

碩士學位論文

假想 地形空間情報體系技法을 利用한 도로시물레이션



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

高 映 豪

2002 年 8 月

假想 地形空間情報體系技法을 利用한 도로시물레이션

指導教授 李 秉 杰

高 映 豪

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2002年 8月



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

高映豪의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長_____ (印)

委 員_____ (印)

委 員_____ (印)

濟州大學校 大學院

2002 年 8 月

The Simulation of Road Based on the Virtual Geo-Spatial Information System

Yeung-Ho, Ko

(Supervised by professor Byung-Gul Lee)

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

DEPARTMENT OF CIVIL & OCEAN ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

2002. 8

目 次

Summary	1
I. 서론	3
1. 연구의 배경 및 동향	3
2. 연구목적	5
II. VRML 모델 구축	8
1. VRML 모델	8
2. 연구방법	18
III. 도로의 노선 선정	21
1. 노선선정	22
2. 도로설계	22
3. Digital Terrain Model(디지털 지형 모델) 자료구조	23
4. 도로의 선형설계	24
IV. 연구대상지역에 대한 적용	35
1. 연구대상지역 선정	35
2. 연구대상지역의 측량	37
3. 노선의 설계	38
4. 연구대상지역의 지형의 재현	39
5. 도로의 재현	41
6. 3D GIS에서의 도로의 표현	43
7. VR GIS에 의한 도로의 표현	45
8. 연구에 대한 고찰	54
V. 결론	55
참고문헌	57

List of Table

Table.1	Horizontal friction coefficients according to roadway design velocity	28
Table.2	Calculation and requirment's for minimum Horizontal Curves under roadway design velocity	28
Table.3	Superelevation for Horizontal Curves	29
Table.4	Inclination pitch according to design velocity and curve radius (imax=0.04)	30
Table.5	Lane with expansion and design Curve radius	33
Table.6	Vertical grade under roadway design velocity	34
Table.7	Alignment Curve set and Horizontal alignment geometry Table for study area	37
Table.8	Data of T.B.M	38



List of Figures

Figure.1	Web 3d international standard organization road map.	11
Figure.2	The concept of Broadcasting and Multicasting.	12
Figure.3	Workflow for Roadway Simulation based on VR GIS.	20
Figure.4	Typical roadway construction workflow.	21
Figure.5	Workflow of suitable roadway design.	22
Figure.6	An example of a DTM Data construction workflow.	24
Figure.7	Workflow of Roadway design in study area.	25
Figure.8	The forces that act on the car travels on a banked road.	27
Figure.9	Lane with expansion of Curve for semitrailer.	31
Figure.10	Location of study area and key map.	35
Figure.11	Digital map of study area.	36
Figure.12	Original surface and Horizontal surface of Study area.	38
Figure.13	TIN shapes of study area.	39
Figure.14	Original surface rendering of study area.	40
Figure.15	Tin-Terrain after added digital alignment.	41
Figure.16	Surface rendering of study area after roadway design.	42
Figure.17	Surface geometry coordinates in VRMLPAD.	42
Figure.18	Roadway driving simulation on 3D GIS.	44
Figure.19	Routing Map.	45
Figure.20	Illustrates the Background node backdrop and background textures.	49
Figure.21	Roadway simulation on VR GIS.	51
Figure.22	Reviewing Horizontal Alignment design on Gernun Mt.	51
Figure.23	Perspective View on Min Mt.	52
Figure.24	Reviewing Horizontal Alignment design on Backagi Mt.	52
Figure.25	Front View on Station 1+150.	53
Figure.26	Backsight View on Station 1+150.	53

Summary

Roadway design in topographical plane map brings many problems in efficiency and requires much time and labor by hand. In several years, the active studies of efficient roadway design and driving simulation method using 3-D terrain information are being developed according to increasing concentration on GIS(Geo-Spatial Information System).

Through a function known as visualization, a GIS can be used to produce images - not just maps, but drawings, animations, and other cartographic products. These images allow researchers to view their subjects in ways that literally never have been seen before. The images often are equally helpful in conveying the technical concepts of GIS study subjects to non-scientists.

However, GIS scientists and Civil Engineers's a big concern is building much more realistic virtual world in GIS. The 3-D GIS(Three-Dimension Geo-Spatial Information System)was developed, allowing us to have a spatial analysis, a relief modeling and a topography simulation. This was difficult to do with the 2-D GIS.

In this paper, I have studied the development of the driving system using Virtual Reality Modelung Language for Virture GIS, estimation for simulation design in traveling. Recently, three dimensional computer graphic programs and Virture reality language have widely used landscape design but it takes a long time to produce real images. To make virtual reality, I have investigated and surveyed in the specified area using 1:5,000 digital map. For the visual simulation, the Digital Elevation Model was built for 1:25,000 and 1:5000 digital maps near study area.

As the result of this study, I can produce promptly and efficiently design datum of Visual DTM, which is composed of roadway and the natural scene after design. And using with output data, It will be provided an overview of Virture GSIS using Virtual Reality Modeling Language.



I. 서론

1. 연구의 배경 및 동향

지난 몇 년 동안 인터넷은 가장 많이 논의되어지는 컴퓨터 기술중의 하나가 되었다. 사업체들은 NET에 그 존재를 알리기 위해 애쓰고 있다. 또한 정보의 요구에 부응하고 삶의 질을 향상하기 위한 도구로 정보통신기반 구조가 요구되어지고 있다. 인간과 컴퓨터의 원활한 인터페이스, 다양한 정보의 전달 및 표시, 3차원 개체의 용이한 처리를 위하여 다수의 어플리케이션들이 급격히 3차원 그래픽 기능을 수용하고 있는 추세이다. 따라서 이러한 3차원 컴퓨터 그래픽 기능은 이제 단순한 기하학적 형태를 다루는 것에 그치지 않고, 3차원 영상 매체의 한 분야로 발전되어 인간에게 시각적 사실감을 부여함으로써 생산성을 향상시킬 수 있는 다양한 응용 분야로 파급되고 있다.(Stephen N, 1997)

3D GIS 기술은 보유하고 있는 국내외 업체들은, 기존의 2차원 데이터에 3차원 데이터를 추가하여 3D GIS 응용 프로그램을 개발하는 업체, 위성영상이나 항공사진을 기반으로 한 고도 데이터를 3차원으로 표현하여 시각성을 추구하는 업체, 3차원 공간분석기술을 중점적으로 강조한 업체 등 보유한 기술만 하더라도 다양하다. 최근 들어 시설물 관리 및 도시관리 영역에서 3D GIS 기술을 적용한 정보화 프로젝트가 잇따라 추진되고 있으며, 지상 시설물이나 지하매설물의 위치 검색과 수정은 물론 도시경관 계획, 재해관리시스템, GPS 등의 일반 영역으로까지 그 적용 대상이 빠르게 확산되고 있다. 그러나 무엇보다도 중요한 것은 국가의 정보 인프라로 인식하고, 국가 차원에서의 3D GIS 및 Virture GIS에 대한 데이터베이스, 공간데이터처리, 공간분석기술에 대한 표준화에 대한 연구가 절실히 필요한 실정이다.

3D 및 Virture GIS는 엄청난 시장 잠재력과 응용 분야의 다양성에도 불구하고, 3차원 데이터 구축의 자료원의 획득 및 데이터베이스 구축의 고비용, 3차원

모델링 기술 대용량 데이터베이스 처리 기술, 초고속 네트워크 기술 등의 기술적인 어려움으로 인하여 개발이 부진한 실정이다. 그러나, 1m~5m의 공간해상도를 지원하는 고해상도 위성 영상 및 국산 위성인 아리랑 호 등에 의한 지도 제작용 위성영상의 획득이 가능하고, 3차원 정보를 취득할 수 있는 정보원이 다양해지면서 3차원 데이터의 구축이 용이해지고, 최근 하드웨어 기술의 발달 및 컴퓨터 그래픽과 가상현실 기술, 네트워크 기술의 발달로 인하여 비약적인 발전이 예상된다.

3차원 지형공간정보체계를 이용한 기법에서 가상현실기법의 개발에 대한 주요 연구를 살펴보면, 가상현실을 위한 교통 환경 시뮬레이션, 경관 설계평가에 대한 유용성에 실증에 대한 연구가 진행되었다.(Toshimitse Mukah, 1999). Gert Van Maren은 공간 데이터를 위한 가상현실을 이용하여 3차원 지형공간정보체계를 좀더 사용하기 쉽게 만들었다. 그리고, 원격탐사자료를 이용한 3차원 표현기법을 적용하여 실질적이고 본질적인 자료표현에 관해서 연구하였다.(Walter Di Carlo, 1999). 국내에서의 지형공간정보에 대한 적용사례를 보면 인터넷 GIS기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며(김성우 등, 1999; 강인준 등, 1999), 가상현실이라는 새로운 분야에 대한 관심이 급증하면서 자동추출 및 실감 표현기술 개발이나 인터넷 환경하에서의 3차원 지형분석 모듈 개발 등의 연구가 진행중이다.(정연구, 1998). 3차원 지형공간정보체계를 이용한 도도시뮬레이션에 대한 기법에 대한 연구도 진행되었다(최현 등, 2001).

3D GIS는 초창기에는 지형을 단순히 3차원으로 가시화 하는 기능 위주였지만, 최근에는 3차원 지형 분석 및 3차원 시설물과 3차원 도시 등의 실감 있는 모델링, 분석 기능을 제공하는 단계까지 이르렀고, 미래에는 3차원 모델링 뿐만 아니라 현실감 있는 가상 현실(Virtual Reality) 기능이 더욱 강조된 3D GIS 더 나아가 Virture GIS에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2. 연구목적

지형공간정보체계(Geo-Spatial Information System)에서의 그래픽이 단순한 기하학적 형상의 표시뿐만 아니라, 효율적인 그래픽 개체의 저장 및 운영, 실시간(Real-Time)처리, 각종 주변 장치와의 인터페이스 및 연동, 실세계와의 자연스러운 접목을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한, 지구상의 대상물 및 현상의 속성 및 그 배열 상태에 대한 지리적 정보를 조합하는 수단인 WEB을 이용한 모든 자료의 통합, 운용, 쉬운 검색, 관리를 하는 것이다. 이때 개방형 구조와 OPEN GIS가 필요한데 GIS해당 기관의 업무 및 자료 구축을 위한 분산 시스템과 이질성의 시스템 및 자료들의 호환 구조를 제시하는 OPEN System과 기존의 구축된 자료의 정보호환 방안을 요하는 객체 지향 DB구축, 사용자 중심의 자료 접근 및 처리 방안으로 인터넷 활용이 요구되고 있다. 또한 국토가 일일 생활권이 되었지만 Web에 의한 원격지에서 설계의 필요성과 사업 발주자의 요구에 부응하고 균형적인 국토개발과 토지이용을 활성화시키는 방법의 하나로서 사업후의 완성된 사업지역을 관찰할 수 있는 효과적인 방법이 요구되어 왔다.

GIS에서 기존에 사용된 3차원 가시화 방법은 Hypsographic tinting, Pictorial Relief, Shaded Relief, Shaded Perspective View등이 주로 쓰였다. 이러한 방법들은 각각 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고, 공통적으로 정적인 장면만을 보여준다는 한계가 있다. 반면에 VRML을 이용하면 실시간의 상호 작용하는 3차원 지도를 얻을 수가 있다. VRML은 파일 사이즈가 크고, 일단 파일이 만들어지면 이를 능동적으로 갱신하고 추가하는 작업이 불가능하다는 한계가 있지만, 이를 이용하여 상호 작용하는 3차원 시각 정보 등 많은 분야에서 응용될 수가 있다.

Virtual GIS 기법을 이용한 도로설계의 필요성은 2차원보다는 인간 친화적인 3차원 그래픽 User Interface 분야가 Human User Interface의 중요분야가 되었고, 이런 추세로 나갈 수밖에 없는 것이 결국 인간은 2차원이 아닌 3차원에서 활동하기 때문이다.

결국엔 가상현실 속에 내재된 Human User Interface 기술은 그 동안 아날로그 세상에서 허비되어왔던 우리의 많은 시간을 디지털 세상으로 바꿔 삶의 풍요를 인간생활에 가져다 줄뿐만 아니라 더 적은 시간으로 인간이 원하는 가치들을 더 많이 채워줄 것으로 기대되며, 가상현실 기술은 인간생활의 행복을 결정짓는데 지금까지 인류가 도달할 수 있는 가장 최종적인 미디어이기 때문이다. 이러한 이유로 지리정보를 활용하는 다양한 시스템에서는 각종 지형정보를 시각화함으로써 공간적, 기능적 분석의 효과를 높이고 이용자의 이해 증진을 도모해야할 필요성이 있다. 가상현실(VR GIS)기법을 이용한 도로서물레이션은 이러한 지형정보의 시각화를 위해서 필요할 뿐 아니라 다양한 분야에서 응용될 수 있어서 건설기술자의 고부가가치를 창출할 수 있으며, 통신, 수문 및 환경 등의 계획분야에 대한 국가 경쟁력과 생산성 향상을 가능하게 하는 자료로 활용할 수 있다.

VR GIS는 네트워크 및 인터넷 기술의 발달, 영상처리 기술의 발달에 힘입어 미래의 각광받는 기술로 주목받고 있다. GIS에서는 지형정보를 정보시스템에서 사용하기 위해서는 복잡한 실세계의 형상을 단순화, 일반화하여 전산적으로 처리할 수 있는 정보구조로 변환해야 한다. 기존의 2D GIS에서는 실세계의 형상을 점, 선, 면 등의 2차원적인 형상으로 수치 정보화하여 GIS 기능을 수행하고 있다.

하지만 지구상에 존재하는 지리적인 요소들은 3차원적인 공간정보로 구성되어 있어 이를 2차원으로 추상화시키면 많은 정보의 손실이 일어나게 되므로, 기존의 2D GIS는 근본적인 한계가 존재하게 된다. 따라서, 실세계의 3차원적인 지리요소는 컴퓨터 상에서도 3차원으로 처리하는 것이 지리요소가 원래 지니고 있는 정보의 손실을 최소화 할 수 있으며, 실세계의 자연물 및 인공 시설물에 대한 3차원적인 표현과 분석이 위해서는 궁극적인 형태의 VR GIS가 필요하다.

그러나 기존의 3차원 가상현실기법을 이용한 도로 시물레이션이 단방향의 노선을 검토하고 실질적으로 WEB상의 가상현실이라는 환경하에 접근하여 도로의 주행 및 주변의 경관설계 평가에 대한 연구가 거의 없는 상태이다. 본 연구에서

는 도로설계 후 연구지역에 가상현실을 적용하여 실질적인 가상현실 기법에 대한 적용가능성에 대해서 연구하고자 한다.



II. VRML 모델 구축

1. VRML 모델

1) VRML의 개요

VRML이란 가상 현실 모델링 언어(Virtual Reality Modeling Language)의 약자이다. 일반적으로 "V R M L"이라고 발음하지만 편의상 "vermel"이라고 발음하기도 한다. Virtual Reality Modeling Language(VRML)은 인터넷이나 인트라넷(Intranet) 또는 로컬 클라이언트 시스템(Local client system)에서 상호 작용할 수 있는 3D오브젝트(Object)나 세계(World)를 표현하기 위한 파일(File) 형식(Format)이다. VRML은 우리가 요즘 자주 듣고 있는 가상 현실을 웹 브라우저에서 실현하기 위한 표준 언어이다.

2차원적인 평면에서 전개되는 HTML과는 전혀 다른 3차원 가상 공간을 표현하기 때문에 우리의 감성에 직접적으로 호소하는 것이 바로 VRML이다. 물론 아직까지 VRML이 널리 보급되어 있지는 않지만 앞으로 인터넷을 이끌어갈 자바(java)와 더불어 아주 중요한 신기술이라고 할 수 있다.

VRML의 주된 목적은 인터넷상에 텍스트(Text), 이미지(Image), 애니메이션(Animation), 사운드(Sound) 등으로 이루어진 3차원 세계를 표현하는데 있다. 그러므로 VRML은 UTF-8(UCS Transformation Format)을 사용하여 다양한 국가의 문자를 지원하고 HTML과 마찬가지로 개방적이고 확장 가능한 언어이다.

HTML로 작성된 문서를 전세계 어느 곳에서나 HTML을 지원하는 브라우저만 가지고 있다면 그 문서를 볼 수 있듯이 VRML 또한 그 형식에 맞게 작성된 문서는 어느 곳에서나 같은 모습으로 보여질 수 있는 것이다. 그러나, HTML을 위해서 http라는 프로토콜이 있는 것과는 달리 VRML을 위한 별도의 프로토콜은

존재하지 않는다. 대신 사용하는 웹 브라우저가 자신이 읽은 파일이 VRML파일인 것을 알면 연결되어 있는 VRML브라우저를 호출하여 자신이 읽은 VRML파일을 넘겨주고 사용자는 VRML브라우저를 통해서 3차원 공간을 경험하게 된다. 즉, 기본 동작 구조는 웹 브라우저에 연결되어 동작하는 다른 파일들과 다를 바가 없다.

VRML파일은 HTML 파일과 마찬가지로 텍스트 파일이며 사용자가 텍스트 에디터로 작성하여 VRML파일의 확장자 명인 .wrl로 명명하기만 하면 된다. 따라서 그 문법 구조만 알면 누구나 작성할 수 있도록 되어 있다.

VRML파일이 아스키(ASCII)형식으로 되어 있기 때문에 다른 멀티미디어 데이터에 비하여 파일 크기가 아주 작다. 이것은 네트워크를 통해 파일을 전송받아야 하는 사용자가 쉽게 3차원 세계에 접근할 수 있음을 이야기한다.

VRML은 오늘날 웹에서 사용하고 있는 URL(Uniform Resource Locator)과 유사한 하이퍼 링크 기능을 제공하고 있다. 하이퍼 링크로 연결된 물체들을 선택하면 VRML브라우저는 사용자를 도착하기로 되어 있는 이미지와 장면으로 구성된 다른 사이트로 보낼 수 있다. 이것을 이용하여 좀더 상호 연동적인 3차원 사이버 스페이스를 구성할 수 있다.

이런 특징들로 인해 VRML은 인터넷에 사이버 스페이스를 구축하는 도구로 관심을 모으고 있는 것이다.

2) VRML의 역사

1990년 초에 커뮤니티 사의 마크 페스와 인터비스타 소프트웨어의 토니 파라시는 가상 현실과 네트워킹 분야의 경험들을 살려 웹에서의 3차원 인터페이스를 제안하였다. 이후, 1994년 5월 스위스의 제네바에서 열린 제 1회 월드와이드웹에 관한 국제회의 기간 동안 3차원 장면들과 웹의 하이퍼링크 개념을 접목시켜주는 3차원 언어가 필요하다는 것에 공감했다. 마크 페스와 브라이언 블렌돌프가 같은

해 6월 메일링 리스트를 이용해 사양을 검토하는 형식으로 사양 제정 작업이 들어갔다. 그리고, 그 해 10월에 2차 웹 회의를 개최하여 VRML 드래프트를 발표하였으며, 넷스케이프(넷스케이프) 베타 버전도 발표하였다. 95년 4월에는 웹 브라우저 웹스페이스(WebSpace)를 SGI(실리콘 그래픽스)와 TGS(템플릿 그래픽스)에서 발표하였다. 5월에는 실리콘그래픽사의 오픈 인벤터 기술에 기초한 VRML 1.0 규약이 공표되었으며 8월에는 인터비스타(Intervista)가 월드뷰(WorldView)를 발표한다. 마찬가지로 페이퍼소스 사에서는 유명한 웹에프엑스(WebFX)를 발표했다.

이렇게 각 회사들이 완성되지 않은 소프트웨어를 앞다투어서 발표한 것은 기능이 약간 모자라더라도 시장을 선점하기 위한 것이다.

1995년 12월에는 VRML 1.1 규약이 VAG에 의해 발표되고 96년 1월에는 다시 2.0 규약이 제안되었다.

1996년 2월에는 넷스케이프 사(넷스케이프 Inc)가 페이퍼 사(Paper Inc)를 인수하여 웹에프엑스(WebFX)를 Live3D로 발표하였다. 따라서 지금은 웹에프엑스(WebFX) 대신에 Live3D를 사용하여 VRML문서를 보거나 웹스페이스(WebSpace)를 사용한다.



현재 VRML 규약의 최종판은 VRML 2.0 기술을 기술적으로 명문화하고 일부 기능을 수정한 VRML 97규약으로 ISO(국제 표준기구)에서 1997년 8월에 새로 승인한 규약이며 web 3D의 역사를 도시하면 Fig.1 와 같이 나타낼 수 있다. 현재 X3D라는 차세대 VRML 97 표준화 작업이 진행중이며 VRML 97은 금년 2002년에 통합될 예정이다.

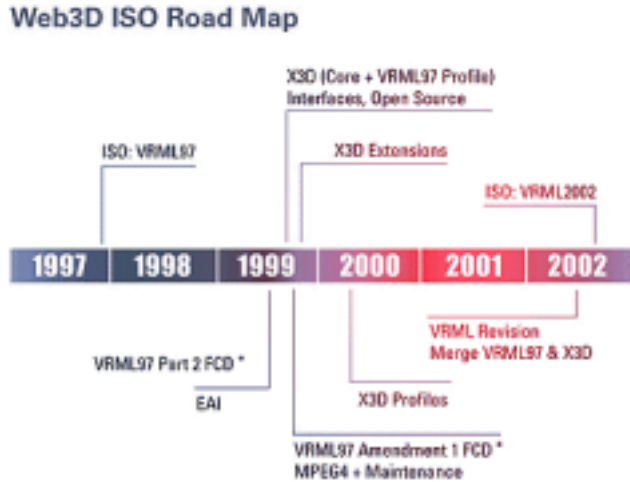


Figure.1 Web 3d international standard organization road map.

3) VRML의 특징

기하학, 변환, 속성, 빛, 음영, 질감들이 3차원 그래픽을 구성하는 것들이다. 기하학은 x, y, z 좌표와 경계로 정의할 수 있다. VRML 2.0에는 몇가지 간단한 형상 즉 직육면체(Cube), 원뿔(Cone), 원통(Cylinder) 그리고 구(Sphere)들이 있다. 또, 기하학의 속성이 있는데 특히 "물질" 속성은 어떻게 물체의 표면에서 빛이 반사되어 나오는가를 알려준다. 변환(transformations-척도, 회전, 변형)은 다른 것들과 연관해서 물체의 위치와 척도를 잡는데 사용된다.

빛이 비침은 얼마나 많은 빛이 물체에 부딪히고 얼마나 많은 것이 반사되는지 결정한다. 빛에는 스포트 라이트(spot light), 전구 그리고 태양이 있다. 분산되어 버린 빛도 물론 있다. 음영(Shading)은 컬러가 표면에 어떻게 퍼져야 하는지 결정한다. 평평한 음영은 같은 색을 갖는 것으로 보일 것이다. VRML은 이런 3차원의 가상 공간을 표현하기 위한 언어 사양이다.

(1) VR 커널 및 비주얼 시뮬레이션 모듈

현재까지의 가상현실 기술은 주로 Stand-alone 시스템을 사용한 단일 사용자 위주로 이루어져 왔다. 그러나 최근에는 여러 사람들이 참여 가능하고 상호작용을 할 수 있는 분산 가상 환경에 많은 관심이 모아지고 있다.

(가). VR 커널

가. 가상 환경을 위한 네트워크 모델 및 프로토콜

① IP multicasting

네트워크상에서 패킷을 Broadcast할 때 그 패킷은 물려있는 모든 호스트컴퓨터에게 전달되고 Unicast할 때는 패킷이 Source host에서 목표호스트(destination host)로 전달된다. 멀티캐스팅의 의미는 단일 패킷을 선택된 목표호스트에게만 보내는 것을 의미한다. Fig.2에서 이 세가지 방식을 도식적으로 나타내었다.

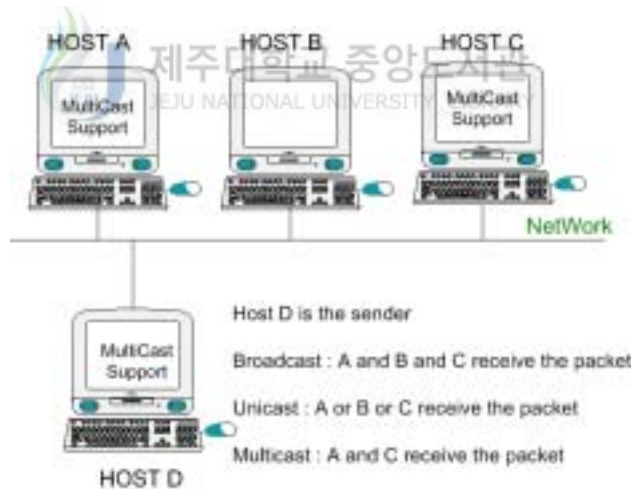


Figure.2 The concept of Broadcasting and Multicasting.

가상현실 시스템에서는 참여자간의 정보 교환이 실시간으로 이루어 져야 한다. 또한 참여자의 수가 늘어도 전체의 성능이 저하되지 않아야 한다. 이런 조건을 만족하는 네트워크 프로토콜은 멀티캐스팅 방식이 적합하다.

② IP Multicasting 과 MBONE

IP 멀티캐스팅은 데이터그램을 호스트그룹으로 전달하기 위한 기존의 IP프로토콜을 확장한 개념으로 IP 멀티캐스팅에 참여하기 위해서는 호스트는 멀티캐스트 데이터그램을 보내고 받을 수 있어야 한다. IP 멀티캐스트 데이터그램은 특정 호스트의 IP주소가 아닌 IP그룹으로 호스트주소를 명시한다. 이때 호스트는 IGMP(Internet Group management protocol)을 가자고 멤버들과 통신한다.

MBONE(Multicast Backbone)은 직접적으로 멀티캐스팅을 지원하는 LAN들이 마치 섬이 연결되듯 터널이라는 가상의 연결을 이용한 가상의 네트워크를 말한다. MBONE은 1992년 IETF (Internet Engineering Task Force: 인터넷 표준규격을 개발하고 있는 Internet Architecture Board 산하의 조사위원회.)meeting은 전세계로 멀티캐스트하기 위한 실험의 결과물이다. IETF meeting에서의 오디오, 비디오 데이터를 전송하고 그 중간 중간에 생기는 지속적인 실험들을 지원하기 위해 반영구적으로 IP멀티캐스트 테스트베드(testbed)를 만들자는 것이다. 그런데 실제로는 이런 IETF 관련 미팅이나 실험 외에 강의, 세미나, 콘서트 등을 중계하는데 이용되고 있다.

MBONE은 멀티미디어 텔레컨퍼런싱(tele-conference), 분산 데이터 베이스시스템, Computer supported Cooperative Work(CSCW)응용프로그램이 가능하고 다양한 실시간 응용을 위한 인프라(Infrastructure)를 제공한다.

나. 가상 세계의 모델링과 상호작용을 위한 VRML

가상 현실 시스템의 가장 기본이 되는 것은 현실세계를 가상세계로 매핑하도록 기술하는 방법이다. 본 연구에서는 현재 인터넷상에서 3차원 표준으로 등장한 VRML(Virtual Reality Modeling Language)을 기반으로 도로서플레이션을 구성하였다.

① 키 프레임 애니메이션을 위한 Interpolator

이벤트가 발생할 때마다 파일에 기술한 내용대로 시간에 따라 해당 가상 오브젝트가 애니메이션 된다.

② 가상 오브젝트의 조작을 위한 Dragger

가상 공간의 오브젝트를 직접 조작하는 기능으로 VRML 2.0에서는 Dragger이름으로 기술한다.

③ 상호 작용을 위한 이벤트 처리

VRML에서는 이벤트를 처리하기 위해서 Sensor라는 개념을 사용하는데 사용자의 입력이나 시간에 따라 이벤트가 발생되고 발생된 이벤트는 파일에서 기술한 다른 노드로 전달되어 수행되어 진다.

④ Collision Detection

참여자가 가상 공간을 향해하면서 물체와 충돌하였을 때 이 물체를 통과하지 않고 충돌한 것과 같은 비주얼한 피드백을 준다. 이는 가상 세계도 현실 세계와 같은 물리적인 반응을 제공하므로 참여자의 현실감과 몰입감을 높이는데 도움을 준다.

⑤ Pendulum, rotor, Blinker

VRML에는 애니메이션을 제공하기 위해서 추가된 노드들으로써 Pendulum은 오브젝트를 시간에 따라 정해진 구간을 로테이션한다. 이 노드를 계층적으로 사용하면 관절을 가진 물체를 애니메이션 할 수 있다. Rotor 노드도 비슷한 역할을 하는데 주로 지속적인 회전을 하는 물체에 애니메이션 하는데 사용된다. Blinker 노드는 오브젝트 들을 연속적으로 시간에 따라 반짝이는 효과를 줄 수 있는 노드이다.

다. 비주얼 시뮬레이션 모듈

① 비주얼 DB 구성

가상 환경에서 프로그램이 그래픽 배경을 생성하고 다양한 장면을 연출하기 위해서는 종합적인 정보가 기술되어야 한다. 이러한 종합적 정보는 우선적으로 시각적인 그래픽 데이터를 단위로 해서 그 데이터의 동작, 운영방법, 서로간의 관계 등등한 다양한 정보가 추가되므로 이것을 비주얼 DB(Data Base)라고 한다.

본 연구에서는 비주얼 DB의 기본 단위를 노드(Node)로 표현하고 노드들은 각각의 기능에 따라 다양한 종류가 있고 각 노드들은 서로 계층 구조를 이루며 VR GIS의 그래픽 배경을 구성하도록 하였다.

프로그램은 실행시 이 비주얼 노드의 트리 구조를 Traversal하며 각각의 노드 형태에 따르는 기능을 수행하도록 하였다. 예를 들면, 기하학적 형태 정보만을 가지고 있는 Geometry Node의 경우 실행 프로그램이 비주얼 DB를 Traversal하다가 이 노드를 발견하게 되면 프로그램은 여기에 저장되어 있는 3차원 그래픽 모델의 기하학적 형태를 나타내는 Vertex, color, Normal등의 정보를 참조하여 해당되는 이미지를 생성하게 된다.

VR GIS를 이용한 도로서뮬레이션의 그래픽 배경 및 물체를 구성하는 노드를 분류하면 크게 다음과 같다.

- 기본 노드
- 동작 및 좌표계 처리 노드
- 애니메이션 노드
- 카메라 노드
- 특수 효과 노드
- 차트 노드
- 문자 노드

② 실시간 시뮬레이션

실시간 시뮬레이션은 구축된 비주얼 DB를 그래픽으로 표시하고 관련 주변 장치와의 인터페이스를 담당한다. 비주얼 DB에서 지정된 노드의 모든 기능도 실질적으로 실시간 시뮬레이션 부분에서 처리된다고 할 수 있다.

실시간 시뮬레이션 부분은 다음과 같은 많은 작업들을 동시에 수행하면서 실시간 이득을 최적화 시켜야 한다.

- 그래픽 연산
- 비주얼 데이터베이스운용
- 가상 배경 및 개체의 변경 및 애니메이션
- 기타 각 노드의 정의된 기능 수행
- 카메라 인터페이스 및 움직임 데이터 추출

③ 가상카메라의 동기화

카메라의 위치 정보는 Pan, Tilt, Zoom등을 사용한다. Pan은 카메라의 위/아래 방향의 회전, Tilt는 좌/우 방향의 회전을 나타내고 Zoom은 장면의 확대/축소를 나타낸다. 카메라의 위치 정보는 Pan, Tilt에 대한 각도(Angle)로 그리고 Zoom에 대한 Zoom factor로 추출된다.

가상 카메라의 위치 및 Zoom factor설정 시 우선되어야 하는 것은 실제 주행상에서의 운전자의 눈 높이나 비행 경로 상에서의 물체의 위치에 따른 높이 값이 우선 제고되어야 한다.

4) VRML연구동향

(1) 국외연구동향

VRML컨소시엄은 현재 VRML97이 ISO의 표준안으로 자리 잡은후 지난 98년 초 VRML98을 목표로 새롭게 Working Group을 조직하고 그 작업을 진행하였다. 또한 98년 2월 미국 캘리포니아주 몬트레이(Montrey)에서 VRML98심포지움을 개최하여 그 활동을 활발히 하고 있다. 현재 Working Group은 MPEG-4, dynaminc HTML, 압축등 다른 인터넷 언어나 기술과의 연계에 대해 연구하고 있으며 특히 VRML2.0의 초안을 작성할 때부터 요구 사항인 다중사용자의 이용을 위한 Living World라는 그룹이 형성되어 연구중이다. 또한 1998년 2월 선 마이크로시스템사와 3D 웹 표준화에 서로 협력하기로 함으로써 VRML과 JAVA 3D API가 서로 완벽히 지원하기로 하였다.

VRML응용 프로그램의 개발에 있어서는 실리콘 그래픽스사가 선두적인 입지를 차지하고 있다. 현재 코스모 소프트웨어사를 설립하여 VRML브라우저를 비롯하여 다양한 응용프로그램을 개발 또는 개발중이며 앞으로도 많은 성과가 있을 것으로 보여진다. 95년 12월 부터 실리콘 그래픽스와 선 ,넷스케이프사가 각사의 기술을 서로 라이선스 하였고 최근 마이크로소프트사와 넷스케이프사가 협약함으로써 VRML시장의 주도권을 이 네 회사가 이끌어 가고 있다 해도 과언은 아니다. 이들 회사외에도 컨소시엄에 참여한 인터비스타, 플래티넘 테크놀로지 사 등이 응용 어플리케이션 개발에 활발히 연구하고 있으며 VRML을 이용한 3D만화, 게임, 가상 사이버 스페이스 들이 인터넷에 선보여지고 있다. VRML Site Magazine이란 잡지도 발간되어 VRML의 대중화와 기술전달, 소프트웨어 광고의 장으로 이용되고 있다.

(2) 국내연구동향

외국의 열기와는 달리 국내의 연구는 초기에 미비하였으나 현 VRML컨소시엄

에 삼성전자가 Charter member로 참여함으로써 표준화에 영향력을 행사하고 있다. VRML의 이용에 대한 인식도 높아져 VRML을 이용한 사이트들이 속속 생겨나고 있으며 인터넷 이용자들의 관심도 높아져 가고 있다. 그러나 아직 응용 소프트웨어 기술의 개발이 미약하다. 그러나 국내에서도 VRML브라우저나 저작 툴 등 다양한 응용 소프트웨어의 개발에 힘쓰고 있다.

2. 연구방법

기존의 지형정보공간정보체계를 이용한 도로설계시물레이션은 사실적인 효과를 많이 줄 수 있었지만 많은 렌더링 시간과 단방향 노선에서의 경관이나 주행평가만 하여 노선설계와 관련된 공학적 안정성 및 현장에 있는 것처럼 다양한 지점에서의 주변 지형에 관련된 경관평가 및 도로설계에 수반된 많은 시간적·시각적 한계점을 표현하는데 많은 어려움이 있었다. 이 연구에서는 위와 같은 문제점들을 극복하고자 노력하였으며, 이 연구의 연구방법은 다음과 같다.

이 연구에서는 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 저작 툴을 이용하여 대천동-백약이 노선의 3차원 모형을 VRML으로 만들어 보았으며 실제 웹상에 제공함으로써 웹브라우저로 노선의 주행 및 경관시물레이션을 3차원으로 제공하였으며, 이러한 각 요소에 대한 설계 자료를 속성연결, 웹페이지 링크를 함으로써 이용자가 쉽게 설계 노선에 대해 접근하도록 하였다.

먼저 연구대상지역을 선정한 후 그 지역에 대한 공간자료의 획득을 위해 국립지리원에서 제작된 축척 1/5,000 수치지도 3도엽과 1/25,000 수치지도 2도엽을 구입하였으며 필요한 벡터자료를 추출하였다. 또한, 실제지형의 표현 및 노선의 선형계산을 위해 연구대상지역을 실측하여 xyz 값을 수치지도와 mergy 시켰다.

연구대상지역에서의 노선은 제주도 북제주군에 위치한 대천동-백약이 노선을 기준으로 하여 Bentley InRoads 도로설계 프로그램과 Survey CAD 을 이용하여,

설계속도 60Km/hr, 도로의 차선폭을 10m 설정하여 도로반경, 평면선형 및 종단 선형, 확폭, 편경사 등을 고려한 설계를 하였다. 그리고, 도로표준단면도를 지정하여 도로 형태에 맞게 도로단면을 결정하였다.

지형의 표현은 Intergraph의 MGE를 이용하여 지형을 재현 및 보간 하였고 또한 VR GIS에서 사용될 노면 및 하늘에 할당될 재질은 Adobe Photoshop을 이용하여 만들었으며, 지형의 위치정보 및 도로의 위치정보는 Microstation에서 변환된 dxf파일의 데이터를 Window의 text파일에서 읽어들이고 후 VRMLPad에 삽입시켜 vrmf에서 구동되도록 Camera의 Setting과 재질 및 광원할당을 하였다.

또한, 노선의 일부구간에 대해 기존의 3D GIS기법을 적용하여 시뮬레이션을 구성하여 비교하였다. 본 연구의 연구방법을 흐름도로 나타내면 Fig.3 과 같다.



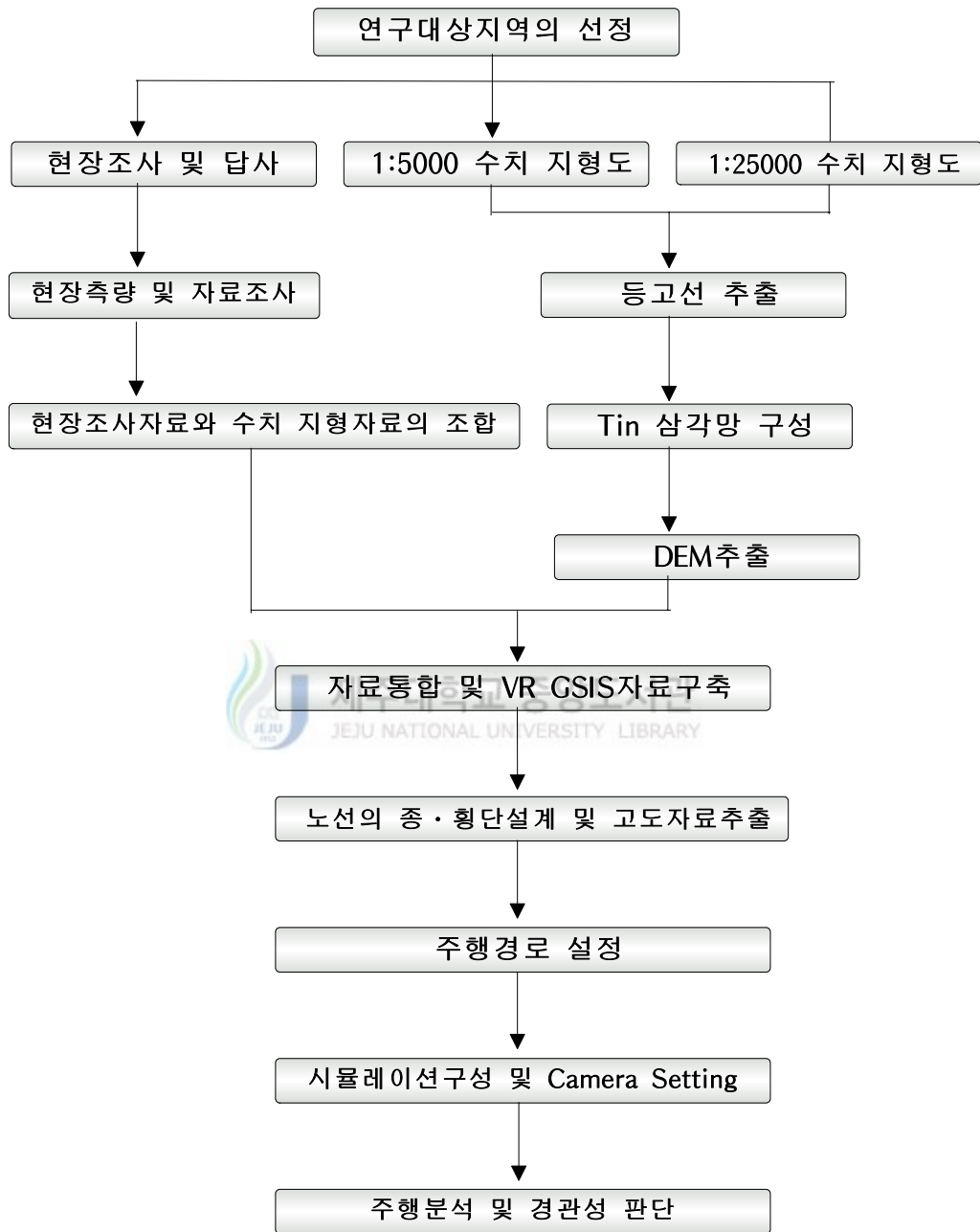


Figure.3 Workflow for Roadway Simulation based on VR GIS.

Ⅲ. 도로의 노선 선정

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 교통축(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.4과 같다.

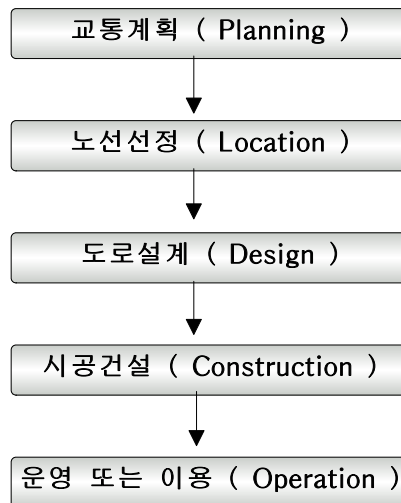
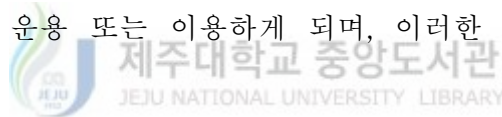


Figure.4 Typical roadway construction workflow.

1. 노선선정

노선선정에 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 노선선정의 과정은 개략노선의 검토, 개략설계, 최적노선의 선정, 예비설계, 실시설계의 순서로 이루어지며, 도로계획·노선계획·도로설계의 흐름도는 Fig.5과 같다.

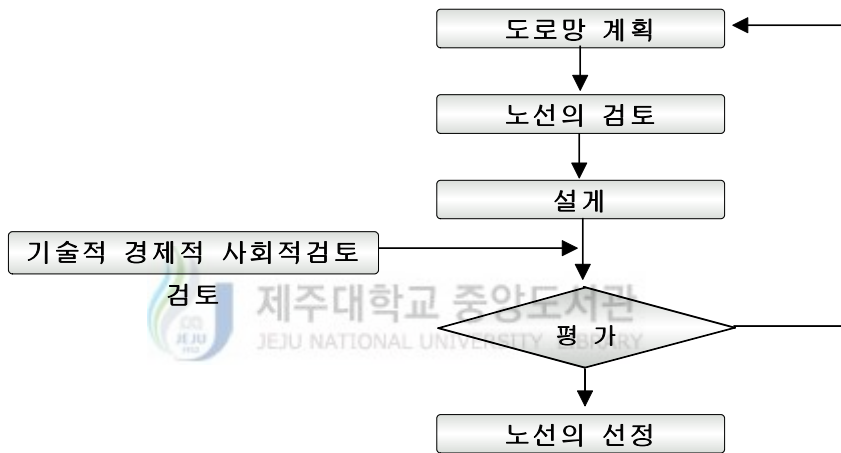


Figure.5 Workflow of suitable roadway design.

2. 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 및 1:25000지형도로부터 DTM을 구축하여 등고선도와 TIN구조를 작성하였다. 이 구축된 기본도로부터 평면선형 및 종단선형을 작성하여 각 vertex별 좌표를 취득하여 VR

GSIS를 하기 위한 기본 값을 만들었다.

3. Digital Terrain Model(디지털 지형 모델) 자료구조

DEM(Digital Elevation Model)이란 고도를 표시하는 점들을 통해 연속표면을 표현하는 기법으로 정의할 수 있으며 종류에는 Regular grid, TIN(Triangulated Irregular Network)으로 나눌 수 있다. 흔히 DEM과 DTM을 혼용하거나 DEM은 regular grid로 표현하기도 한다.

본 연구에서는 사실적인 지형의 재현을 위해 TIN방법을 사용하였다. TIN(Triangulated irregular networks)은 인접하고 겹쳐지지 않는 삼각형 면을 이용하여 Surface를 나타낸다. 가까이 있는 삼각형에 더 큰 가중치와 영향력을 주며 인접한 삼각형들의 노드 값들을 평균함으로써 삼각형 내부에 있는 Surface 값을 계산할 수 있다. 또한, TIN의 해상도는 변할 수 있다. 즉, Surface가 복잡한 지역에서는 자세하며, Surface가 단순한 지역에서는 덜 자세하다. 소스 데이터의 좌표는 삼각형의 부분이 되므로 내삽과 같은 차후의 분석이 소스 데이터를 정확하게 유지할 것이다. 도로, 하천과 같은 선형 형상들은 삼각형의 모서리로 표현 되므로 정확하게 나타난다. 반면에, TIN을 만들고 처리하는데 비용이 많이 든다는 결점을 가지고 있다. 좋은 소스 데이터를 얻는데 많은 비용이 들며, 처리과정은 Grid보다 비효율적이다. Grid는 지역단위의 소축척에서 많이 이용되는 반면, TIN은 보다 자세한 대축척에서 이용된다. 만일 소스 데이터의 위치가 정확하지 않거나, 도로, 하천과 같은 선형 형상들을 정확하게 나타낼 필요가 없다면 Grid를 이용하는 것이 좋다. 반면, 소스 데이터의 정확도를 유지하고 싶거나 선형 형상들을 나타낼 필요가 있다면, TIN을 이용하는 것이 좋다. Fig.6은 DTM의 가공절차를 나타낸 그림이다.



Figure.6 An example of a DTM Data construction workflow.

4. 도로의 선형설계

도로의 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.

도로의 선형은 그 도로의 골격을 형성하므로 도로의 계획, 설계, 시공의 전반을 지배하는 기준이 되는 것이기 때문에 선형이 확정된 후 실시하게 되는 도로설계나 토공, 포장, 구조물등의 시공의 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 설계시에는 그 도로가 구비해야 할 기능과 효과를 충분히 고려해서 신중한 검토를 하여야 한다.

노선에 대한 종·평면 선형은 Fig.7과 같이 이루어진다.

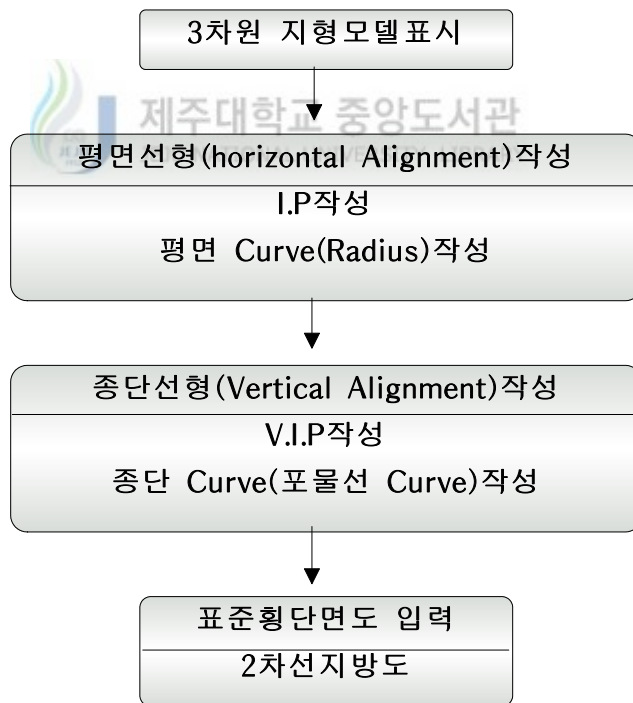


Figure.7 Workflow of Roadway design in study area.

1) 평면선형

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

(1) 곡선반경

선형설계에 있어서 개개의 선형요소는 먼저 주행상의 안전성이 제1의 조건이다. 자동차가 도로의 곡선부에서도 직선부와 마찬가지로 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록 곡선부의 최소 곡선반경을 규정하는 것이다.

곡선부의 주행시 차량에 미치게 되는 원심력은 곡선반경과 주행속도의 관계에서 다음과 같다.



$$Z = \frac{G}{g} \times \frac{v^2}{R} \quad (\text{식1})$$

여기서, R : 곡선반경(m)

v : 자동차의 속도(m/sec)

g : 중력가속도 (m/ sec²)

Z : 원심력(kg)

G : 자동차의 총중량(Kg)

α : 노면의경사각

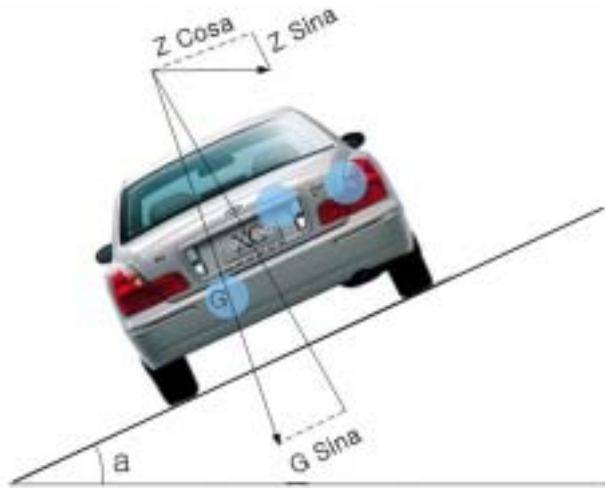


Figure.8 The forces that act on the car travels on a banked road.

최소곡선반경은 Fig.11과 같이 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력에 의한 횡방향력이 타이어와 노면간의 마찰에 의해 주어진 한도를 넘지 않아 미끄러움을 일으키지 않도록 하기 위해서는

$$Z - Gi \leq f(Zi + G) \quad (\text{식2})$$

여기서, f : 횡방향 미끄러움 마찰계수

i : 편구배

(식1)을 (식2)에 대입하면

$$R \geq \frac{v^2}{g} \frac{1 - fi}{f + i} \quad (\text{식3})$$

여기서 fi 는 1에 비하여 대단히 작으므로 $1 - fi \approx 1$ 로 하면 다음과 같다.

$$R \geq \frac{v^2}{127(i + f)} \quad (\text{식4})$$

설계속도에 따른 횡방향 마찰계수는 AASHTO의 추정치를 고려하면 Table.1 와 같이 정의한다.

Table.1 Horizontal friction coefficients according to roadway design velocity

설계속도(Km/h)	120	100	80	70	60	50	40이하
f	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16

「도로의 구조·시설 기준에 관한 규정」에서는 편구배의 최대치를 6%로 취하고, Table1과 같이 횡방향 마찰계수를 식4에 대입하여 설계속도에 따른 최소곡선 반경을 다음 Table.2와 같이 규정하고 있다.

Table.2 Calculation and requirement's for minimum Horizontal Curves under roadway design velocity

설계속도(Km/h)	마찰계수(f)	최소곡선반경(m)	
		계 산 값	규 정 치
120	0.10	709	710
100	0.11	463	460
80	0.12	280	280
70	0.13	203	200
60	0.14	142	140
50	0.15	94	90
40	0.16	57	60
30	0.16	32	30
20	0.16	14	15

Table.2 의 최소곡선반경은 안전성과 쾌적성이 확보되는 최소한의 값이고 충분한 안전율이 있는 여유 있는 값이 아니다. 따라서 설계시는 선형의 균형을 생각해서 규정치의 1.5배 정도를 최소치로 하는 것이 바람직하다.

(2) 곡선부의 편구배

차도의 곡선부에는 당해 도로의 구분, 당해 도로가 위치하는 지역의 적설 정도, 도로의 설계속도, 곡선반경, 지형상황 등을 참작하여 Table.3의 비율이하의 편구배를 붙여야 한다.

Table.3 Superelevation for Horizontal Curves

구 분		최대 편구배(%)
지방지역	적설 한냉지역	6
	기 타 지 역	8
도시지역		6

다만, 곡선반경의 길이에 비추어 보아 편구배가 필요 없다고 인정하거나 설계속도가 매시 60km 미만인 도시지역의 도로에 있어서 지형상황으로 인하여 부득이하다고 인정하는 경우에는 편구배를 붙이지 아니할 수 있으며, 설계속도와 곡선반경에 따른 지방의 기타지역에 해당하는 편구배의 Table.4은 다음과 같다.

Table.4 Inclination pitch according to design velocity and curve radius
(imax=0.04)

곡선반경 R(m)	설 계 속 도 (Km)								
	20	30	40	50	60	70	80	100	120
7,000	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
5,000	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
3,000	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.021
2,000	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.023	0.030
1,500	NC	NC	NC	NC	NC	NC	0.021	0.030	0.040
1,000	NC	NC	NC	NC	NC	0.024	0.031	0.043	0.056
700	NC	NC	NC	0.022	0.030	0.038	0.047	0.065	0.080
500	NC	NC	0.021	0.030	0.040	0.050	0.060	0.078	
300	NC	0.022	0.034	0.046	0.058	0.070	0.079	0.080	
200	NC	0.029	0.042	0.056	0.069	0.078	0.080		
150	0.020	0.040	0.055	0.069	0.080	0.080			
100	0.028	0.051	0.067	0.077					
70	0.037	0.060	0.076	0.080					
50	0.050	0.072	0.080						
30	0.062	0.080							
20	0.079								
15	0.080								

주) NC : 표준횡단구배 적용구간(편구배 생략)

(3) 곡선부의 확폭

차량 앞바퀴의 고정차축 때문에 곡선부에서는 뒷바퀴가 앞바퀴보다 회전 내측으로 편기되어 통과하므로 이에 따른 내측 차선평폭을 증설시켜야 하는데, 이것을 확폭이라 한다.

「도로의 구조·시설 기준에 관한 규정」에서의 설계기준차량은 주간선도로와 보조간선도로에서는 세미트레일러 연결차를, 기타의 도로에서는 중·대형자동차를 대상으로 확폭량을 결정하도록 하고 있으며, 세미트레일러 연결차의 확폭량 산정식은 다음과 같다.

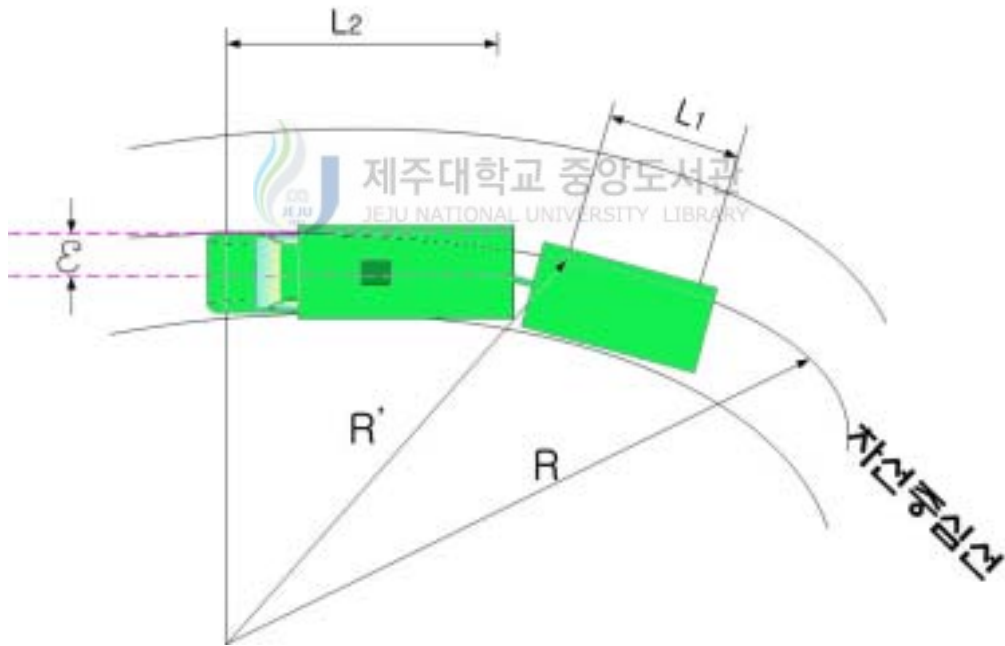


Figure.9 Lane with expansion of Curve for semitrailer.

견인차에 대한 확폭량은 (식5)이다.

$$\epsilon_1 = \frac{L_1^2}{2R} \quad (\text{식5})$$

피견인차에 대한 확폭량은 (식6)과 같다.

$$\epsilon_2 = \frac{L_2^2}{2R'} \quad R' = R - \epsilon_1 \quad (\text{식6})$$

$R' \approx R$ 로 놓으면 (식7)이 된다.

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 = \frac{L_1^2 + L_2^2}{2R} \quad (\text{식7})$$

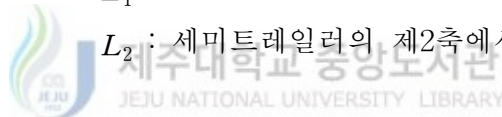
여기서, R : 차선중심의 차량

ϵ_1 : 견인차에 대한 확폭량

ϵ_2 : 피견인차에 대한 확폭량

L_1 : 세미트레일러의 전면에서 제2축까지의 거리

L_2 : 세미트레일러의 제2축에서 최후 차축까지의 거리



「도로의 구조·시설 기준에 관한 규정」에서는 설계차량과 확폭량의 산정을 Table.5 과 같이 정의하고 있다.

Table.5 Lane with expansion and design Curve radius

자동차전용도로 주간선도로 보조간선도로		집산도로 국지도로		차선당 최소 확폭량
곡선반경	계산치	곡선반경	계산치	
150이상 250미만	0.22~0.37	100이상 150미만	0.27~0.40	0.25
100이상 150미만	0.37~0.56	55이상 100미만	0.40~0.72	0.50
70이상 100미만	0.56~0.80	40이상 55미만	0.72~0.99	0.75
50이상 70미만	0.80~1.12	30이상 40미만	0.99~1.33	1.00
		25이상 30미만	1.33~1.60	1.25
		20이상 25미만	1.60~2.01	1.50
		18이상 20미만	2.01~2.25	1.75
		15이상 18미만	2.25~2.77	2.00

2) 종단선형

도로의 형상을 설계하는 요소 중 종단선형은 같은 설계속도 구간이라 할지라도 지형조건에 따라 모든 차량에게 동일한 주행 상태를 유지시켜 줄 수 없는 요소를 포함하고 있다.

이러한 종단선형은 직선과 곡선으로 구성되고 설계요소는 종단구배, 종단곡선이 있으며 차종에 따른 능력차로 인하여 구배 구간에서 일정한 속도 이하로 주행하는 차량을 위한 오르막차선을 설치하여 교통용량의 저하를 방지하여야 한다.

(1) 종단구배

설계속도에 따라 일정하게 정하여지는 도로의 기하구조 요소 중 종단구배는 구배구간의 오르막 특성이 차종마다 크게 달라 모든 차량의 설계속도를 확보하도록 하는 것은 경제적인 면에서 타당하지 못하므로 종단구배의 기준치는 경제적인 면에서 허용할 수 있는 범위 내로 하고 가능한 속도저하가 작아지도록 하여 교통용량의 감소 및 안전성 저하를 방지하도록 하여야 한다.

「도로의 구조·시설 기준에 관한 규정」에서는 종단구배에 대하여 Table.6 과

같이 규정하고 있다

Table.6 Vertical grade under roadway design velocity

설계속도(Km/h)	종 단 구 배	
	표 준	부득이한 경우
120	3	-
100	3	5
80	4	6
70	4	6
60	5	7
50	6	9
40	7	10
30	8	11
20	10	13



IV. 연구대상지역에 대한 적용

1. 연구대상지역 선정

이 연구대상지역은 제주도 북제주군 대천동-백약이선을 선정하였다. 이곳은 아직 도로가 개설되어 있지 않아 노선의 완성시 VR GIS기법을 차후에 확인 할 수 있고 제주의 특징인 오름들이 많이 분포하고 있으며 지세가 복잡하고 노선의 운행시 주변부의 오름의 변화를 시각적으로 검토할 수 있어 연구지역 노선으로 선정하였다. 노선의 길이는 약 7106m이고, 노선 시점의 평면직각좌표 X:44552.795, Y:173960.265이고, 종점의 평면직각좌표 X:43893.314, Y:180815.005이다. Fig.10은 노선의 위치를 나타냈으며, Fig.11는 노선이 놓여질 지역의 수치지도를 나타낸 그림이다.



Figure.10 Location of study area and key map.

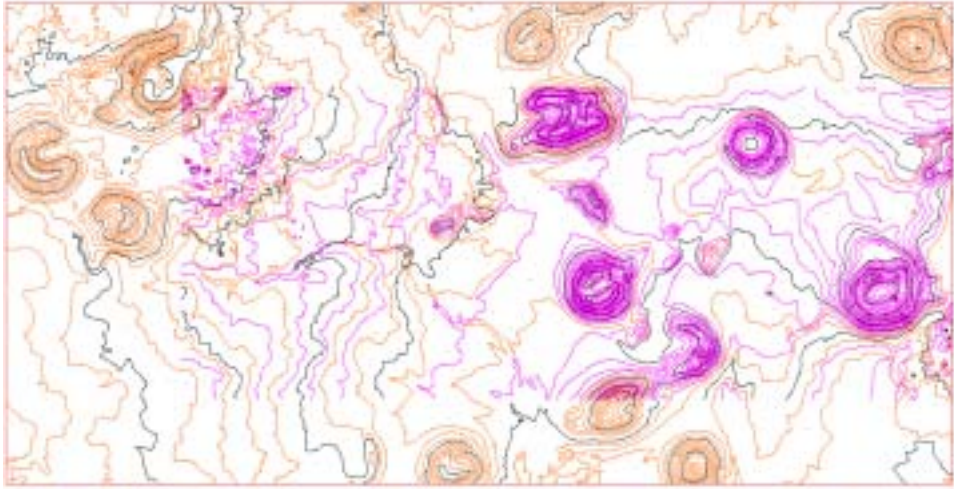


Figure.11 Digital map of study area.

2. 연구대상지역의 측량

1) 지형 현황 측량

지형측량은 도근점을 기준으로 하여 도로중심선상의 좌우 50m 내외의 지형지물을 측량하였으며 측량한 자료를 수치지도에 기입하여 정밀을 기하였다. Table.7은 연구대상지역 노선의 평면선형을 나타낸 것임.

Table.7 Alignment Curve set and Horizontal alignment geometry Table for study area

	X	Y	곡선반경	비고
B.P	44552.795	173960.265		
I.P				
1	44844.4962	174409.4365	600	
2	44854.7482	174805.3462	1000	
3	44774.3174	175340.8515	800	
4	44809.0742	176133.5601	700	
5	44534.3102	177091.0721	500	
6	44359.140	177343.8455	600	
7	44543.0353	178378.1739	600	
8	44326.0083	178803.9126	800	
9	44014.0073	179943.8287	1000	
10	43997.6765	180604.4149	400	
E.P	43893.314	180815.4149		

2) 종 · 횡단 측량

종단측량의 수준성과는 국립지리원에서 설치한 기준점을 이용 노선 구간에 Table.8과 같이 T.B.M을 설치 후 측량을 하여 허용오차 내에 드는 수치로 하였으며, 횡단측량은 중심측점 및 중간측점의 위치에서 도로직각방향으로 실시하였다.

Table.8 Data of T.B.M

번호	표고	소재지	위치	비고
T.B.M 1	366.075	조천읍 교래리	시점부 목장입구변	
T.B.M 2	288.191	조천읍 송당리	STA 2+500.0언덕위	
T.B.M 3	254.536	구좌읍 종달리	수산2-백약이간 T.B.M 5(보4)	

3. 노선의 설계

선정된 노선에 대해 도로설계프로그램인 InRoads 및 Survey CAD를 이용하여 도로의 평면선형 및 종단선형, 확폭, 시거, 편경사 등을 고려하여 설계를 하였다. 연구지역의 설계조건으로는 설계속도 60Km/h, 차선평폭 6.50m, 길어깨 3.00m, 측대 0.50m로 왕복 2차선도로로 하였으며 설계된 도로의 종·횡단면도는 Fig.12 와 같다. 초록색은 기존의 지형을 나타낸 것이고 하늘색은 도로가 놓여질 종단도를 나타낸 것이다.



Figure.12 Original surface and Horizontal surface of Study area.

4. 연구대상지역의 지형의 재현

VR GIS를 적용하기 위해서는 연구대상 지역의 고도값이 필요하므로 TIN망을 만든 후 각 Vertex의 X, Y 좌표값과 Z값을 추출하였고 지형이 완성도를 확인하기 위해 3차원 렌더링을 실시하여 지형의 완성도를 확인하였다. 노선이 직접 지나가는 지역은 1:5000의 수치지도 및 측량값을 이용하였고 먼 배경이 되는 지형은 1:25000도의 수치지도를 사용하였다. Fig.13은 연구대상지역의 수치지도의 등고선만을 추출하여 TIN망을 구성한 것이고 Fig.14은 구성된 TIN망을 이용하여 InRoads 및 MTA에서 렌더링된 연구지역의 모습을 나타낸 것임.

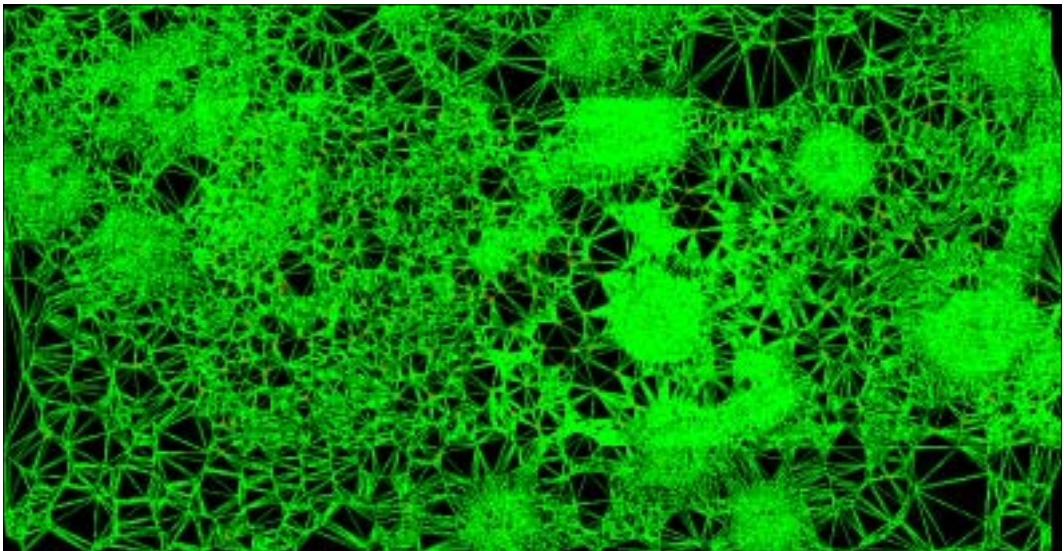


Figure.13 TIN shapes of study area.

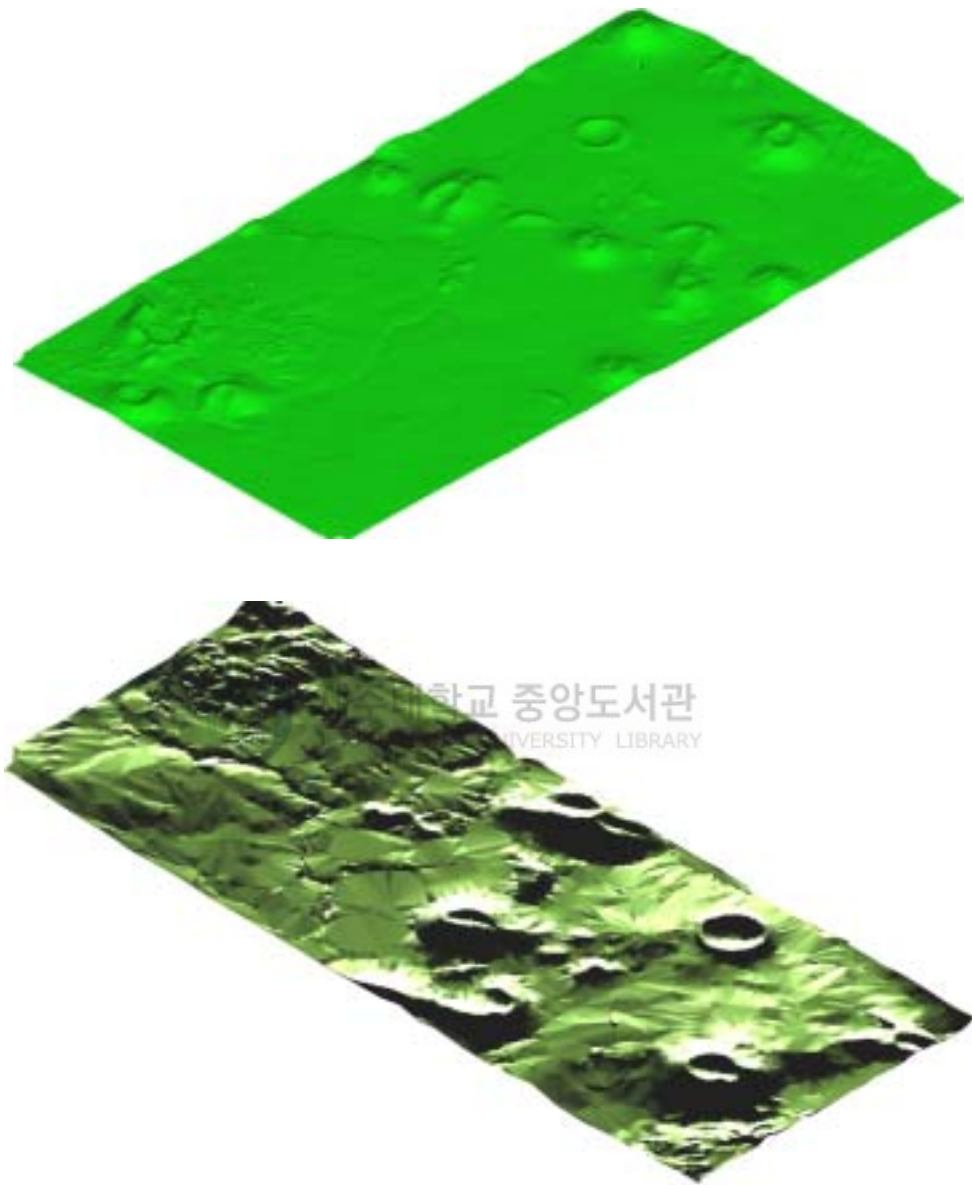


Figure.14 Original surface rendering of study area.

5. 도로의 재현

위에서 측량된 자료와 수치지형도를 이용하여 연구대상지역에 도로를 설계하여 표면처리를 한 후 등고선을 다시 작성한 후 TIN망을 다시 처리하였다. 이 표면의 값과 설계한 도로의 값을 Bouline시켜 도로 및 표면의 Vertex값을 분리시켜 VRLMPAd에 삽입시켜 지형의 재현 및 도로구조물의 값을 확인하였다. Fig.15는 표면 및 도로에 망처리를 하여 나타낸 그림이며, Fig.16은 도로 및 지형을 렌더링한 결과를 나타낸 것이다. 위 결과를 가지고 NotePad나 VRMLPad에 적용시키면 Fig.17과 같은 각 좌표값을 가지게 된다.

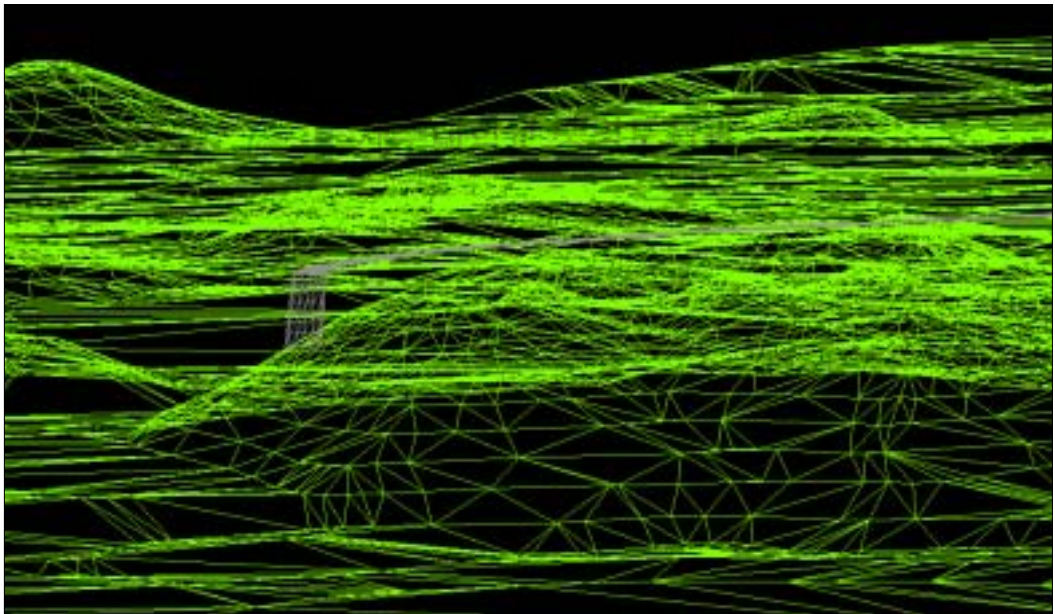


Figure.15 Tin-Terrain after added digital alignment.

6. 3D GIS에서의 도로의 표현

VR GIS에 적용시키 전에 VR GIS와 3D GIS를 이용한 도로설계 시뮬레이션과의 처리속도 및 사실감을 확인하기 위해서 3D GIS기법에 적용해보았다. 연구지역은 광활한 전원지대를 통과하는 노선으로서 기존의 구조물이나 나무들이 거의 없어 재질은 Grass map으로 일원화하였고 광원은 2002년 2월경으로 하였으며, 태양광은 1.0으로 설정하였다. 그리고, 구름은 동적으로 움직이게 하여 처리하였다. 프레임은 미국 및 한국에서 채택하고 있는 NTFS방식을 채택하여 초당 30 Frame으로 구성하였고, 카메라의 각도는 30mm사용하고 렌즈의 상태는 보통으로 설정하였다. 그리고 묘사조건에 해상도는 640×480으로 구성하고, 컬러는 투루 컬러로 구현하였다.

대천동-백약이 노선의 기존 3D GIS를 이용한 노선의 주행시뮬레이션은 안정성 및 경관분석에 대해 대체로 만족스러운 결과를 나타내었다. 그러나, 1 Frame 당 렌더링처리속도는 약1분에서 3분정도를 차지하였고 많게는 5분이상 처리하여 약 7Km를 설계속도인 시속 60Km/h로 주행시 전체 Frame은 6390로 설정하였고 처리속도는 계산상으로는 약 9시간이지만 실제 처리시간은 약 일주일이었다. 이러한 시간을 컴퓨터로 처리한다면 컴퓨터의 과부하와 갑작스러운 정전시 다시 처리를 해야 함으로 비용대비 효과면에서는 만족스럽지 못한 결과가 나왔다. 그러나, *.tga file로 처리하여 영상편집프로그램으로 재작성하는 기존의 삼각망만을 이용하는 주행시뮬레이션이나 각 frame을 렌더링하여 처리하는 방식보다는 훨씬 많은 시간을 단축시킬 수 있는 이점이 있음을 확인할 수 있었다. 3D GIS 기법을 이용하면 기존의 작업시간을 약 75%정도를 절감할 수 있었다. 일부 건설회사에서는 많은 비용을 들여 이러한 류의 도로 시뮬레이션을 만들고 있지만 작업자 대부분이 토목공학에 관한 지식이 없어 만들어 시각적 효과만을 극대화하고 있어 원지형과의 다른 형상을 가지고 있거나 시공이 끝난 후 원안과는 확연히 틀린 모습들을 보여주고 있다. 아래의 Fig.18은 3D GIS 기법을 이용하여 처리한 도로시뮬레이션의 분석결과를 동영상파일로 저장한 것을 보여주고 있다.



Figure.18 Rodway driving simulation on 3D GIS.

7. VR GIS에 의한 도로의 표현

VR GIS를 구동하기 위해서는 VRML97(2.0)을 지원하는 브라우저인 Parallel Graphic사의 Contra와 Blaxxun사의 BlaxxunContract가 필요하다. 아래의 Fig.21-26들은 위의 웹 브라우저상에서 구현한 결과를 보여주고 있다. 다음의 Fig.19은 VR GIS에서 적용한 Routing Map를 나타낸 것을 보여 준 것이다.

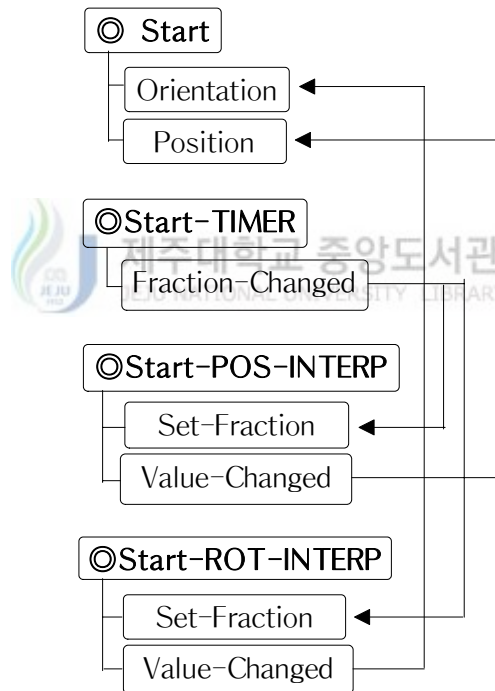


Figure.19 Routing Map.

아래의 식은 VR GIS에 적용된 광원의 노드의 기본 개념 및 스크립트를 나타낸 것이다.

이상적인 VRML을 구현하기 위해서는 표면 위 각 점에서 다음의 조명 식을 사용하였다. 또한, 기하학에 관한 각 점에 있는 RGB 강도(I_{rgb})들은 다음과 같이 주어진다.

$$I_{rgb} = I_{Frgb} \times (1 - f_0) + f_0 \times (O_{Ergb} + \sum (on_i \times attenuation_i \times spot_i \times I_{Lrgb} \times (ambient_i + diffuse_i + specular_i)))$$

여기서:

$$attenuation_i = 1 / \max(c_1 + c_2 \times d_L + c_3 \times d_L^2, 1)$$

$$ambient_i = I_{ia} \times O_{Drgb} \times O_a$$

$$diffuse_i = I_i \times O_{Drgb} \times (N \cdot L)$$

$$specular_i = I_i \times O_{Srgb} \times (N \cdot ((L + V) / |L + V|))^{shininess \times 128}$$

또한:

· = modified vector dot product: if dot product < 0, then 0.0, otherwise, dot product

c_1, c_2, c_3 = light i attenuation

d_V = distance from point on geometry to viewer's position, in coordinate system of current fog node

d_L = distance from light to point on geometry, in light's coordinate system

f_0 = Fog interpolant, see Table 4.8 for calculation

I_{Frgb} = currently bound fog's color

I_{Lrgb} = light i color

I_i = light i intensity

I_{ia} = light i ambientIntensity

L = (Point/SpotLight) normalized vector from point on geometry to light source i position

L = (DirectionalLight) -direction of light source i

N = normalized normal vector at this point on geometry (interpolated from

vertex normals specified in Normal node or calculated by browser)

O_a = Material ambientIntensity

O_{Drgb} = diffuse colour, from Material node, Color node, and/or texture node

O_{Ergb} = Material emissiveColor

O_{Srgb} = Material specularColor

on_i = 1, if light source i affects this point on the geometry,

0, if light source i does not affect this geometry (if farther away than radius for PointLight or SpotLight, outside of enclosing Group/Transform for DirectionalLights, or on field is FALSE)

shininess = Material shininess

spotAngle = $\text{acos}(-L \cdot \text{spotDir}_i)$

spot_{BW} = SpotLight i beamWidth

spot_{CO} = SpotLight i cutOffAngle

spot_i = spotlight factor, see Table 4.7 for calculation

spotDir_i = normalized SpotLight i direction

SUM: sum over all light sources i

V = normalized vector from point on geometry to viewer's position

위의 기본개념을 이용해서 조명에 대한 script는 다음과 같이 작성하였다.

```
DEF light PointLight {
  intensity 2
  color 1 1 1
  location 4123 2236 -2105
  on TRUE
  radius 1.416e+004
}
```

또한 도로의 주행에 필요한 선형의 정확한 위치와 지형의 형상이 실제적인 사실감을 주기 위해서는 배경의 구성이 중요한 역할을 한다.

Background node는 좌표계에 놓여지는 지형이나 하늘과 같은 장면에 놓여지는 구조물이나 식생 뿐만 아니라 파노라마 형상을 구성하는데 배경 막과 같은 역할을 이용하는데 사용된다. 이러한 Background node는 국지적 좌표 시스템 안에서 정의되어 질뿐만 아니라 회전에 영향을 받는다.

Backdrop은 개념적으로 국지적 좌표계에 있는 완전한 구체에 둘러싸인 하늘에 매핑하는 것과 같은 개념으로써 관찰자의 중심은 그 구체의 중심에 놓여진다. BackUrl , bottomUrl , frontUrl , leftUrl , rightUrl , 그리고 topUrl 필드들은 ground/sky 배경 막과 장면의 기하학적인 배경 파노라마를 정의하는 일련의 영상들을 정의하게 된다.

파노라마는 6개의 영상들로 이루어지는데 각 배경 막 구체들 속에 포함되는 국지적 좌표 시스템 안에서 집중되어진 무한히 큰 입방체의 표면 위에 나타나게 된다. 이러한 영상들은 개별적으로 입방체의 각 면에 개별적으로 적용되어진다.

그러나 위의 입방체 요소들은 파일의 크기를 줄여 웹상에서 역동적으로 구동되지만 도로시물레이션에서는 시점의 이동이 노선에 따라 계속적으로 이동하기 때문에 사각지역이 발생하게 되어 원하는 만큼의 퀄리티를 얻을 수 없는 점이 생기게 된다.

VR GSIS 기법을 이용한 도로시물레이션에서는 반구형태의 파노라마를 구성하는게 시점의 이동에 따라 사각지역을 줄일 수 있는 이점이 있다.

이는 시점의 이동에 따라 배경이 역동적으로 움직임으로 해서 사실감을 더해 주기 때문이다. 이러한 배경을 이루는 기본적인 요소로서 다음과 같은 사항을 고려하였다. 아래의 Fig.20 는 시점의 이동에 따른 Background node을 나타낸 그림이다.

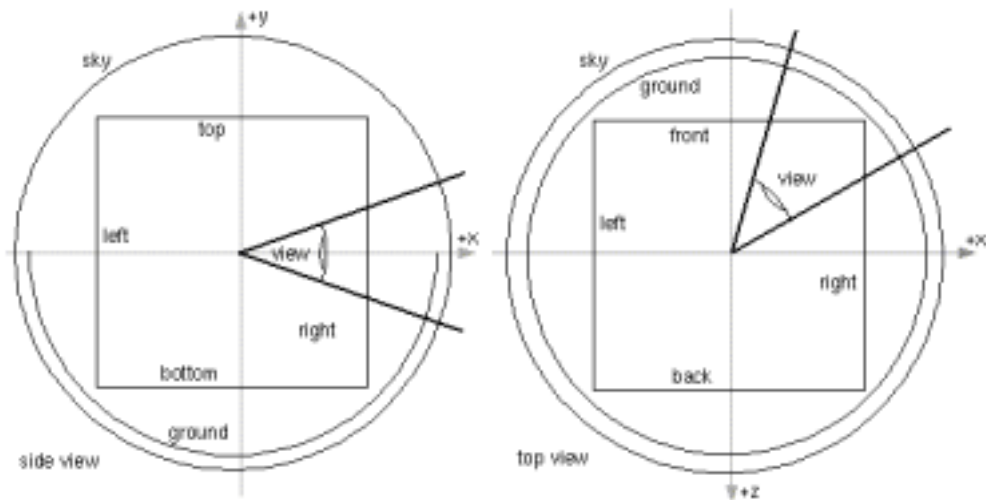


Figure.20 Illustrates the Background node backdrop and background textures.

아래의 스크립트는 배경으로 사용된 sky파일을 구성한 VRML을 나타낸 것이다.

```

DEF sky Transform {
  translation 4124 -3614 -2105
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        material Material {
          diffuseColor 0.6275 0.6275 0.6667
          ambientIntensity 0.6405
          specularColor 0.135 0.135 0.135
          shininess 0.145
          transparency 0
        }
      }
      texture ImageTexture {
        url "e:\2002논문work\sky.jpg"
      }
    }
  ]
}

```

```

}
geometry DEF sky-FACES IndexedFaceSet {
  ccw TRUE
  solid TRUE
  coord DEF sky-COORD Coordinate { point [

```

VR GIS을 웹상에서 제대로 구현하기 위해서는 파일의 사이즈를 효과적으로 줄여야 하나 본 연구에서는 지형의 실제 모습을 사실적으로 구현하기 위해서 TIN파일을 그대로 채용하였다. Fig.21-26은 각각의 주행경로를 설정하여 VR시물레이션 작업을 실시한 것과 도로완성후의 모습을 주요 오름에서 바라본 모습과 시·종점 및 주요 스테이션에서의 경관 및 선형을 분석한 결과를 보여주고 있다.

경관 및 주위의 오름들과의 조화 및 안전성 등에는 별다른 문제점을 발견하지 못했으며, 기존의 3차원 GIS기법에서는 확인하지 못하는 여러 시점에서의 경관 분석을 쉽게 할 수 있다는 이점이 있었다. 그러나 노선의 연장이 길고 지형이 복잡해짐에 따라 지형의 표현에 있어 어려움이 있었다. 또한 광원의 처리나 반사광의 효과적인 재질 맵핑 등이 어려움이 있었다. 일부 건설회사에서는 도로시물레이션을 실시하고 있기는 하지만 안전정보다는 시각적인 디자인의 검토에 이용되는 경우가 많기 때문에 정확한 설계보다는 미적인 감각으로 영상이 편집된다. 따라서 비디오 영상에서는 화려함을 주고 유용성을 인식시킬 수 있지만, 시물레이션의 유용성까지는 인식시키지 못하고 있다. 본 시스템의 경우 설계자가 새롭게 안정성 및 주위 구조물과의 조화 등 여러 측면에서 이용할 수 있음을 알 수가 있었다.

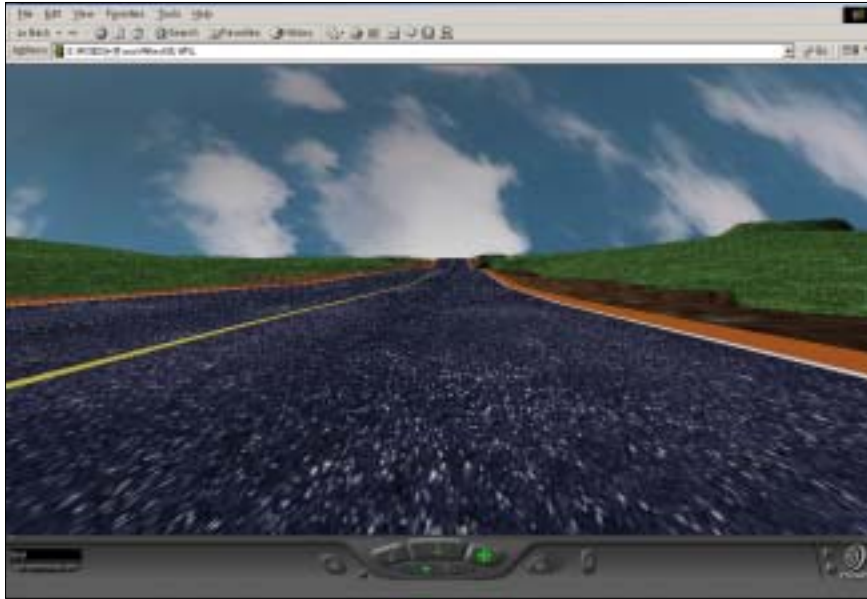


Figure.21 Roadway simulation on VR GSIS.



Figure.22 Reviewing Horizontal Alignment design on Germun Mt.

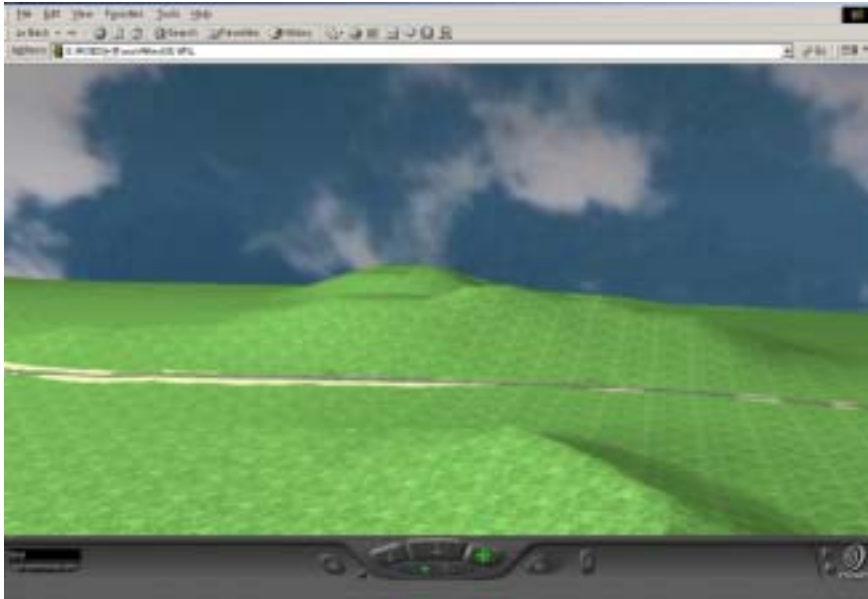


Figure.23 Perspective View on Min Mt.

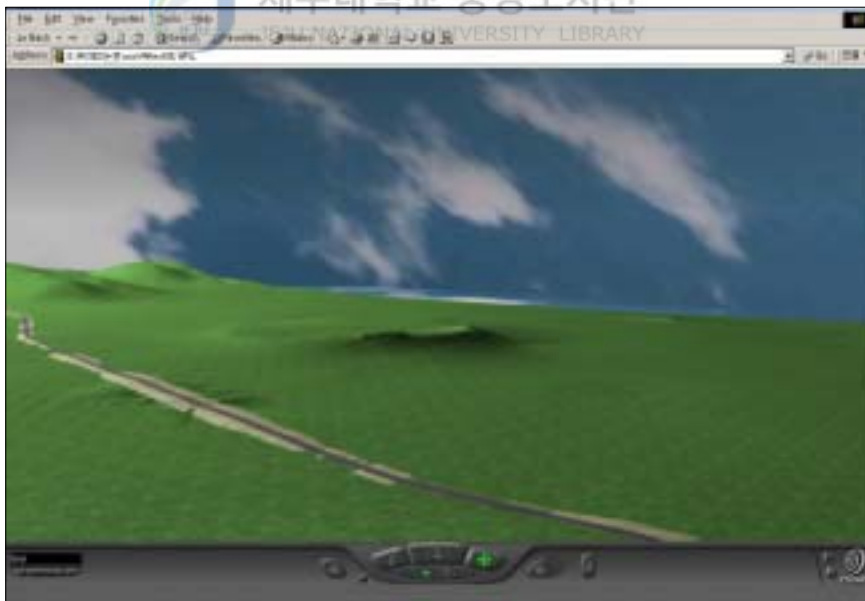


Figure.24 Reviewing Horizontal Alignment design on Backagi Mt.



Figure.25 Front View on Station 1+150.

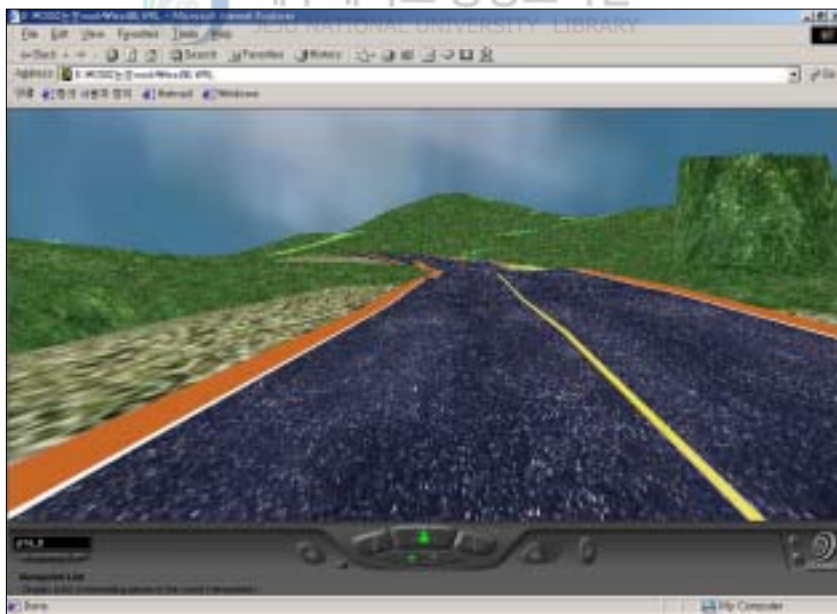


Figure.26 Backsight View on Station 1+150.

8. 연구에 대한 고찰

도로 시뮬레이션을 위한 가상 지형공간정보체계의 적용에 관한 연구의 수행과정에서 문제점 및 개선방향을 살펴보면, 기존의 수작업에 의한 방법은 노선의 검토에서 축척 1/25,000 또는 1/50,000 지형도상에서 후보노선의 선정 후 축척 1/5,000 지형도상에서 개략노선의 검토를 실시하여 실 지형과에 대한 적용여부와 노선의 최적 설계여부가 즉각적으로 판단되어지지 않지만, 3차원 지형공간정보체계를 적용할 경우 축척 1/5,000 지형도상에서 후보노선의 선정 및 개략노선의 검토가 가능하고 보다 더 효율적인 방법으로 평가되었지만 단방향의 노선만 검토 가능하였다. 그러나, 가상 지형공간정보체계를 이용할 경우 양방향의 노선을 검토할 수 있지만, 지형의 사실적인 표현에 있어 많은 제약이 있었다. 본 연구가 실용화되기 위해서는 실제 위성사진의 분석 및 overlay를 하거나 기존의 하드카피된 지형도를 편집하여 실사와 같이 만들어야 보다 정확한 노선의 분석 및 검토가 가능할 것으로 사료된다. 또한 지형의 사실적 표현과 더불어 파일크기의 축소가 브라우저에 연동되는데 무리가 없을 것으로 사료되어진다. 노선 주변에 대한 파일만을 극대화시키고 주변 배경이 되는 파일들은 TIN값을 줄이기 위해 주요 등고선만을 추출하는게 더욱 효과적이었다.

V. 결론

GSIS에 가상현실 기법을 응용한 도로시물레이션에 대한 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 지형공간정보체계를 이용할 경우 노선에 미칠 선형 판단이나 경관적 요소를 고려할 수 있어 과학적인 방법으로 평가를 향상시킬 수 있다.

둘째, 수치지형모형을 이용하여 노선결정시 사실적인 지형을 표현할 수 있어 비전문가에게도 쉽게 시각적 효과를 줄 수 있다.

셋째, 노선계획 및 설계에서부터 시물레이션에 이르기까지 전과정이 전산화되어져 있어 보다 시각적이고 입체적인 계획이 가능하였다.

넷째, 기존의 3D GSIS에서는 단방향의 노선만 검토가 가능한데 반하여, VR GSIS기법은 양방향의 노선을 검토할 수 있을 뿐만 아니라 목표 노선을 어디에서나 볼 수 있어 도로의 전체적인 선형을 비교 검토할 수 있었다.

다섯째, 기존의 불규칙 삼각망을 이용한 가상주행방법에서는 현장 사실감이 떨어지는 반면 속도감을 느낄 수 있으며, 또한 3차원 지형공간정보체계를 이용할 경우 위 단점을 극복할 수 있었지만 최종파일을 보기 위해서는 많은 시간과 노력이 필요하다. 그러나 가상현실기법을 이용한 도로시물레이션은 위 두 가지 단점을 모두 극복할 수 있었다.

가상현실기법을 이용한 방법은 실생활의 많은 분야에 이용되고 있지만 특히 토목분야에서는 지형의 표현이라는 방대한 파일의 크기 때문에 아직도 연구가 미비한 분야이다. 따라서 장래 연산속도가 더욱 빠른 개인용 컴퓨터의 발전이 예상되는바 지형의 표현은 Geo-VRML과 더불어 더욱 사실적이고 전역에 걸친 VR GSIS의 자료구축이 용이할 것으로 판단된다. 그러나, VR-GSIS에서 충격이라든

지 외력 등과 같은 물리적인 효과에 대한 언어적인 한계점이 있어 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다.



참고문헌

- 강인준 · 이준석 · 장용구 · 김미란, Servlet을 이용한 지형공간정보 Browsing Service제공, 1999년 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회, 1999, pp.601~604
- 김성우 · 임승호 · 유환희, MapObjects IMS를 이용한 InternetGIS 개발, 1999년 학술발표회 논문집(IV), 대한토목학회, 1999, pp.545~548
- 김채승 · 윤창진, 지리정보체계, 대명사, 1999, pp.33~49
- 건축 · 토목대사전, 한국사전연구소, 1995
- 대한토목학회, 도로의 구조 · 시설 기준에 관한 규정, 1997, pp. 149~223
- 건설교통부 국립지리원, 수치지도 좌표계에 관한 연구, 1998.6
- 한국과학기술원 KIST-2000연구사업단, 3차원 영상매체 기술개발 연차보고서, 1996.12, pp.399~453
- 전문건설공제조합 기술교육원, 수치지도 활용 실무교재, 2000, pp.1~18.
- 연상호 · 이상석, GIS개론 및 실습, 한울아카데미, 1994, pp.25~39
- 유복모, 지형공간정보론, 박영사, 1998, pp.1~45
- 유희상, WWW GIS에서 클라이언트기반 검색시스템의 설계 및 구현, 인하대학교 석사학위논문, 1998.2
- 조규전 외3인, DTM에서 최단노선과 토공량을 고려한 최적노선 선정에 관한 연구, 한국 측지학회지 제12권 제2호, 1994, pp.219~226
- 정연구, 3차원 시각정보의 자동추출 및 실감표현 기술 개발, 한국정보통신부, 1997
- 정영동 외3인, 수치지형모형을 이용한 최적노선선정에 관한 연구, 한국측지학회지 제11권 제2호, 1993, pp.17~25
- 제주시, 제주시 상하수도 GIS기본계획, 2001.1, pp.86~175
- 천병식, 도로공학, 도서출판 새론, 1996, pp.17~168
- 최철웅, 지형공간정보체계를 이용한 수문인자 결정에 관한 연구, 부산대학교 박사학위논문, 1999.2,
- 최현 외 2인, 3차원 지형공간 정보체계를 이용한 도로설계 시뮬레이션, 대한토목

- 학회논문집 제21권, 2001.3, pp.201~207
- 한창복, 최적노선선정을 위한 지형공간정보체계의 적용에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문, 1999
- 임대현·김재근, Web 3D를 이용한 가상현실 구축하기, 가남사, 2000.10, pp.22~56
- Bruce E.Davis, GIS : A Visual Approach, ONWORD PRESS, pp.300~326
- Fredericks Merritt, Standard handbook for Civil Engineers Fourth edition, McGraw-Hill, pp.16.1~16.27
- Gert van Maren and ir. Rick Germs, A Virtual Reality Interface for the Spatial Database Engine, <http://www.asset.co.nz/gert/esri/p551.htm>
- INTERGRAPH, Working with InRoads SelectCAD ,1999
- William Irvine, Surveying for construction, McGRAW-HILL BOOK COMPANY, 1995, pp. 266~295
- Walter Di Carlo, A Virtual Environment for Remote Sensing Data Exploration, Proceeding of SPIE, Vol.3643, pp. 71~80
- INTERGRAPH, MGE Terrain Analyst, 1996
- INTERGRAPH, MGE Grid Analyst, 1996
- Stephen N. Matsuba and Bernie Roehl, Using VRML, 1997, Que. 540 pp.
- Toshimitse Mukah, VR的交通環境シミュレーションシステム, 日本情報処理學會 論文集, Vol.39 No.1, 1998 Jan, pp. 142~151