되어지고 있다<sup>8)</sup>. 본 연구에서 연구대상지역의 표고는 Fig. 2와 같으며 면적

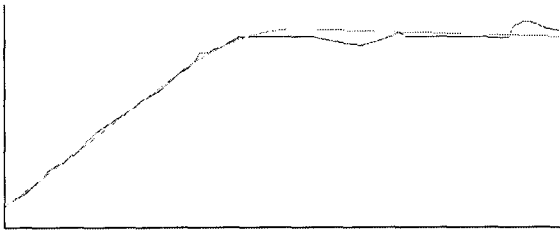


Fig. 12. Original surface and road line surface of Study area.

은  $6620784.497 m^2$ 이고 기준면으로부터의 체적은  $4587065 921.821 m^3$ 이다.

3차원지형 형성을 위해서는 연구대상지역의 고도값이 필요하므로 수치지도로부터 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.

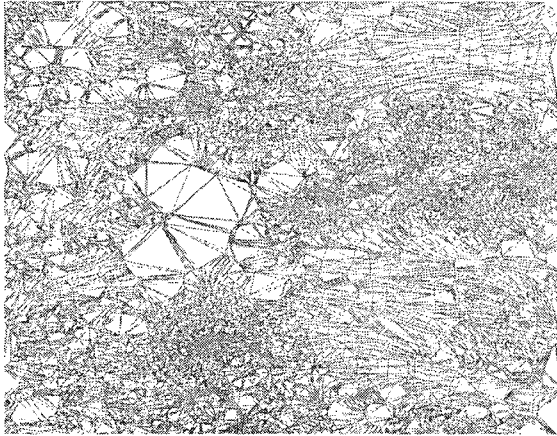


Fig. 13. TIN shapes of study area.



Fig. 14. TIN-Terrain after designed road.

표면은 각각의 작은 평면들로 구성된 다수의 삼각형이 연결되어 표현된다. Fig. 13은 연구대상 지역의 수치지도의 등고선만을 추출하여 Inroads 및 MTA에서 TIN망을 구성한 것이다.

### 3.2.3. 3D GIS에서의 도로의 표현

Fig. 14는 도로망을 형성한 새로운 TIN망의 모습이다. 이 그림은 도로를 설계하여 표면처리를 한 후 등고선을 재 작성하고 TIN망을 다시 처리하였다.

연구지역의 광원은 2003년 8월 정각 12시로 하고 태양광은 1.0으로 설정하였으며 가로수를 일정한 간격으로 배치하였다.

프레임은 모두 560개로 구성되고 묘사조건에 대한 해상도는  $640 \times 480$ 으로 하고 컬러로 구현하였다. 아래의 Fig. 15~18은 각각의 주행경로를 설정하여 도로완성후의 모습을 부동한 각도에서 바라본 모습과 시·종점 및 주요 스테이션에서의 경관 및 선형을 분석한 결과를 보여주고 있다.

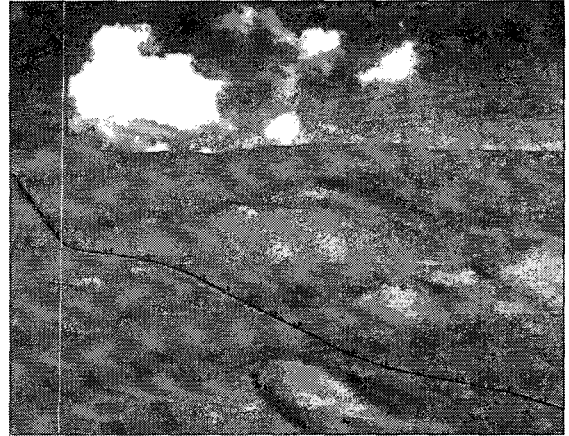


Fig. 15. Perspective view on left.

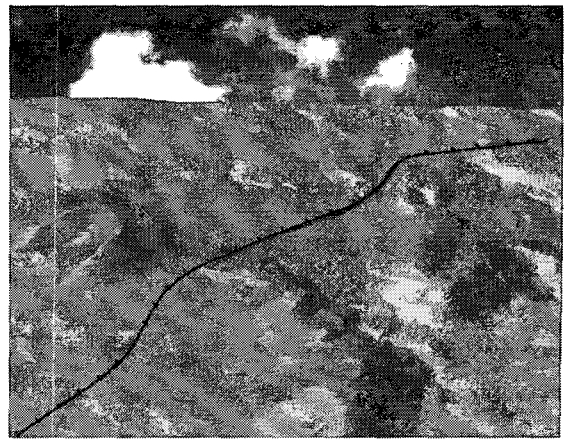


Fig. 16. Perspective view on right.

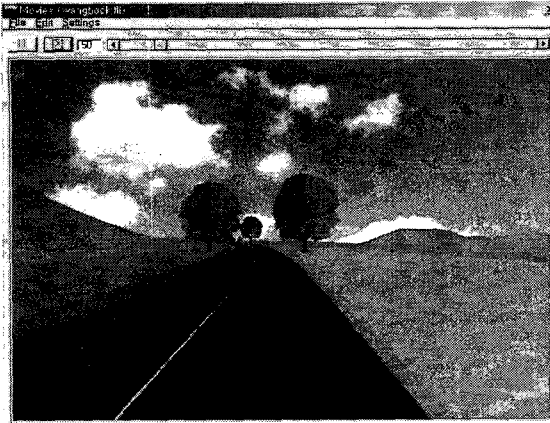


Fig. 17. Front view.

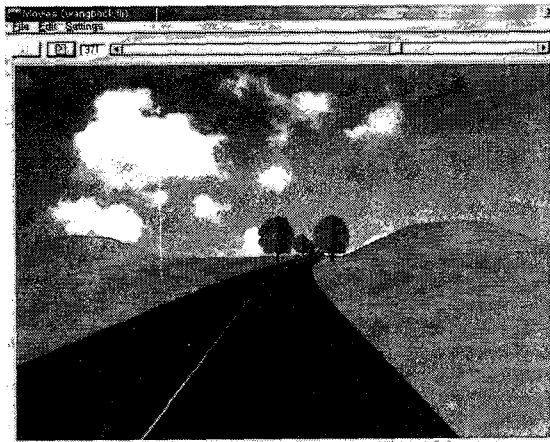


Fig. 18. Backsight view.

#### 4. 결 론

본 연구는 지형정보체계를 이용한 지형분석을 통하여 최적노선을 선정하고 3D-GIS를 이용한 도로주행시물레이션을 진행함으로써 도로설계후의 효과를 평가하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 지형공간정보체계를 이용하여 노선선정에 관계되는 여러 가지 요소를 모두 고려한 Overlay map를 형성하여 노선을 선정함으로써 보다 객관적이며, 과학적인 방법으로 기술적, 경제적, 사회적 평가를 향상시킬 수 있었다.

- 2) 노선계획, 선정 및 설계에서 시물레이션에 이르기까지 전 과정이 전산화되어 있어 노선 변경 및 수정이 용이하며, 보다 시각적이고 입체적인 계획이 가능하였다.
- 3) 기존의 2차원 도로설계개념에서 실질적인 3D GIS에서의 설계가 가능하였으며 양방향의 노선을 검토할 수 있을 뿐만 아니라 도로의 전체적인 선형을 비교 검토할 수 있고 준공 후에야 알 수 있는 문제점을 시공 전에 예측할 수 있다.

#### 감사의 글

이 연구는 제주대학교 BK사업단인 21세기 신해양인력양성사업단의 2003년도 RA지원비에 의해서 이루어 졌습니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 고영호, 2002, 假想地形空間情報體系技法을 이용한 도로시물레이션, 제주대학교 대학원 석사학위논문, 3-10pp.
- 2) 유복모, 1998, 지형공간정보론, 박영사, 1-45pp.
- 3) Mukah, T., 1998, VR의交通環境シミュレーションシステム, 日本情報處理學會論文集, 39(1), 142-151.
- 4) Carlo, W. D., 1999, A Virtual Environment for Remote Sensing Data Exploration, Proceeding of SPIE, 3643, 71-80.
- 5) 김성우, 임승호, 유환희, 1999, MapObjects IMS를 이용한 InternetGIS 개발, 대한토목학회 1999년 학술발표회논문집, 4, 545-548.
- 6) 강인준, 이준석, 장용구, 김미란, 1999, Servlet을 이용한 지형공간정보 Brow sing Service 제공, 대한토목학회 1999년 학술발표회 논문집, 4, 601-604.
- 7) 정연구, 1997, 3차원 시각정보의 자동추출 및 실감표현 기술 개발, 한국정보통신부, 11-18pp.
- 8) 최현, 강인준, 이병걸, 2001, 3차원 지형 공간 정보체계를 이용한 도로설계 시물레이션, 대한토목학회, 대한토목학회 논문집, 21(2-d), 201-207.
- 9) 건설교통부, 1999, 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙, 8-27pp.