

최 종
연구보고서

임도의 효율적 유지관리를 위한 공간정보 활용기술 개발

Development of Forest-Roads Management System
Using Spatial Information Technology

연구기관

한국건설기술연구원(인하대학교, 사이버메드)

농 립 부

Tool 2759

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “임도의 효율적 유지관리를 위한 공간정보 활용기술 개발”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005년 7월 14일

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

총괄연구책임자 : 구 지 희

세부연구책임자 : 홍 창 희

연 구 원 : 김 태 훈

연 구 원 : 오 윤 석

연 구 원 : 남 상 관

연 구 원 : 이 준 우

연 구 원 : 최 현 상

연 구 원 : 신 상 희

위탁연구기관명 : 인하대학교

위탁연구책임자 : 이 규 성

연 구 원 : 김 태 근

연 구 원 : 우 충 식

연 구 원 : 신 수 현

연 구 원 : 류 정 미

<2차년도 : 2004.7.15~2005.7.14>

협동연구기관명 : (주)사이버메드

협동연구책임자 : 허 원 창

자 문 위 원 : 홍 광 표

연 구 원 : 송 광 섭

연 구 원 : 박 광 수

연 구 원 : 권 오 형

연 구 원 : 김 병 수

<1차년도 : 2003.7.15~2004.7.14>

협동연구기관명 : (주)쓰리지코어

협동연구책임자 : 장 은 미

연 구 원 : 이 해 미

연 구 원 : 김 민 호

연 구 원 : 이 주 훈

연 구 원 : 김 정 택

요 약 문

I. 제 목

임도의 효율적 유지관리를 위한 공간정보 활용기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

국내 임도정책은 과거 몰량위주의 신규개설에서 최근 여름철 집중 강우 등으로 인한 산사태의 원인이 되고 있다는 지적에 따라 기존 임도의 유지관리 필요성이 대두되고 있다. 실제로 최근 산림청의 임도정책은 “재해로부터 안전하고 효율성이 높은 임도시설 구축 및 활용도 제고”를 기본방향으로, 신설보다는 기존 임도에 대한 구조개량 및 보수에 역점을 두고 있다.

그럼에도 불구하고 현실은 인력이나 예산 등의 부족으로 임도 유지관리업무는 상당히 미흡한 실정이다. 특히 임업 선진국과 같은 효율적인 유지관리체계가 마련되어 있지 못하며, 그 보다 근본적으로 임도망도와 같은 기반 데이터의 부정확 또는 부재는 업무를 더욱 어렵게 하고 있다. 따라서 본 연구에서는 최신의 공간정보 기술을 활용하여 이와 같은 문제들을 해결하고, 이를 통해 임도 유지관리업무를 효율화 하고자 하였다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구에서는 최신의 공간정보기술을 활용하여 임도주변 정밀 공간데이터 구축방안 및 선진 유지관리체계 도입을 위한 임도 유지관리등급체계 개발, 유지관리업무의 전산화를 위한 임도 유지관리시스템 개발 연구를 수행하였다.

또한 연구지역을 선정하여 본 연구를 통해 도출된 연구성과 즉, 정밀 공간데이터 구축방안, 임도 유지관리등급체계 개발, 임도 유지관리시스템 개발 결과를

시범 적용함으로써 연구성과의 활용성을 검토하였으며, 최근 공간정보 기술의 발전에 따라 관심이 집중되고 있는 LiDAR 측량 기술을 직접 테스트해 봄으로써 임도 유지관리업무에 있어 향후 LiDAR 데이터의 활용 가능성 및 기대효과에 대해 살펴보았다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 결과

가. 임도주변 정밀 공간데이터 구축방안

최신 공간정보 기술로 대표되는 위성영상 활용기술, GPS 측량기술, 수치지공 사진측량기술 및 LiDAR 측량기술을 대상으로 정밀 공간데이터 구축방안을 연구하였으며, 연구지역을 대상으로 정밀 임도망도 및 수치지도모형, 임도 시설물 데이터를 시범 구축하였다.

나. 임도 유지관리등급체계 개발

선진 임업 선진국의 사례분석과 국내 임도 유지관리업무의 중요 요소를 분석하여 임도 유지관리등급체계를 개발하였으며, 연구지역을 대상으로 등급지도를 작성함으로써 임도 유지관리등급체계를 시범 적용하였다.

다. 임도 유지관리시스템 개발

임도 유지관리업무의 전산화를 위해 업무분석 및 사용자 요구분석 등을 통해 공간정보기술 기반의 임도 유지관리시스템을 개발하였으며, 연구지역에 대해 구축된 공간데이터 및 임도 유지관리등급지도, 임도관련 기타 정보 등을 시스템을 통해 DB로 구축하고 시범 운영하였다.

2. 연구개발 결과 활용 건의

본 연구는 국내 실정을 최대한 고려하여 수행하였기 때문에 도출된 연구개발 결과는 즉시 실무 적용이 가능하다. 먼저 임도주변 정밀 공간데이터 구축방안의 경우 산림청에서 임도업무 일선 기관인 국유림관리소 단위에 GPS 장비를 보급하고 임도 노선측량을 계획하고 있어, 이번 연구결과는 이에 대한 검증은 미리

해봤다는 의의가 있으며, 실무에 적용함으로써 시행착오 방지는 물론 안정된 측량성과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 임도 유지관리등급체계 개발 결과는 임업 선진국의 사례를 통해 검증된 방법을 국내에 시범 적용해 본 것으로써 향후 국내 임도 유지관리가 효율적으로 이루어질 수 있도록 하기 위한 임도 관련 정책 수립시 활용할 수 있을 것이다.

특히, 임도 유지관리시스템의 경우 상용 S/W 사용 없이 순수 자체 개발을 통해 구현하였다. 따라서 각 일선 기관에 무상 배포를 통해 즉시 활용 가능하다. 단, 시스템 활용을 위해 필요한 S/W 라이선스 문제 등은 없으나 시스템 운영에 반드시 요구되는 DB의 문제가 발생할 수 있다. 이 또한 시스템 내에 DB 구축을 위한 기능을 포함하고 있어 시스템적으로 문제되지는 않지만 국내 실정상 담당자가 관할 지역의 DB를 스스로 구축하기 힘들다는 현실적인 문제가 있다. 따라서 국가 차원에서 정밀 임도망도와 같은 가장 기반이 되는 데이터는 전국적으로 구축하여 보급하거나 일선 기관 단위로 구축할 수 있도록 지원을 해주는 것이 필요하다. 또한 현재는 유지관리시스템이 Stand-alone 방식으로 개발되었지만 향후 Web 기반 시스템으로 개선하여 지역별이 아닌 전국단위의 관리와 지역 담당자 차원에서는 주변 지역과의 연계 관리가 이루어질 수 있게 하는 등 업무 효율을 극대화 하는 것이 필요하다.

SUMMARY

Development of Forest-Roads Management System Using Spatial Information Technology

Needs for maintenance of the existing forest roads are increasing because many forest roads, constructed by earthworks under the construction-oriented policy, have become a main cause of landslides in the summer heavy rains. In fact, forest-roads policy of Korea Forest Service focuses on structural repair and maintenance instead of construction for "The construction of safe and efficient forest roads and the increase of utilization for the forest roads". Nevertheless, maintenance of forest roads is still insufficient in the real situation from deficiency of manpower and budget. Particularly, an efficient management system is not established unlike an advanced country in forestry and also inaccuracy or absence of basic data such as forest-roads maps makes the maintenance more difficult.

In this research, we proposed a plan for the construction of the precise spatial data in the vicinity of forest roads, developed a rating system of forest-roads for an advanced maintenance system, and investigated forest-roads maintenance system for computerization. Research results were evaluated through a pilot study for a selected study site. LiDAR technology, which is one of the most advanced technologies in the geospatial information area, was investigated for the future use in forest-roads maintenance.

CONTENTS

Part 1	Introduction	1
1.	General	1
2.	Scope and Objective	3
3.	Methodology	5
Part 2	Case Study: Forest-Roads Management	9
1.	Forest-Roads Management in US	9
2.	Improvement Plan for Domestic Forest-Roads Maintenance	18
Part 3	Construction of Precise Geospatial Data around Forest-Roads	29
1.	Insurance Plan of Ground Control Points in the Mountain Area	29
2.	Insurance Plan of Precise Forest-Roads Map	34
3.	Construction Plan of Digital Elevation Model	44
4.	Construction Plan of Forest-Roads Facilities Data	55
Part 4	Development of Ranking System for Forest-Roads Maintenance ..	61
1.	Introduction	61
2.	Factor Selection and Extraction for Each Detailed Ranking	63
3.	Determination of Forest-Roads Maintenance Detail Ranking	83
4.	Classification Accuracy Analysis in Each Detailed Ranking	106
5.	Determination of Forest-Roads Maintenance Ranking	128
6.	Application Plan according to Forest-Roads Maintenance Ranking	132
Part 5	Development of Forest-Roads Management System	137
1.	System Requirement Analysis and Development Direction	137
2.	Development of Forest-Roads Management System	141
Reference	185

제 목 차 례

제 1 장 서론	1
제1절 연구개발 필요성 및 목적	1
제2절 연구개발 목표 및 내용	3
제3절 연구개발 방법 및 연구지역 선정	5
1. 연구개발 방법	5
2. 연구지역 선정	7
제 2 장 국내외 임도유지관리 현황	9
제1절 미국의 임도유지관리 현황	9
1. 유지관리등급체계	9
2. 유지관리등급 분석절차	11
3. Superior National Forest 사례	13
4. Clearwater National Forest 사례	15
제2절 국내 임도유지관리 현황 및 개선방안	17
1. 국내 임도 현황	17
2. 국내 임도의 활용도	18
3. 임도 유지관리업무 현황	20
4. 임도 유지관리 개선방안	24
제 3 장 임도주변 정밀 공간데이터 구축방안	29
제1절 산악지형에서 지상기준점 확보방안	29
제2절 정밀 임도망도 구축방안	34
1. 위성영상을 이용한 임도망도 구축	34
2. GPS 노선측량을 통한 임도망도 구축	36
3. 수차항공사진측량을 통한 임도망도 구축	37
4. 임도망도 비교분석	40
제3절 수치표고모형 구축방안	44
1. 수치지도 활용방법	44
2. LiDAR 측량	48
제4절 임도 시설물데이터 구축	55
1. 연구지역 임도 시설물 측량	56
2. 측량 데이터 처리	58

제 4 장	임도 유지관리등급체계 개발	61
제1절	유지관리등급체계 개발 개요	61
제2절	세부 등급분류를 위한 인자 추출	63
	1. 인자 추출을 위한 기반데이터 구축	63
	2. 세부 등급 분류를 위한 인자 추출	64
제3절	임도 유지관리 세부등급 기준 및 분류	83
	1. 붕괴위험등급 기준 및 분류	83
	2. 시업등급 기준 및 분류	94
	3. 경관등급 기준 및 분류	101
제4절	세부 등급별 분류 정확도 분석	106
	1. 붕괴위험등급 분류 정확도 분석	106
	2. 시업등급 분류 정확도 분석	113
	3. 경관등급 정확도 분석	117
제5절	임도 유지관리등급 설정	128
	1. 가중치 부여	128
	2. 임도 유지관리등급 설정	129
제6절	유지관리등급체계 실무 적용방안	132
	1. 붕괴위험등급별 관리방안	132
	2. 시업등급별 관리방안	133
	3. 경관등급별 관리방안	135
제 5 장	임도 유지관리시스템 개발	137
제1절	시스템 요구분석 및 개발 방향	137
	1. 시스템 요구분석	137
	2. 임도 유지관리시스템 개발 방향	139
제2절	임도 유지관리시스템 개발	141
	1. 시스템 환경	141
	2. 시스템 구성	142
	3. 주요 기능모듈 개발	149
참고문헌		185

제 1 장 서 론

제1절 연구개발 필요성 및 목적

임도는 유럽, 북미와 같은 임업선진국의 사례에서 보듯 임도 고유의 기능 외에 다양한 목적으로 사용됨으로써 그 중요성이 증대되고 있다. 그러나 국내에서는 그 중요성이 제대로 인식되지 못하고 있는데, 이는 지금까지 개설된 임도의 유지관리 상태가 열악해 그 기능을 다하지 못하고 있다는 것도 중요한 이유일 것이다. 여름철 마다 발생하는 임도사면의 붕괴와 이로 인한 환경훼손이 중요 이슈로 등장하는 것은 현재 임도 유지관리의 부실을 보여주고 있다. 그럼에도 불구하고 임도는 여전히 중요한 국가 기간시설로서의 역할을 수행하고 있다. 우리나라는 현재 약 15,000km의 임도가 개설되어 있고, 임업선진국인 유럽이나 북미에 비하여 현저히 낮은 임도밀도를 높이기 위하여 2030년까지 총 56,000km의 임도를 개설할 목표로 지난 1990년 초부터 임도 신설 및 관련 기술개발 등의 임도사업을 추진 중에 있다.

지금까지 국내 임도사업은 임도 신설을 위주로 하는 임도망 계획, 임도설계, 임도 시공기술 개발에 치중해 왔다. 그러나 최근 이미 개설된 임도의 유지관리 미흡으로 기존 임도에서 산사태 발생 등 여러 가지 문제점들이 야기되고 있어, 이러한 문제의 해결은 물론 임도의 다목적 기능을 원활히 수행하기 위해서는 임도의 신설보다는 유지관리를 위한 기술 개발의 필요성이 대두되고 있다. 최근 국내에서도 임도는 조림, 육림, 임산물 운송 등과 같은 임도 고유의 목적 외에 산간 오지의 교통환경 개선, 산불진화, 휴양림, 등산, 삼림욕, 생태관광 등의 관광자원으로써 활용하자는 공익적 기능이 중요시되고 있다. 이와 같은 공익적 기능의 확대는 임도의 철저한 유지관리를 더욱 절실하게 한다.

적정 수준의 임도 유지관리를 위해서는 그에 합당한 인원과 예산이 소요되나 현재 국내 임도관리조직 특성상 임도의 유지관리를 위한 인원과 예산은 매우 제한되어 있기 때문에, 적은 인원과 비용으로 임도를 유지관리 할 수 있는 기술개발이 필요하다. 임도의 효율적 유지관리를 위해서는 정확한 관련 데이터를 확

보하고 이를 효과적으로 분석할 수 있으며, 또한 이렇게 수집된 자료와 분석된 자료를 체계적으로 관리할 수 있는 체계가 필요하다. 먼저 데이터를 살펴보면 임도의 유지관리에서 가장 중요한 데이터는 정확한 임도망도이다. 또한 사면처리, 배수처리, 노면처리 등에 대한 정보가 요구된다. 이와 같은 정보를 획득하기 위해 기존 방식으로 측량을 수행할 수 있으나 이는 현실적으로 인적 시간적 한계로 불가능하다. 따라서 임도 및 주변지역의 현황에 대해 적은 인원으로 정확한 최신 공간데이터를 획득할 수 있는 고해상도 위성영상기술이나 위성측위시스템(Global Positioning System; 이하 GPS) 기술과 같은 최신의 공간정보기술을 활용할 필요가 있다. 또한 이와 같이 획득된 데이터를 효과적으로 분석하고 체계적으로 관리할 수 있는 GIS 기반의 업무시스템 필요하다.

임도의 붕괴현황과 주변지역 환경저해 요인을 효율적으로 분석하기 위해서는 적절한 시기의 영상자료로부터 임도 주변의 정밀 공간데이터를 구축하고 3차원 경관분석을 통해 합리적인 임도 유지관리 방안을 도출할 필요가 있다. 임업선진국인 유럽이나 북미에서는 효율적 산림자원관리를 위하여 첨단 공간정보기술인 고해상도 위성영상이나 LiDAR 측량, GPS 측량 등의 활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 미국 농무부에서는 임도의 주요 기능이 산림경영에서 관광자원으로 변화해감에 따라 임도의 효율적 관리를 위해 교통기능을 주요 인자로 하여 5개의 관리등급으로 나누고 정해진 관리등급에 따라 차등을 두어 관리하고 있다.

따라서 본 연구에서는 인위이나 예산부족 등의 어려운 여건에서도 최신의 공간정보기술을 활용하여 재해로부터 안전하고, 임산업뿐만 아니라 산지교통, 레크레이션 등의 활용성이 높은 임도를 만들기 위해 임도의 유지관리를 보다 과학적으로 수행하기 위한 임도주변 정밀 공간데이터 구축방안 연구 및 임도 유지관리등급체계 개발, 임도 유지관리시스템 개발과 같은 임도의 효율적 유지관리방안 연구를 수행하였다.

(1) 임도관련 정밀 공간정보 구축기술 개발

- 국내의 공간정보 기술의 최신동향 분석
- 임도 주변의 공간정보 구축을 위한 공간데이터 활용 방안
- DEM 등 기반 공간데이터 구축 방안
- 임도 시설물 및 속성데이터 DB구축 방안

(2) 임도 유지관리등급체계 개발

- 임도 유지관리 국내의 사례조사
- 임도 유지관리등급체계 개발
- 임도 유지관리인자의 효율적 추출 방안
- 임도 유지관리등급 분류를 위한 공간분석 방안
- 등급별 임도 유지관리업무 실무적용 방안

(3) 공간정보기술을 활용한 임도 유지관리시스템 개발

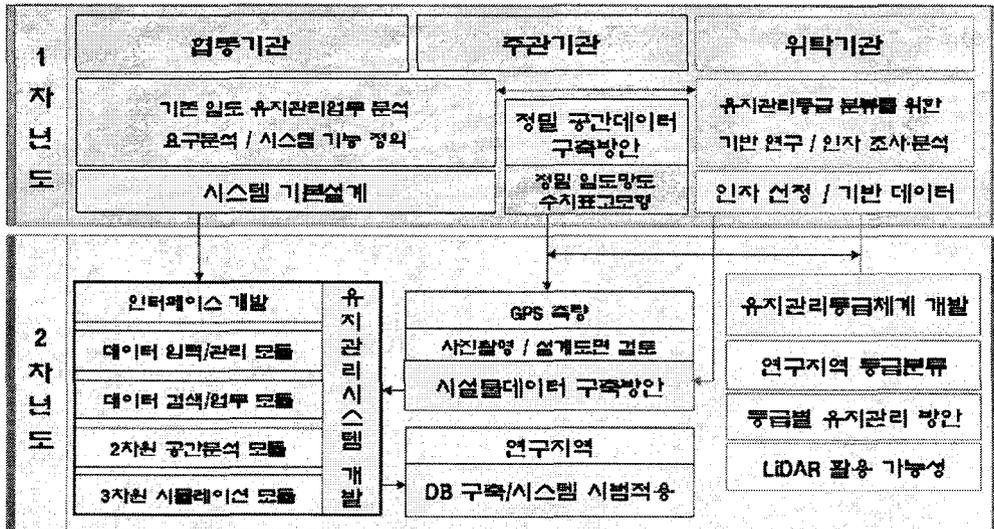
- 사용자 요구분석 및 시스템 설계
- 공간데이터 입력모듈 개발
- 데이터 검색 및 공간데이터 분석모듈 개발
- 임도 유지관리업무 전산화모듈 개발
- 3차원 시물레이션 모듈 개발

※ 각 연구개발 성과에 대한 연구지역 시범적용 연구

제3절 연구개발 방법 및 연구지역 선정

1. 연구개발 방법

본 연구는 최종 목표의 효과적인 달성을 위해 주제별 연구 목표를 설정하고 산학연이 공동연구를 수행하는 체계로 추진되었다. 먼저 한국건설기술연구원은 주관연구기관으로서 전체적으로 연구를 총괄하는 연구 조율의 업무와 함께 임도관련 정밀 공간데이터 구축기술에 대한 연구를 수행하였고, 협동연구기관은 시스템 개발 전문 업체가 참여하여 시스템 개발 부분을 담당하였으며, 학술적 연구 성격이 강한 임도 유지관리등급체계 개발에 대한 연구는 대학이 위탁연구기관으로 참여하여 연구를 수행하였다. 다음 그림은 연차별 연구흐름 및 연구기관, 항목간 상호관계를 보여준다.



<그림 1.2> 연차별 연구흐름 및 연구기관, 항목간 상호관계 모식도

각 주제별 세부 연구방법을 살펴보면 첫째, 정밀 공간데이터 구축방안 연구는 먼저 가장 기본이 되는 정밀 임도망도 구축 연구를 위해 위성영상과 항공사진을 활용하는 방법과 최근 산림청에서 임도업무 일선 부서에 GPS 장비를 보급하여 사용함에 따라 GPS 기술을 적용한 노선측량 방법에 대한 연구를 수행하였다. 또한 공간분석의 기본이 되는 수치표고모형(Digital Elevation Model; 이

하 DEM) 구축을 위해서는 기본적으로 가장 간편하고, 많이 사용하는 1/5,000 수치지도를 이용하여 DEM을 구축하였으며, 더불어 최신 기술인 LiDAR 측량을 통해 DEM을 구축하는 연구를 수행하였다. 마지막으로 배수시설이나 사면시설과 같은 임도 시설물에 대한 위치 및 관련정보를 획득하기 위해 GPS측량 및 사진촬영, 설계도면 활용방법을 적용하였다. 이때 위치정확도 확보를 위해 산악 지역에서 정밀 지상기준점(Ground Control Point; 이하 GCP) 확보를 위한 연구를 함께 수행하였다.

둘째, 임도 유지관리등급체계 개발은 관리 대상 임도에 대해 유지관리등급을 부여하고, 그 등급에 따라 체계적으로 임도를 유지관리하기 위한 목적으로, 먼저 국내실정에 적합한 유지관리등급체계를 개발하였으며, 이 체계에 따라 등급을 부여하기 위해 인자를 선정하고, 이렇게 선정된 인자를 다양한 공간분석 기법을 적용하여 분석함으로써 실제로 연구지역에 대해 유지관리등급을 분류하였다. 이 과정을 통해 임도 유지관리등급체계를 실무에 효과적으로 적용하기 위한 방안을 제시하였다.

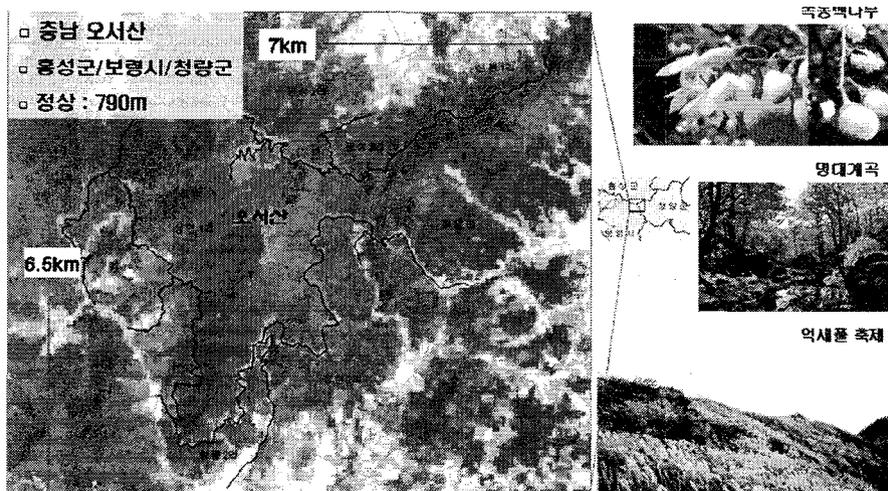
셋째, 임도 유지관리시스템 개발은 우선 기존 연구사례 및 업무분석을 바탕으로 사용자 요구분석을 수행하고, 이에 따라 구현할 기능의 정의 및 시스템 설계의 과정을 거쳐 유지관리시스템을 개발하였다. 시스템 개발은 주요 기능에 따라 모듈별로 구분하여 개발하였으며, 우선순위에 따라 데이터 입력모듈을 먼저 개발하여 획득된 데이터를 입력함으로써 DB를 구축하였고, 이렇게 입력된 DB를 바탕으로 데이터 검색과 같은 DB 활용을 위한 기능모듈을 개발하였다. 또한 공간분석 및 3차원 시뮬레이션 분석모듈을 개발하여 각 모듈의 통합을 통해 임도 유지관리시스템을 개발하였다.

본 연구에서는 실질적인 연구개발 성과의 도출을 위해 기존 연구조사와 같은 문헌연구는 물론, 산림청을 포함한 국유림관리소, 지자체 임도 담당부서의 실무자, 관련분야 교수 등 전문가에 대한 다양한 인터뷰를 수행함으로써 현장에서 필요로 하는 기술을 개발하고자 하였다. 특히, 연구지역을 선정하여 정밀 공간데이터 구축 및 유지관리등급 분류를 시범적으로 수행하였으며, 구축된 공간데이터 DB를 통해 유지관리시스템을 시범 적용해 보았다. 또한 LiDAR 측량기술 연구는 신기술을 선도적으로 활용해 봄으로써 그 장단점을 파악하고, 향후 임산업분야에서 활용하기 위한 가능성과 기대효과에 대해 검토하였다.

2. 연구지역 선정

연구개발 성과를 실제로 시범 적용해 볼 지역으로, 나름대로의 선정 기준을 수립하고 이를 통해 연구지역을 선정하였다. 그 기준은 첫째, 적정한 임도밀도와 임도의 노선길이, 지형, 노면상태, 주변 식생 등 다양한 임도 환경이 유지관리의 대상이 될 수 있어야 하며, 둘째, 임도 환경을 파악할 수 있는 항공사진이나 위성영상, 수치지도, 임도망도, 임상도 등 제반 공간데이터가 존재해야 하며, 셋째, 부여된 연구기간 및 예산을 감안하여 현지 접근 및 조사가 용이한 지역이어야 한다. 그밖에도 관할 기관의 협조 여부 등도 감안하여 연구지역을 선정하였다.

선정 작업에 있어 먼저 여러 가지 지도 또는 항공사진, 위성영상, 문헌자료 등을 이용하여 위와 같은 조건을 충족하는 지역을 검토하였으며, 최종적으로 충남 홍성군, 보령시, 청량군에 걸쳐 위치한 오서산 일대를 연구지역으로 선정하였다. 오서산 일대는 국유임도가 약 12km, 민유임도가 보령시청 관할 약 8km, 홍성군 관할 약 18km 정도가 시설되어 있어 국유임도와 사유임도가 적절히 혼재되어 있으며, 관리상태 또한 양호한 상태에서부터 관리가 부실한 상태의 임도까지 다양하게 존재한다. 또한 공간데이터 측면에서도 항공사진, 수치지도 등 획득 가능한 다양한 데이터가 존재하였으며, 특히, 항공사진의 경우 산림청에서 2001년에 촬영한 비교적 최신의 데이터가 존재하는 등 연구에 유리한 조건을 가지고 있다.



<그림 1.3> 위성영상을 통한 연구지역의 공간적 범위

여 백

제 2 장 국내외 임도유지관리 현황

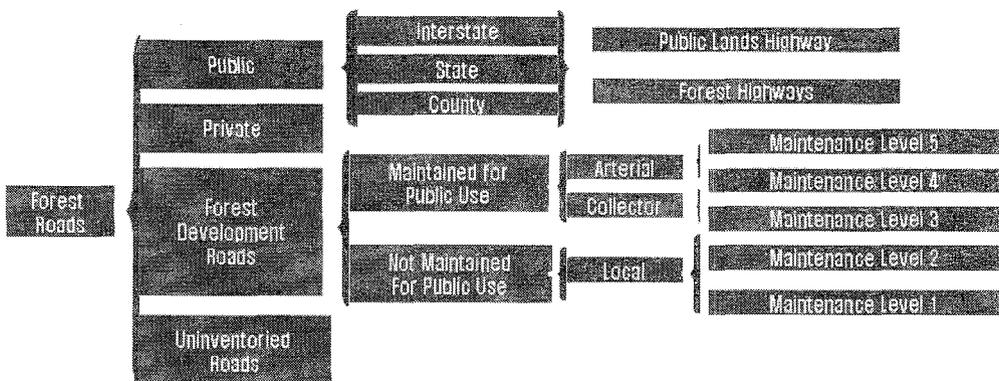
제1절 미국의 임도유지관리 현황

문헌조사와 인터넷을 통한 임업 선진국의 임도 유지관리 사례를 조사·분석하였다. 그중에서 미국 산림청에 해당하는 농무부(United States Department of Agriculture; USDA) 산하 Forest Service의 사례를 통해 임도 유지관리등급을 통한 임도의 관리 및 GIS 기반의 임도 유지관리업무 수행 사례를 살펴보았다.

미국의 임도는 이용자 편의성과 차량통행의 안전성을 기준으로 임도 유지관리등급이 설정되어 있고, 미국 내 임도 전체를 대상으로 미국 산림청에서 제안한 GIS기반의 도로분석 절차에 따라 임도를 평가하여 관리등급을 분류한 후, 환경적 영향을 고려한 임도 유지관리 방안을 제시하고 있다.

1. 유지관리등급체계

미국은 전국의 임도에 대해 체계적인 분류체계를 만들어 놓고 이에 따라 임도를 관리하고 있다. 미국 임도와 관련된 법적근거 및 정의는 다음 그림과 같으며, 특히 국유림 내의 도로 표준과 도로 관할권에 대한 내용을 담고 있다.



<그림 2.1> 미국 임도 유지관리등급체계 사례

위 그림에서처럼 국유림을 보호·운영·이용함에 있어 산림자원개발에 필요한 도로로 규정되어 있는 임도는 크게 Public, Private, Forest Development Roads, Uninventoried Roads의 네 단계로 구분되어 있으며, 미국 산림청 관할인 Forest Development Roads는 우리나라 산림 경영의 기반시설인 국내 임도와 유사한 기능을 수행한다.

System Roads 라고도 일컫는 Forest Development Roads는 공익성을 기준으로 도로를 유지관리 하는데 있어서 두 단계로 분류되며, 다시 도로의 기능적 측면을 고려하여 대규모 토지영역에 도로 서비스를 제공하면서 고속도로와 연결되어 있는 간선도로의 성격을 가진 Arterial 단계와 지방도로 혹은 터미널 시설에 연결되어 소규모 토지영역에 도로 서비스를 제공하는 지선도로 성격의 Collector 단계, 그리고 Arterial 및 Collector 기능을 가진 도로와 연결되는 Local 단계로 분류된다. 도로를 이용하는 사용자의 편의성과 차량 통행에 있어 도로 상태에 따라 분류되는 5단계의 유지관리등급은 다음 표와 같다.

<표 2.1> 미국 국유림 임도 유지관리등급 분류체계

Maintenance Level 5	사용자 최고의 편의를 제공하는 도로, 2차선 도로, 도로시설, 먼지가 적은 자갈로 포장된 도로,
Maintenance Level 4	사용자에게 적절한 주행속도와 중간정도의 편의를 제공하는 도로, 대부분이 2차선 도로, 어느 정도 먼지가 있는 모래, 자갈의 도로 표면
Maintenance Level 3	표준 차량으로 신중한 운전자 이동을 위해 개방된 도로, 사용자 편의가 최우선이 아닌 도로, 낮은 주행속도, 대피 차선 없는 단일차선
Maintenance Level 2	통행이 제한된 도로, 레크레이션 활동 허용
Maintenance Level 1	폐쇄된 도로, 방책물과 같이 물리적인 폐쇄 장치가 있는 도로, 폐쇄 기간 1년 이상, 비동력으로 이용

미국 국유림 지역 내에서 Forest Development Roads를 기능적 범주(Arterial, collector, local)와 유지관리등급에 따라 분류한 결과는 다음 표와 같다.

<표 2.2> 미국 국유림 임도의 기능적 분류 및 유지관리등급 분류

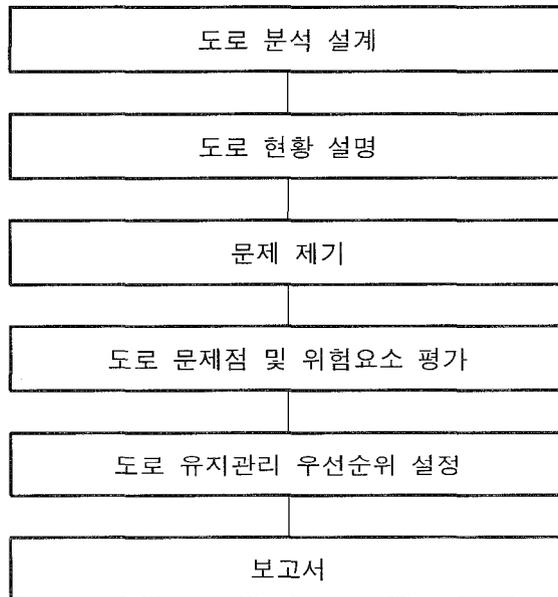
Use	Function Class	Maintenance Level	Distance
Passenger Cars	Arterial/Collector	3-5	86,022 mi.(23.0%)
High Clearance Vehicles	Local-Open	2	210,535mi.(56.5%)
High Clearance Vehicles	Local-Close	1	76,348 mi(20.5%)
Total			372,956 mi.(100%)

Forest Development Roads 중 23%는 유지관리등급 3-5단계이고 대중 차량 통행을 위해 유지관리 된다. 유지관리 2등급에 속하는 도로는 산림 경영상 차량의 통행이 엄격하게 제한되는, 공공의 목적을 위해 유지관리 되는 도로이다. 유지관리 1등급에 해당하는 도로는 모터를 이용하는 동력차량을 제한한다. 이 도로는 오랜 시간 유지관리하는 도로로서 동력차량의 이용이 필요하지 않다. 동력차량 이용을 제한함으로써 도로 유지비용을 절감하고, 비동력 레크레이션 활동의 기회를 제공하며, 향후 도로 개설에 따른 비용을 최소화 할 수 있고 도로개설에 따른 환경적 영향을 최소화 할 수 있으며, 야생 동물 거주지를 보호할 수 있다.

2. 유지관리등급 분석절차

미국 산림청에서는 국유림 자원을 효율적으로 관리하고 이용하면서 환경적 영향을 최소화하는 도로체계를 평가하고 유지관리하기 위한 도로분석 절차를 다음 그림과 같이 6단계로 구분하여 규정하였다. 도로분석 절차에 있어 첫 번째 단계인 도로분석 설계에서는 도로분석 방법과 도로분석의 시기적 규모 및 지리적 규모를 설정하고, 도로와 관련된 자료, 정보 및 기존의 정책을 조사한다. 두 번째 단계인 상황설명 단계에서는 현 산림계획의 방향과 관련하여 도로의 위치, 도로의 수명 및 개발사, 도로 포장형태, 기존 도로의 유지관리 목적 및 등급, 그리고 도로의 사용형태 등에 관한 기존 도로체계를 설명한다. 세 번째 문제 제기

단계에서는 도로를 유지관리 하는데 있어서 환경적, 사회적, 경제적으로 영향을 주는 문제를 제시하고 해결방안을 모색한다. 네 번째 단계에서는 도로의 잠재적인 용도 및 사회 경제적 이익과 도로와 관련된 환경적, 사회적, 그리고 경제적인 문제점 및 손실을 평가한다. 도로 유지관리 우선순위를 설정하는 다섯 번째 단계에서는 도로와 관련된 다양한 위험요소 및 문제점을 해결할 수 있는 기술적인 고려사항을 작성하여 도로 유지관리 우선순위를 결정한다. 마지막으로 도로 체계에 관련된 의사결정에 중요한 정보를 제공하는 보고서와 도로지도를 작성한다.



<그림 2.2> 도로 분석 절차

3. Superior National Forest 사례

미국 북동부 미네소타 도로 시설 중 임도는 Forest Service에 의해 운영 관리되고 있으며, 일반인의 여가활동 및 사유지, 산림시설, 목재운영지역에 대한 접근로 역할을 하고 있다. 슈페리어영림서 관내 임도는 차량통행 여부 및 사용자 편의에 따라 다음 5단계의 유지관리등급(Objective Maintenance Level; 이하 OML)으로 분류된다.

- 1) Basic Custodial Care - Closed
- 2) High Clearance Vehicles Only
- 3) Suitable for Passenger Cars
- 4) Moderate Degree of User Comfort
- 5) Moderate Degree of User Comfort

OML 3등급 도로는 총 길이 233마일로 승용차 통행에 적합하며, 대부분 1차선으로 되어 있다. OML 3등급 도로 중 137마일이 Collector 도로이고, 100마일이 Local 도로이며, 4마일이 Arterial 도로이다. Arterial 도로는 또한 야영지 혹은 개발된 공공용지와 같은 지역에 개인의 접근을 허용하고, OML 1, 2등급의 도로와 연결하는 역할을 한다. 즉, 벌목지역, 여가 활동이 드문 지역으로 연결한다. 모든 산악용 차량의 통행은 허용되지 않는다.



<그림 2.3> 미국 Superior National Forest 임도(관리등급 OML 3, 4, 5등급)

OML 4등급 도로는 328마일로 사용자에게 중간정도의 편익을 제공하는 도로로 205마일이 Collector 도로 등급에 포함되며, 80마일은 Local 등급에, 53마일은 Arterial 등급에 해당된다. OML 4등급 도로는 등급이 높은 도로와 낮은 등급의 도로를 연결하는 도로로 다양한 여가활동지역 및 심지어 사유지로 접근을 제공한다. 이 등급의 도로 또한 산악용 차량의 통행이 허용되지 않는다.

OML 5등급의 도로는 산림 도로 중 가장 짧은 거리로 115마일에 해당하며, 사용자에게 높은 수준의 편익을 제공하지만, 가장 높은 유지관리가 요구된다. 이 도로는 Arterial로 91마일, Local로 18마일, Collector로 9마일로 분류된다. 또한 교통량이 가장 많고, 산림 대부분의 대중적인 여가활동 지역과 Ranger Station이나 그 밖의 사무소와 같은 주요 산림시설로 연결된다.

<표 2.3> 도로 기능별 분류

Function Class	Miles
Arterial (간선임도) - 산림의 주요도로로서의 기능 - 산림과 대중을 연결하는 기능 - 다수의 여가활동 지역과 연결하는 기능 - Collector 도로와 연결	148
Collector (지선임도) - 다중 접근 진입 지역 혹은 Local 도로로 교통량을 집중시키거나 분산시키는 기능	492
Local (접근임도) - 크기가 작은 특정지역으로의 접근	1406
Total Miles	2,046

4. Clearwater National Forest 사례

Clearwater National Forest는 미국 아이다호의 180만 에이커의 면적을 차지하는 지역이다. 이 지역에서 Arterial과 Collector 그리고 중요한 Local 도로에 대해 도로의 가치와 위험을 평가하였다. GIS 분석이 평가의 기본이 되었으며, 도로 분석 매트릭스 및 도로관리 도표가 사용되었다. 분석을 위한 GIS 데이터는 필요성과 적합성을 고려하여 전문가에 의해 결정된 후 이용하였으며, 유역상태분석을 위해 수자원 데이터베이스가 유용하게 이용되었다. 이러한 분석을 통해 최종적으로 도로이용가치와 위험에 대한 다음 4가지의 카테고리 분류하였다.

Category 1: High Value/Low Risk

- 도로 정비 기금에 초점을 맞춘 기준의 유지
- 잠재적인 자원 관련 검토
- 이러한 도로는 숲을 위해 최소한도 도로망 부분으로 형성

Category 2: High Value/High Risk

- 이러한 도로는 high-risk 감소 필요를 확인하기 위한 subforest 축척 도로의 분석을 위해 최우선됨
- 기금 이용 투자를 위해 최우선됨
- 자원 위험을 지키기 위한 도로의 정비 비용 증가

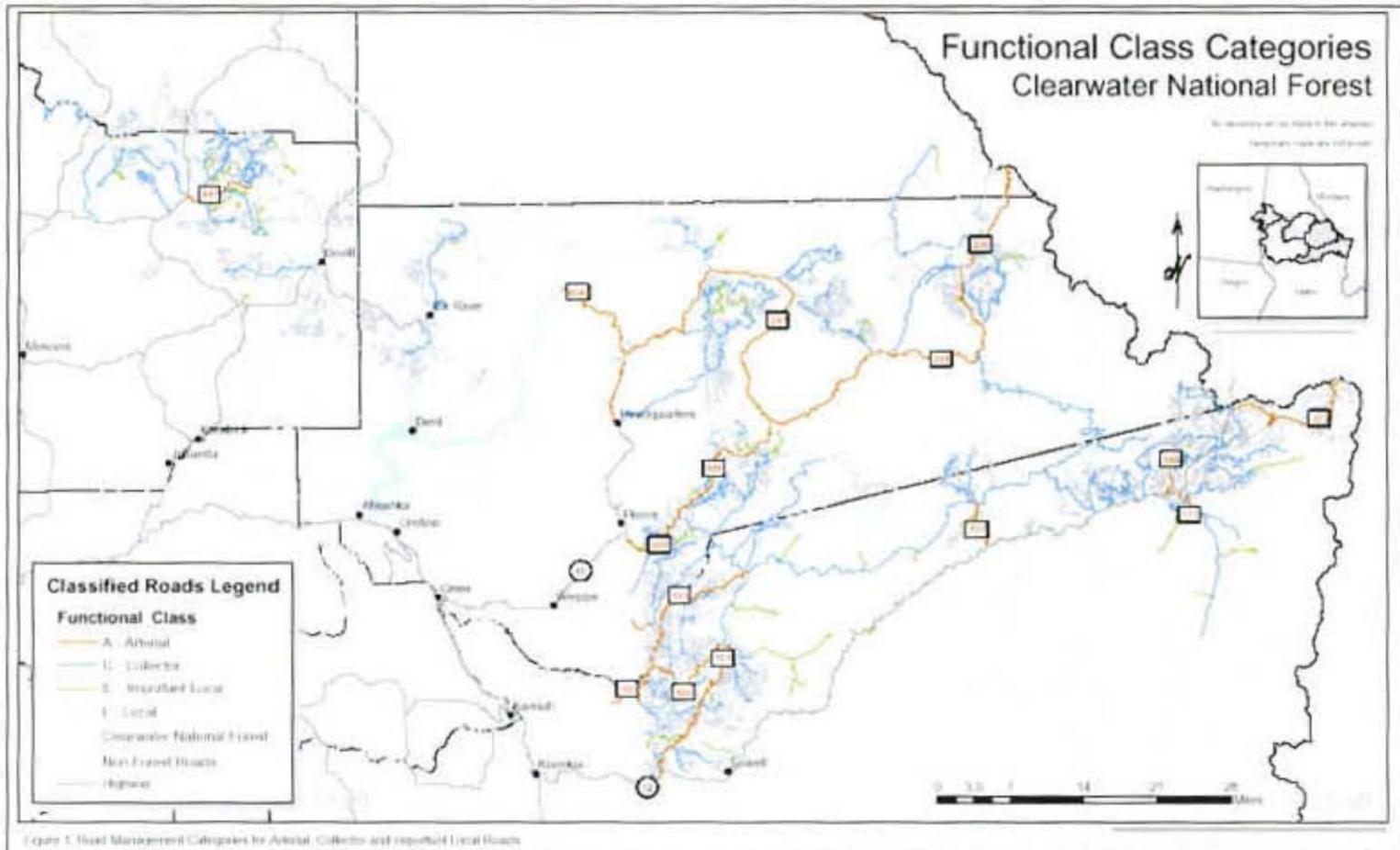
Category 3: Low Value/High Risk

- high-risk 감소 필요성을 확인하고, 도로 사용 가치를 확인하기 위한 subforest 도로 분석을 최우선함
- 정비 수준을 감소시키기 위한 잠재력
- 작업 중지의 고려

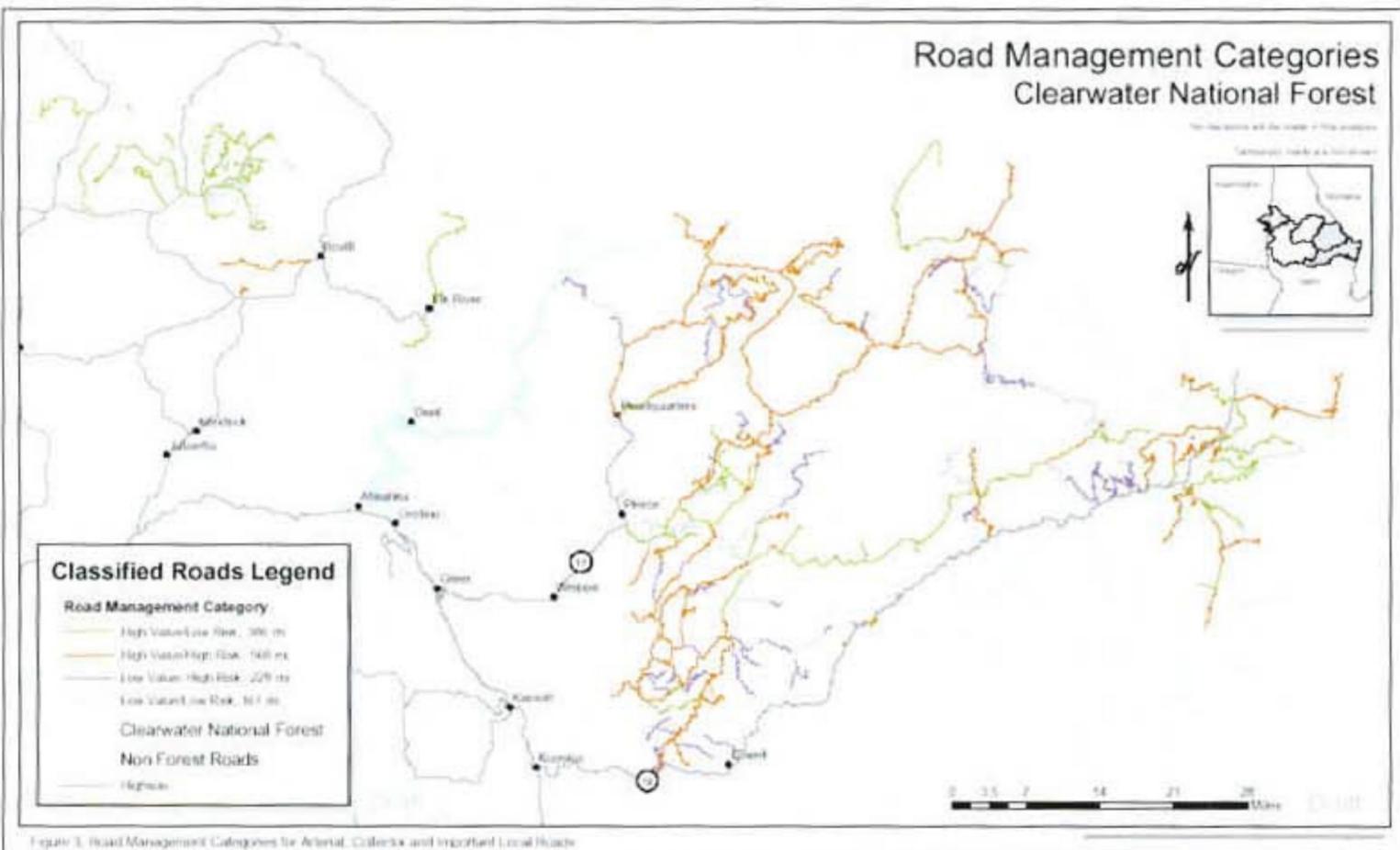
Category 4: Low Value/Low Risk

- 연례 도로 정비 기금의 확대를 위한 낮은 우선권
- 정비 수준을 줄이거나 중지하기 위한 적절한 잠재력

다음 그림은 이와 같은 기준을 통해 임도를 기능적 분류와 유지관리등급으로 분류한 결과이다.



<그림 2.4> 임도의 기능적 분류체계



<그림 2.5> 임도의 유지관리 분류체계

제2절 국내 임도유지관리 현황 및 개선방안

1. 국내 임도 현황

산림법 제10조 4항에 의하면 임도는 “산림의 효율적인 개설·이용의 고도화 또는 임업의 기계화 등 임업의 생산기반정비를 촉진하기 위하여 필요한 시설”이라 정의되어 있다. 임도는 사회간접시설로써 우리나라 전 국토의 약 65%를 차지하고 있는 산림지역의 중요한 교통, 물류, 자원수송의 인프라이다. 국내 임도는 1968년 국유림 내 입목매각지 3개소에 15km의 임도를 설치한 것을 시초로 1984년부터 공·사유림에 민유임도가 설치되어 2002년 현재 총 임도 시설거리는 15,356km에 이르며, 밀도는 2.39m/ha 정도이다. 이는 미국 10m/ha, 캐나다 11m/ha, 독일 40m/ha 등 임업선진국인 유럽이나 북미에 비하여 임도 밀도가 현저히 낮은 수준이다. 이에 우리나라에서도 1990년대 초부터 본격적으로 임도를 건설하고 있으며, 2030년까지 미국 수준인 임도밀도 10m/ha, 총 연장 56,000km를 건설할 계획이다. 다음 표는 산림청의 2030년까지 단계별 추진계획이다.

<표 2.4> 임도시설 장기계획

구분 \ 계획		추진실적 ('68~'02)	1단계		2단계	3단계	누계
			2003	2004~ 2007	2008~ 2010	2011~ 2030	
사업량 (km)	계	15,363	212	8,414	5,111	26,900	56,000
	국유임도	3,966	17	2,166	1,298	7,553	15,000
	민유임도	11,097	195	6,548	3,813	19,347	41,000
사업비 (백만원)	계	748,866	23,257	818,593	483,678	2,570,202	4,644,596
	국유임도	194,750	2,896	259,173	155,760	906,360	1,518,939
	민유임도	554,116	20,361	559,420	327,918	1,663,842	3,125,657
ha당밀도(m)		2.39	2.43	3.75	4.60	10.0	10.0

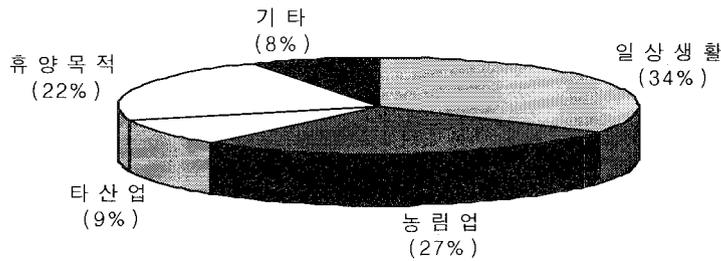
자료 : 산림청 임업정책국

임도의 신설과 더불어 중요한 것이 유지관리이다. 임도는 그 특성상 산사태 발생요인이 될 수도 있어 유지관리는 신설만큼이나 중요한 사안이다. 2004년 산림청자료에 의하면 임도 정책의 목표는 “산림경영기반 확충 및 재해로부터 안전한 임도시설·관리”이며, 기본 방향은 “신설임도는 줄이고 기존 임도에 대한 구조개량 및 보수사업을 확대”, “재해로부터 안전하고 효율성이 높은 임도시설로 활용도 제고”이다. 이와 같이 산림청에서는 재난 재해를 방지하기 위한 임도의 유지관리에 역점을 두고 있다. 그러나 임도를 관리하기 위한 관련 공간데이터나 효율적인 유지관리체계가 부재하여 유지관리에 어려움이 많다.

2. 국내 임도의 활용형태

일반적으로 산림의 기능은 크게 목재생산기능, 환경보전기능, 휴양·문화적 기능 등으로 구분하고 있다. 이러한 기능들의 중요성은 사회적 요구에 따라 변화하게 되는데, 우리나라의 경우 과거에는 목재생산기능이 가장 중요시되어 왔으나, 최근 환경과 휴양이 일반에 널리 인식되면서 산림의 환경보전기능과 산림휴양에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 산림기반시설 가운데 하나인 임도는 산림의 합리적인 관리 및 이용과 임업기계화를 위한 필수적인 시설로 주로 임산물 작업원의 수송로로서의 임업적 기능과 산촌지역에서의 생활로서의 공동적 기능을 가지고 있으며, 최근에는 휴양림 이용 등과 같은 레크리에이션을 위한 교통로로 이용되고 있다. 주 5일근무제의 확산과 더불어, 휴양목적의 임도 이용이 증가함에 따라 임도유지관리시스템을 개발하는데 있어 임도 관리자 측면에서의 요구사항 뿐만 아니라, 임도 이용자 측면에서의 요구사항을 반영할 필요가 있다.

산림청 자료에 의하면, 현재 임도를 활용하는 차량의 주간 교통량은 노선당 평균 45.6회/주으로써 활용 형태를 살펴보면 일상생활에 활용되는 경우가 34%, 농업이 27%, 타 산업이 9% 차지하고 있고, 휴양목적으로 이용되는 비율이 22%, 기타 8%로 활용되고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 휴양목적의 이용과 이를 위한 요구가 증가하고 있다는 것은 통계자료를 통해서도 알 수 있다.



<그림 2.6> 우리나라 임도의 활용형태(출처: 산림청)

이와 같은 결과에도 불구하고 지금까지 우리나라에서 임도에 관한 연구는 주로 임도 밀도나 임도망 배치에 관한 연구와 임도 사면의 붕괴 및 예측, 침식 등의 피해원인 분석에 관한 연구 등이 이루어져 왔지만, 임도의 기능이나 활용성에 관한 연구는 부진한 편이다. 임도의 기능 및 활용성에 관한 연구로는 경상북도 달성군 비슬산 자연휴양림에 개설된 임도를 대상으로 한 자연휴양림 임도의 휴양적 기능 평가(박상준, 2002)와 델파이방법을 이용한 임도의 휴양 활용성 조망에 관한 연구(김도경·최재혁, 2002) 등이 있다.

경상북도 달성군 비슬산 자연휴양림 내에 개설된 임도를 사례로 한 연구(박상준, 2002)는 산림기반시설인 임도의 고유기능으로서의 임업적 기능 외에 공도적 기능으로서의 휴양적 기능 등에 대한 일반 이용객의 인식을 파악하고, 임도의 휴양적 기능에 대한 평가를 경제적 측면에서 살펴본 것으로, 휴양림 이용객을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 분석결과, 임도의 공도적 기능중 하나인 휴양적 기능에 대한 휴양림 이용객의 평가는 긍정적으로 나타났으나, 대부분의 이용객들이 임도에 대한 충분한 이해나 기능을 사전에 인식하고 있지 못한 것으로 나타났다. 델파이방법을 이용한 임도의 휴양 활용성 조망에 관한 연구(김도경·최재혁, 2002)에서는 미래의 여가활동에 있어서 임도는 어떠한 역할을 할 것이며, 임도를 이용한 여가활동으로 인하여 일어날 수 있는 문제점들에 대하여 논의하고 있다. 이러한 연구들을 통해 향후 임도의 공도적 활용 특히, 휴양목적의 활용에 대한 중요성을 예측할 수 있으며, 따라서 임도 사업 및 관리정책은 이러한 시류를 반영하여 수행되어야 할 것이다.

3. 임도 유지관리업무 현황

가. 임도 유지관리업무 체계

국내 임도관련 업무는 산림청 산림보호국 치산과에서 총괄하고 있으며, 국유 임도는 산림청 산하 5개 지방산림관리청에서 해당 지역별 업무를 총괄하게 된다. 또한 지방산림관리청별로 산하에 총 25개 국유림관리소를 두어 여기에서 일선 업무를 담당하게 된다. 사유임도의 경우는 지방자치단체의 임도 담당 부서에서 임도관련 업무를 담당하게 된다.

임도관련 업무를 총괄하고 있는 산림청의 경우 주요 업무는 임도의 설치, 보수 또는 구조개량사업의 계획 수립 및 지도 감독, 임도 측량·설계·설치기준 수립, 용자·자력임도 시설에 관한 사항, 임도관련 장비의 지원 및 관리 등과 같이 임도와 관련된 전반적인 업무를 수행하게 된다. 또한 여기서 결정된 사항은 지방산림관리청과 지방자치단체에 전달되어, 지방산림관리청 산하의 국유림관리소와 각 지자체의 임도 담당 부서에서 실질적인 임도 유지관리업무를 수행하게 된다. 실제 임도 유지관리의 일선 업무는 주로 집중 호우 등으로 재해가 발생할 경우 재해지역의 피해상황을 조사하고 보고하는 것이 중요한 업무이며, 그밖에 재해가 우려되는 지역이나, 녹화가 되지 않아 절·성토사면의 붕괴 위험이 있는 임도를 대상으로 피해를 최소화하고자 시행하는 임도의 구조개량 공사와 부분적인 훼손 및 파손을 보수하는 유지보수사업이 중요한 업무이다.

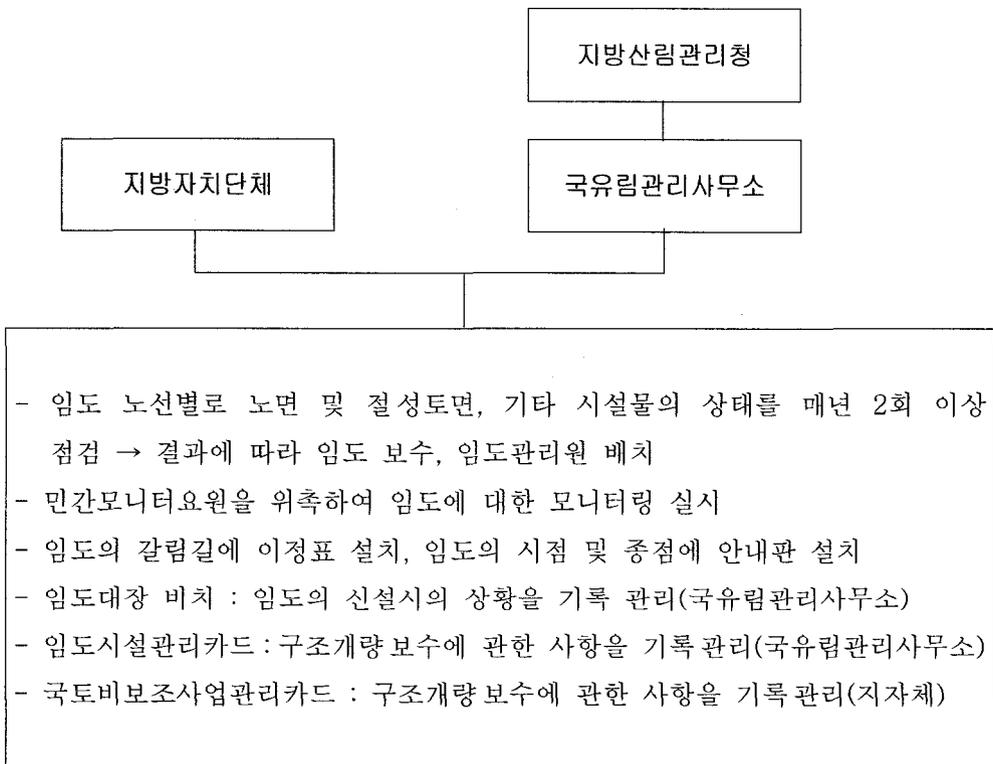
나. 임도 유지관리업무 현황

국유림관리소 또는 지자체의 임도 담당부서에서 행해지는 일선 임도 유지관리 업무는 임도 노선별로 노면 및 절·성토면 기타 시설물의 상태를 매년 2회 이상 점검하고 그 결과에 따라 임도를 보수하며, 우기 및 해빙기에 피해가 우려되는 지역에 임도관리원을 배치하여 관리하며, 민간모니터요원을 위촉하여 임도에 대한 모니터링을 실시하고 그 결과를 임도관리에 반영하여 관리하도록 되어 있다.

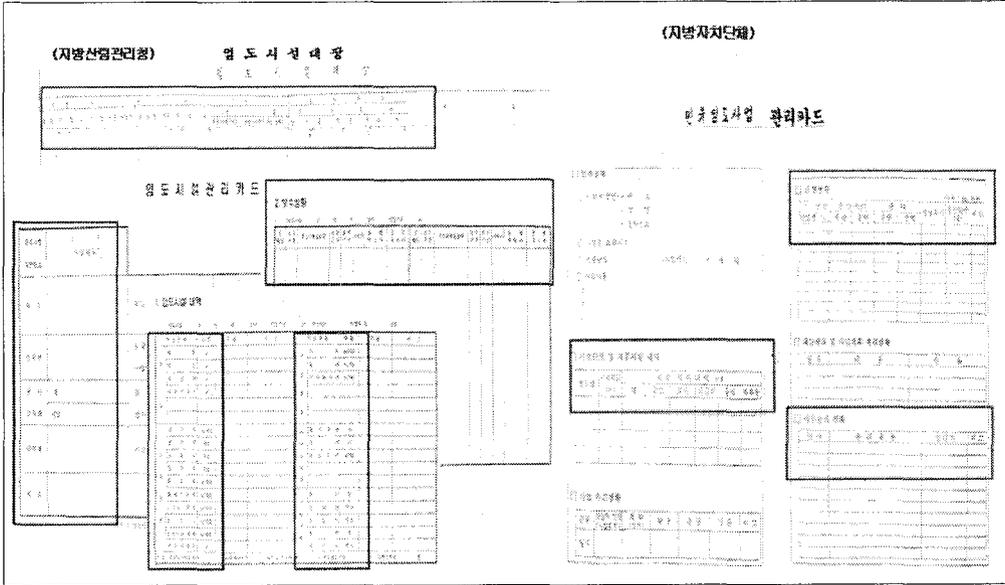
그밖에 임도의 갈림길에는 방향을 표시한 이정표를 설치하고, 거리를 표시하는 표주(목재·석재·자연석 등으로 제작)를 일정간격 마다 설치·관리하며, 임

도의 시점 및 종점에는 안내판(임도 명칭, 시행자, 시공자, 설치연도, 임도길이, 주의사항 등)을 설치하는데 다만, 임도노선을 계속하여 연결시켜 나가는 경우에는 최초 시점과 마지막으로 임도가 끝나는 종점에 설치할 수 있도록 되어 있다.

국유림관리소에서는 임도신설시의 사항을 임도대장에 기록·비치하고 있고, 임도의 구조개량·보수에 관한 사항을 임도시설관리 카드에 기록·관리하고, 1년에 한번 지방산림관리청에 보고하며, 지자체의 경우는 국토비보조사업관리카드에 임도의 유지·보수에 대한 사항을 기록하여 관리하고 시·군에 보고하도록 되어 있다.



<그림 2.7> 국유림관리소 및 지자체의 주요 임도 유지관리업무 현황



<그림 2.8> 국유(좌) 및 민유임도시설대장(우) 예

또한 산림청장, 시·도지사 또는 지방산림관리청장은 매년 임도평가를 실시하여 시상하며, 평가는 다음과 같은 체계 및 기준으로 수행된다.

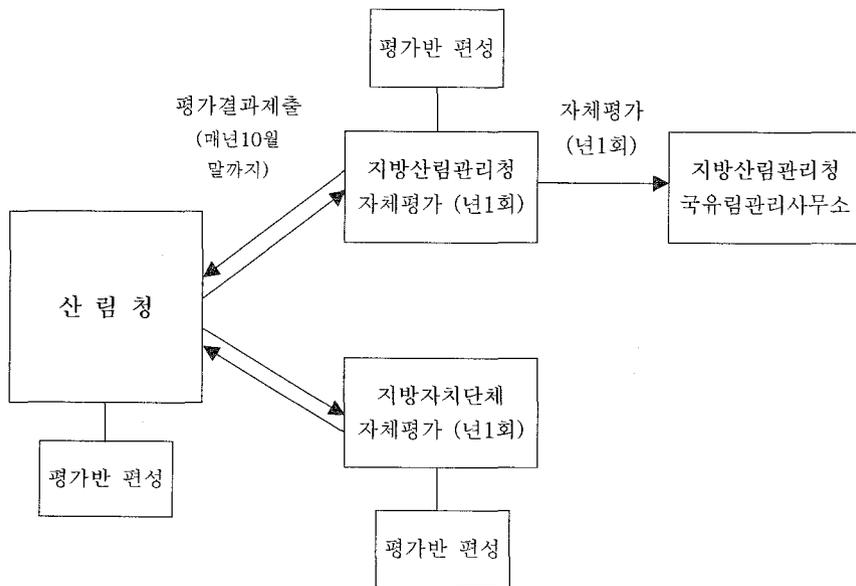
- 중앙평가
 - 산림청에서 시·도 또는 지방산림관리청 단위로 평가한다.
- 자체평가
 - 시·도 또는 지방산림관리청에서 시·군 또는 국유림관리소 단위로 평가한다.
- 평가횟수
 - 평가는 매년 1회 실시한다.
- 평가대상지
 - 전년도에 설치(시행)한 신설임도 및 구조개량 사업지를 각각 표본 추출하여, 중앙단위 평가대상지는 시·도 및 지방산림관리청별로 각각 1개 노선

을 선정한다.

- 지방단위평가대상지는 시·군 및 국유림관리소별로 각각 1개 노선을 선정한다.

○ 평가반 편성

- 평가반은 1개반 3명으로 편성하되, 평가반원의 일정 등에 따라 여러 개의 반으로 편성할 수 있다.
- 평가반은 공무원1명, 생태·환경 분야 시민단체에서 추천한 자 1명, 대학에서 임학이나 산림 토목학을 강의하고 있는 교수 또는 산림토목기술자 1명으로 편성한다.



<그림 2.9> 임도 평가업무 흐름도

4. 임도 유지관리 개선방안

가. 임도 유지관리 문제점

현지방문 조사를 토대로 파악된 국내 임도관련 자료를 분석한 결과, 대표적인 국내 임도 유지관리의 문제점은 인원 및 예산의 부족, 유지관리 소관의 이원화, 현황 정보의 부실 등을 꼽을 수 있다.

(1) 인원 및 예산의 부족

임도 유지관리의 주된 업무는 강우나 차량 통행으로 인한 임도 노면손실 복구, 절·성토 사면의 유실 방지를 위한 녹화사업, 배수 시설을 원활하게 하기 위해서 임도 주변의 잡초 및 관목 제거 등의 업무를 수행하고 있다. 또한 매년 강우기와 해빙기에 일어나는 임도 피해 유지관리가 이루어지고 있다.

하절기 집중호우로 인하여 임도의 훼손 및 붕괴 등이 매년 발생하고 있지만, 임도 유지관리를 위한 담당 인력과 예산이 절대적으로 부족한 형편이다. 게다가 국유림관리소나 기초 지방자치단체의 임도담당 인력으로는 관할 지역내 임도의 정확한 현황파악조차 하기 어려운 실정이다.

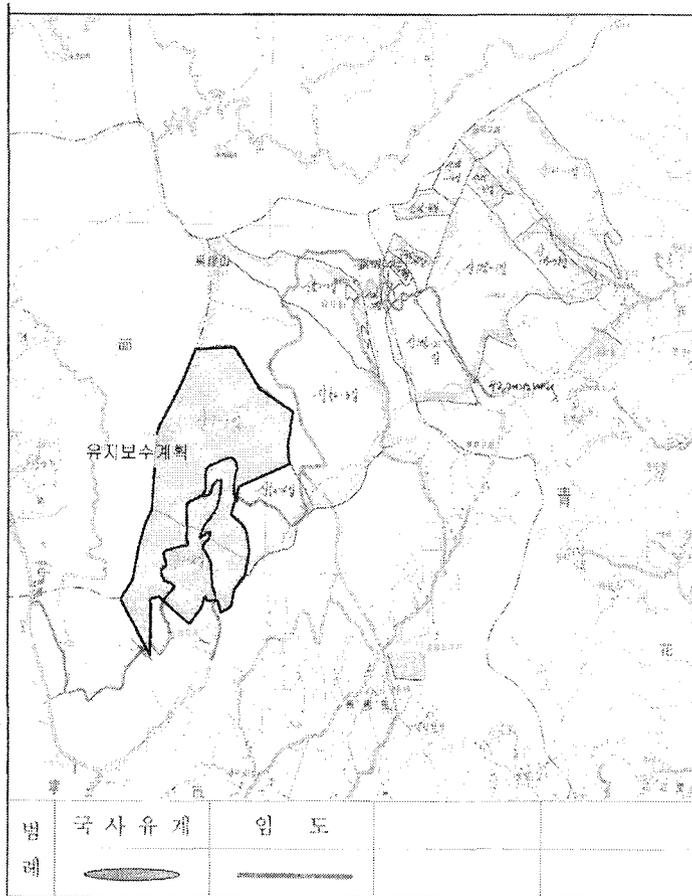
(2) 임도 유지관리 소관의 이원화

우리나라 임도의 경우 국유림 임도를 담당하는 국유림관리소와 민유림 임도를 담당하는 기초 지방자치단체로 관리주체가 이원화 되어 있다. 이는 임도의 입업적, 공익적 기능을 국·민유 임도간 상호 연계하여 효율적으로 수행하기 위한 임도의 일관된 유지관리가 어렵고 또한 소관별 상호 연계된 관리방안이 미흡하다.

(3) 임도관련 정보의 부실

국유림관리소 및 지자체에서 관리되는 임도의 길이는 수십에서 수백 km에 달하며 지역적으로 넓게 분포되어 있다. 따라서 적은 인원으로 임도를 효율적으로 관리하기 위해서는 무엇보다 임도에 관한 정확한 정보가 구비되어 있어야 한다. 그러나 현재, 임도노선, 임도 주변 지형·환경, 임도 시설물 등 임도현황에 관한

정보가 절대적으로 부족한 것이 현실이다. 예를 들어 임도노선을 나타내는 지도로 산림청에서 전국적으로 구축한 1/25,000 축척의 수치임도망나 실무에서 주로 사용하는 1/25,000 또는 1/50,000 축척의 지형도 위에 수기로 표기한 개략적인 임도망도를 사용하고 있으나 위치오차가 크거나 임도가 일부 누락되는 등 임도업무를 수행하기에는 대단히 열악한 상황이다. 이러한 임도망도가 가지고 있는 가장 큰 문제점은 임도의 위치정확도 문제, 최신의 임도현황 반영, 신속하고 정확한 임도망도 갱신에 관한 문제 등으로 요약할 수 있다.



<그림 2.10> 실무에서 사용하는 임도망도 예

(4) 환경생태적 요인에 대한 고려 미흡

현재 임도의 유지관리는 결국 수해 등에 따른 노면손실, 사면붕괴와 같은 임도의 구조적 피해만을 우선적으로 고려하여, 임도의 구조개량과 유지보수에 집중되어 있다. 임도의 임업적 기능 외에 최근 중요성이 강조되고 있는 공익적 기능을 고려한다면, 유지관리 방안은 산림의 환경적, 생태적인 가치를 높일 수 있도록 수행되어야 한다.

나. 임도 유지관리업무 개선방안

국내 임도 유지관리 현황 분석을 통하여 도출된 문제점의 가장 큰 부분은 임도의 유지관리를 위한 인원과 예산의 부족을 꼽을 수 있다. 이는 쉽게 해결될 수 있는 성질의 문제가 아니다. 결국 임도의 유지관리 방안은 현재의 인원과 장비로 시행될 수 있는 가장 효율적인 측면에서 수립되어야 한다. 먼저 방안 수립을 위한 접근은 업무의 효율성 증대를 우선으로 하여 유지관리등급체계를 통한 등급별 유지관리 방안을 개발하는 것과 임도 현황에 관한 정확한 정보를 토대로 업무 전산화를 실현함으로써 정보 소실에 따른 낭비 요인을 제거하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

즉, 임도와 관련된 기초 정보의 부재로 인하여 경험에 바탕을 둔 비효율적이고 일관성이 결여된 기존의 유지관리방법을 개선하기 위해서는 임도 현황에 대한 정확한 정보를 기반으로 하는 과학적인 유지관리방법이 필요하다. 또한 임도의 임업적 기능뿐만 아니라 공익적 기능까지 고려하는 장기적인 임도의 유지관리 방안이 마련되어야 한다. 이를 위해 임도 현황뿐만 아니라 임도주변의 지형·환경적인 요소를 고려하고, 이러한 요인과 관련된 정보를 도출할 수 있는 첨단 공간정보 기술을 활용할 수 있는 방향으로 임도 유지관리 개선방안을 고려할 수 있다.

즉, 여름철 집중 강우에 따른 사면붕괴 및 배수문제로 인한 임도의 유지보수와 이와 직간접적으로 관련된 주변 지형 및 시설물 현황은 임도 유지관리에 있어서 중요한 관리요소가 된다. 따라서 임도의 다양한 환경조건에 따른 유지관리 방안은 정확한 임도현황 정보에 기반을 두고, 최신 공간정보 기술을 활용하여

정확하고 신속하게 임대 현황을 파악하고 분석할 수 있는 시스템 관리방법이 적합하며, 또한 임대 유지관리를 위한 중요 인자를 파악하고 이에 대한 공간분석을 통해 유지관리등급을 분류함으로써 합리적이고 효율적으로 임대를 관리해 나가는 방안이 적합할 것이다.

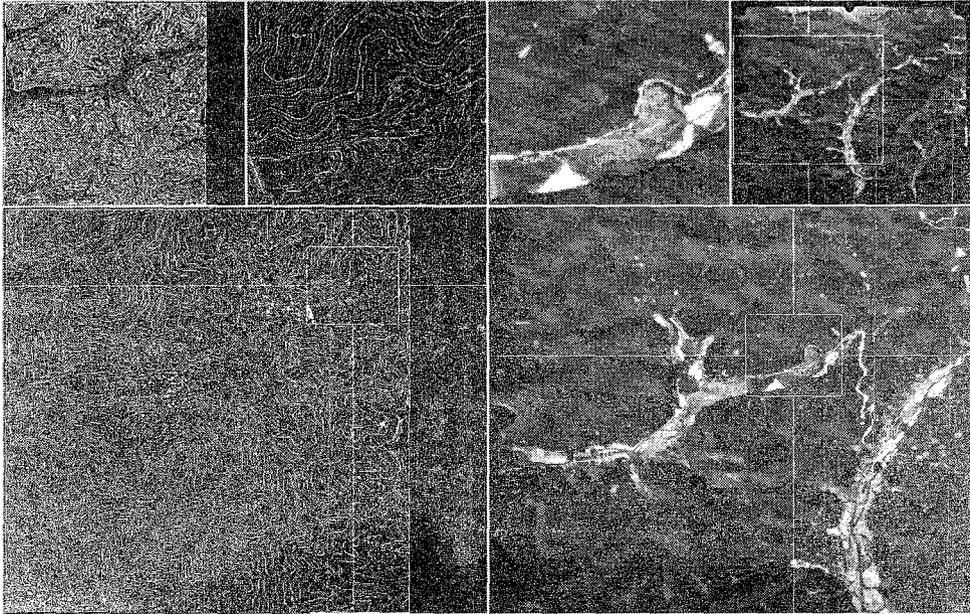
여 백

제 3 장 임도주변 정밀 공간데이터 구축방안

제1절 산악지형에서 지상기준점 확보방안

공간정보기술을 활용하여 임도주변 정밀 공간데이터를 추출하기 위해서는 원천데이터의 기하학적 보정, 좌표등록, 정사보정 등의 처리가 우선되어야 한다. 이와 같은 데이터 처리를 위해서는 반드시 지상기준점(Ground Control Point; 이하 GCP)이 요구되며, GCP의 정확도에 따라 DEM 생성, 임도망도 추출 등 최종 성과에 지대한 영향을 미치게 된다. 영상처리에 있어 GCP는 영상에서 확인 가능한 특이점을 선점해야 하며, 변화가 없거나 변화주기가 긴 대상을 선택해야 한다는 등의 중요한 고려사항이 있다. 이런 측면에서 볼 때, 본 연구에서 항공사진으로부터 GCP 선점은 상당히 어려운 작업이다. 연구대상지가 산림지역이다 보니 영상에서 확인 가능한 특이점이 없거나 있다해도 저수지나 임도, 바위, 철탑 등 GCP 선점 기준에 어긋나거나 수치지도에서 동일 지점을 찾기 어려운 지점이 대부분이다.

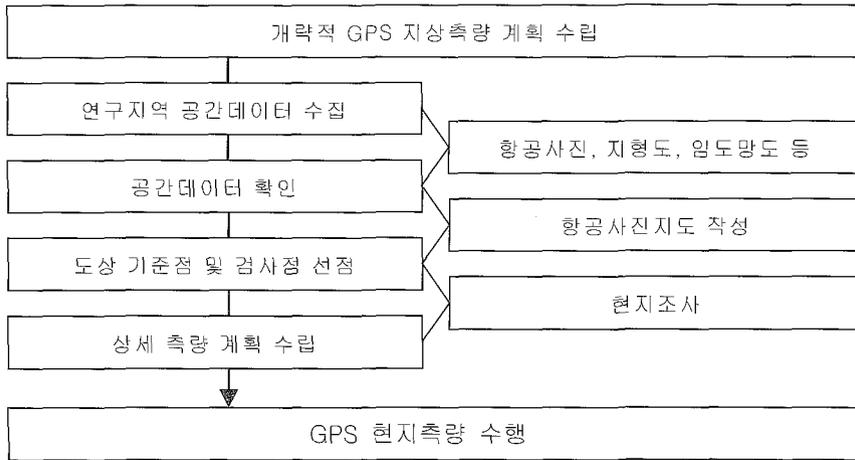
지금까지 영상처리를 위한 GCP 추출 방법으로는 많은 경우 Image-to-Map 방법 즉, 수치지도를 이용하여 GCP를 추출하는 방법을 많이 이용하여 왔다. 이 방법은 영상데이터로부터 특이점을 선점하고 이점을 동일지역의 수치지도에서 찾아 좌표를 독취하여 그 좌표를 GCP로 사용하는 방법이다. 본 연구에서도 이 방법을 통해 GCP를 추출하고자 하였으나 이상에서 설명한 바와 같이 정확도의 문제는 차치하더라도 영상데이터에서의 특이점과 일치하는 지점을 수치지도에서 찾기란 쉬운 일이 아니다. 다음 그림은 이와 같은 사실을 잘 보여주고 있다.



<그림 3.1> GCP 추출을 위한 동일 지역 수치지도와 항공사진 비교

위 그림을 보면 동일지역의 수치지도와 영상을 비교해 볼 때, 두 데이터에서 일치하는 지점을 찾기가 쉽지 않음을 알 수 있다. 그나마 찾을 수 있는 것이 위 그림에서 네모박스의 바운더리 내에서 좌하에 위치한 저수지와 좌하에서 우상으로 난 도로 정도인데, 저수지 같은 경우는 수면 위 또는 가장자리의 경우 GCP 선점 기준에 어긋나고 딱을 선점할 수 있으나 항공사진과 수치지도 상에서 딱 경계가 모호하여 선점하기가 어려웠다. 또한 도로는 도로 횡단 방향으로는 비교적 선점이 가능하나 도로라인 방향으로는 위치 잡기가 어려웠다. 특히, 임도의 경우는 항공사진 상에서는 존재하나 수치지도 상에는 존재하지 않는 곳이 많았다. 이와 같은 이유로 산림지역의 정밀 공간데이터 추출을 위한 GCP 추출은 수치지도를 이용하는 것이 바람직하지 않은 것으로 판단된다.

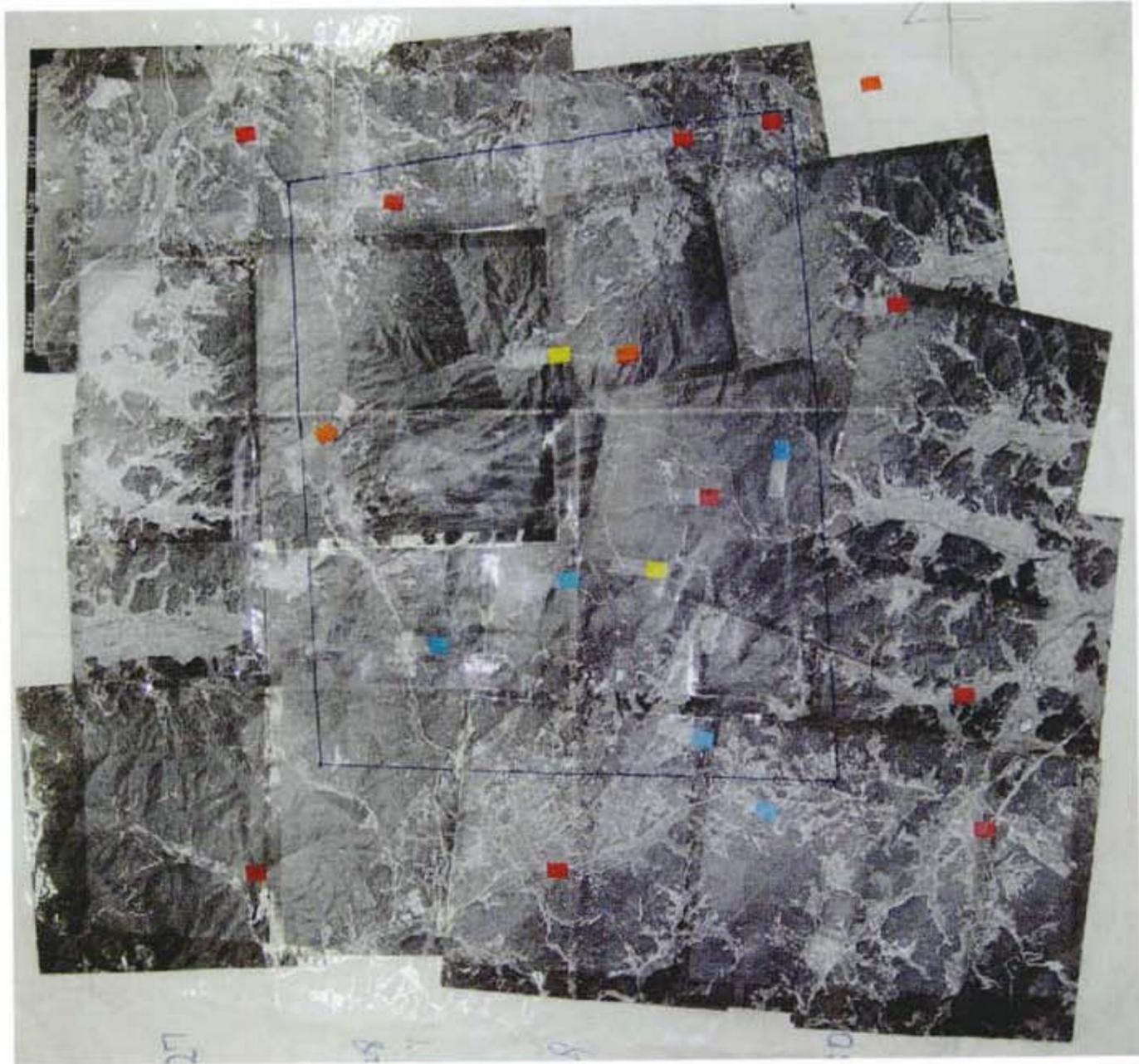
최근 들어서는 고해상도 영상의 보급으로 좀 더 높은 정확도가 요구됨에 따라 자주 사용되고 있는 방법으로 GPS 측량방법이 있다. GPS 측량은 영상데이터로부터 특이점을 선점하고, 실제로 그 지점에 나가서 GPS 현지측량을 수행하는 것이다. 이 때 정확도 향상을 위해 DGPS(Differential GPS) 방법이 이용된다. 본 연구에서도 이 방법을 통해 GCP를 추출하였으며, 그 과정은 다음 그림과 같다.



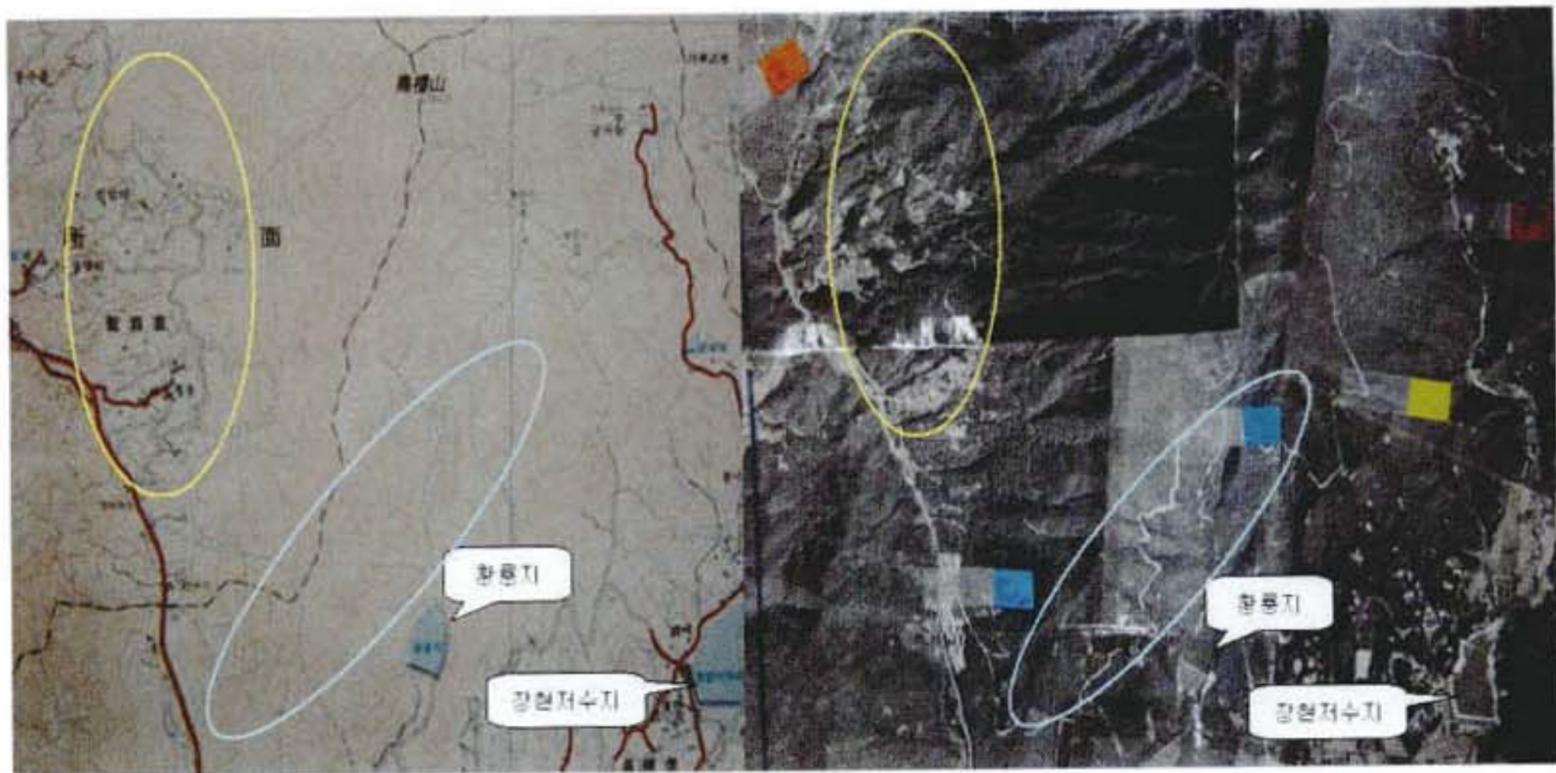
<그림 3.2> GPS 지상측량 흐름도

위 그림에서와 같이 먼저 전반적인 측량계획을 수립한다. 이때 가용 장비의 종류, 대수 및 활용할 데이터, 가용인력 등에 대한 조사를 수행하고, 그에 따라 작업방법, 작업일정 등의 개략적 계획을 수립하게 된다. 이 과정이 끝나면 필요한 데이터를 수집하고, 측량 대상지역의 현황을 간접 파악하는 과정을 통해 대상지역 내에 GCP가 적절히 배치될 수 있도록 도상에 측량 후보지점을 선정한다.

다음 단계로 이렇게 수립한 계획과 획득 데이터를 기반으로 현지조사를 수행한다. 본 연구에서는 현지조사 전에 현지측량 지도로 사용하기 위해 항공사진지도를 다음 그림 3.3과 같이 작성하였다. 그 이유는 수치지도 상에 많은 부분 임도 표기가 누락되어 있기 때문이다. 다음 그림 3.4에서 보면 노란 원 부분은 수치지도와 항공사진 모두에 임도가 있음을 볼 수 있는데 반해 파란 원 부분은 항공사진에는 임도가 확연히 보이나 수치지도에는 임도가 표기되어 있지 않음을 볼 수 있다. 실제로 현지조사를 통해 수치지도상에 임도의 표기가 일부 누락되었음은 물론 표기되어 있더라도 위치 오차가 크게 나타남을 확인 할 수 있었다.

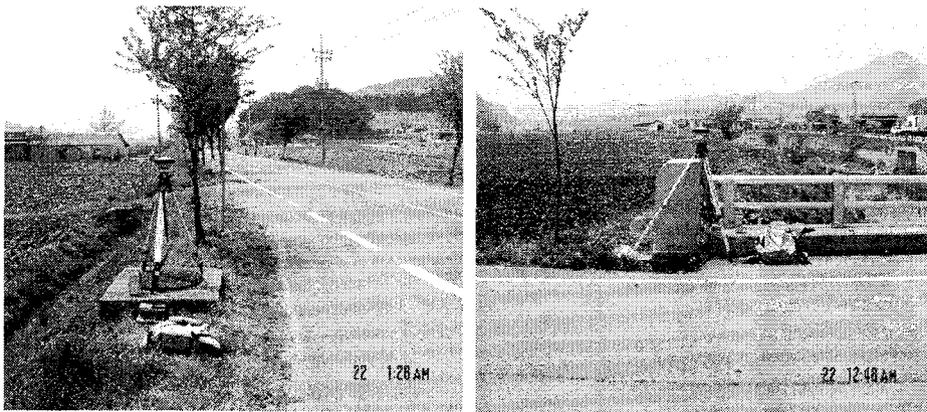


<그림 3.3> 현지측량용 항공사진지도



<그림 3.4> 수치지도에 임도 표기 누락 예

GPS 현지측량은 Base Station과 검사점(check point)을 포함하여 총 20점을 측량하였으며, Base Station에서는 다른 19점을 측량하는 동안 계속 GPS 신호를 수신하였다. 이것은 DGPS를 통해 정확도를 향상시키기 위한 것이며, 후에 상시관측소를 통해 Base Station을 보정하고, 보정된 Base Station으로 나머지 19점을 보정하는 방식으로 데이터 처리를 수행하였다. Base Station에서는 Trimble 4800 장비를 사용하여 1초 간격(Epoch Time)으로 수신하였으며, 나머지 측량지점에서는 Trimble 4700 장비를 사용하여 5초 간격으로 20분씩 수신하였다. 적정한 수신 시간은 측량지점마다 달라질 수 있으나 5분 이상이면 위치 정확도에 크게 영향이 없었다. 다음 그림은 현지측량 모습이다.



<그림 3.5> GCP 현지측량 모습

이와 같은 방법을 통해 산악지역에서 정밀 GCP를 확보할 수 있다.

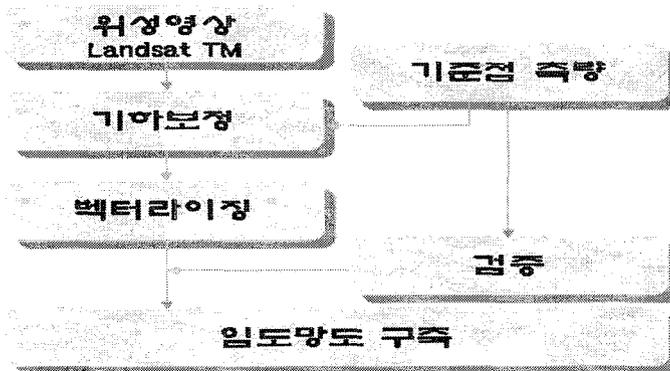
제2절 정밀 임도망도 구축방안

연구지역인 충남 보령시, 청양군, 홍성군에 걸쳐있는 오서산 지역의 임도를 대상으로 정밀 임도망도를 제작하였다. 이 지역 임도는 국유림과 민유림이 혼재하여 있으며, 임도의 노선 및 관리상태가 소관별로 다양하게 나타나고 있다. 임도망도 구축방법은 최근 대표적인 공간정보기술의 세 가지 방법을 적용하여 구축하였다. 첫 번째로 중해상도 위성영상인 Landsat TM 영상을 단순 기하보정하여 임도망도를 구축하였으며, 두 번째로 GPS 기술을 이용하여 현지 노선측량을 통해 구축하였다. 마지막으로 수치항공사진측량 기법을 통하여 1/15,000 축척의 흑백항공사진을 정사보정 한 후 임도망도를 구축하였다.

이렇게 구축된 임도망도는 위치정확도 비교를 위하여 세 방법 간의 비교분석은 물론 기존 산림청 수치임도망도와 비교분석을 수행하였으며, 동시에 임도망도 측량의 효율성 측면에 있어서 소요되는 시간과 노력 그리고 경제성의 측면에서도 검토하였다. 여기서 위치정확도 비교는 선형 벡터데이터를 비교분석하는데 유용한 단순 Buffering 기법(Goodchild, 1997)을 적용하여 분석하였다.

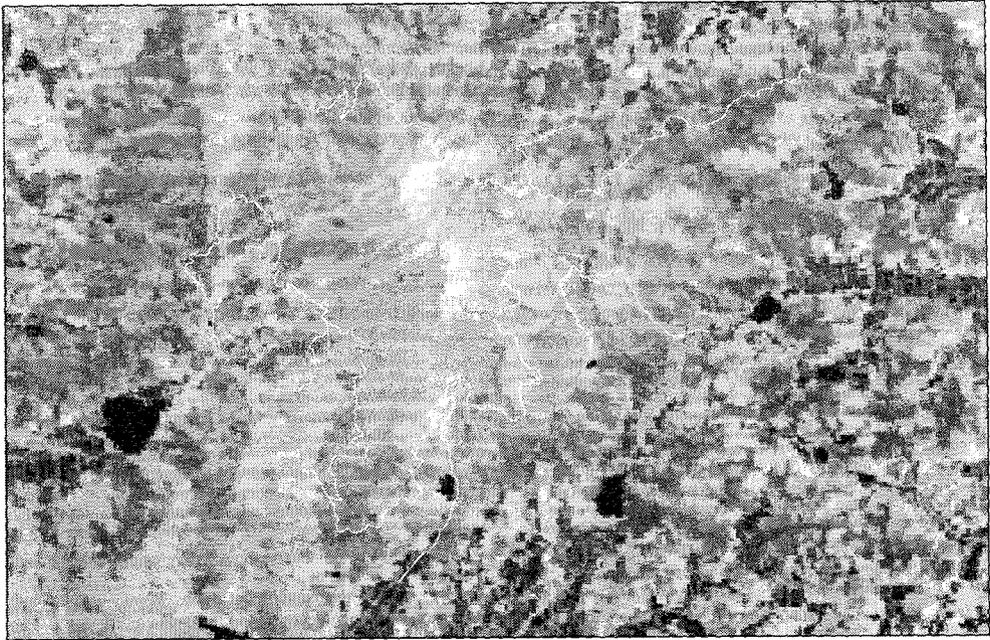
1. 위성영상을 이용한 임도망도 구축

1999년 5월에 촬영된 Landsat TM 영상을 기하학적 보정 후 화면 디지털징을 통해 임도망도를 구축하였다.



<그림 3.6> 위성영상을 이용한 임도망도 구축과정

위 그림에서와 같이 먼저 GCP를 이용하여 기하학적 보정을 수행한다. 이렇게 기하학적 보정된 영상을 다시 영상개선(Enhancement) 과정을 거쳐 임도가 가장 잘 나타날 수 있도록 처리하고, 화면상에서 직접 임도를 디지털화(Digitizing) 하는 작업을 수행하였다. 다음 그림은 이렇게 구축한 임도망도와 이 작업에 사용된 위성영상을 중첩한 그림이다.

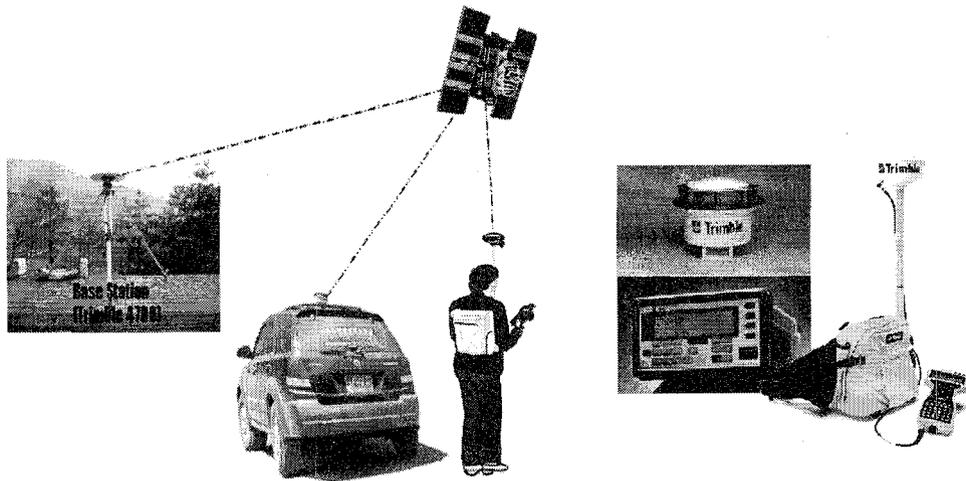


<그림 3.7> Landsat TM 위성영상을 이용한 임도망도 구축

TM 위성영상을 활용하여 구축한 임도망도는 위치 정확도 면에서는 비교적 정확한 편이나 정밀도가 떨어지는 현상이 나타났다. 즉, 짧은 곡률반경의 굴곡은 제대로 표현되지 못하고 직선으로 표시된다. 그러나 최근 수 미터에서 수십 센티미터까지의 공간해상력을 가진 고해상도 위성영상이 공급되고 있어, 이를 활용함으로써 보다 정밀한 임도망도를 구축할 수 있을 것이다. 특히, 2005년 말에는 국내에서도 1m의 공간해상력을 갖는 아리랑 위성 2호가 발사될 예정에 있어 위성영상의 활용은 더욱 확대될 것으로 예상된다.

2. GPS 노선측량을 통한 임도망도 구축

GPS 노선측량을 통해 정밀 임도망도 구축방안을 연구하였다. 이 방법은 측량 대상이 지점(point)이나 선형(line)이냐의 차이점을 빼고는 앞의 GPS 측량을 통해 기준점을 확보하는 방법과 동일하다. 먼저 기존 임도망도나 항공사진 등을 검토하고 사전 답사를 통해 노선을 확인하여 측량계획을 수립하였다. 측량 수행 일은 GPS위성의 배치 및 위성 수 등이 양호한 날을 고려하여 결정하였으며, 장비는 Trimble사의 Pathfinder Pro-XR과 Trimble 4700 장비를 이용하여 임도 중심을 따라 차량이동 및 차량 통행이 어렵거나 통제된 구간에 대해서는 도보로 측량하였다. 동시에 Trimble 4800을 오서산 휴양림 관리소 옥상에 Base station으로 설치하고 노선측량을 수행하는 동안 5초 간격으로 수신하였다. 측정된 자료는 충남 서산에 있는 위성측위 상시관측소에서 제공되는 자료를 이용하여 보정하였다. 다음 그림은 GPS 노선측량 방법과 장비이다.



<그림 3.8> GPS 노선측량 모식도(좌) 및 사용 장비(우)

3. 수치항공사진측량을 통한 임도망도 구축

국립산림과학원에서 제공 받은 2001년 8, 9월에 촬영된 흑백항공사진의 양화 필름을 정밀 스캐닝하여 얻은 수치항공사진을 사용하였으며, 수치항공사진측량 시스템을 통해 임도망도를 입체도화 하였다. 수치항공사진측량을 통한 임도망도 구축과정은 다음 그림과 같다.



<그림 3.9> 수치항공사진측량에 의한 임도망도 추출과정

위 그림에서 항공사진 스캐닝 과정이 가장 쉬운 작업이지만 중요한 작업이다. 이 과정에서 큰 스캐닝 오차가 포함될 수 있으므로 주의해야 한다. 표정작업 역시 전문지식이 요구되는 중요한 과정으로, 이 두 과정에 대해 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

(1) 항공사진 스캐닝

항공사진 스캐닝은 활용 용도에 따라 요구되는 공간해상력을 유지할 수 있도록 설정하여 스캐닝 해야 한다. 예를 들어 공간해상력을 지나치게 높일 경우 데이터의 용량 문제가 발생할 수 있고, 그 반대일 경우 원하는 축척의 지도를 제작할 수 없게 된다. 스캐너는 일반 스캐너가 아닌 정확도가 보장되는 항공사진용 전문 스캐너를 이용하여 수치항공사진으로 변환해야 한다. 이때 항공사진은 인화된 사진보다는 양화필름을 스캐닝하는 방법이 권장된다.

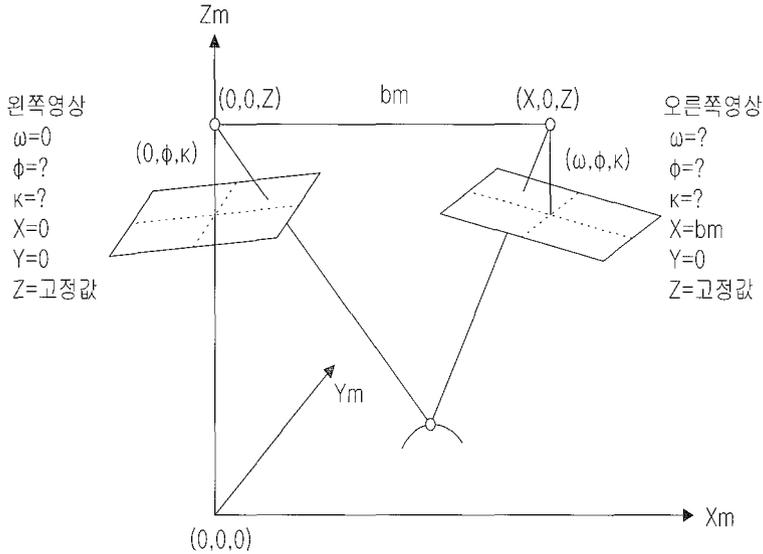
이에 따라 본 연구에서는 국립산림과학원으로부터 연구지역에 대한 항공사진 양화필름을 획득하여 항공사진측량업체의 장비를 지원받아 스캐닝 작업을 수행하였다. 스캐닝에 의해 변환된 수치영상은 수치항공사진측량 시스템을 통해 표정작업을 거치게 된다.

(2) 표정

표정작업은 내부표정, 외부표정(상대표정, 절대표정)으로 구성된다. 먼저 내부표정은 사진촬영 당시 카메라 내부에서 일어나는 현상을 도화기 내에서 재구현하는 과정이다. 내부표정은 두 가지 과정을 거치게 된다. 하나는 카메라의 렌즈 왜곡을 보정하는 것이고, 또 다른 하나는 필름의 수축 등에 의한 변형을 Fiducial Marks를 통해 변환을 실시하는 것이다. 카메라렌즈 왜곡에는 방사왜곡(radial distortion)과 접선왜곡(tangential distortion)이 있는데, 접선방향 왜곡은 방사방향 왜곡에 비해서 거의 무시할 정도로 작아 방사방향 왜곡에 대한 보정을 실시한다. 주로 Multi-collimator을 통한 실험실 검정 방법이 쓰인다.

외부표정은 상대표정과 절대표정으로 나누어진다. 상대표정은 다음 그림 3.10과 같이 동일한 대상지역이 연속적으로 촬영된 사진을 도화기에서 입체영상으로 구현하는 과정이다. 즉, 두 장의 연속사진에서 나타난 같은 대상물의 y-parallax를 제거하여 3차원 입체시를 가능하게 하는 작업이며, 실제 대상공간(Object space)의 축소판인 모델공간(Model space)를 얻게 된다. 3차원 공간에서 얻어진 사진영상은 6개의 표정요소($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$)를 갖는다. 6개의 표정요소는 3개의 위치요소와 3개의 회전요소로 이루어진다. 따라서 항공사진 촬영당시 두 장의 연속사진을 촬영된 상황으로 재현하기 위해서는 총 12개의 표정요소를 결정해야 한다. 그러나, 상대표정은 촬영된 두 장의 연속사진을 상대

적으로만 구현하는 과정이므로 총 12개의 표정요소 중 상호간에 종속적인 표정요소를 제외한 독립적인 표정요소만을 결정하면 된다. 즉, 12개의 표정요소 중 5개의 표정요소만 결정하면 된다.



<그림 3.10> 상대표정 원리

절대표정은 모델의 좌표시스템을 지상의 좌표시스템으로 만들어주는 것을 말한다. 여기서는 7 parameter similarity 변환을 사용한다. 이 때 적어도 세 개의 GCP가 필요하며, 이 세 개의 GCP는 일렬로 배열되어서는 안된다.

$$\begin{bmatrix} X_G \\ Y_G \\ Z_G \end{bmatrix} = S \cdot R \begin{bmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

S : Scale Matrix

R : Rotation Matrix

X_G, Y_G, Z_G : 실제 공간 좌표

X_M, Y_M, Z_M : 모델 공간 좌표

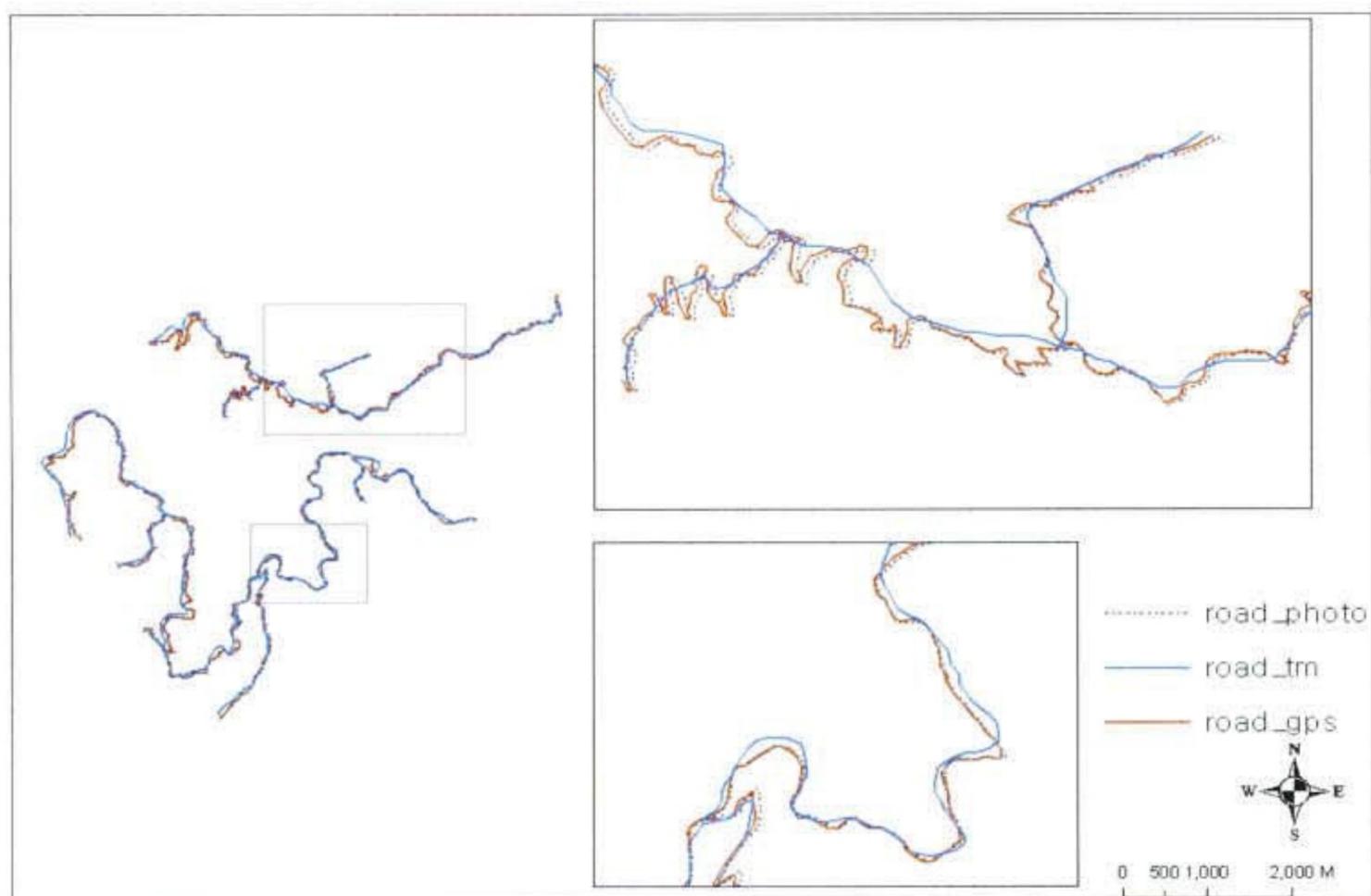
ΔX, ΔY, ΔZ : 평행 이동 요소

외부표정시 필요한 GCP는 GPS 측량을 통해 확보한 데이터를 사용하였다.

4. 임도망도 비교분석

가. 임도망도 위치정확도 비교

세 가지 방법에 의해 구축된 임도망도를 중첩분석을 통해 정확도 비교를 수행하였다. 다음 그림에서 빨간 실선은 GPS 노선측량 임도망도, 검은 점선은 수치항공사진측량 임도망도, 파란 실선은 위성영상 임도망도이며, 빨간선과 검은 점선은 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 실제로 GPS 노선측량결과를 기준으로 버퍼링 기법을 통해 위치정확도를 검증해본 결과 수치항공사진측량을 통한 임도망도는 국유림 임도에서 평균 11.7m, 민유림 임도에서 18.6m의 버퍼안쪽으로 95%의 임도가 들어오는 결과를 보여 주었고, 그에 반해 위성영상에서 추출된 임도는 국유림 임도에서 51.5m 그리고 민유림 임도에서 55.6m의 넓은 범위의 버퍼에서 95%의 임도가 포함되는 결과를 보였다. 또한 지상기준점측량을 통해 위치정확도를 검증해본 결과 GPS 노선측량과 수치항공사진측량 임도망도는 위치정확도가 대부분 10m 이내로 들어움을 확인할 수 있었다. 이는 임도망도의 특성상 허용 가능한 위치오차라고 판단된다.



<그림 3.11> 측량방법에 따른 임도망도 중첩결과

반면 파란 실선의 위성영상 임도망도의 경우 위치정확도는 임도망도의 위치에 대한 요구정확도 수준을 고려할 때 비교적 정확하다고 할 수 있으나, 정밀도 면에서는 상당히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 즉, 임도의 정밀한 굴곡표현 없이 직선으로 표현되는 경우가 많았다. 이것은 테스트 지역의 측량방법별 임도 총 길이 계산을 통해서도 확인할 수 있었는데, GPS 노선측량결과 임도의 총 길이는 약 33.9km이고, 수차항공사진측량결과 임도의 총 길이는 33.7km로 비슷한 반면 위성영상 임도의 경우 27.6km로 짧게 나타났다. 자세한 결과는 다음 표와 같다.

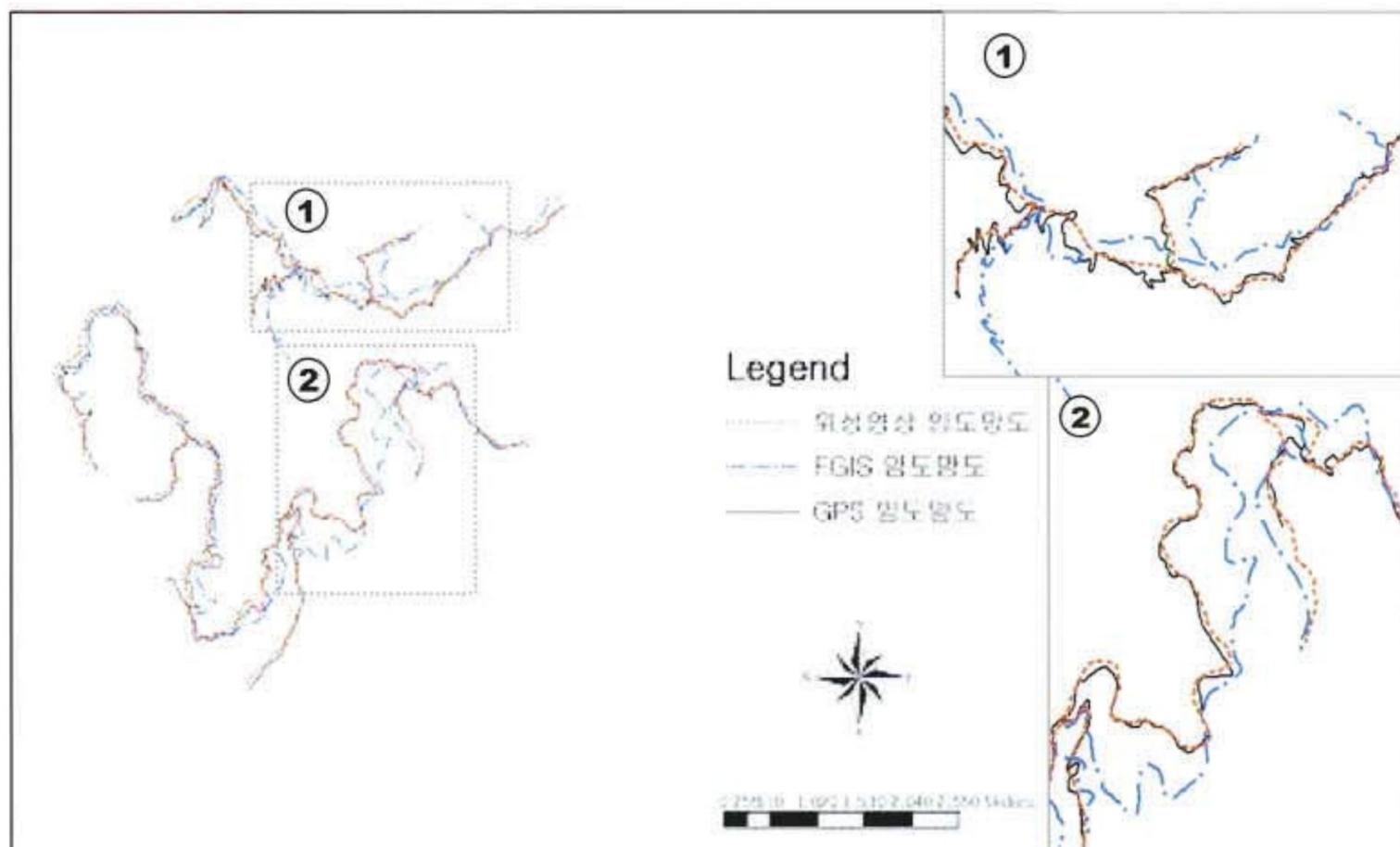
<표 3.1> 측량방법에 따른 임도길이 비교 (단위 : 미터)

	GPS 측량의 수치임도	항공사진의 수치임도	TM 영상의 수치임도
1	1915.1	1880.5	1671.5
2	4563.4	4547.0	4643.9
3	2778.2	2804.3	2437.3
4	3065.0	3032.2	2243.1
5	2125.6	2133.3	1815.4
6	2558.1	2564.7	2120.6
7	1194.2	1222.7	1009.0
8	406.0	395.4	354.1
9	2623.2	2655.6	2307.7
10	621.9	616.3	586.3
11	3146.9	3100.4	2086.8
12	1943.2	1885.5	936.6
13	4206.2	4133.1	3535.7
14	1257.4	1239.6	1065.6
15	1565.3	1580.6	813.5
계	33,969.7	33,791.2	27,627.1

위 표와 같은 결과는 공간해상도가 30m인 중저해상도의 위성영상을 활용함에 따라 이러한 결과가 도출되었다. 이러한 문제는 향후 1m 해상도를 가진 아리랑 2호 위성과 같은 고해상도 위성영상을 활용할 경우 상당부분 해결될 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 위성영상을 활용하는 방법은 수목에 의해 영상에서 임도 확인이 어려워 임도가 누락되는 경우가 발생한다는 문제점을 안고 있는데, 이 또한 나뭇잎이 탈락하는 계절에 촬영된 위성영상을 활용하고, 기존 수치임도 망도를 참고자료로 활용한다면 상당부분 보완할 수 있을 것이다.

나. 기존 수치임도망도와 비교

위성영상, GPS 노선측량을 통해 추출된 임도망도와 기존의 FGIS 수치임도망도를 비교분석 하였다. 다음 그림은 세 임도망도를 중첩한 모습으로, 각각의 임도망도가 정확히 중첩되지 않음을 볼 수 있다. 그림에서 1번 구역을 확대한 그림을 보면 위성영상과 노선측량을 통해 구축된 임도망도는 비교적 일치하는데 반해 기존 임도망도는 그렇지 못함을 알 수 있다. 2번 구역 역시 이런 경향을 볼 수 있는데, 실제로 검증을 위해 GPS 측량을 통해 획득한 GCP 좌표와 비교해 볼 때 기존 임도망도는 위치오차가 심각한 것으로 나타났다. 또한 일부 구간에서는 기존 임도망도에서 일부 임도가 누락되었음을 확인할 수 있었다. 이는 기존 수치임도망도의 구축시기에 따른 것으로 당연한 결과라 할 수 있다.



<그림 3.12> 위성영상, 노선측량 및 기존 FGIS 임도망도의 중첩 비교

다. 임도망도 구축방법의 효율성 비교

GPS를 이용한 측량방법은 임도의 위치정보를 정확하게 파악할 수 있는 방법으로 현재, 국유림관리소 및 지자체에 GPS 장비가 보급되어 있고 향후 노선측량을 계획하고 있어 실무 활용성이 높을 것으로 생각된다. 그러나 측량에 소요되는 시간, 노력, 비용 측면에서는 광범위한 지역의 임도망도를 구축하고자 할 때 위성영상을 활용하는 방법보다는 상당한 어려움이 있다.

항공사진을 이용하는 방법의 경우 위치 정확도면에서 GPS 측량방법으로 얻어진 임도망도와 비교적 유사한 결과를 보여주고 있으며, 측량의 효율적인 측면에 있어서도 수차항공사진측량에 대한 전문적인 지식이 있다면 임도 측량에 있어서 가장 효율적인 방법이 될 수 있다. 그러나 기존 항공사진이 산림자원조사의 목적으로 촬영되었기 때문에 산림울폐도로 인해 사진에서 분명하게 나타나지 않는 임도 구간의 정확도는 다소 떨어질 수 있다.

위성영상을 활용하는 경우 위의 두 방법보다 위치 정확도나 정밀도 면에서는 가장 떨어지지만 기하학적 보정과 같은 기본적인 영상처리과정은 기존 상용 소프트웨어에서 쉽게 처리될 수 있어 광범위의 임도망도 제작시 시간과 비용측면에서 가장 효율적이다. 또한 국내 위성을 통한 영상이 획득되고 있고, 올해 1m 해상도의 고해상도 위성이 계획되어 있어 향후 활용성은 더욱 향상될 것으로 보인다.

따라서 임도망도 구축 방법의 결정은 주어진 여건 즉, 구축할 임도망도의 공간적 범위, 용도, 허용 오차, 시간과 비용 등을 고려하여 각기 다른 측량 방법의 효율성 및 위치정확도의 객관적인 결과를 상호보완적으로 활용한다면 보다 효과적으로 임도망도를 구축할 수 있을 것이다.

제3절 수치표고모형 구축방안

수치표고모형(이하 DEM)은 공간분석을 위한 가장 기초가 되는 데이터로써 공간정보 기술을 활용한 효율적인 임도 유지관리업무를 수행하기 위해서는 필수적인 데이터이다. 따라서 본 연구에서는 연구지역에 대해 DEM을 구축하고, 항공사진의 정사보정이나 산지경사 분석, 수계망 분석과 같은 공간분석 등에 활용하였다.

기존의 DEM 구축방법은 위성영상 활용방법, 수치항공사진측량방법, 수치지도 활용방법, LiDAR 측량방법 등이 있는데, 그 중 범용성을 강조하는 본 연구의 기본 방향에 따라 가장 쉽고 많이 쓰이는 수치지도 활용방법을 통해 연구지역의 DEM을 구축하였다. 또한 가장 최근의 기술로써 많은 관심을 받고 있는 LiDAR 측량방법을 통해 직접 DEM을 구축해 봄으로써 신기술에 대한 장단점 파악 및 향후 활용 가능성에 대해 검토하였다.

1. 수치지도 활용방법

가. 수치지도 활용 개요

수치지도는 도로, 건물, 하천, 지형 등 9개의 대분류로 구성되어 있으며, 다른 주제도 및 특수도의 원시자료로 활용될 뿐만 아니라, 수치표고모형을 제작하는데 많이 사용된다. 각 레이어 코드는 ‘수치지도작성 작업규칙’에 따라 분류되어 있으며 분류체계는 대분류, 중분류, 소분류 등 계층별로 나눈다.

본 연구에서는 수치표고모형 추출을 위해 지형에 해당하는 레이어를 선별하여 사용하였으며, 도로 레이어의 경우 임도 유지관리등급 분류를 위한 경관분석에 있어 관찰지점을 추출하기 위해 사용하였다. 다음 표는 수치지도 레이어의 대분류와 중분류를 보여주고 있으며, 다음 그림은 모든 레이어를 포함하는 수치지도와 지형에 해당하는 레이어만을 추출한 수치지도를 보여주고 있다.

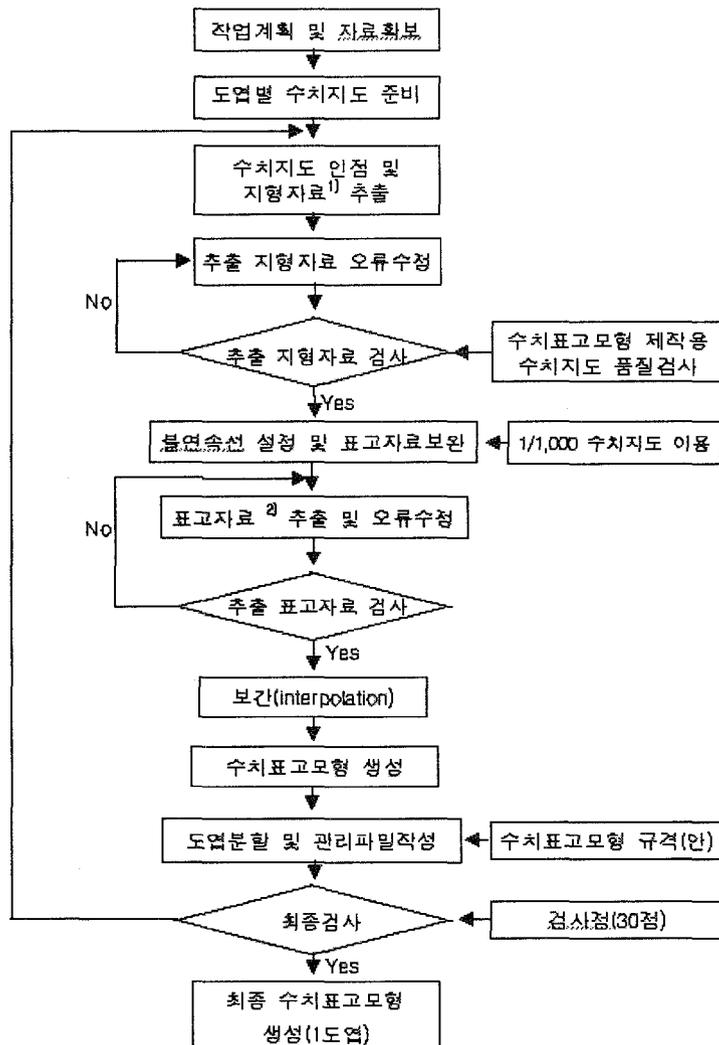
<표 3.2> 수치지도 레이어 분류 및 내용

대분류	중분류	내용	대분류	중분류	내용
1(철도)	11	선로	5(지류)	51	경계
	12	철도시설		52	녹지기호
2(하천)	21	수부		53	기타기호
	22	하천시설	6(시설물)	61	경계
	23	수부지형		62	목표물1
3(도로)	31	도로경계		63	목표물2
	32	도로중심	7(지형)	71	등고선
	33	도로시설		72	지형표현
	34	표지 및 도로번호		73	기준점
4(건물)	41	경계		8(행정 및 지역경계)	81
	42	행정기관	82		지역경계
	43	산업	9(주기)	91	지형, 지물
	44	문화, 교육		92	행정지물
	45	서비스			
	46	의료, 후생			



<그림 3.13> 모든 레이어 포함(좌) 및 지형 데이터 추출 수치지도(우)

수치지도에서 수치표고모형을 제작하기 위해서는 지형 레이어의 등고선 및 표고점을 추출한 후 보간과정을 거쳐 생성하게 된다. 이때 지형을 연속적인 함수로 표현하기 위해 주어진 기지점들로부터 정보가 없는 지형의 고도값을 최적의 방법으로 추정하기 위해 보간법이 사용되는데, 많이 사용되는 보간법은 Kriging이나 TIN(Triangulated Irregular Networks), IDW(Inverse Distance Weight) 기법 등이 있다. 다음 그림은 수치지도를 활용한 수치표고모형 구축 과정을 보여준다.

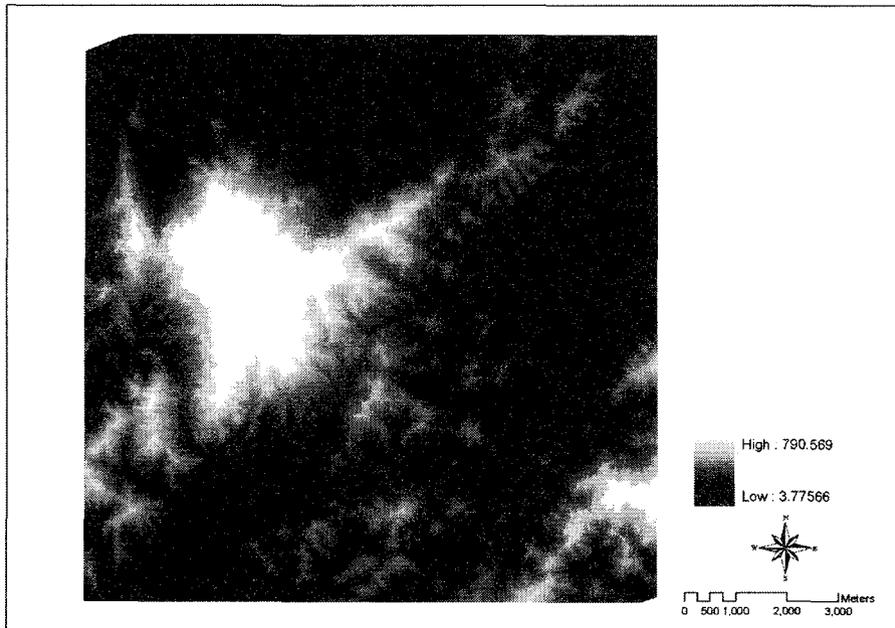


<그림 3.14> 수치지도를 이용한 수치표고모형 제작 방법

나. 연구지역 수치표고모형 구축

수치표고모형을 제작하기 위해 우선 연구지역에 대한 20도엽의 1/5,000 수치지도로부터 표고와 관련된 레이어를 추출하였다. 표고에 해당하는 레이어로는 주곡선 및 계곡선 등의 등고선과 등고선 간격이 넓은 지역은 표고점을 사용하였다. 수치지도 제작과정에서 등고선이나 표고점의 고도 값이 잘못 입력된 경우와 인접 도엽의 정합부분에서 나타나는 오류 등을 검·보정하였다.

최종 편집된 등고선과 표고점 자료를 이용하여 이를 TIN 보간을 통해 여러 가지 분석에 적합하도록 지표면을 일정 면적의 1×1(m)로 하는 격자형 DEM을 구축하였다. 다음 그림은 이렇게 구축된 연구지역에 대한 수치표고모형으로 최소표고 3.78m에서 최대표고 790.56m의 분포를 보인다.



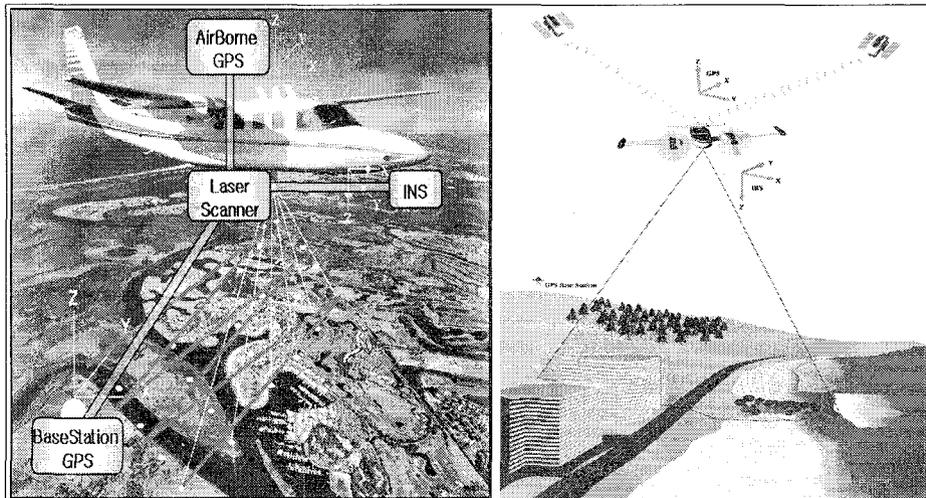
<그림 3.15> 수치지도를 활용하여 구축한 연구지역 수치표고모형

2. LiDAR 측량

가. LiDAR 측량 원리

LIDAR(Light Detection And Ranging)의 원리는 초당 수만 차례의 레이저 펄스를 지표면으로 발사한 후 지표면에 반사되어 돌아오는 펄스의 도달 시간을 이용하여 항공기와 반사체간의 거리를 관측하는 것이다. 이와 같은 원리를 바탕으로 레이저 펄스를 발사하는 발사체의 위치를 파악함으로써 반사체의 위치를 역추적하여 반사체의 위치 즉, X, Y 좌표와 표고를 알 수 있는 것이다.

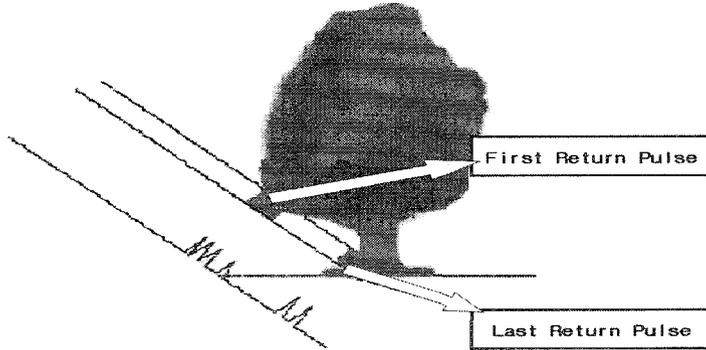
항공기에 LiDAR 장비를 장착한 항공레이저측량(Airborne Laser Terrain Mapping; ALTМ) 시스템은 주로 측량용으로 많이 상용되며, 이것은 항공 레이저 스캐너(Airborne Laser Scanner)와 GPS(Global Positioning System), 그리고 INS(Inertial Navigation System)의 크게 3부분으로 구성되어 있다. GPS는 레이저 펄스 발사체의 위치 즉, 항공기의 정확한 위치정보를 확보하기 위한 시스템으로써 주로 지상의 Base Station과 함께 GPS신호를 수신하는 DGPS방식으로 적용된다. INS(Inertial Navigation System)는 비행중인 항공기의 자세(좌우요동: roll, 전후요동: pitch, 수평요동: yaw)에 대한 정보를 관측하기 위한 것이며, 이를 통해 반사체의 위치를 더욱 정확하게 알아 낼 수 있다.



<그림 3.16> 항공레이저측량 개념도

나. LiDAR 측량의 장점

항공사진과 같은 수동적 센서 시스템은 수목이 울창한 산림지역일 경우 나무 상부만 촬영되고 나무 아래의 지표면은 표현되지 않아 도화가 불가능하게 된다. 하지만 LiDAR는 능동적 센서 시스템으로서 투과성이 강하여 지상물을 통과하기 때문에 일부의 광선은 반사되고 나머지 광선이 다른 지상물에 반사되는 현상이 나타나며, 다음 그림과 같이 이로 인해 한 방향에 대하여 다수의 반사광이 시간차를 두고 관측되는 멀티에코(multi-echo)현상이 발생하게 된다. 이러한 멀티에코 현상을 통해 하나의 지상점에 대해 두 개 이상의 고도 정보가 기록될 수 있으며, 이에 따라 지표의 표고와 나무의 수관 높이를 알 수 있게 된다. 이런 특성이 DEM을 구축하는데 있어 LiDAR 측량의 중요한 장점이 된다.



<그림 3.17> 멀티에코를 통한 지표의 표고와 수관 높이 측정 개념

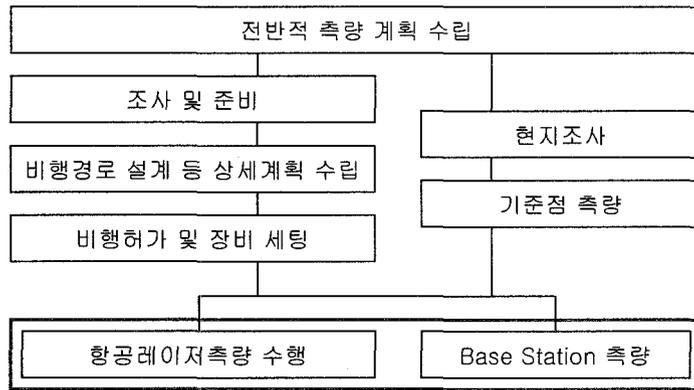
항공레이저측량은 항공사진측량과 같은 기존의 측량방법에 비해 많은 장점을 가지고 있다. 다음 표는 항공레이저측량이 갖는 장점을 정리한 것이다.

<표 3.3> 항공레이저측량의 주요 장점

장 점	내 용
정확성	정확한 자료 획득기능(수평정확도 비행고도의 1/2,000, 높이정확도 30cm 이내)
신속성	처리과정 단순, 획득된 데이터의 자동처리 가능
생산성	태양광에 독립적으로 보다 쉽게 넓은 지역에 대한 데이터 획득 가능
통합성	기존 항공사진, 위성영상, SAR, 수치지도 등 다양한 자료와 통합 가능
용이성	항공기나 헬기에 장착(소요시간 2시간 이내) 가능

다. LiDAR 측량 절차

항공레이저측량을 수행하기 위해서는 세밀한 계획수립과 현지조사, 지상측량 등의 사전작업이 필요하며, 측량이 진행되는 동안에는 지상에 설치한 Base Station에서도 동시에 GPS 신호를 수신해야 한다. 항공레이저측량 절차는 다음 그림과 같다.



<그림 3.18> 항공레이저측량 작업 흐름도

1) 계획 및 준비

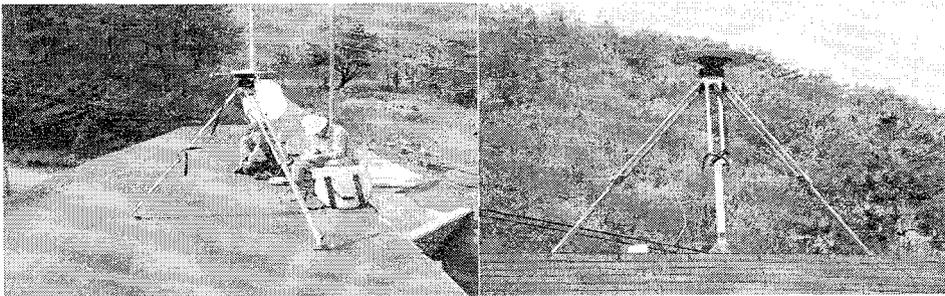
측량의 원활한 수행을 위해 먼저 전체 공정에 대한 사항을 계획하고 필요한 요소를 준비하며, 비행 계획 및 지상측량 계획에 대해 충분히 고려하여 전반적인 측량 계획을 수립한다. 이때 데이터의 사용용도에 따라 적합한 공간해상도와 횡중복도를 정하고, 전체 촬영면적 대비 단위 면적당 점밀도를 계산하여 총 자료의 양과 작업시간 등을 산출하여 작업일정과 정확도 확보방안 등을 수립하는 것이 중요하다. 이와 같은 전반적인 계획을 세운 후에는 이를 바탕으로 비행경로를 설계하는 등 상세 계획을 수립한다.

상세 계획시에 중요하게 고려되어야 하는 것은 항공기를 이용한다는 특성에 따라 기상을 확인하는 것이 무엇보다 중요하다. 또한 항공레이저측량 시스템은 GPS를 포함하기 때문에 이에 대한 대비도 해야 한다. 이를 확인할 수 있는 것이 PDOP(Positional Dilution of Precision)와 위성 수이다. 우선 PDOP는 GPS

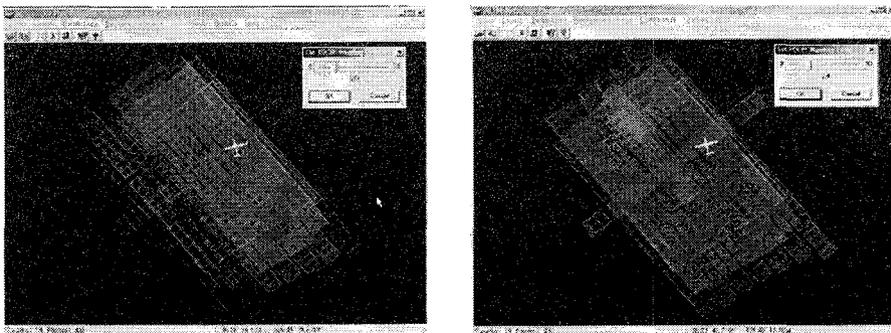
위성의 배치 정보를 수치로 표현한 값으로, 얼마나 양호한 데이터를 획득할 수 있는지를 알려주는 기준으로 PDOP가 2 이하면 매우 안정적인 것이다. 위성 수는 PDOP와 밀접한 관계에 있지만 그와는 별도로 얼마나 많은 위성으로부터 신호를 수신할 수 있느냐의 문제로 위성 수가 많을수록 좋다.

2) 항공 측량

항공레이저측량을 위한 비행을 시작하면, 같은 시간에 지상에서는 다음 그림과 같이 Base Station을 설치하고 GPS 신호를 동시에 수신한다. Base Station 설치장소로는 LIDAR 데이터는 물론 항공사진에서도 식별이 가능한 지역을 선택한다. 또한 측량 당일의 비행 스트립별 PDOP 현황을 파악하여야 한다. PDOP가 안정적으로 유지되어야 고품질의 데이터를 확보할 수 있다. 다음 그림은 측량 당일의 PDOP 현황을 보여준다.



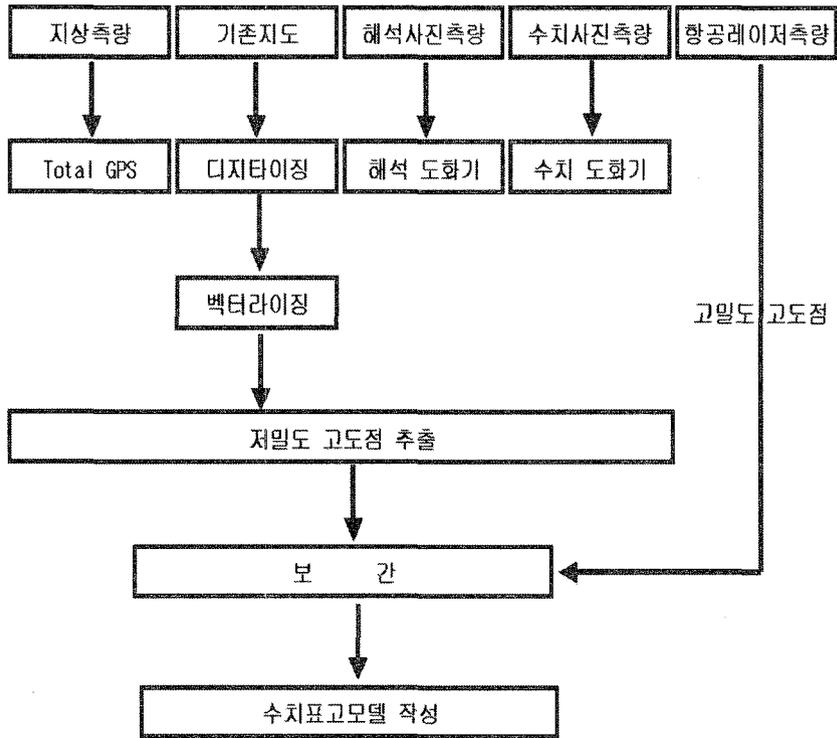
<그림 3.19> Base Station 설치 모습



<그림 3.20> 비행 스트립별 PDOP 상태

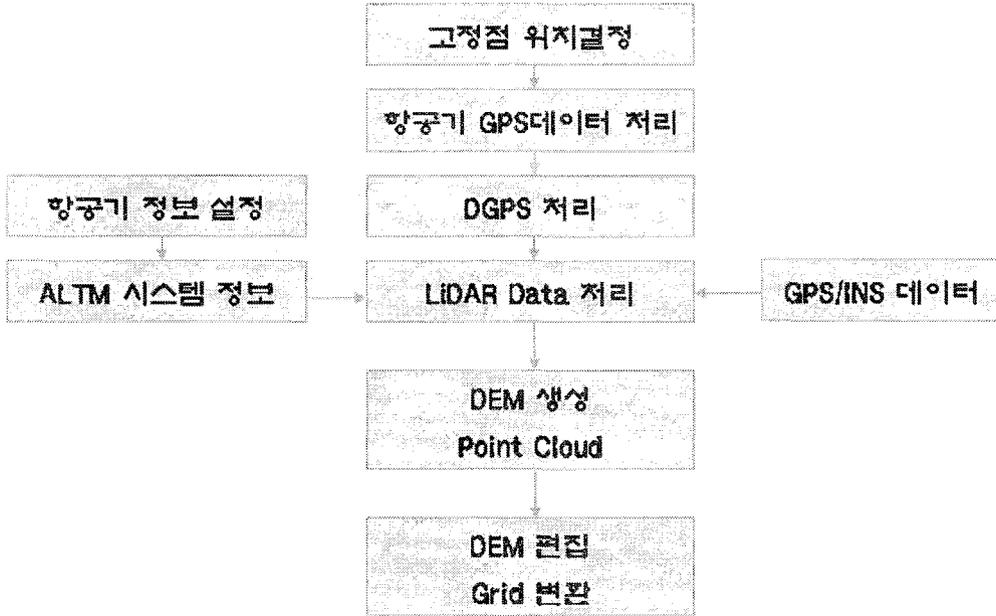
3) 데이터 전처리

항공레이저측량에 의해 획득한 데이터는 최종 성과로 DEM을 추출하기 위해 내업의 과정으로 데이터 전처리를 수행하게 된다. 항공레이저측량에 의한 DEM 추출은 기존의 항공사진측량에 의한 방법이나 수치지도를 이용한 DEM 추출 등의 방법보다 훨씬 간단하다. 다음 그림은 항공레이저측량과 기타 다른 방법 간의 DEM 추출과정을 비교한 것이다.



<그림 3.21> 항공레이저측량과 기타 측량방법에 의한 DEM 추출과정 비교

항공레이저측량의 전처리 과정은 다음과 같다.



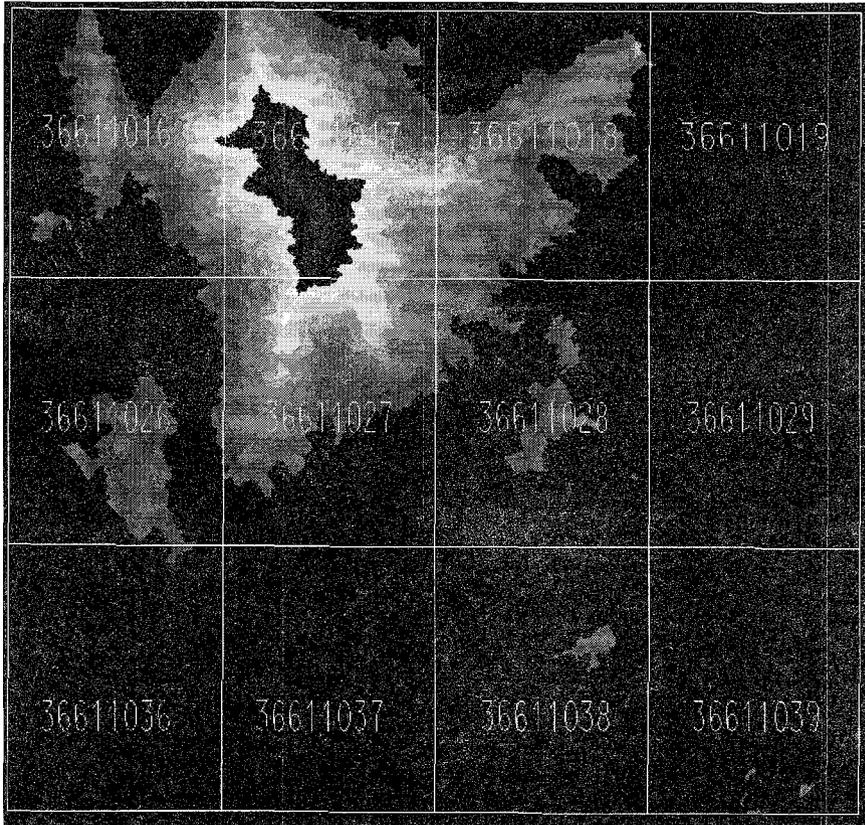
<그림 3.22> 항공레이저측량 데이터 처리 흐름도

전처리가 완료되면 Point Cloud 데이터가 생성되고, 이 자료를 통해 비행 측선별 평가를 수행한다. 비행경로별 데이터는 비행경로에 따라 50% 정도의 중첩율을 가진다. 이 중첩된 비행측선 간에는 동일한 지형지물에 대한 측량 결과가 완전히 일치할 수는 없다. 따라서 그 차이가 클 경우 대상지역 내에서 특이점 측량 및 프로파일 측량을 실시하고 그 결과와 일치하도록 비행측선을 조정하여 최종 성과물의 정확도를 향상시킬 수 있다.

4) 연구지역 수치표고모형 구축

생성된 Point Cloud 데이터는 튀는점을 소거하고 건물영역과 지형영역으로 분류한 후, 보간을 통해 최종 DEM을 생성한다. 이 과정을 간단히 나열해 보면, 데이터 확인, 튀는점 소거, 보간(interpolation), DEM 생성의 과정이 된다. 이 과정 중 보간의 경우 LiDAR 데이터는 간격이 불규칙한 점자료이기 때문에 점이 편중되거나 비는 지역이 생기게 된다. 이 때 점이 비는 지역에 대해서는 보간을 하게 되며, 마찬가지로 자료 분류를 통해 건물 등 인공구조물들이 제거된 부분

에 대해서도 보간이 이루어진다. 보간방법으로는 TIN 방법을 사용하였다. 다음 그림은 본 연구를 통해 구축된 DEM 영역을 보여준다.



<그림 3.23> 항공레이저측량에 의해 생성된 DEM

항공레이저측량을 통해 구축된 DEM의 위치 정확도는 수십cm 정도로 매우 정확하다, 다만 스트립 사이를 보간으로 구현하였기 때문에 능선이나 계곡처럼 경사가 심한 경우, 비교적 그 정확도가 떨어질 수 있다는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 측정율을 높이거나 면적 단위의 고도를 측정하는 방법 등이 시도되고 있다.

제4절 임도 시설물데이터 구축

임도 시설물은 임도상에 존재하는 모든 시설물로서 측구, 배수관, 물넘이포장과 같은 배수시설과 돌쌓기, 돌망태, 파종과 같은 사면시설물, 기타 차단기, 안내판, 표주, 화장실 등이 포함되며, 본 연구에서는 임도의 공익적 기능 즉, 교통이나 휴양목적 등을 고려하여 노면 상태, 노면 폭은 물론 회차가능구간, 교차가능구간, 등산로접점, 경관조망지점까지 조사하여 시설물데이터로 구축하였다. 다음 그림은 본 연구를 통해 구축한 연구지역의 시설물데이터 목록을 나타낸다.



<그림 3.24> 연구지역의 임도 시설물데이터 목록

구축방법은 먼저 GPS 측량을 통해 위치정보를 획득하고, 해당 시설물에 대한 사진촬영과 상태정보를 야장 기록을 통해 획득하였으며, 매설된 시설물 등 눈으로 확인이 어려운 시설물에 대해서는 설계서가 있는 경우 이를 참조하여 데이터를 구축하였다. 이렇게 구축한 시설물데이터는 임도 유지관리시스템을 통해 DB화함으로써 실제로 유지관리업무에 활용될 수 있도록 하였다.

1. 연구지역 임도 시설물 측량

2004년 11월 24일부터 25일까지 양일간에 걸쳐 임도상의 시설물에 대해 GPS 측량을 실시하였다. GPS 측량은 Trimble사의 GeoExplorer라는 장비로 지리정보시스템용 측량장비를 이용하였다. 본 측량장비는 위치정확도 면에서 기존 측량전용 장비보다 성능이 떨어지는 단점이 있지만 휴대가 간편하고, 사용이 편리하다는 장점이 있다. 그리고 시설물 측량의 경우 센티미터 단위의 정밀한 측량을 실시할 필요가 없기 때문에 미터 단위의 정확도를 확보할 수 있는 본 장비를 사용하여 측량하였다. 다음 표는 측량개요 이다.

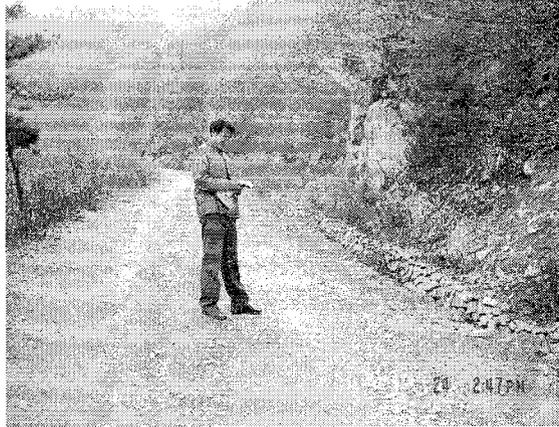
<표 3.4> 시설물 측량 개요

측량일자	2004년 11월 24일, 25일
측량장비	GeoExplorer 2대
측점 수	505점

측량은 GPS 장비를 가지고 임도노선을 따라 도보로 이동하며, 시설물 위치에 서 GPS 신호를 수신하여 측량하였다. 본 측량에 사용된 GPS 장비는 측량정확도와 측량환경에 따라 장비 설정을 할 수 있다. 본 측량을 위해 GPS 위성의 기하학적 배치를 나타내는 지표인 PDOP는 6이하, 신호의 최대 양각인 Elevation Mask는 15도 이하, 한 지점에서 받는 신호 개수인 Epoch 수는 10개, 신호의 수신 간격은 1초로 설정하여 측량을 실시하였다.

<표 3.5> GPS 수신기 설정

장비 설정	설정 값
PDOP	6이하
Elevation Mask	15도 이하
Epoch 수	10개
수신 간격	1초



<그림 3.25> 임도 시설물 측량 모습

본 측량에서 사용한 장비는 측점의 번호만을 입력할 수 있기 때문에 다음 그림과 같은 관측야장을 작성하여 측점번호와 측량 대상물이 일치하도록 하였다. 관측야장은 측점번호와 측량 대상물을 촬영한 디지털 카메라의 사진번호를 입력할 수 있는 란과 신속한 측량을 위해 시설물의 종류를 체크할 수 있도록 한 시설물 리스트, 그리고 메모란으로 구성되어 있다.

No. _____

임도 시설물 관측야장

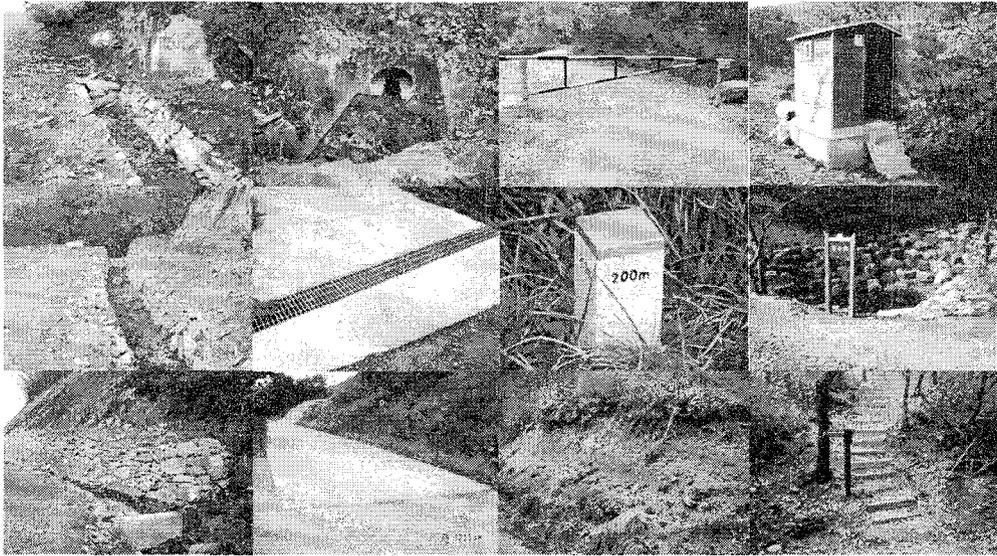
작성자 : _____

관측일 : 2000년 11월 ___ 일

측점번호		사진번호			
시설물명	Check	시설물명	Check	시설물명	Check
경도		편석		보수지점 시점	
경로		분류통행		보수지점 종점	
정류소		종차파출		차량표지 기준 지점	
육구		인내물		물저기둥 지점	
비수관		자단기		승원	
검수장		표주		자연학습장	
박스		벽지		삼일목장	
물넘이포장		경지		산책로 길목	
식목		과중실		등산로 길목	
울벽		사방댐		비오물	
사잇돌망태		막사		경관조망 지점	
계원돌방거		혈거장			
보개벽		구조개량 시점			
박스널개벽		구조개량 종점			
교량		노면상태 변경구간			

<그림 3.26> 임도 시설물 측량에 사용된 야장

GPS 측량과 동시에 디지털 카메라를 이용하여 시설물 마다 사진 촬영을 수행하였다. 다음 그림은 시설물데이터 구축을 위해 촬영된 사진 예이다.



<그림 3.27> 임도 시설물 사진촬영 예

2. 측량 데이터 처리

연구지역을 대상으로 전체 505개 시설물을 측량하였으며, 측량 결과를 처리하기 위해 Trimble사의 GPS Pathfinder라는 프로그램을 이용하여 측량 데이터를 처리하였다. 본 측량에서 사용한 수신기는 1주파 수신기임으로 측량 결과만 처리했을 경우 위치 오차가 크게 나타날 수 있어, DGPS 처리를 위해 연구지역에서 가장 가까운 서산 GPS 상시관측소 자료를 함께 이용하여 처리하였다.

DGPS 처리한 결과는 다음 표와 같이 측점명, 표준편차, 남북방향의 TM좌표, 동서방향의 TM좌표, 측점 ID 등의 순서로 처리되어진다. 이때 표준편차는 측량 환경이 좋을수록 낮게 나오는데 표준편차가 10 이하인 측점만 시스템에 입력할 자료로 사용하였다. 다음 표는 측량 결과의 일부이다.

<표 3.6> 연구지역의 임도 시설물에 대한 GPS 측량결과 예

11월 24일 A팀 1번째 측량결과				
COMMENT	STD_DEV	NORTHING	EASTING	POINT_ID
R112400A.cor	2.358340	328644.357	170642.104	1
R112400C.cor	2.553705	328616.184	170676.355	2
R112400D.cor	2.699725	328593.602	170697.805	3
R112400E.cor	6.045565	328589.802	170712.464	4
R112400F.cor	2.215219	328570.028	170715.156	5
R112400G.cor	2.402929	328608.688	170728.078	6
R112400J.cor	5.045855	328633.077	170724.944	7
R112400L.cor	4.000273	328684.608	170730.885	8
R112400M.cor	3.542191	328708.207	170737.576	9
R112400N.cor	1.978981	328727.074	170728.315	10
R112400O.cor	3.728326	328734.091	170718.993	11
R112400P.cor	4.468557	328734.520	170714.747	12
R112400Q.cor	0.688222	328742.031	170709.335	13
R112400R.cor	2.167699	328736.203	170697.681	14
R112400S.cor	5.536805	328749.749	170683.627	15
R112400T.cor	1.493903	328752.569	170664.499	16
R112400U.cor	3.847246	328758.721	170644.918	17
R112400V.cor	6.879596	328769.346	170635.073	18
R112400W.cor	1.044822	328771.024	170633.475	19
R112400X.cor	3.070110	328771.785	170632.763	20
R112401A.cor	0.507495	328764.623	170615.504	21
R112401B.cor	2.540649	328770.459	170543.538	22
R112401C.cor	6.507036	328776.849	170531.025	23
R112401D.cor	1.311812	328774.647	170510.456	24
R112401E.cor	3.342200	328801.036	170479.880	25
R112401F.cor	3.502359	328799.066	170482.094	26
R112401G.cor	1.427705	328808.072	170477.663	27
R112401H.cor	2.706117	328818.256	170449.909	28
R112401J.cor	1.487974	328828.595	170438.432	29

여 백

제 4 장 임도 유지관리등급체계 개발

제1절 유지관리등급체계 개발 개요

임도를 효율적으로 유지관리하기 위한 방안으로 미국 사례에서와 같이 유지관리 등급을 통한 관리방안에 대해 연구를 수행하였다. 이를 위해 먼저 유지관리등급에서 중요하게 고려되어야 할 사항에 대해 분석하였으며, 그 결과 임도는 재해로부터 안전해야 하며, 임도 본연의 임무인 시업에 충실해야 하며, 최근 중요성이 강조되고 있는 환경 친화적이고 휴양과 같은 공익적 기능을 만족할 수 있어야 한다는 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 이와 같은 세 가지 요소를 고려하여 붕괴위험요소, 시업요소, 경관요소를 임도 유지관리를 위한 세부 유지관리등급으로 선정하여 연구를 수행하였으며, 최종적으로 세부 등급을 종합하여 총괄 등급(임도 유지관리등급)을 분류하였다. 다음 표는 본 연구에서 제시하는 임도 유지관리등급체계 및 각 세부 등급별 분석 인자를 보여준다. 세부 등급별 분석 인자 선정에 대한 내용은 다음 제2절에서 좀 더 자세히 설명하였다.

<표 4.1> 임도 유지관리등급체계 및 세부 등급별 분석 인자

총괄 등급	세부 등급	분석 인자
임도 유지관리등급	붕괴위험등급	사면경사도
		사면방위도
		임도위치
		임도 종단물매
		사면피복도
		절·성토 사면 경사
		절·성토 사면 길이
		겉보기 토질
		임도노폭
	시업등급	벌목
		간벌
	경관등급	내부경관(임도->외부)
		외부경관(외부->임도)

각각의 세부 등급별로 살펴보면, 먼저 붕괴위험등급에 대한 것으로, 임도 붕괴는 산악지형에서 임도를 개설하기 위해 절취된 사면이 불안정하여 발생하는 경우가 대부분으로, 이는 임도의 제반 기능을 약화시키고 있어 최근 진행되는 임도 구조개량 및 유지보수 사업에서도 절·성토사면의 안정에 주안점을 두어 실시하고 있다. 그럼에도 불구하고 대부분의 임도에서는 붕괴위험에 대해 일시적이고 제한적인 예방조치로 매년 반복해서 발생하고 있는 등 사실상 이에 대한 효율적인 관리가 제대로 이루어지지 않고 있다. 이러한 사항을 고려하여 우선적으로 임도 붕괴와 밀접하게 관계된 임도 주변 절·성토사면의 안정성 여부에 대해 분석하였다. 사면 안정성여부는 다양한 기준에 따라 결정될 수 있는데, 기존 연구사례에서 제시된 임도 주변의 절·성토 사면 붕괴와 관련된 인자 및 붕괴 예측 기준을 적용하였고, 임도에 설치된 옹벽이나 사면 녹화와 같은 시설물 설치 상황에 따라 등급조정을 하였다.

두 번째는 임도의 시업등급에 대한 것으로, 시업은 임도 개설의 주된 목적 중 하나로서 임도는 산림에서 목재의 생산이나 무육작업 등 다양한 시업활동을 원활히 하기 위해 설치한 도로이다. 때문에 임도는 그 구조적인 안정성이나 편리성 뿐만 아니라 시업의 대상이 되는 임분과의 접근성이 얼마나 좋은가도 매우 중요한 요소이다. 따라서 효율적인 산림경영을 수행하기 위한 필수적인 산업기반 시설로서 기능을 제대로 수행할 수 있도록 유지 관리될 수 있는지의 여부를 판단하여 별채 및 간벌 시업지에 대한 임도의 접근성을 분석하였다.

마지막으로 임도의 공익적 측면 즉 경관등급에 대한 것으로, 최근 여가시간의 증대 및 건강 증진에 대한 관심이 고조되어 삼림욕 및 산림휴양 등의 목적으로 산림을 이용하는 경우가 많아지고 있다. 이러한 목적 하에 임도를 따라 산행하는 경우 주변 경관의 아름다움과 더불어 임도의 공익적 기능을 확대할 수 있는 조망지점으로서 임도의 중요성이 인식될 수 있다. 다른 한편으론 임도는 산림 지역에 개설되는 인공구조물로서 산림경관을 훼손하기 쉽다. 특히 절취된 임도 주변 사면은 산림 경관을 훼손하는 주된 요인으로 임도 개설에 대한 부정적인 요소로 인식될 수 있다. 따라서 산림휴양, 삼림욕, 그리고 레크레이션 등 산림의 공익적 기능을 적절하게 수행할 수 있고, 산림경관 훼손을 최소화하는 임도 유지관리 여부를 분석하였다.

제2절 세부 등급분류를 위한 인자 추출

1. 인자 추출을 위한 기반데이터 구축

본 연구에서는 임도의 유지관리등급을 분류하기 위해 세부 등급별로 공간분석 인자를 선정하고, 항공사진과 같은 공간데이터를 통해 인자를 추출하였다. 예를 들면, 임도 붕괴위험도에 가장 큰 영향을 미치는 요인 중의 하나가 '사면경사'라는 기존 연구결과에 따라 '사면경사'를 임도 붕괴위험등급 분류를 위한 공간분석 인자로 선정하고, 이를 분석하기 위해 항공사진으로부터 '사면경사'를 추출하였다.

이 때 항공사진과 같이 인자를 추출하는데 활용되는 데이터를 본 연구에서는 기반데이터라고 하였으며, 항공사진과 수치지도, 임상도, 정밀토양도, 산림이용기본도 그리고 항공사진과 수치지도로부터 추출한 정밀 임도망도와 수치표고모형이 기반데이터가 된다. 이러한 기반데이터를 통해 추출된 '사면경사'는 붕괴위험등급 분류를 위한 공간분석 인자가 된다. 다음 표는 세부 등급별로 선정된 인자와 이 인자를 추출하기 위해 사용된 기반데이터 목록을 보여준다.

<표 4.2> 임도 유지관리 세부 등급별 인자 및 기반 데이터 목록

세부 등급	분석 인자	기반데이터
붕괴위험등급	사면경사도	항공사진 수치지도 임도망도 DEM 임상도 정밀토양도 산림이용기본도
	사면방위도	
	임도위치	
	임도 종단물매	
	사면피복도	
	절·성토 사면 경사	
	절·성토 사면 길이	
	겉보기 토질	
	임도 총 노폭	
사업등급	별목	
	간벌	
경관등급	내부경관(임도->외부)	
	외부경관(외부->임도)	

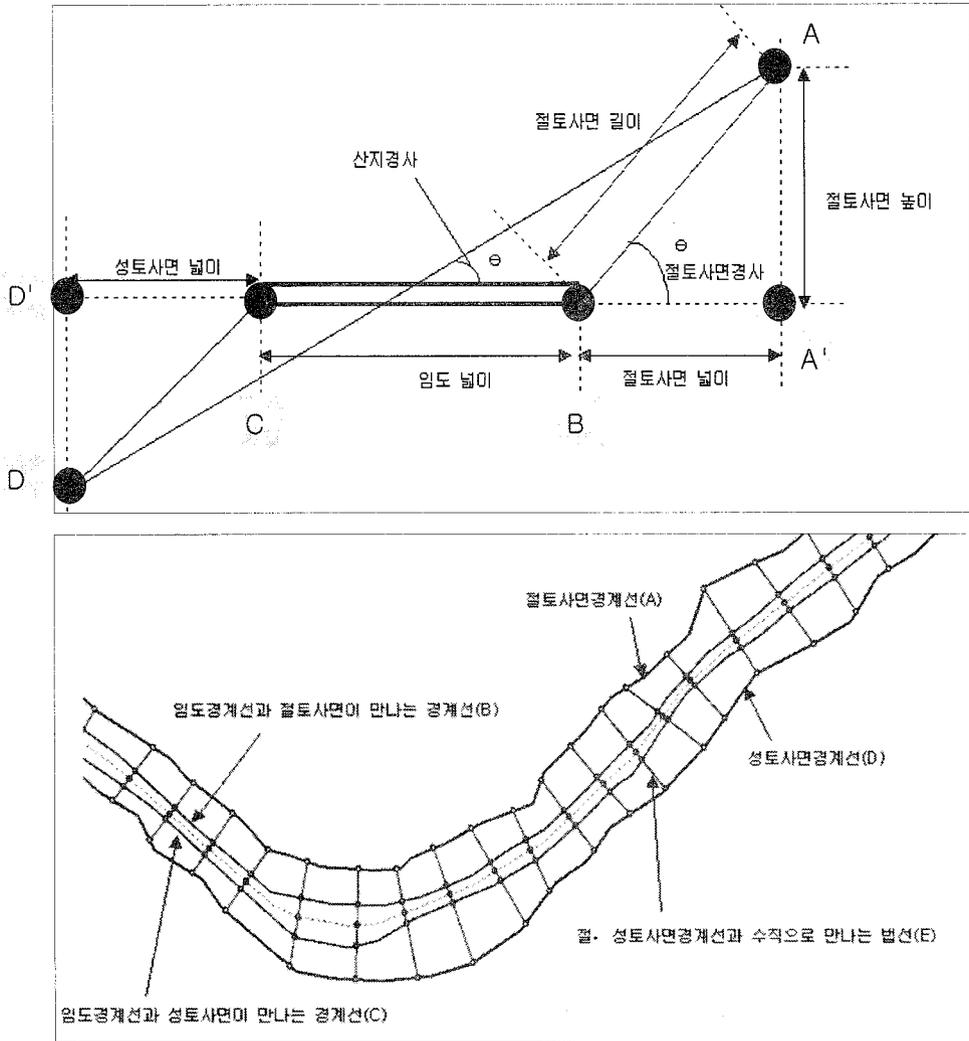
2. 세부 등급 분류를 위한 인자 추출

가. 붕괴위험등급 분류 인자 추출

임도 붕괴위험등급 분류를 위한 공간분석 인자는 기존 임도사면 붕괴에 관한 연구 중 농림부 과제로 진행되었던 “임도의 붕괴 위험도 예측을 위한 전문가시스템 개발(2000)” 연구보고서에서 제시한 인자를 중심으로 절토사면붕괴 관련 인자와 성토사면붕괴 관련 인자를 선정하여 분석하였다. 다음은 본 연구에서 붕괴위험등급 분류를 위해 선정한 인자들과 각 인자에 대한 간단한 설명이다.

- 임도 총 노폭(m) : 측구와 노폭을 포함한 횡단 길이
- 절·성토사면길이(m) : 임도와 사면이 만나는 지점에서 사면부 끝점까지의 거리
- 절·성토사면경사($^{\circ}$) : 절·성토사면의 기울기
- 종단물매($^{\circ}$) : 임도 중심선의 기울기
- 임도위치 : 임도가 개설된 위치로 사면부, 계곡부, 능선부로 분류
- 산지사면 : 산지사면 방위로 8방위로 분류
- 사면종단면형 : 절·성토 사면의 형태로 볼록형, 오목형, 직선형으로 분류
- 산지경사($^{\circ}$) : 임도 절토사면 끝점과 성토사면 끝점을 연결하는 직선의 기울기
- 겹보기토질 : 절·성토 사면의 겹보기 토질
- 식생피복율(%) : 절·성토 사면의 식생피복율

이와 같은 임도 붕괴위험 인자들은 다음 그림에서 정의된 임도의 기하학적 구조 특성에 따라 추출되었다. 임도의 기하학적 구조에서 임도 경계에 해당하는 B와 C, 그리고 절·성토 사면 경계에 해당하는 A와 D를 항공사진을 이용하여 입체 도화하였고, 임도 중심선은 임도 경계선 B와 C 사이를 이등분하는 선으로 하였다. 다음 그림은 임도 구조의 횡단면도와 평면도를 보여주고 있다.



<그림 4.1> 임도 구조의 기하학적 특성(횡단면도(상), 평면도(하))

임도 붕괴위험 인자를 추출하기 위해 우선, 위의 그림을 기준으로 1) 절·성토사면 경계선(A, D)을 수직으로 연결하는 법선(E)을 생성하였으며, 2) 절·성토사면 경계선(A, D) 및 임도경계선과 절토사면이 만나는 경계선(B, C)에서 법선(E)이 교차하는 지점의 평면위치를 추출 하였다. 그리고 3) 이 교차지점 위치에 해당하는 높이 값을 수치표고모형에서 추출하고 다음 식을 적용하여 절·성토사면 넓이와 절·성토사면 높이를 산출하였다. 이는 기본적으로 임도 붕괴위험 인자를 추출하는데 이용되었다.

- 절토사면넓이 : $(A'B) = ((A' \text{ 지점의 } X\text{좌표} - B \text{ 지점의 } X\text{좌표})^2 + (A' \text{ 지점의 } Y\text{좌표} - B \text{ 지점의 } Y\text{좌표})^2)^{0.5}$
- 성토사면넓이 : $(CD') = ((C \text{ 지점의 } X\text{좌표} - D' \text{ 지점의 } X\text{좌표})^2 + (C \text{ 지점의 } Y\text{좌표} - D' \text{ 지점의 } Y\text{좌표})^2)^{0.5}$
- 절토사면높이 : $(AA') = (A \text{ 지점의 고도 값} - A' \text{ 지점의 고도 값})$
- 성토사면높이 : $(DD') = (D \text{ 지점의 고도 값} - D' \text{ 지점의 고도 값})$

(1) 절 · 성토사면길이

절 · 성토사면길이는 위 그림에서 임도 경계선과 절 · 성토 사면이 만나는 지점(B, C)에서 각각 절 · 성토사면의 끝점(A, D)을 수직으로 연결하는 직선거리 BA'는 절토사면길이이고, CD'는 성토사면길이를 나타내며, 다음 식을 이용하여 추출하였다.

- 절토사면길이(AB) = $(A'B^2 + AA'^2)^{1/2}$
- 성토사면길이(CD) = $(CD'^2 + DD'^2)^{1/2}$

여기서 A'B : 절토사면넓이
 CD' : 성토사면넓이
 AA' : 절토사면높이
 DD' : 성토사면높이

(2) 절 · 성토사면경사

절 · 성토사면의 기울기로서 위 그림에서 임도의 경계선과 절 · 성토 사면이 만나는 지점(B, C)에서 절 · 성토사면의 끝점(C, D)을 수직으로 연결하는 직선의 기울기를 구하는 것으로, 절토사면경사는 직선 A'B와 직선 BA가 이루는 각이고, 성토사면경사는 직선 D'C와 직선 CD가 이루는 각으로서 다음 식을 이용하

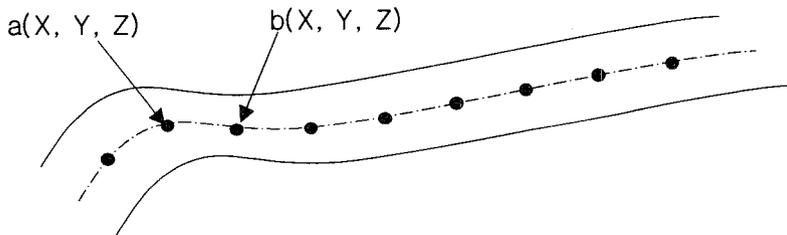
여 추출하였다. 산출된 결과의 단위는 도(°)이다.

- 절토사면경사($\angle A'BA$) = $\text{Arctan} (AA' / A'B) * (180/PI)$
- 성토사면경사($\angle D'CD$) = $\text{Arctan} (DD' / CD') * (180/PI)$

여기서 A'B : 절토사면넓이
 CD' : 성토사면넓이
 AA' : 절토사면높이
 DD' : 성토사면높이

(3) 종단물매

성토사면 붕괴위험 인자로서 다음 그림에서 점선으로 나타나는 임도 중심선의 기울기를 추출하기 위해 임도 중심선을 구성하는 연속적인 점과 점사이의 기울기를 산출하여 제작하였다. 종단물매를 추출하기 위해 입체 도화시 임도 중심선을 생성하기 위해 입력된 점과 점 사이의 수평거리와 수직거리를 이용하여 추출하였다. 산출된 결과의 단위는 도(°)이다.

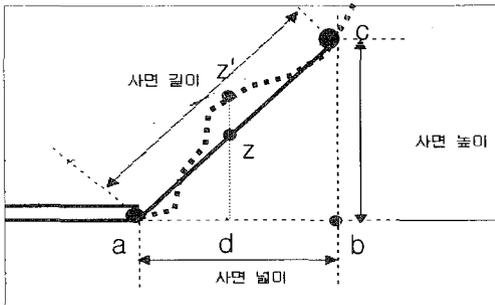


<그림 4.2> 종단물매 추출을 위한 임도 평면도

- 수평거리 = $((a\text{지점 } X\text{좌표} - b\text{지점 } X\text{좌표})^2 + (a\text{지점 } Y\text{좌표} - b\text{지점 } Y\text{좌표})^2)^{0.5}$
- 수직거리 = | a지점 Z 값 - b지점 Z 값 |
- 종단물매 = $\text{Arctan}(\text{수직거리}/\text{수평거리}) * (180/PI)$

(4) 사면종단면도

다음 그림에서 절·성토사면길이를로 정의된 직선 ac를 이등분 하는 위치(z)의 고도 값과 이 위치에 해당하는 수치표고모형에서 추출된 고도 값(z')을 서로 비교하여 수치표고모형으로부터 추출된 값이 크면 블록사면, 작으면 오목사면, 같으면 직선사면으로 분류하여 추출하였다. 사면길이 직선 ac를 이등분하는 위치(z)의 고도 값을 추출하기 위해 다음 그림에서 사면넓이에 해당하는 직선 ab와 사면높이에 해당하는 직선 bc의 비례식 (1)과 식 (2)를 이용하여 d지점에서 z지점까지의 거리를 구한 다음 최종적으로 z지점의 고도 값은 식 (1)과 식 (2)에서 구해진 거리 dz와 수치표고모형에서 추출한 d지점에 해당하는 고도 값을 더함으로써 산출했다. 이는 식 (3)으로부터 산출된다. z' 위치의 높이 값은 d지점 위치에 해당하는 고도 값으로 수치표고모형에서 추출한다. 사면종단면형을 판단하기 위해 z와 z'의 고도 값 차이를 이용하여 음(-)의 값은 블록사면, 양(+)의 값은 오목사면, 0과 근사한 값은 직선사면으로 판단하였다.



$$ad : ab = dz : bc \quad \text{식(1)}$$

$$dz = (ad \times bc) / ab \quad \text{식(2)}$$

$$z = dz + \text{d지점의 고도값} \quad \text{식(3)}$$

<그림 4.3> 사면종단면형 횡단면도

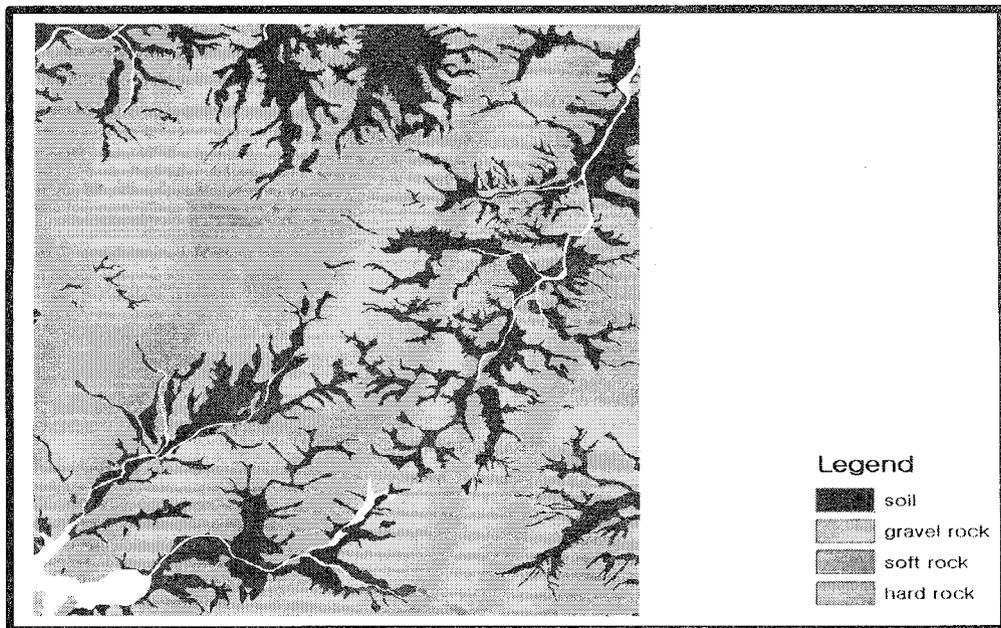
(5) 겉보기 토질

겉보기 토질은 사면을 구성하는 토양의 종류 및 그 특성에 따른 사면붕괴 인자로서 농업과학기술원에서 제공하는 1/25,000 축척의 정밀토양도를 이용하였다. 토양도는 토양부호가 있어 토양의 속성과 연결하면 토양에 관한 속성정보를 알 수 있다. 기존 연구(농림부 2000)에서 겉보기 토질 인자로 선정된 토양종류는 5가지로, 이를 분류하여 임도 붕괴위험을 판정하였다. 다섯 종류의 토양은 일반 토사, 자갈이 섞인 토사, 경암, 연암, 풍화암 이다. 이에 본 연구에서 정밀토양도

속성 중 토양의 특성을 보여주는 표토토성과 토양의 자갈유무를 판단하는 표토 자갈 속성을 연구지역 토양분포를 고려하여 조합한 결과, 최종 4개의 클래스인 토사, 자갈섞인 토사, 연암, 그리고 경암으로 분류하였다. 그 결과는 다음 표와 같으며, 이를 지도로 나타낸 것이 다음 그림이다.

<표 4.3> 정밀토양도를 재분류한 겉보기 토질 종류

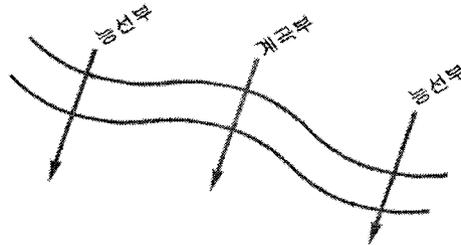
ID	표토토성	ID	표토자갈	ID	중첩결과	재분류	ID
100	양토	1	자갈이 없는	101	양토+자갈이 없는	soil	1
200	미사질양토	2	자갈이 있는	102	양토+자갈이 있는	gravel soil	2
300	미사질식토	3	바위가 있는	103	양토+바위가 있는	hard rock	3
400	세 사양토	4	둥근바위가 있는	104	양토+둥근바위가 있는	soft rock	4
500	사양토			201	미사질양토+자갈이 없는	soil	1
				301	미사질식토+자갈이 없는	soil	1
				302	미사질식토+자갈이 있는	gravel soil	2
				401	세 사양양토+자갈이 없는	soil	1
				501	사양토 + 자갈이 없는	soil	



<그림 4.4> 겉보기 토질

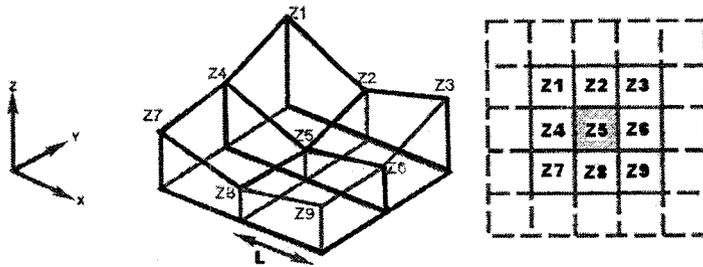
(6) 임도 위치(임도 위치의 지형형태)

임도가 개설된 위치는 일반적으로 등고선과 평행한 방향으로 산지의 볼록한 능선부(ridge)와 오목한 계곡부(valley), 그리고 이외 사면부(slope)로 분류할 수 있으며, 다음 그림과 같다.



<그림 4.5> 임도 위치의 기하학적 특성

3차원 수치표고모형에서 임도 위치 계산은 3×3 픽셀을 대상으로 2차 다항식으로 계산한다. 수치표고모형의 3×3 픽셀의 중심 고도 값은 다음과 같이 계산되는데,



<그림 4.6> 수치표고모형에서 중심표고값 계산을 위한 윈도우 영역 예

$$Z5 = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

$$\text{임도 위치(Plan curvature)} = 2((DH^2+EG^2-FGH)/(G^2+H^2))$$

여기서 Z는 고도 값이며, A-I는 계수들로서 3×3 픽셀 각각의 추정 고도 값이다. D-H는 다음과 같이 계산된다.

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L2$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L2$$

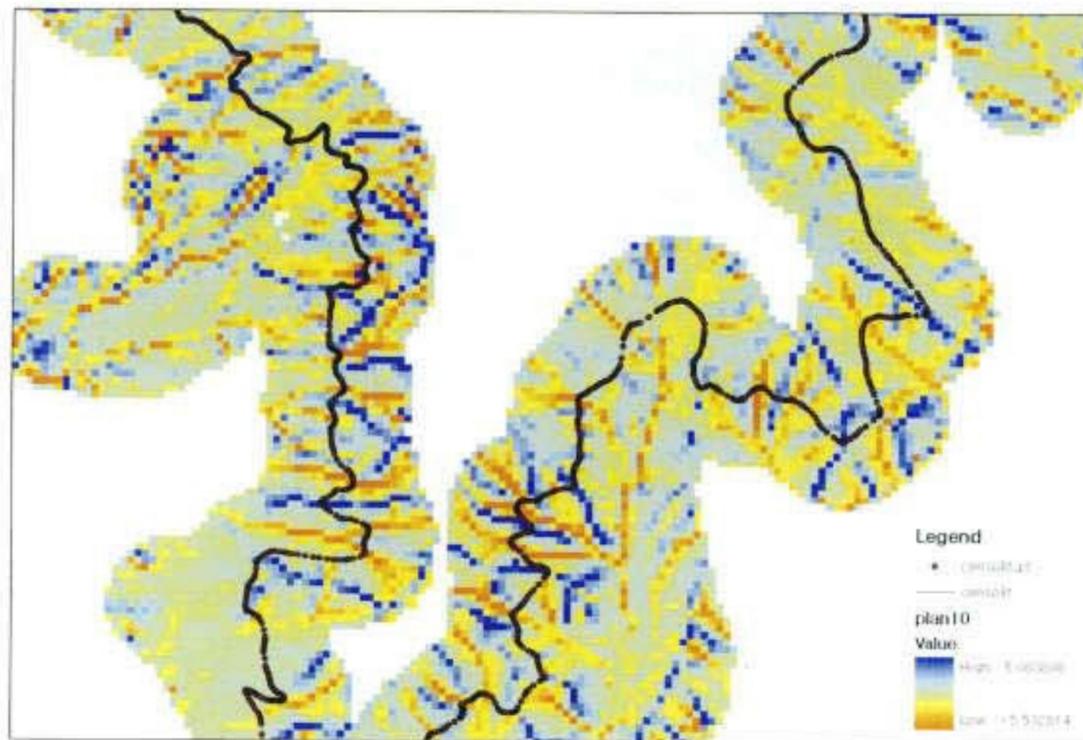
$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L2$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L$$

여기서, Z는 각 셀의 고도 값이고, L은 그리드 해상도 이다.

산출된 결과에서 음(-)의 값은 계곡부를, 양(+)의 값은 능선부를 나타내며, 0에 근사한 값은 사면으로 분류될 수 있다. 임도 위치를 구분 짓기 위한 경계 값은 1/5,000 축척의 수치지도와 중첩하여 육안으로 판독하여 최종 결정하였다. 다음 그림은 임도 일부 구간을 대상으로 분석된 결과를 보여주고 있다. 다음 그림에서 빨간색으로 표시되는 부분은 계곡이고, 파란색으로 표시되는 부분은 능선이다.



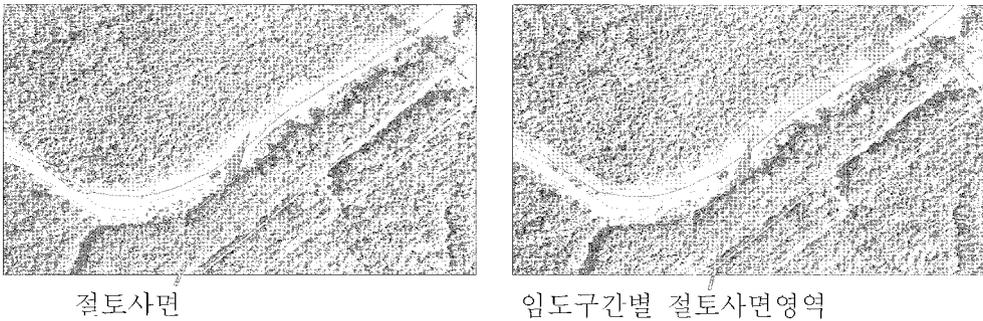
<그림 4.7> 임도 위치에 따른 지형형태 분포도

(7) 사면의 식생피복율

이 인자를 추출하기 위해 우선 항공사진에서 절토사면에 해당하는 부분에 대하여 다음 그림(좌)과 같이 식생지역과 비 식생지역으로 분류하기 위해 무감독 분류 기법을 적용하였다. 무감독 분류기법이란 영상처리에서 많이 사용되고 있

는 기법의 하나로 토지피복 및 식생분류 등에 많이 이용된다. 영상을 분류하는데 기본적으로 대상물체 마다 달리 나타나는 반사율을 이용하여 동일한 밝기 값을 갖는 대상물체를 집단화하는 기법이다.

본 연구에서는 절토사면영역을 식생지역과 비 식생지역으로 분류하기 위해서 사용자 주관과 경험이 전혀 개입되지 않고 영상의 화소 값의 특성에 따라 즉 통계적으로 유사한 값을 가지는 화소들끼리 자동적으로 군집화(clustering)하는 ISODATA(Iterative Self Organizing Data Analysis) 알고리즘을 적용하였다. 다음으로 그림(우)처럼 입도 구간별 절토사면영역에 대해 폴리곤 형태의 자료를 생성한 후 각 영역의 폴리곤에 해당하는 면적에 대한 식생지역의 면적 비율로 식생 피복율을 산출하였다.



<그림 4.8> 절토사면 식생피복율 추출

(좌: 식생부 및 비 식생부, 우: 폴리곤 형태의 입도 구간별 절토사면영역)

(8) 산지경사 및 방위

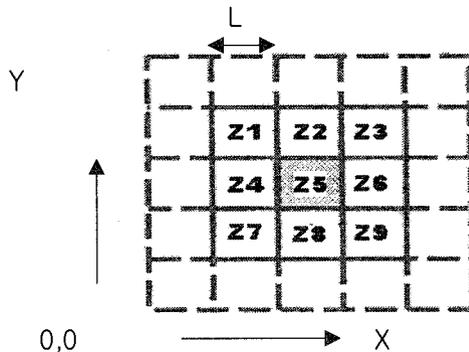
수치표고모형으로부터 산지사면의 기울기와 방위를 나타내는 지도를 쉽게 도출할 수 있다. 이는 주변 격자점이 가지고 있는 고도 값의 변화를 이용하여 사면의 기울기와 사면방향을 계산할 수 있는데, 기울기는 일반적으로 퍼센트(%) 혹은 각도로 표시되고 사면방향은 방위각으로 표시된다.

하지만 수치표고모형은 일정면적의 격자 혹은 그리드로 대상지 지형지복을 표현하는데, 이는 격자의 크기에 따라 다르게 나타날 수 있어 수치표고모형에서 추출되는 산지경사 및 방위 또한 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 산지경

사의 경우 임도의 기하학적 구조 특성을 이용하여 절토사면 경계 끝점과 성토사면 경계 끝점을 연결하는 직선의 기울기를 산지경사로 하여 다음 식으로 추출하였다. 앞의 그림 4.1에서 산지경사는 A'지점과 D'지점이 연결한 직선의 기울기로 다음 식으로 추출하였다.

$$\text{산지경사} = \text{Arctan}(A'A \text{ 거리} / AD \text{ 거리}) * (180/\text{PI})$$

산지방위는 위와 같이 추출된 산지경사의 분포와 매우 상관성 있는 격자크기를 선정 후 수치표고모형에서 추출하였다. 본 연구에서 적용한 방법으로 추출된 산지경사와 수치표고모형에서 추출된 산지경사의 상관성은 격자크기를 1m, 3m, 5m, 10m로 하였을 때, 각각 상관계수(r)가 0.92, 0.92, 0.91, 0.73으로 산출되었다. 이를 근거로 산지방위를 계산하기 위해 사용된 수치표고모형 격자크기는 1x1(m)로 하였다. 수치표고모형에서 산지방위 추출은 하나의 격자점을 중심으로 하여 주변 8개 격자를 포함하는 3x3 격자 크기의 윈도우 영역에서 계산하는데, 다음 그림과 같은 Moving Window를 통해 각각의 격자마다 윈도우 영역을 연속적으로 이동시키면서 계산을 수행한다. 수치표고모형에서 방위를 도출하는 알고리즘은 다양하게 있지만 본 연구에서는 Horn(1981)이 제안한 알고리즘을 적용하였다.



<그림 4.9> 수치표고모형에서 방위 계산을 위한 윈도우영역

사면의 방향을 나타내는 방위각 A는 다음과 같이 계산된다.

$$\tan A = (-\delta Z / \delta Y) / (\delta Z / \delta X), (-\pi < A < \pi)$$

$$\text{여기서 } \delta Z / \delta X = ((Z3+2*Z6+Z9) - (Z1+2*Z4+Z7)) / 8L$$

$$\delta Z / \delta Y = ((Z3+2*Z2+Z1) - (Z9+2*Z8+Z7)) / 8L$$

나. 시업등급 분류 인자 추출

벌채(주벌)란 목재를 얻기 위해 일정 기준에 적합한 나무를 선택하여 벌채하는 경제적 활동을 말하는 것으로 임업의 핵심이 되는 부분이라 할 수 있다. 벌채의 방식으로는 개별이나 택벌, 모수작업 등이 있지만 이러한 세 가지의 방식 모두 산림법에서 정하는 벌기령 기준에 만족해야 하므로 주벌의 기준은 벌기령에 근거하였다. 여기서 벌기령이란 벌채 가능한 나무의 연령을 가리킨다.

임분이 벌기령에 도달했는지를 알기위해서 사용할 수 있는 자료가 임상도이다. 임상도에는 영급이라는 정보가 있어 임분의 연령을 알 수 있다. 다음 표에서 각 수종들의 벌기령과 임상도에서의 영급을 비교하였다.

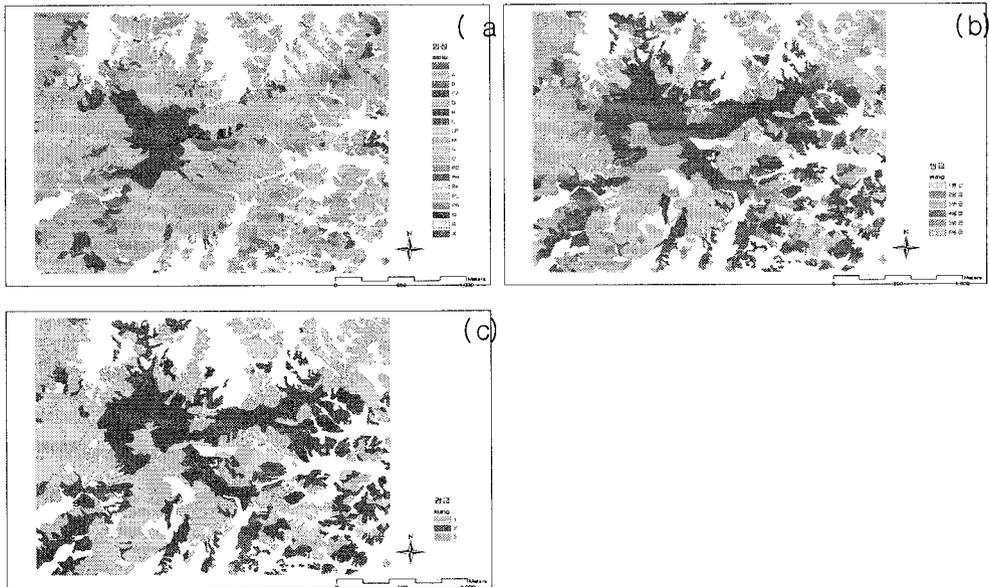
<표 4.4> 각 수종들의 벌기령과 임상도에서 나타내는 영급

임상	벌기령(年)	영급
소나무림	40~50	5
잣나무림	50~60	6
리기다소나무림	40~50	5
낙엽송림	30~40	4
참나무림	40~50	5
포플러림	15	2

간벌이란 임분의 밀도가 높거나 임목 상호간에 경쟁으로 인해 밀도를 조정할 필요가 있을 때 시행하는 벌채를 말한다. 주벌이 목재를 생산해 수입을 직접적으로 얻는 것에 비해 간벌은 임분을 무육하기 위한 것이 주된 목적이다. 간벌에는 도태식 간벌과 열식 간벌이 구분되며, 대개 5~10년 간격으로 2~3회 반복한

다. 그러나 본 연구에서는 임상도에 제시된 소밀도와 영급, 경급을 이용하여 추출하였다.

보존등급은 학술연구 및 식물분포상 희귀수종으로 보존가치가 있는 천연림으로 시험목적 달성을 위한 시험목 및 시험림, 노목·거목·희귀목으로써 보존 및 증식의 가치가 있는 수목 및 수군(樹群)을 도지사·영림서장이 지정 고시한 산림(산림법 67조 1항)을 말한다. 이에 대한 정보는 기본적으로 산림이용기본도를 이용하여 추출하였다. 이와 같이 벌채, 간벌, 무육에 대한 시업적인 정보를 판단하기 위해 수치임상도에서 다음 그림과 같이 임상, 영급 그리고 경급 속성을 추출하였다.



<그림 4.10> 임상도로부터 추출한 임상(a), 영급(b), 경급(c) 결과

다. 경관등급 분류 인자 추출

경관등급 인자는 내부경관등급 인자와 외부경관등급 인자로 구분하였다. 내부경관 혹은 투시도면화(projective mapping)는 임도 상 조망지점에서 주변경관을 바라보았을 때의 경관이다. 이는 최근 삼림육, 산림휴양, 레크레이션 등 산림의

공익적 기능을 수행하는 목적으로 임도에서 조망되는 주변 경관가치에 대한 중요성이 매우 커졌기 때문이다. 따라서 내부경관등급은 주변에 특별한 가치가 있는 경관을 조망하는 장소로서 뿐만 아니라 가장 좋은 조망기회를 제공하는 장소가 임도노선 상 어디냐 하는 기준으로 내부경관등급은 관찰 지점에서 대상 경관까지 가시거리, 경관을 바라보는 수직시야각, 그리고 가시영역에서 인지되는 주변 경관가치로 판단하였다.

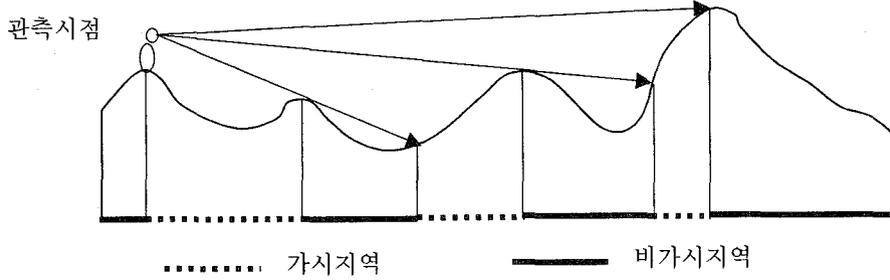
외부경관 혹은 반사도면화(reflective mapping)는 임도주변 마을 및 도로에서 임도를 바라보았을 때의 경관이다. 임도는 산림 지역 내에 개설되는 인공구조물이기에 산림경관을 훼손하기 쉽다. 따라서 외부경관 분석은 임도주변 마을이나 도로에서 절취된 사면이 얼마나 많이 노출되어 보이느냐에 따라 판단하였다.

1) 내부경관등급 분류 인자 추출

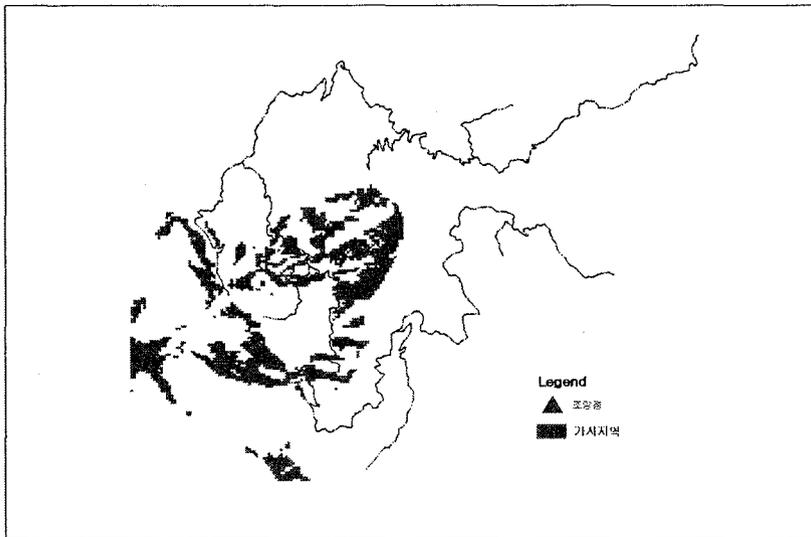
내부경관등급 인자 추출은 우선 수치항공사진측량을 통해 추출한 정밀 임도망도에서 일정간격으로 약 3,400여개의 관찰지점을 추출하여 각 지점으로 부터 가시지역 내에서 가시거리 및 수직 시야각을 분석하였다. 또한, 임도주변의 경관가치는 가시지역에 분포된 토지피복 구성에 따라 판정하였다.

(1) 각 조망지점으로부터 가시지역

가시지역 분석은 다음 그림 4.10과 같이 1) 관찰지점으로부터 목표점까지 일직선상의 수평위치를 검색하고, 2) 그 선상에 걸쳐있는 수치표고모형의 고도 값들을 비교하는 것이다. 관찰지점에서 목표점까지 연속되는 수치표고모형에서 앞의 고도보다 뒤의 고도 값이 더 높다면 다음 목표점까지 찾는 것을 계속할 것이고 그렇지 않다면 목표점은 관찰지점으로부터 비 가시지역이 된다. 따라서 가시지역 분석에 필요한 관찰지점의 높이는 일반 사람 눈높이를 기준으로 1.6m로 하고, 시야의 수평방위각은 360°, 수직각 +90°~-90°로 하여 연구지역 전체 범위를 대상으로 분석을 실시하였다. 이는 기존 GIS 기법 중 가시권 분석으로 수행될 수 있다. 본 연구에서는 3,400개 관찰지점에 대해 일괄 처리 할 수 있는 AML(Arc Macro Language)을 작성하여 처리하였다. 다음 그림 4.11은 가시권 분석의 예로 한 지점에 대한 가시권 분석 결과를 보여주고 있다.



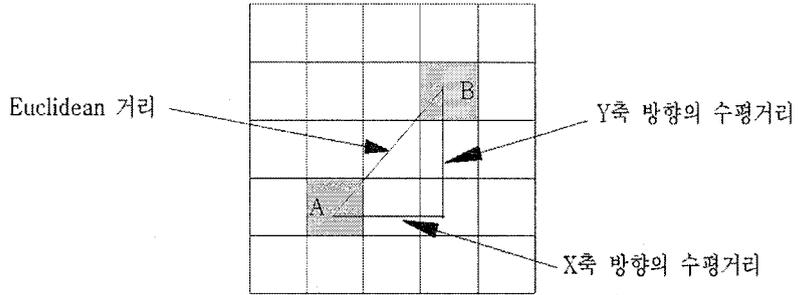
<그림 4.11> 가시지역 결정 원리(유복모, 1996)



<그림 4.12> 특정 조망지점으로부터 가시지역 분포도

(2) 각 조망지점으로 부터 가시거리

가시거리는 조망지점으로 인접된 지점까지의 Euclidean 거리로 산출된다. Euclidean 거리는 관찰지점의 픽셀 중심에서 주변 픽셀 중심까지 거리를 구하는 공식으로 산출된다. 예를 들어 다음 그림에서 A 지점을 관찰지점으로 하면 B지점까지의 거리는 두 지점 사이에 형성되는 직삼각형의 빗변 길이로 가시거리가 계산된다.

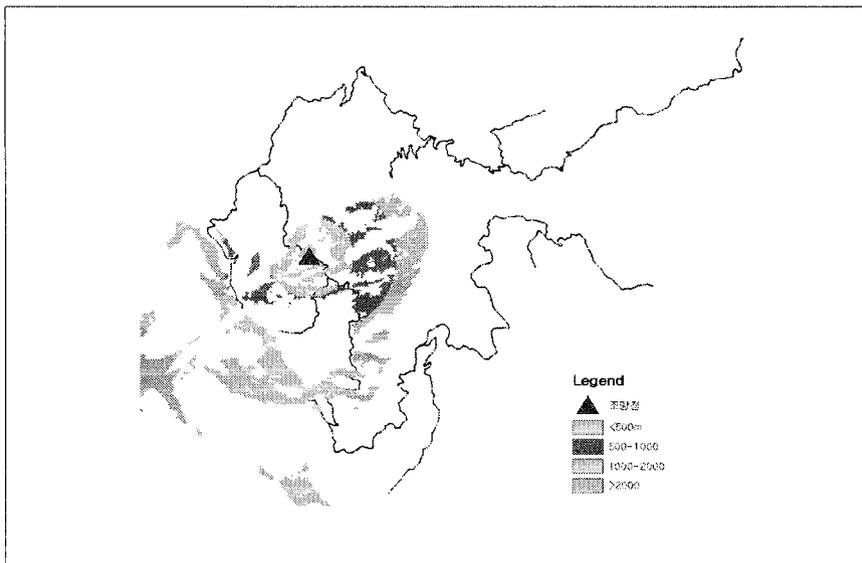


<그림 4.13> 조망지점으로부터 가시거리 계산 알고리즘

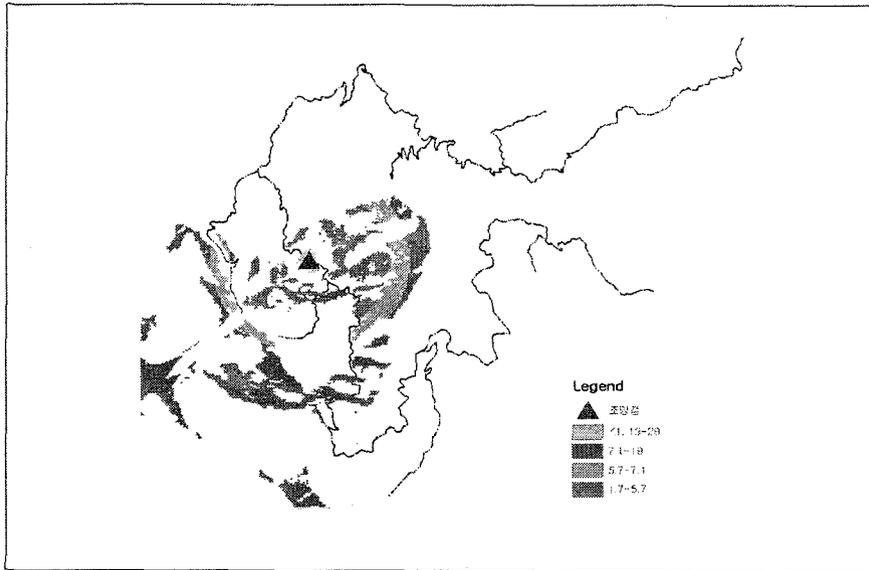
가시거리를 구하기 위해 $A(X, Y)$ 와 $B(X', Y')$ 라 하면 다음 식으로 계산된다.

$$\text{가시거리 } AB = ((X-X')^2+(Y-Y')^2)^{1/2}$$

이와 같은 식으로 관찰지점에서 모든 픽셀에 대해 계산을 수행하였다. 다음 그림은 앞서 추출된 가시지역에서 100m 간격으로 분포된 가시거리를 보여주고 있다.



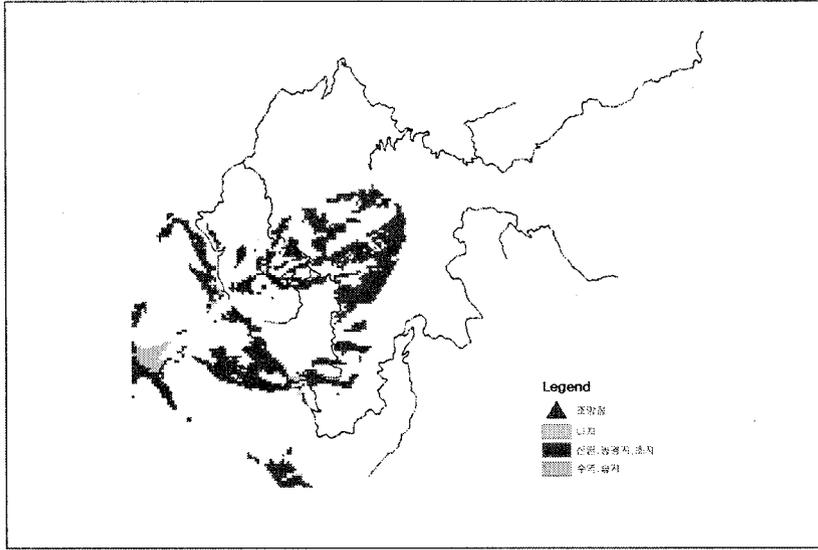
<그림 4.14> 조망지점으로부터 가시거리 분포도



<그림 4.16> 조망지점으로부터 수직시야각 분포도

(4) 임도주변 경관가치

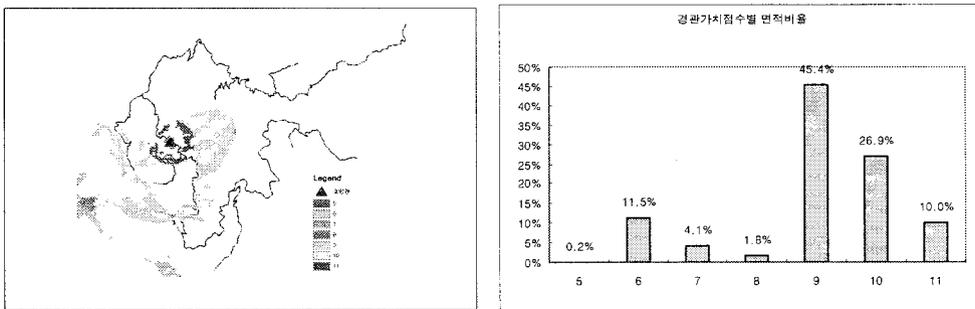
경관가치는 관측지점에서 경관을 바라 볼 때 선호도가 높은 경관요소가 조망될 때 높다고 할 수 있다. 회색 건물 및 빌딩들로 복잡한 도심지 보다는 넓은 지역에 분포된 호수나 하천 그리고 평야와 같은 개활지 등이 심미적인 측면에서 더욱 선호되는 경관가치라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 경관가치를 관측지점으로부터 보이는 영역의 토지피복 구성 상태에 따라 결정하였다. 이는 환경부에서 제작한 토지피복도의 분류항목에 따라 결정하였다. 그 결과는 다음 그림과 같다. 사용된 환경부 토지피복도는 1996-1999년 시기의 Landsat TM 영상을 사용하여 토지피복을 분류하여 제작한 주제도로써 30m 공간해상도를 가지고 산림, 녹지, 시가화/도시지역, 초지, 나지, 습지, 수역 등 총 9개의 항목으로 대분류된 영상이다.



<그림 4.17> 임도 주변 경관적인가치도

(5) 조망시점 가치 적합도

위에서 제작된 하나의 관측지점으로부터 가시거리, 수직시야각, 그리고 주변 경관가치에 대한 주제도를 종합하여 중첩한 결과 그림 22와 같다. 중첩결과에 따른 분포 점수별 가시면적 비율을 산출하고, 이 가시면적 비율을 가중치로 하여 합산한 결과를 조망지점에 대한 최종 적합점수로 한다. 최종 적합점수가 높을수록 관측지점의 조망지점으로서 가치가 높은 관측지점을 의미한다. 이러한 과정을 임도노선에서 추출된 총 3400여개 지점에 대해서 수행하여 임도의 내부 경관 등급을 판단하였다.



<그림 4.18> 가시거리, 수직시야각, 주변경관가치 중첩결과 및 점수별 가시면적 비율

2) 외부경관등급 분류 인자 추출

외부경관등급 분류 인자는 임도주변 마을이나 도로에서 절개된 임도사면의 가시빈도(관찰되는 횡수)를 기준으로 관찰되는 횡수가 많을수록 더 많은 구간의 절취된 임도사면이 노출되므로 경관훼손 정도가 높다는 것을 의미한다. 가시빈도는 경관분석 기법의 하나로 절개된 임도사면이 주변 도로나 마을에서 얼마나 많이 보이는가를 판단하는데 유용하게 사용될 수 있다. 가시빈도를 추출하기 위해 적용되는 가시권 분석은 우선 지형기복을 표현할 수 있는 수치표고모형과 관측지점의 위치를 표시하는 수치지도가 이용된다. 여기서 관측지점은 주요 도로의 교차지점과 같이 하나의 점이 될 수도 있고, 도로노선과 같이 선형태가 될 수 있으며, 마을 등과 같이 면의 형태도 될 수 있다.

수치표고모형을 이용한 가시권 분석은 1) 관찰지점으로부터 목표점까지의 일직선상의 수평위치를 검색하고, 2) 그 선상에 걸쳐있는 수치표고모형의 표고점들을 비교하는 것이다. 관찰지점에서 목표점까지 연속되는 수치표고모형에서 앞의 수치표고모형의 고도보다 뒤의 고도 값이 더 높다면 다음 목표점까지 찾는 것을 계속할 것이고 그렇지 않다면 목표점은 관찰지점으로부터 비 가시지역 지역이 된다. 본 연구에서는 일반적인 가시권 영역을 연구지역 범위로 하고 관측지점은 주변 마을의 도로를 일정간격으로 하여 선정하였다. 이를 위해 1/5,000 축척의 수치지도에서 도로에 해당하는 레이어를 추출하였고, 연구 대상지의 지형적인 특성과 도로의 분포를 고려하여 200m 간격으로 관측점을 조정하여, 최종적으로 약 1,000개의 관측점을 이용하였다. 목표점은 수치표고모형에 있는 모든 격자점을 대상으로 하였다. 분석 결과는 다음 그림과 같다.



<그림 4.19> 외부경관등급 가시빈도

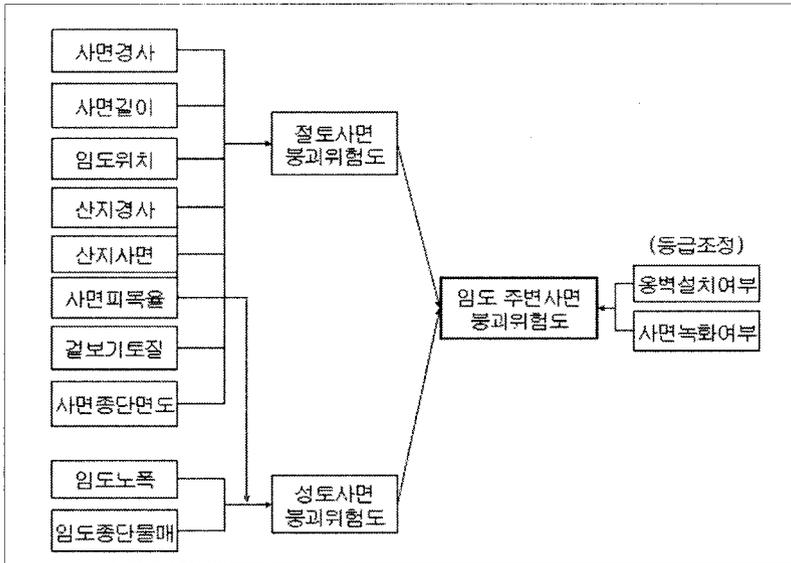
제3절 임도 유지관리 세부등급 기준 및 분류

1. 붕괴위험등급 기준 및 분류

기존 논문 및 문헌을 살펴보면 임도 붕괴위험에 영향을 주는 중요한 인자들은 대부분 현지조사 자료를 토대로 평가되었고, 이러한 인자들이 적용돼서 임도 붕괴 예측모델을 개발하는 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 현지조사를 최대한 배제하고 공간정보 기술을 활용해서 인자를 추출하는 것이 기존 연구와 가장 큰 차이점이라 할 수 있다. 그러나 인자 선정이나 분석 알고리즘 등은 기존 연구에서 도출된 결과를 최대한 반영하여 연구를 수행하였다.

기존 연구 중에서 “임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가 시스템 개발(농림부, 2000)” 연구 보고서에 제시된 임도붕괴 예측모델을 적용하여, 붕괴 예측에 필요한 인자들을 다양한 공간자료를 이용하여 수치화하였고, 이를 통해 임도 붕괴위험등급을 분류하였다. 임도 붕괴위험등급은 성토사면 붕괴위험등급과 절토

사면 붕괴위험등급으로 나누어 분류하였다. 임도 붕괴위험등급 분류를 위한 작업과정은 다음 그림과 같다.



<그림 4.20> 임도 붕괴위험등급 분류를 위한 작업과정

가. 성토사면 붕괴위험등급 분류 기준

성토사면 붕괴위험등급 기준은 “화강암질 풍화토지역 성토사면의 붕괴위험판정표 제작”이라는 기존 논문에서 현지자료를 토대로 붕괴요인을 평가하고 성토사면의 안정성 여부를 수량화하는 통계적 기법을 적용하여 판정하였다. 이는 정성적인 변수와 정량적인 변수 각각의 범주에 수량을 부여하는 통계적 방법으로 질적인 형태의 변수로 주어진 외적기준(목적변수)을 예측 혹은 판별하는 방법이다. 즉, 성토사면붕괴에 영향을 주는 각 붕괴요인의 기여도를 선형적으로 결합하여 붕괴위험 여부를 판별하는 통계적인 방법이며, 이 방법은 각 요인 기준별로 주어지는 계수 값의 대소에 따라 붕괴에 대한 기여정도를 나타내고 계수의 부호인 (+)는 임도 붕괴위험을, (-)는 임도가 안정적임을 나타내는 붕괴유무를 판정할 수 있다. 논문에서 제시된 요인기준별 계수를 정리한 결과는 다음 표와 같다.

<표 4.5> 성토사면 등급분류를 위한 안정군 및 붕괴군에 속한 요인별 계수

		요인별 기준 및 계수							
총노폭(m)	요인기준	<5		5-6		>6			
	계수	-0.0072		-0.00243		0.0154			
종단물매(°)	요인기준	2-4		4-6		>6			
	계수	-0.0761		-0.0261		0.0729			
성토사면길이(m)	요인기준	4-6		6-8		<4	8-10	10-12	>12
	계수	-0.3589		-0.1157		0.0836	0.1026	0.2287	0.3166
성토사면경사(°)	요인기준	<30		35-40		30-35		>40	
	계수	-0.1875		-0.0948		0.1460		0.1275	
임도위치	요인기준	valley		slope		ridge			
	계수	-0.0780		-0.0694		0.0960			
토질	요인기준	gravelly soil		hard rock		soil		soft rock	
	계수	-0.2765		-0.1095		0.1268		0.0567	
산지경사(°)	요인기준	<30		30-35		35-40		>40	
	계수	-0.0950		-0.1094		0.0803		0.0521	
산지사면	요인기준	E	S	SW	NW	N	NE	SE	W
	계수	-0.0255	-0.0518	-0.0222	-0.0945	0.0938	0.0606	0.0252	0.0651
사면종단면도	요인기준	concave		convex		straight			
	계수	-0.0544		-0.0073		0.0286			

위 표는 이 논문에 제시된 임도 붕괴위험 판정 점수표로 요인 기준별 계수를 양수화 및 정수화한 결과이다. 즉, 가장 낮은 계수를 0으로 만들어 주는 값을 각 요인 기준별 계수에 더하여 양수화한 다음 정수화한 결과이다.

<표 4.6> 성토사면 등급분류를 위한 안정군 및 붕괴군에 속한 요인기준별 점수

		안정군 요인별 기준 및 점수				붕괴군 요인별 기준 및 점수			
총노폭(m)	요인기준	<5		5-6		>6			
	점수	2		0		4			
종단물매(°)	요인기준	2-4		4-6		>6			
	점수	0		5		15			
성토사면길이(m)	요인기준	4-6		6-8		<4	8-10	10-12	>12
	점수	0		24		44	46	59	68
성토사면경사(°)	요인기준	<30		35-40		30-35		>40	
	점수	0		9		33		32	
임도위치	요인기준	valley		slope		ridge			
	점수	0		1		17			
토질	요인기준	gravelly soil		hard rock		soil		soft rock	
	점수	0		17		40		33	
산지경사(°)	요인기준	<30		30-35		35-40		>40	
	점수	1		0		19		16	
산지사면	요인기준	E	S	SW	NW	N	NE	SE	W
	점수	7	4	7	0	19	16	12	16
사면종단면도	요인기준	concave		convex		straight			
	점수	0		5		8			

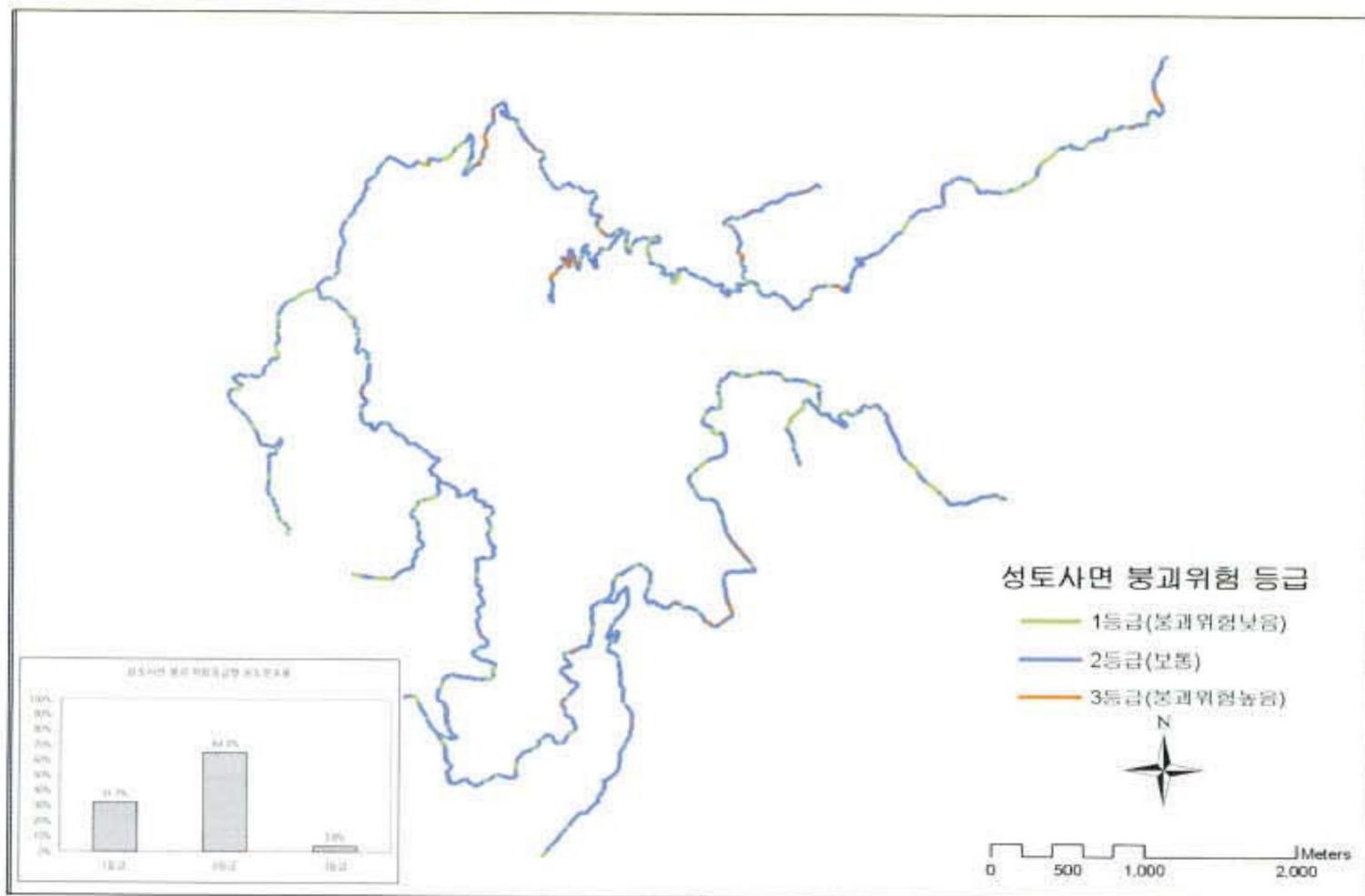
본 연구에서는 성토사면 붕괴위험을 3등급으로 분류하였다. 우선 이 논문에서 제시한, 성토사면 붕괴군과 안정군의 판별점수인 128점을 기준으로 2등급과 3등급으로 분류하였고, 68을 기준으로 1등급과 2등급으로 분류하였다. 다음 표는 성토사면 등급분류 기준점수를 나타낸다.

<표 4.7> 성토사면 붕괴위험 등급 분류표

1등급 (0-68)	붕괴위험 낮음
2등급 (68-128)	보통
3등급 (128-233)	붕괴위험 높음

나. 성토사면 붕괴위험등급 분류

성토사면 붕괴위험등급 분류 인자 9개 즉, 임도 총 노폭, 성토사면길이, 성토사면경사, 임도 종단물매, 임도위치, 겉보기 토질, 산지경사 사면방위, 사면 종단면도에 대해 각각의 기준을 적용하여 그림과 같은 결과를 얻었다. 연구지역에서 성토사면 붕괴위험등급 중 2등급이 64%로 대부분을 차지하며, 다음은 1등급으로 31.7%, 다음은 3등급으로 3.8% 순으로 나타났다. 이를 통해 연구지역의 경우 성토사면 붕괴위험은 대부분 보통 보다 양호함을 알 수 있다. 이는 곧 쉽게 특별 관리할 지역을 찾아낼 수 있음을 의미하기도 한다.



<그림 4.21> 성토사면 붕괴위험등급 분류 결과

다. 절토사면 붕괴위험등급 분류 기준

본 연구에서 적용된 절토사면 붕괴위험등급 분류 기준은 기존 논문 “임도절토사면의 붕괴예측모델 개발(차두송, 2002)”에 제시된 절토사면 붕괴위험의 요인 기준별 가중치로 붕괴위험등급을 분류하였다. 이 논문에 제시된 요인 기준별 붕괴위험도는 다음 식을 통해 산출하였다. 산출 결과는 다음 표와 같다.

$$\text{요인기준별 붕괴위험도} : h(x_i) = \frac{WSF}{OSF} \times \frac{1}{2}$$

WSF (with slope failure) : 붕괴군에 소속된 i번째 요인 기준의 상대빈도율

OSF (without slope failure) : 안정군에 소속된 i번째 요인 기준의 상대빈도율

붕괴위험도 판별은 요인 기준별 붕괴위험도 0.5를 기준으로 0에 가까울수록 붕괴위험성이 낮고, 1에 가까울수록 붕괴위험성이 크다.

<표 4.8> 절토사면 등급분류 안정군 및 붕괴군에 속한 요인기준별 붕괴위험도

		요인별 기준별 붕괴위험도											
절토사면길이(m)	요인기준	<4		4-6		6-8		8-10		10-12		>12	
	붕괴위험도	0.0913		0.2768		0.5150		1.0000		1.0000		1.0000	
절토사면경사(°)	요인기준	<40		40-45		50-60				>60			
	붕괴위험도	0.0927		0.3894		0.6747				0.7329			
임도위치	요인기준	valley				ridge				slope			
	붕괴위험도	0.3308				0.5499				0.5778			
토질	요인기준	hard rock		gravel soil		soft rock				soil			
	붕괴위험도	0.2931		0.3809		0.5270				0.7631			
산지경사(°)	요인기준	<30		30-35		35-40				>40			
	붕괴위험도	0.1903		0.3590		0.8056				0.5783			
산지사면	요인기준	S	SW	SE	W	N	E	NE	NW				
	붕괴위험도	0.1479	0.2821	0.3518	0.3668	0.6161	0.8041	0.8298	0.8343				
사면종단면도	요인기준	concave		straight		convex							
	붕괴위험도	0.4014		0.4348		0.7931							
사면피복율(%)	요인기준	high(>60)				medium(30-60)				low(<30)			
	붕괴위험도	0.3475				0.8864				0.7355			

본 연구에서는 절토사면 붕괴위험 인자를 붕괴위험도 0.5를 기준으로 우선 붕괴군 또는 안정군으로 분류한 후 가장 낮은 붕괴위험도를 0으로 하는 값을 각 요인 기준에서 빼준 다음 정수화한 결과를 요인 기준별 붕괴점수로 하였다.

<표 4.9> 절토사면 등급분류를 위한 안정군 및 붕괴군에 속한 요인기준별 점수

		안정 요인별 기준 및 점수				붕괴군 요인별 기준 및 점수			
절토사면길이(m)	요인기준	<4		4-6		6-8	8-10	10-12	>12
	점수	0		19		42	91	91	91
절토사면경사(°)	요인기준	<40		40-45		50-60		>60	
	점수	0		30		58		64	
임도위치	요인기준	valley				ridge		slope	
	점수	0				22		25	
토질	요인기준	hard rock		gravel soil		soft rock		soil	
	점수	0		9		23		47	
산지경사(°)	요인기준	<30		30-35		35-40		>40	
	점수	0		17		62		39	
산지사면	요인기준	S	SW	SE	W	N	E	NE	NW
	점수	0	13	20	22	47	66	68	69
사면종단면도	요인기준	concave		straight		convex			
	점수	0		3		39			
사면피복율(%)	요인기준	high(>60)				medium(30-60)		low(<30)	
	점수	0				54		39	

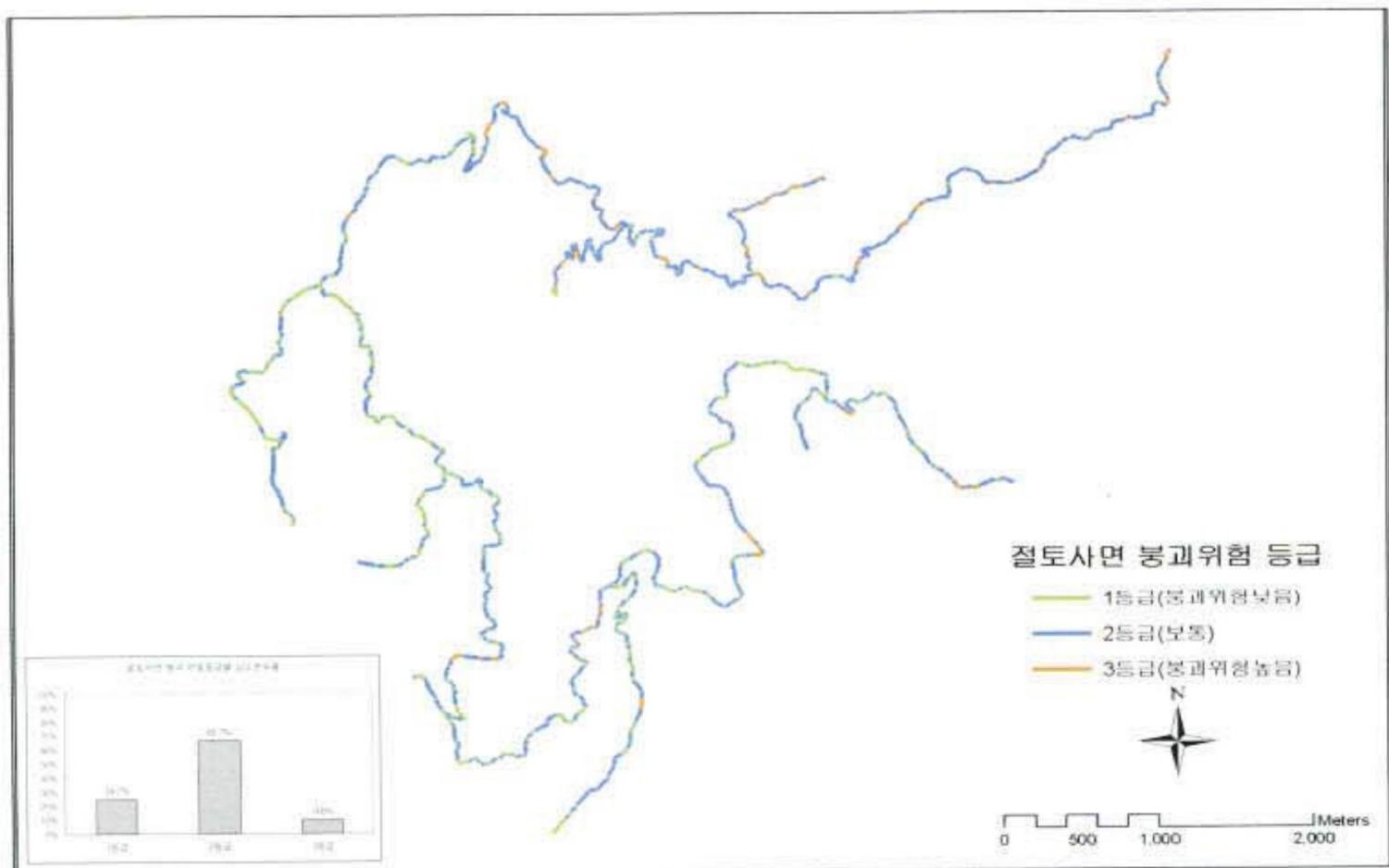
절토사면 붕괴위험도 등급은 3등급으로 분류하였다. 우선 붕괴위험도 0.5에 해당하는 붕괴위험점수를 계산한 결과 211점을 2등급과 3등급의 판별점수로 하였고, 91점을 1등급과 2등급의 판별점수로 하여 다음 표와 같이 절토사면 붕괴위험등급을 분류하였다.

<표 4.10> 절토사면 붕괴위험 등급 분류표

1등급 (0-91)	붕괴위험 낮음
2등급 (91-211)	보통
3등급 (211-428)	붕괴위험 높음

라. 절토사면 붕괴위험등급 분류

절토사면 붕괴위험등급 분류 인자 8개 즉, 절토사면길이, 절토사면경사, 임도 위치, 겹보기 토질, 산지경사, 사면방위, 사면 종단면도에 대해 각각의 기준을 적용하여 그림과 같은 결과를 얻었다. 연구지역의 절토사면 붕괴위험등급은 2등급이 67%로 대부분을 차지하며, 다음은 1등급으로 24%, 3등급 9.8% 순으로 나타났다. 성토사면 붕괴위험도와 마찬가지로 연구지역의 경우 절토사면 붕괴위험은 대부분 보통 보다 양호함을 알 수 있으며, 성토사면보다 절토사면이 좀 더 많은 관리가 필요함을 알 수 있다.



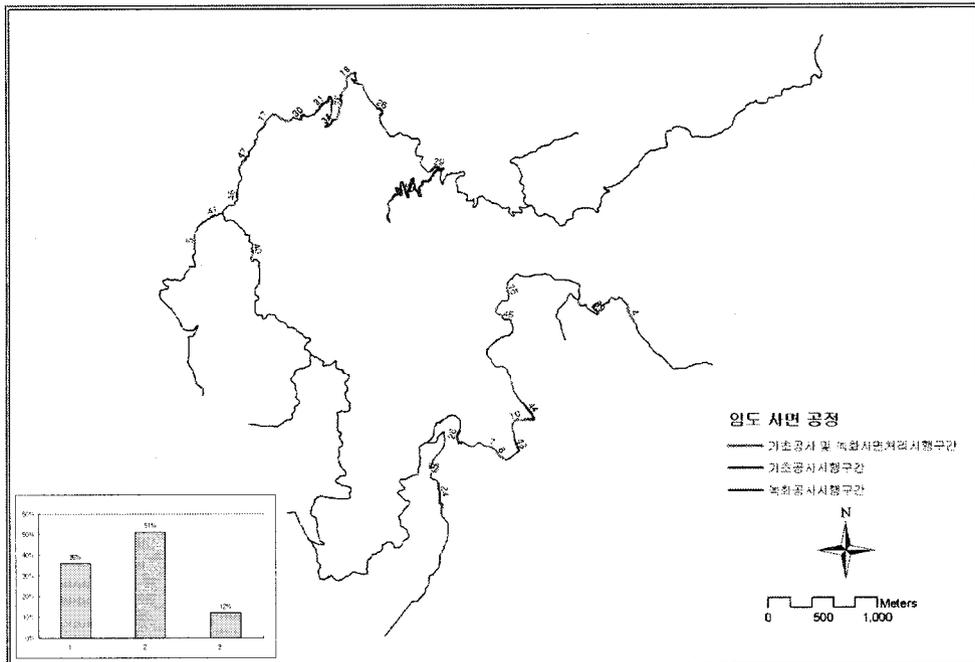
<그림 4.22> 절토사면 붕괴위험등급 분류 결과

마. 임도 시설물 정보를 이용한 등급조정

임도 붕괴위험도와 관련하여 또 다른 중요한 인자는 사면시설 이다. 임도는 토공 작업을 위주로 산지 사면을 깎아서 개설되기 때문에 사면이 불안정하게 되면 결과적으로 임도 붕괴를 초래할 수 있다. 현재 임도 유지관리 사업으로 시

행되는 구조개량 및 유지보수 사업에서도 사면의 안정성을 높이는데 중점을 두고 진행되고 있다. 이와 같은 사업으로 기초공사나 녹화공사가 시행된 경우 본 연구에서는 임도 붕괴위험등급을 조정하는 인자로서 이용하였다. 임도 시설물 데이터에 의하면, 임도 총 연장길이는 약 35km이고, 그 중 2.7km의 임도구간에 사면공사가 시행되었다.

사면공사가 시행된 임도구간의 안정성은 단지 기초공사만 시행된 구간의 경우 여전히 사면의 토사 및 깨진 돌들이 임도 주변으로 유실되고 있는 반면, 녹화공사가 같이 시행된 구간은 이러한 현상이 나타나지 않았다. 이에 임도 붕괴 위험등급은 기초공사만 시행된 경우 한 등급 조정하고, 두 공사 모두 시행된 경우 2등급 조정하였다. 그리고 녹화공사만 시행된 경우 등급조정을 하지 않았다. 다음 그림은 사면공사가 시행된 임도구간을 보여 주고 있으며, 연구지역의 사면 공정 비율을 살펴보면 절토사면 붕괴위험등급에 따라 1등급 36%, 2등급 51%, 그리고 3등급이 12%로 나타났다.

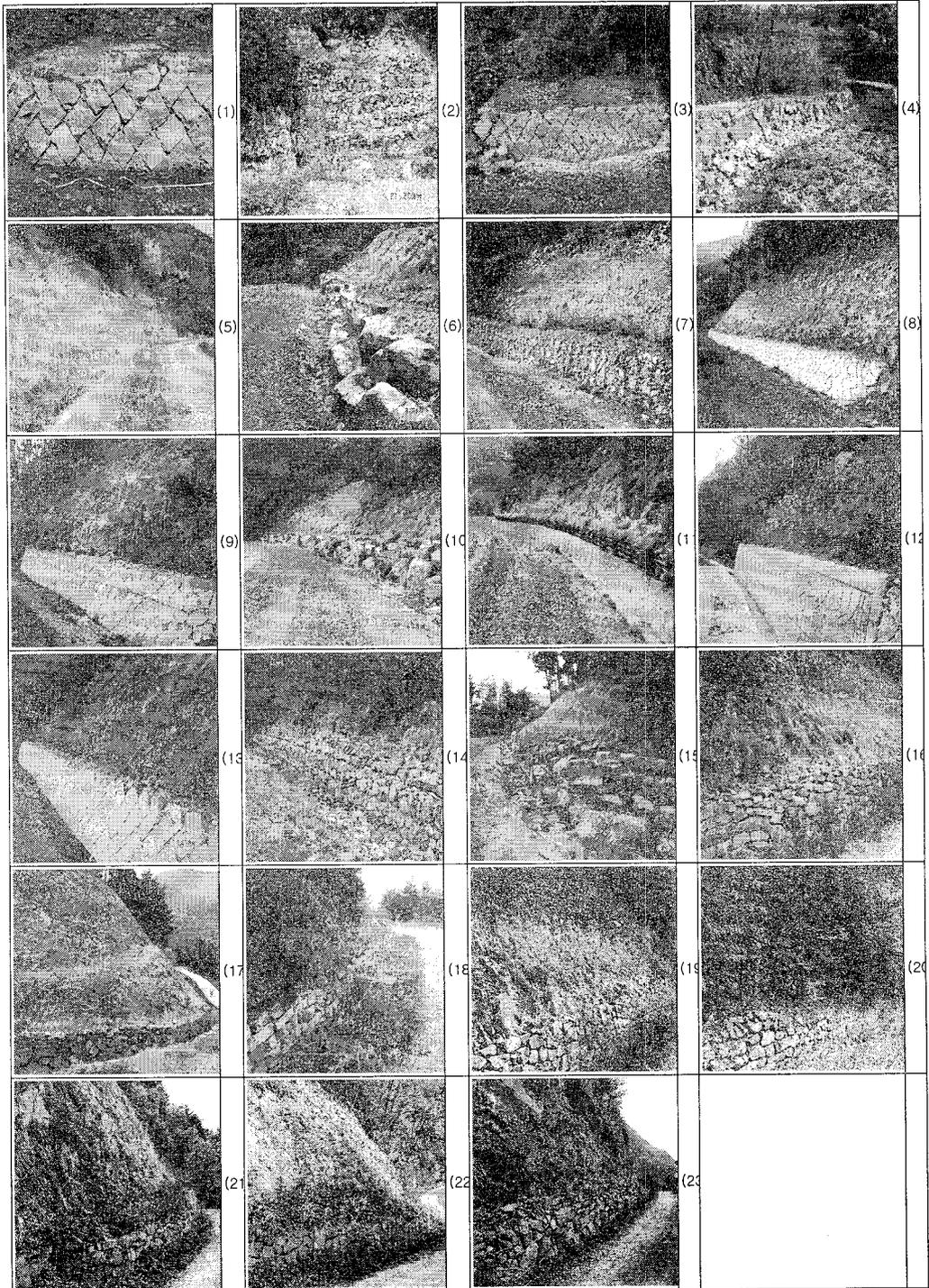


<그림 4.23> 연구지역 임도 사면공사 시행 구간

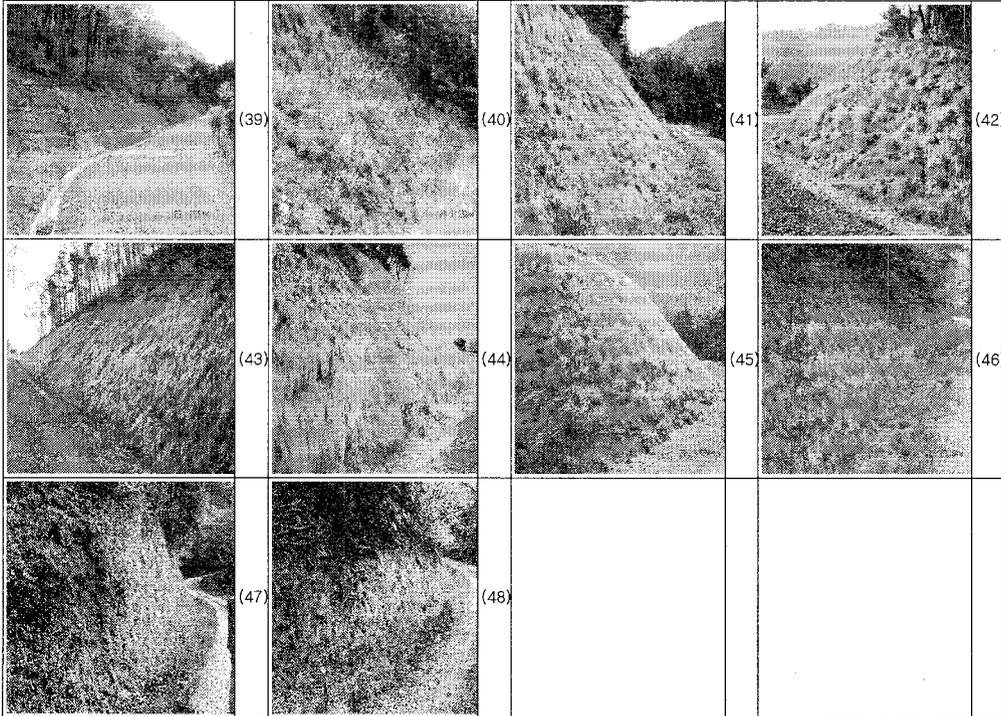
다음 그림 4.23은 기초공사만 시행된 임도구간을, 그림 4.24는 기초공사 및 녹화공사가 시행된 임도구간을, 그림 4.25는 녹화공사만 시행된 임도구간을 보여주는 현황사진이다.



<그림 4.24> 기초공사만 시행된 임도사면 현황사진



<그림 4.25> 기초공사 및 녹화공사가 시행된 임도사면 현황사진



<그림 4.26> 녹화공사만 시행된 임도사면 현황사진

2. 시업등급 기준 및 분류

가. 시업등급 분류 기준

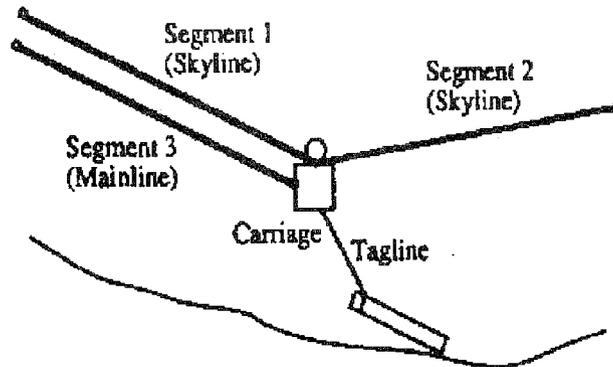
시업등급은 벌채, 간벌, 기타무육, 보호림 중 벌채와 간벌에 대해서 가선집재시스템(cable logging)의 집재가능 거리로부터 임도와의 접근성을 분석하기 위해 버퍼링 분석을 수행하였다. 벌채와 간벌 이 두 인자만을 버퍼링한 이유는 기타무육 및 보호림은 목재를 운반할 필요가 없어 임도와의 접근성을 분석할 필요가 없기 때문이다.

우리나라는 대부분의 산림이 경사가 급하여 트랙터나 윈치를 이용한 기계화 집재법 보다 가선집재방법이 작업의 생산성 및 임지보호 측면에서 효율적이다. 그 중 고정식 가선집재시스템(standing skyline)은 집재시스템 중 가장 기본적인 형태이며 유동식 가선집재(Live skyline)시스템과 함께 널리 사용된다. 본 연구에

서는 고정식 가선집재시스템을 이용할 경우 거리에 따른 집재량을 ‘가선집재시스템 역학구조해석에 관한 연구(정주상, 1993)’를 참고로 하여 추정해 보았으며 이러한 결과를 바탕으로 각 임분과 임도와의 접근성을 조사하였다.

(1) 고정식 가선집재(standing skyline)시스템의 구조

다음 그림에서 고정식 가선집재시스템은 크게 반송기(carriage)와 두 부분의 가선 그리고 당김줄로 구성되어진다. 반송기는 벌목된 나무를 매달아 운반하는 도구이고, Segment 1과 2는 반송기를 공중에 띄워주는 가선(skyline)이다. Segment 3은 반송기를 이동시켜주기 위한 당김줄(mainline)이다.



<그림 4.27> 고정식 가선집재시스템 구조

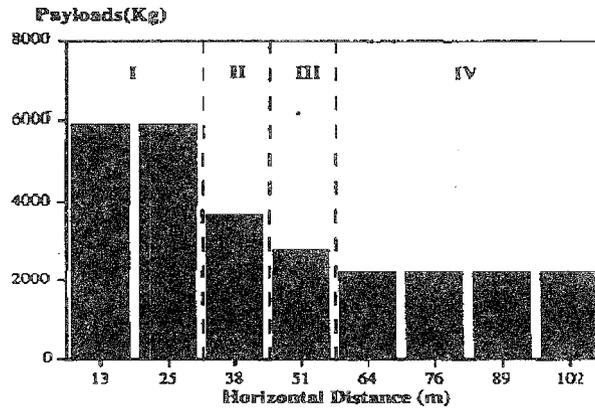
(2) 지형조건에 따른 허용반송량 추정

다음 표는 가선의 길이 134.55m일 때 거리에 따른 허용 반송량을 추정한 내용이다. 수평거리는 고정식 가선집재시스템의 두 지주목 간의 수평거리를 임의로 10등분하여 생긴 8점을 의미하고 각 지점에서의 허용 반송량을 계산한 것이다.

<표 4.11> 가선의 길이 134.55m일 때의 허용 반송량 추정

Horizontal distance (m)	Payload (Kg)	Skyline clearance (m)	Tension on cable segments			
			Seg 1 (Kg)	Seg 2 (Kg)	Seg 3 (Kg)	Tagline (Kg)
13	5,294	4.11	4,620	4,603	4,400	5,013
25	6,210	4.09	7,756	7,730	4,284	5,254
38	3,682	5.52	7,736	7,722	2,324	3,371
51	2,800	8.62	7,756	7,716	1,379	2,587
64	2,215	13.44	7,756	7,710	732	2,215
76	2,250	17.26	7,756	7,704	661	2,250
89	2,413	19.00	7,756	7,699	603	2,413
102	2,790	14.01	7,756	7,694	524	2,790

위 표를 바탕으로 거리에 따른 허용 반송량의 분포를 다음 그림과 같이 나타내었다. 크게 25m, 38m, 51m, 102m로 나누어져 4등급으로 나눌 수 있다. 다음 그림을 바탕으로 5등급으로 나눌 수 있는데, 그 결과는 다음 표 4.12와 같다.



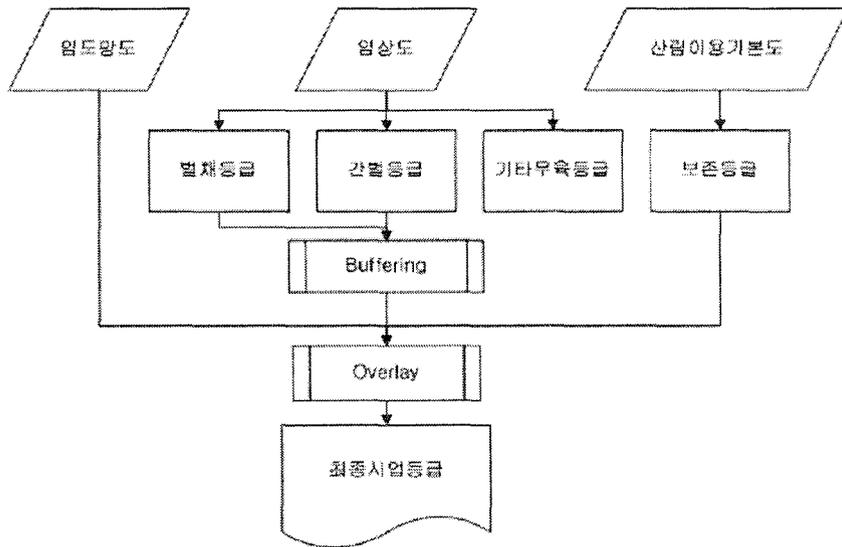
<그림 4.28> 거리에 따른 허용 반송량 분포 그래프

<표 4.12> 시업지와 임도와의 거리에 따른 시업등급 분류 기준

등급	내용
I	0~25m
II	25~38m
III	38~51m
IV	51~130m
V	130m 이상 (집재불가)

나. 시업등급 분류

시업등급은 기 구축된 임상도와 산림기본이용도를 이용하여 분류하였다. 먼저 임상도로부터 각 기준에 맞게 벌채, 간벌, 기타 무육등급으로 구분한 후 고정식 가선집재시스템의 접근성을 고려하여 각각을 버퍼링 분석을 수행하였다. 다음 그림은 시업등급 분류를 위한 흐름도이다.



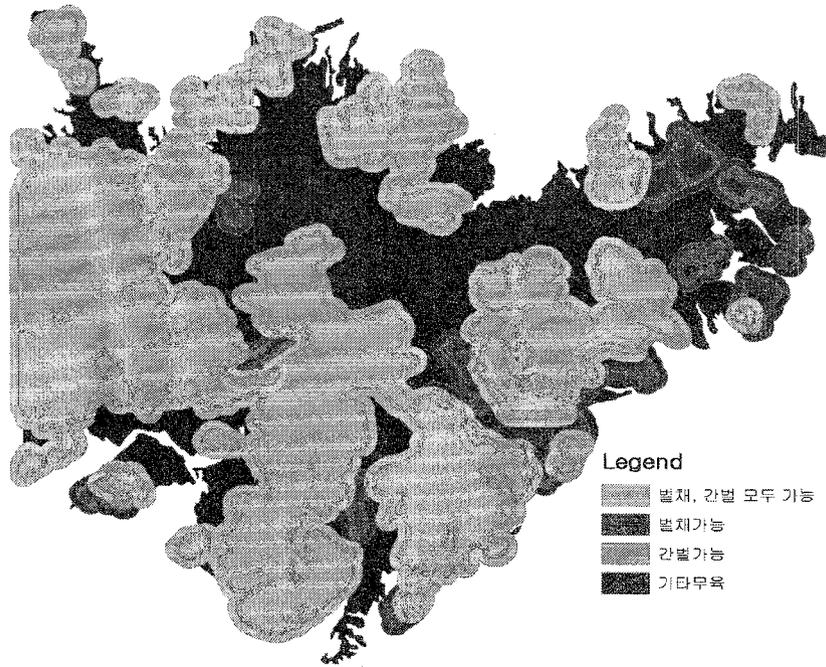
<그림 4.29> 시업등급의 공간자료 및 분석 흐름도

버퍼링을 수행할 때 각 거리등급에 따라 다음 표와 같이 점수를 부여하였다. 이때 등급이 다시 4개로 구분될 수 있는데, 벌채·간벌 모두 가능, 벌채 가능, 간벌 가능, 기타 무육등급이다.

<표 4.13> 시업등급 별 거리에 따른 점수표

거리등급	1	2	3	4
시업등급				
벌채	1001	1002	1003	1004
간벌	2001	2002	2003	2004
기타무육	0			

다음 그림은 버퍼링 분석을 수행한 후 4 등급으로 분류된 결과를 보여준다.



<그림 4.30> 버퍼링을 수행한 후 4 등급으로 분류

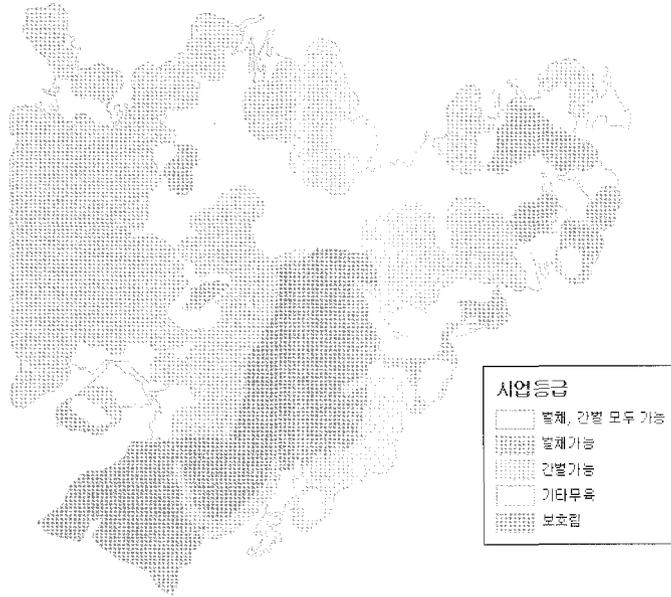
다음 표는 4개의 등급분류 기준을 나타내고 있다.

<표 4.14> 사업등급 점수분포에 따른 등급 분류

사업등급구분	점수분포	비고
별채·간벌 모두가능	1001~4, 2001~4	별채 및 간벌등급이 모두 포함
별채가능	1001~4	별채등급만 분포
간벌가능	2001~4	간벌등급만 분포
기타무육	0	별채 및 간벌등급이 포함되지 않음

본 연구에서는 각각의 점수분포에 따라 여러 가지 경우로 나누어 등급을 산정해야 하지만 그렇게 할 경우 수가 매우 복잡해지고, 사업지와 임도와의 거리에

따라 분류된 4개 등급이 크게 차이가 나지 않을 것으로 판단되어 앞의 표에서처럼 시업등급을 분류한 결과 두개 등급 즉, 130m를 기준으로 집계 가능한 거리와 집계 불가능한 거리로만 분류하였다. 또한 버퍼링 분석을 수행한 후 산림이용기본도에서 보호림을 분류하여 중첩하였으며, 그 결과는 다음 그림과 같다.



<그림 4.31> 버퍼링 분석 후 보호림 중첩 결과

이와 같은 결과를 바탕으로 최종적으로 임도의 시업등급은 5가지로 분류되었다.

<표 4.15> 최종 시업등급

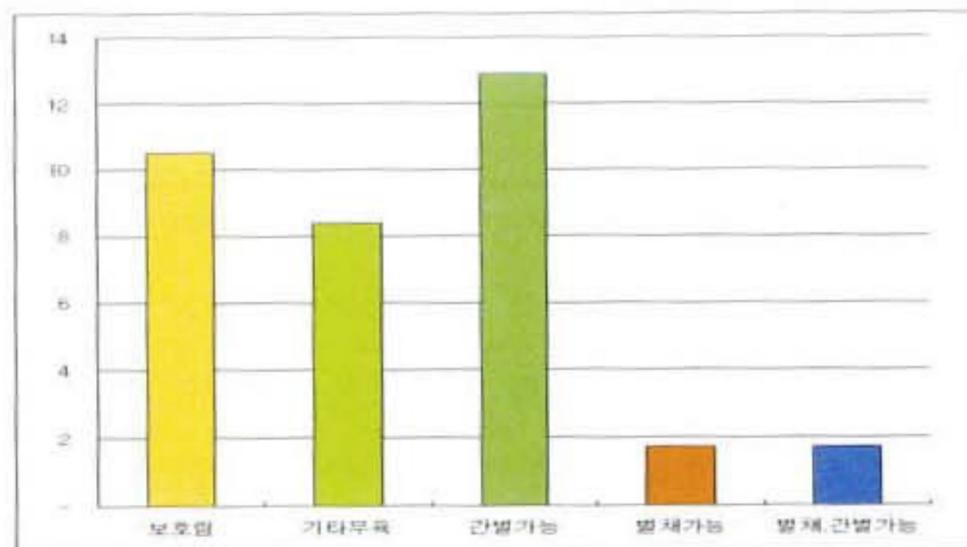
최종 시업등급	내 용
벌채·간벌 모두 가능	임도 주위의 임분 중에서 벌채와 간벌이 모두 가능한 임분이 존재
벌채 가능	임도 주위의 임분 중에서 벌채가 가능한 임분이 존재
간벌 가능	임도 주위의 임분 중에서 간벌이 가능한 임분이 존재
기타무육	임도 주위의 임분 중에서 기타무육작업을 해야 하는 임분이 존재
보호림	임도 주위의 임분 중에서 반드시 보호해야 할 임분이 존재

연구지역 임도의 사업등급 분류 결과는 다음 그림과 같다.



<그림 4.32> 연구지역 임도의 사업등급 분류 결과

분류 결과 연구지역은 간벌과 기타무육의 비중이 비교적 높았다. 이것은 연구지역이 직접적인 경제효과를 창출하는 단계에 있지 않고 오히려 산림을 육성하고 가꾸어야하는 단계에 있음을 의미한다 할 수 있다. 또한 보존등급 비율이 높은 것으로 볼 때 본 연구지역은 공익적 가치가 높다고 할 수 있다.



<그림 4.33> 사업등급별 분포도 (단위 : km)

3. 경관등급 기준 및 분류

본 연구에서는 임도 유지관리에 있어 경관등급을 크게 임도의 조망지점으로 부터 외부 주변경관을 조망했을 때의 내부경관등급과 외부에서 임도가 개설된 지역을 바라볼 때의 외부경관등급으로 분류하였다.

가. 내부경관등급 분류 기준

내부경관등급은 관측지점의 조망가치로서 판단하는데, 관측지점으로부터 가시거리, 수직시야각, 그리고 주변 경관가치를 종합 분석하여 최종 내부경관등급을 분류하였다.

1) 가시거리 분류 기준

경관의 시각적인 질은 조망시점과 대상물간의 거리에 영향을 받게 된다. 시점에서 어느 정도 떨어진 거리에서 주변 경관을 바라보느냐에 따라 달라진다. 이는 대상의 물리적 크기에 좌우되기 때문에 가시거리로써 고려하면 상대적인 크기에 불과하다. 일반적으로 인간이 육안으로 식별할 수 있는 거리한계 그리고 수림의 질감이 다르게 인지되는 거리한계에 따라 근경, 중경, 원경으로 구분한다. 근경은 대개 1-400m 이내로 큰 산의 일부분만 보이고 식생의 질감을 인지할 수 있는 시점이고, 중경은 1km 정도로 대체적인 산의 윤곽을 볼 수 있는 시점이며, 원경은 1km 이상으로서 산의 전체가 보이고 주변경관과 연계하여 인지할 수 있는 시점이라 할 수 있다. 이를 근거로 본 연구에서는 다음 표와 같이 가시거리에 따른 분류 기준을 결정하였다.

<표 4.16> 가시거리 분류 기준

가시거리적합도	내용
4 (매우적합, 조망점 가치 높음)	<500m
3 적합	500-1000m
2 보통	1000-2000m
1 (부적합, 조망점 가치 낮음)	>2000m

2) 주변 경관가치 분류 기준

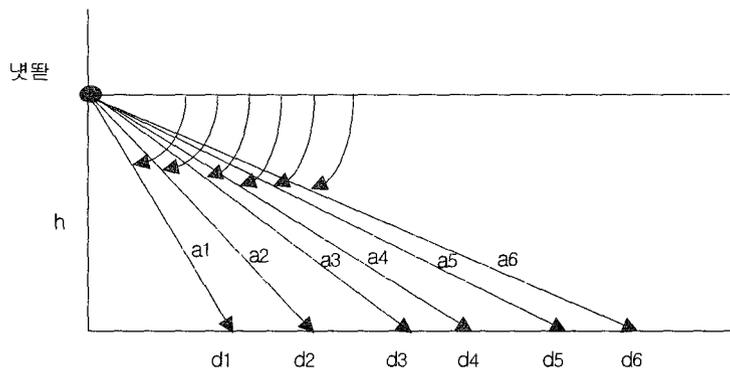
주변 경관가치는 관측지점으로부터 보이는 경관 구성요소의 특성에 따라 달리 인식 될 수 있다. 주변의 강, 호수 그리고 하천을 바라보았을 때와 콘크리트 구조물이나, 복잡한 시가지가 보일 때의 경관가치는 다르게 인식된다. 따라서 본 연구에서는 다음 표와 같이 경관가치 분류 기준을 조망시점으로부터 관찰되는 지역의 토지피복 구성에 따라 설정하였다.

<표 4.17> 주변 경관적인 가치 분류 기준

경관가치적합도	내용
4 (매우적합, 조망점 가치 높음)	수역, 습지
3 적합	산림, 농경, 초지
2 보통	나지
1 (부적합, 조망점 가치 낮음)	도시

3) 수직시야각 분류 기준

임도노선 상 조망시점은 주변 경관지점에 비해 높은 곳에 있어서 대상을 내려 보는 경우가 대부분이다. 이에 관찰대상에 대한 수직시야각의 크기에 따라 경관이 크게 변화한다. 다음 그림은 시야각 크기에 따른 경관변화 시점을 보여준다.



<그림 4.34> 수직시야각의 변화에 따른 경관변화 시점

(출처 : 공간공학, 유복모, 1996)

수직시야각 크기에 따른 경관적인 특징을 정리하면 다음 표와 같다.

<표 4.18> 수직입사각에 따른 경관특징 (출처: 경관공학, 유복모, 1996)

각도	d/h	경관적인 특징
-45°이하(a1)	1이하	하향 각에 의한 부감의 최대 하한 값으로, 이 이하는 사공간(dead space)이 된다.
-30°~-10°(a2)	1.7~5.7	하향 각에 의한 일반적인 하한 값(-30°)과 중심선(-10°)사이로 시각적으로 가장 중요한 영역이 된다.
-10°~-8°(a3)	5.7 ~ 7.1	하향각의 중심선으로 중심영역이 된다.
-8°이상(a4)	7.1 이상	이 이상은 원경영역이 된다.
-3°~2°(a5)	19~ 29	원경영역에 포함되며 일반적인 부감의 상한 값이 된다.

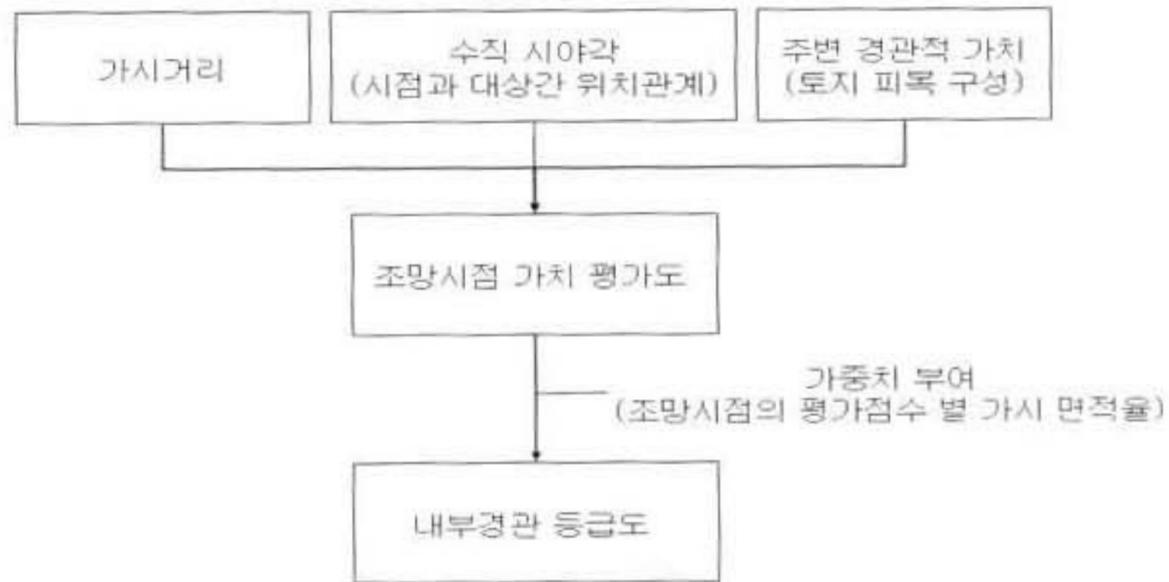
위의 표는 수직시야각 분류 기준을 설정하는데 이용되었으며, 설정 결과는 다음 표와 같다.

<표 4.19> 수직입사각 분류기준

수직입사각 적합도	내용 (d/h)
1 (부적합, 조망점 가치 높음)	<1, 19-29
2 보통	>7.1
3 적합	5.7-7.1
4 (매우적합, 조망점 가치 높음)	1.7-5.7

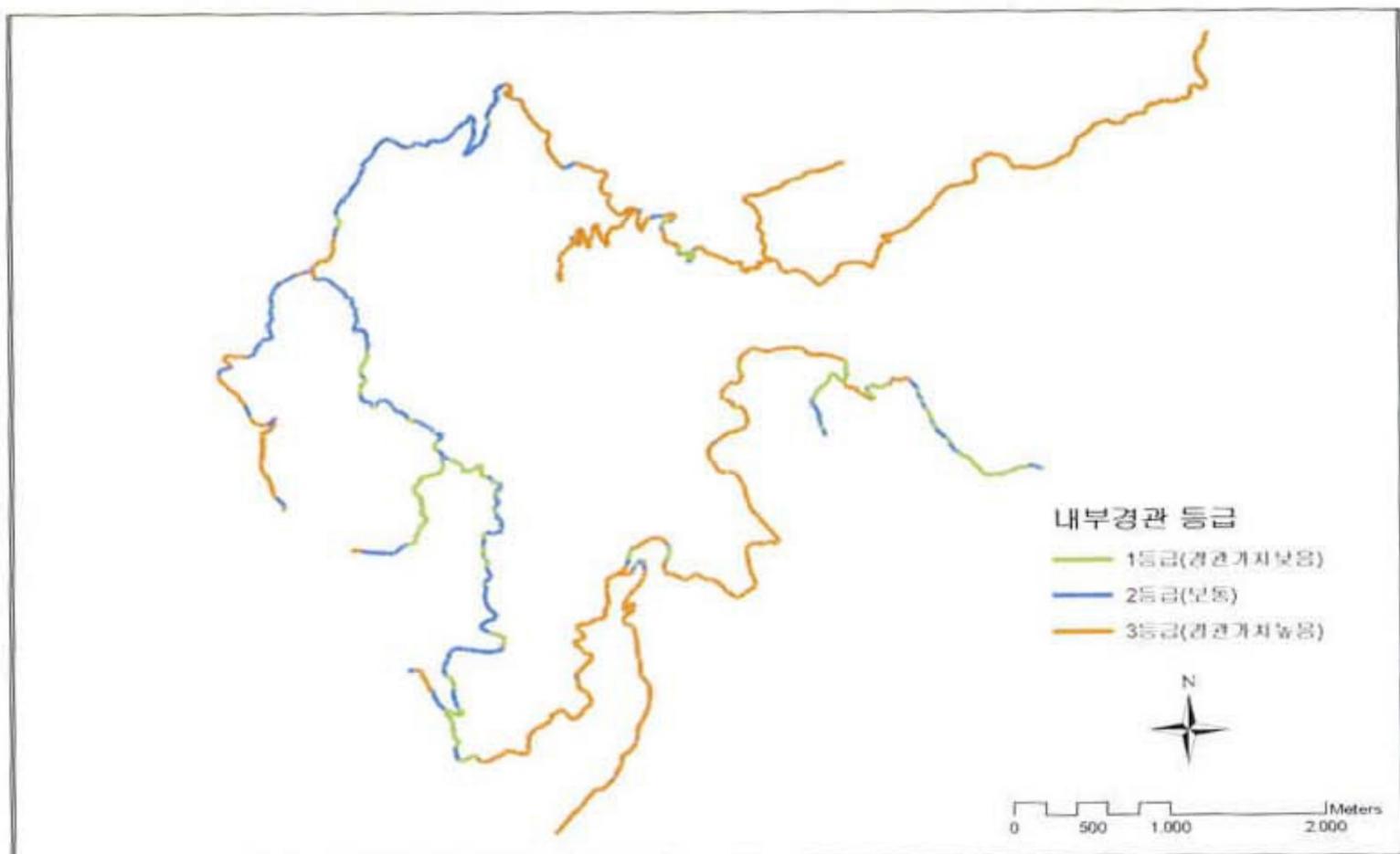
나. 내부경관등급 분류

다음 그림은 내부경관등급을 최종적으로 결정하기 위한 작업 과정이다.



<그림 4.35> 내부경관등급 분류를 위한 작업 과정

앞에서 추출한 내부경관 인자를 임도노선에서 추출한 모든 관찰지점마다 분석한 결과 다음 그림과 같다.



<그림 4.36> 연구지역의 내부경관등급 분류 결과

다. 외부경관등급 분류 기준

임도주변 마을이나 도로에서 임도가 개설된 지역을 바라보았을 때 절개된 사면이 얼마나 빈번하게 노출되었는지를 판단하기 위해 가시빈도를 이용하여 최종 외부경관등급을 분류하였다. 가시빈도는 경관분석 기법의 하나로서 개발 전·후의 경관적인 가치를 평가하는데 유용하게 사용되나, 본 연구에서는 산림에 임도를 개설함으로써 야기되는 산림경관 훼손에 대한 평가를 하기 위해 적용되었다.

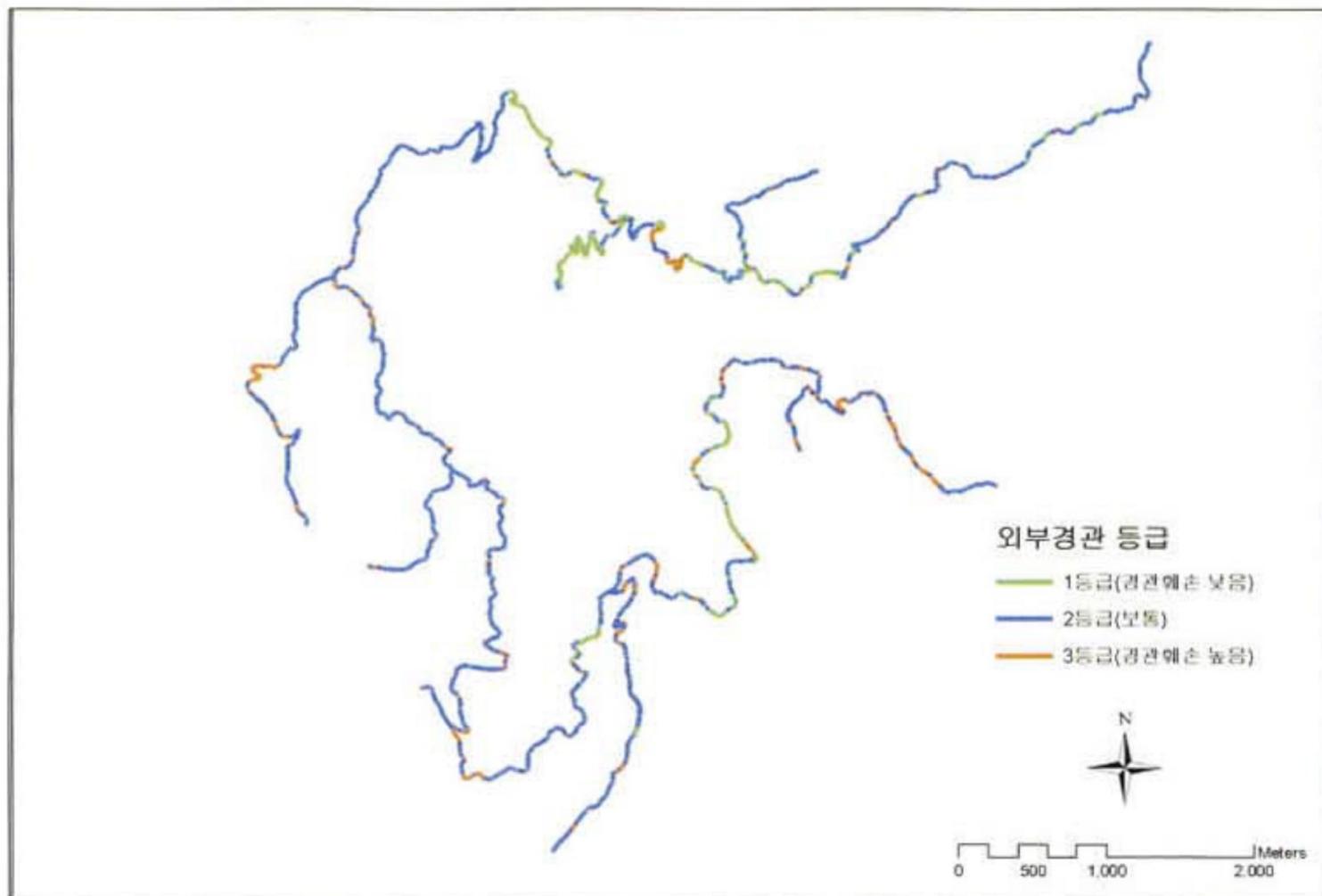
임도사면이 외부에서 잘 보일수록 유지관리가 필요하다는 것으로 높은 등급을 부여하였다. 외부경관등급은 다음 표와 같이 관측지점으로부터 보이지 않는 곳은 0(안보임)으로, 1부터 평균값에 두 배의 표준편차를 더한 값까지를 2(보통)로, 나머지 값에 대해서는 3(잘보임)으로 설정하였다.

<표 4.20> 가시빈도 분류 기준

가시빈도 적합도	내용 (d/h)
1 산림경관 훼손 낮음	0 (안보임)
2 보통	1-196 (보통)
3 산림경관 훼손 높음	196-1082 (잘보임)

라. 외부경관등급 분류

가시빈도 분류 기준에 따라 최종 분류한 외부경관등급에 대한 결과는 다음 그림과 같으며, 1등급이 18%, 2등급이 72%, 3등급이 8%의 분포를 보였다.



<그림 4.37> 연구지역의 외부경관등급 분류 결과

제4절 세부 등급별 분류 정확도 분석

1. 붕괴위험등급 분류 정확도 분석

임도 붕괴위험등급 분류의 정확도 검증을 위해 2005년 4월 25부터 30일까지 5일간에 걸쳐서 31개 지점에서 현지조사를 수행하였다. 조사방법은 붕괴위험 인자의 특성에 따라 측정기구를 이용하는 방법과 육안판독에 의한 방법으로 측정하였다. 측정기구를 이용하여 측정한 인자는 절·성토사면길이이고, 임도 총 노폭은 줄자를 이용하였다. 절·성토사면경사, 산지경사는 경사계를 이용하여 측정하였고, 산지사면방위는 나침반을 이용하여 측정하였다. 이외 임도위치, 사면피복율, 사면종단면형, 그리고 겉보기 토질은 육안조사를 하였다.

가. 절토사면등급 분류 정확도 분석

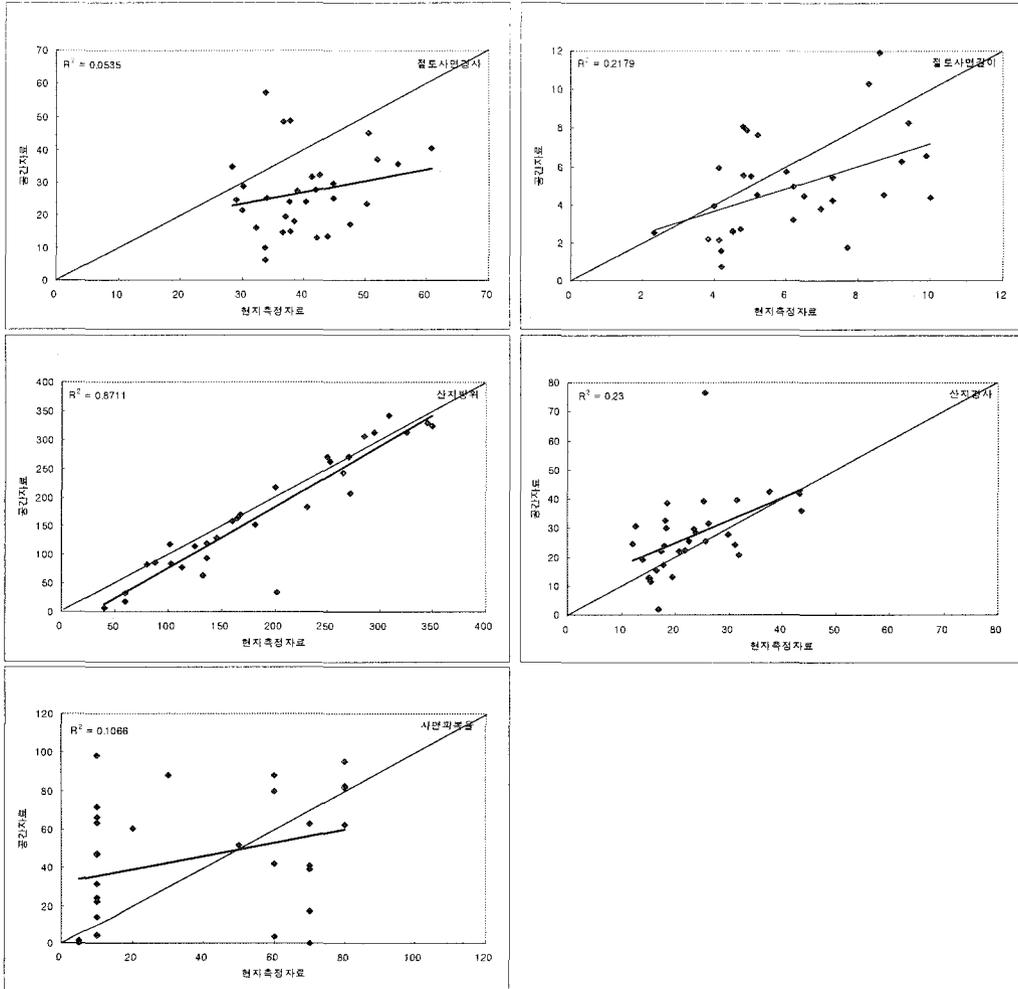
절토사면길이의 경우 공간분석 자료와 현지조사 자료 간에 약 1.1m 정도 오차를 보이고 있는데, 이는 주로 항공사진을 이용하여 입체 도화할 때 수관에 가려 보이지 않는 부분에서의 오차로 판단된다. 사면 피복율에서의 차이는 두 자료의 시기적인 차이일 수 있다. 즉, 현지조사는 2005년 4월에 이루어졌고, 공간분석 자료는 2001년 8월에 촬영된 항공사진을 이용하여 추출되었기 때문에 사면에 나타나는 식생상태가 다를 수 있다. 8방위로 분석된 산지사면방위의 경우 현지조사 결과와 공간분석을 통해 얻어진 자료가 거의 유사함을 알 수 있다. 산지경사 또한 평균적 차이가 약 4도로 거의 유사함을 알 수 있다. 현지조사 자료와 공간분석 자료 간에 절토사면인자의 추출 방법에 의한 차이가 있는지 여부를 알아보기 위해 다음 표와 같이 T-test를 수행한 결과 절토사면경사 이외에 차이가 없음을 보여주고 있다. 또한 임도 위치, 겉보기 토질은 현지조사방법과 공간분석 추출 방법 간에 차이가 있음을 보여주고 있다.

<표 4.21> 절토사면 붕괴위험 인자의 현지조사 자료와 공간분석 자료 비교

(** : $\alpha < 0.01$ 수준에서 유의, N : 유의하지 않음)

	현지조사		공간자료		RMSE	T-test
	평균	표준편차	평균	표준편차		
절토사면길이	6.08m	2.07	4.90	2.61	2.7	N
절토사면경사	40.05도	7.93	57.34	12.23	18.5	**
산지경사	22.92도	8.36	27.16	13.44	12.7	N
산지사면	188.61도	90.89	170.52	103.48	41.8	N
사면피복율	37.10%	29.99	45.04	32.16	36.9	N

다음 그림은 현지조사 자료와 공간분석 자료를 이용하여 추출된 절토사면 붕괴위험 인자와의 차이를 보여준다. 공간분석을 통해 추출된 자료가 현지조사 자료에 비해 절토사면길이와 산지사면방위의 경우 평균적으로 조금 과소 추정(underestimate)되었으며, 절토사면경사, 산지경사, 그리고 사면 피복율은 과대 추정되었다.



<그림 4.38> 절토사면 붕괴위험 인자별 현지조사 자료와 공간분석 자료 비교

다음 표는 절토사면 붕괴위험 인자 중 사면의 종단면형을 오목, 직선, 볼록형으로 분류하여 현지조사 자료와 공간분석 자료의 비교 오차행렬로 전체 정확도가 19.3%로 나타났다.

<표 4.22> 절토사면 붕괴위험 인자 중 사면종단면형의 현지조사와 공간분석자료 비교

공간자료	현지조사자료			T-test
	오목형	직선형	불록형	
오목형	0	15	1	16
직선형	0	3	0	3
불록형	0	9	3	12
total	0	27	4	31

임도가 지나는 지형 상 위치를 계곡, 능선, 사면으로 분류하여 오차행렬로 정확도 비교한 결과 다음 표와 같으며, 전체 정확도는 48.3%로 나타났다.

<표 4.23> 절토사면 붕괴위험 인자 중 임도위치의 현지조사와 공간분석자료 비교

공간자료	현지조사자료			T-test
	계곡	능선	사면	
계곡	1	2	7	10
능선	0	8	5	13
사면	2	0	6	8
total	3	10	18	31

다음 표는 결보기토질에 대한 오차행렬로 전체정확도 32.2%로 나타났다. 현지조사 자료나 공간분석 자료에서 연구지역 토질 분포는 대부분 토사나 자갈토양으로 분석되었다.

<표 4.24> 절토사면 붕괴위험 인자 중 결보기토질의 현지조사와 공간분석자료 비교

공간자료	현지조사자료				T-test
	경암	자갈토양	연암	토사	
경암	2	0	1	2	5
자갈토양	4	8	5	9	26
연암	0	0	0	0	0
토사	0	0	0	0	0
total	6	8	6	11	31

나. 성토사면등급 분류 정확도 분석

성토사면길이는 공간분석 자료와 현지조사 자료의 평균적인 차이가 0.7m 정도로 일치하였으며, 성토사면경사와 임도 총 노폭은 다소 과소 추정되었다. 성토사면붕괴 인자를 추출하는데 사용된 항공사진이 산림자원조사 목적으로 수목의 잎이 다 자라서 수관유효도가 높은 8월에 촬영되었기 때문에 수관으로 가려진 임도구간의 노폭이 좁게 추출되는 경향이 나타났다.

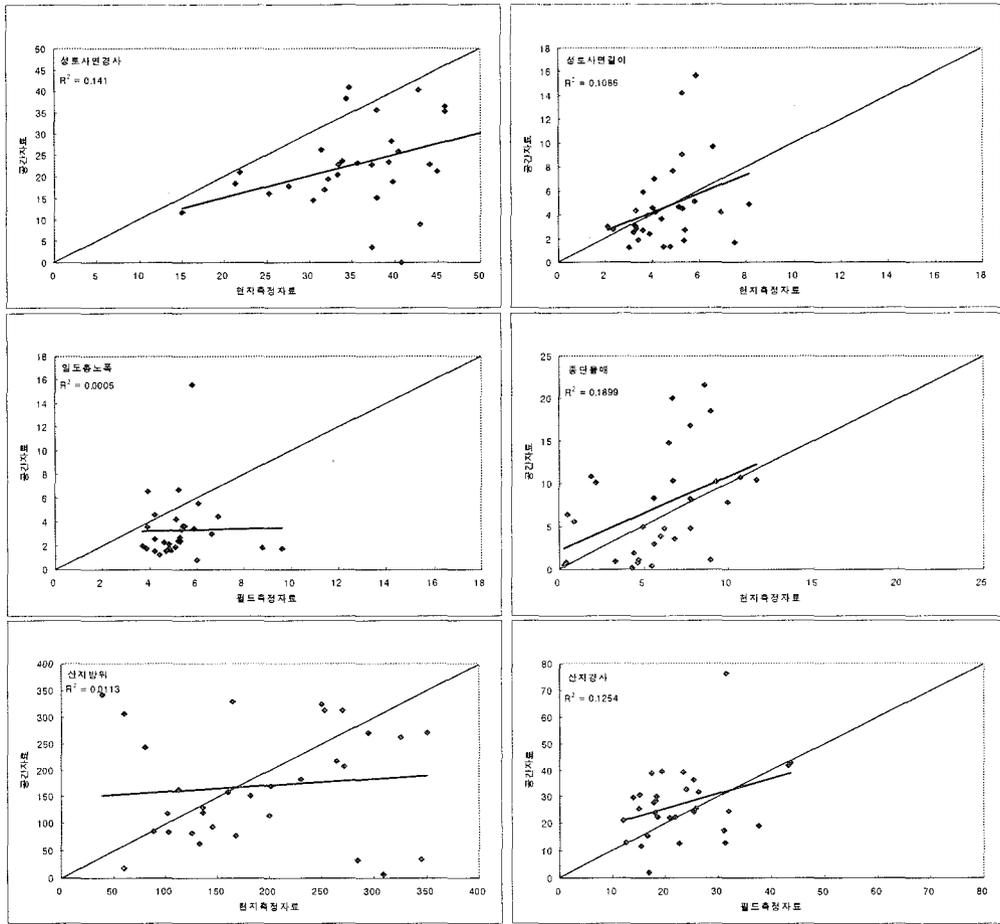
또한 산지경사, 산지사면, 그리고 임도 종단물매도 과소 추정되었으나, 성토사면 붕괴위험등급 분류 기준 이내의 차이를 보여주고 있다. 측정방법에 의한 차이를 판단하기 위해 T-test 한 결과 다음 표와 같이 성토사면경사와 임도 총 노폭의 경우는 측정방법에 따른 차이가 있음을 보여주고 있다.

<표 4.25> 성토사면 붕괴위험 인자의 현지조사 자료와 공간분석 자료 비교

(** : $\alpha < 0.01$ 수준에서 유의, N : 유의하지않음)

	현지조사		공간자료		RMSE	T-test
	평균	표준편차	평균	표준편차		
성토사면길이	4.59m	1.44	4.66	3.48	3.3	N
성토사면경사	35.82도	7.98	23.08	10.62	16.7	**
산지경사	22.92도	8.36	27.16	13.44	13.7	N
산지사면	188.61도	90.89	170.52	103.48	131.5	N
총노폭	5.31m	1.31	3.32	2.72	3.6	**
임도종단물매	5.08도	3.08	7.19	6.17	5.7	N

다음 그림에서 성토사면 붕괴위험 인자는 공간분석으로 추출된 자료가 현지조사 자료에 비해 성토사면경사, 임도 총 노폭, 그리고 산지사면의 경우 평균적으로 다소 과소 추정(underestimate)되었으며, 산지경사, 그리고 임도종단물매는 과대 추정되었음을 볼 수 있다. 특히, 성토사면길이는 현지조사 자료와 공간분석 자료 간에 상대적으로 가장 유사한 결과를 보여주고 있다.



<그림 4.39> 성토사면 붕괴위험 인자별 현지조사 자료와 비교

다음 표는 임도가 지나는 위치를 계곡, 능선, 사면으로 분류하여 현지조사와 공간분석자료 간의 오차행렬을 보여주고 있다. 전체 정확도는 35.5%로 나타났다.

<표 4.26> 성토사면 붕괴위험 인자 중 임도위치의 현지조사와 공간분석자료 비교

공간분석	현지조사자료			T-test
	계곡	능선	사면	
계곡	0	4	6	10
능선	0	6	7	13
사면	3	0	5	8
total	3	10	18	31

다음 표는 현지조사와 공간분석자료 간의 겉보기토질에 대한 오차행렬표로, 전체 정확도 29%로 나타났다.

<표 4.27> 성토사면 붕괴위험 인자 중 겉보기토질의 현지조사와 공간분석자료 비교

공간분석	현지조사자료					T-test
	토사	자갈토양	연암	경암		
토사	0	0	0	0	0	N
자갈토양	8	9	8	1	26	
연암	0	0	0	0	0	
경암	2	2	1	0	5	
total	10	11	9	1	31	

다음 표는 성토사면 붕괴위험 인자 중 사면의 종단면형을 오목형, 직선형, 볼록형으로 분류하여 현지조사와 공간분석자료 간의 오차행렬표로, 전체 정확도가 32.2%로 나타났다.

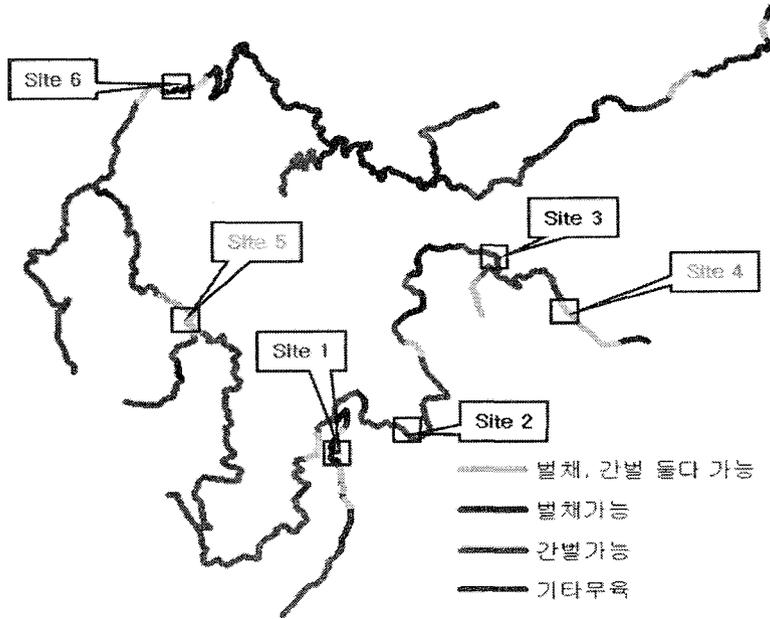
<표 4.28> 성토사면 붕괴위험 인자 중 사면종단면형의 현지조사와 공간분석자료 비교

공간자료	현지조사자료			T-test	
	오목형	직선형	볼록형		
오목형	1	16	0	17	N
직선형	0	9	0	9	
볼록형	2	3	3	5	
total	3	28	0	31	

이상의 결과에서 임도 사면붕괴 인자 중 현지에서 육안으로 판독하는 인자들은 대부분 조사자의 경험적인 판단에 좌우되기 때문에 정확도가 상대적으로 낮게 나타나는 경향을 보였다. 결론적으로 임도 붕괴위험을 판단하기 위한 인자들을 현지 조사한 결과와 공간분석을 이용하여 얻어진 자료 간에 다소 차이를 보이고 있지만 공간분석을 통해 현지조사와 유사한 수준의 자료를 얻을 수 있었다.

2. 시업등급 분류 정확도 분석

최종 산출된 시업등급의 분류 정확도를 알아보기 위해 다음 그림과 같이 기타무육 등급을 제외한 나머지 3개 등급에서 각각 두 곳씩 sample site를 선정하였다. 선정된 sample site에서 매목조사를 10×10m의 크기로 시행하였으며, 매목조사는 주로 수종, 흉고직경, 수고, 분수, 위치 등으로 이루어졌다.



<그림 4.40> 시업등급 분류 정확도 분석을 위한 Sample Site 위치도

정확도를 평가하기 위한 기준으로 별채는 임상도에서 제시하는 대경급 즉, 흉고직경이 30cm 이상인 임분을, 간벌은 '임업경영학(박태식 외)'에서 제시하는 간벌기준으로 다음과 같다.

o 별채

- 영급이 5이상인 임분 중 흉고직경이 30cm 이상인 임분

o 간벌(도태식 간벌의 경우)

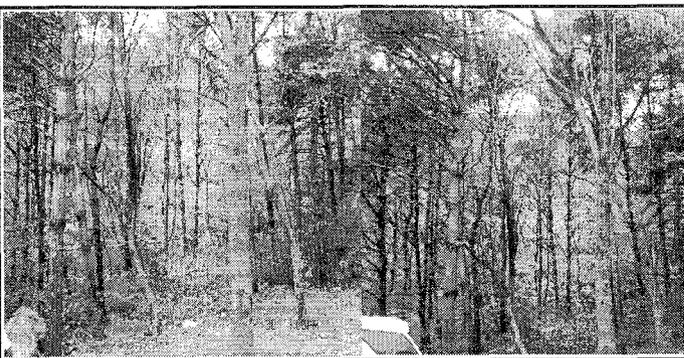
- 임분안정도(수고/흉고직경)가 100이하 인 임분

- 침엽수의 경우 평균수고가 6-10m, 활엽수의 경우 6-10m인 10-15년생 내외
- o 1ha 당 400본 이상인 임분

가. 벌채 · 간벌 가능 등급

Sample Site 4는 평균 흉고직경이 20cm로 벌채가능성이 낮으며, 간벌도 임분 안정도가 높고 간벌의 평균밀도가 낮아 간벌가능성이 낮은 편이다.

<표 4.29> 시업등급의 정확도 판정 위한 Sample Site 4

소나무(굴참나무)		
조사면적(ha)	0.1	
평균 DBH(cm)	20	
평균수고(m)	12	
본수	20	
평균밀도(본/ha)	200	
임분안정도(H/D)	60.0	

Sample Site 5는 평균흉고직경이 32cm로 벌채 가능한 임분이지만 밀도가 낮고 임분안정도가 매우 높아 간벌은 필요 없을 것으로 보인다.

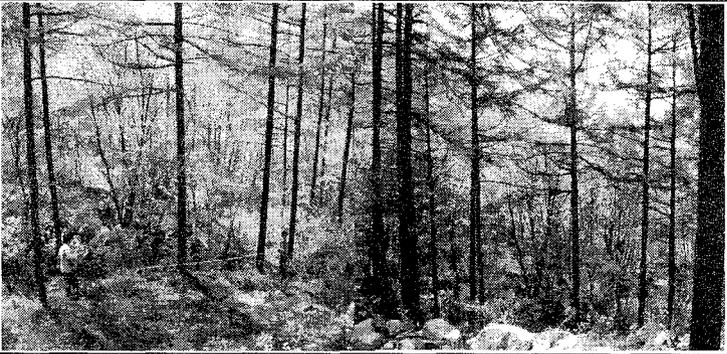
<표 4.30> 시업등급의 정확도 판정 위한 Sample Site 5

소나무		
조사면적(ha)	0.1	
평균 DBH(cm)	32	
평균수고(m)	8.5	
본수	27	
평균밀도(본/ha)	270	
임분안정도(H/D)	26.6	

나. 벌채 가능 등급

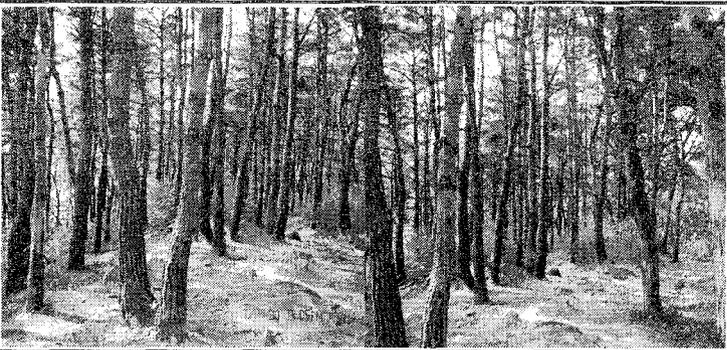
Sample Site 1은 평균흉고직경이 32cm로 벌채가 가능하고, 밀도가 낮고, 임분 안정도가 높아 간벌은 필요하지 않아 보인다. 즉, 지역은 정확도가 높다.

<표 4.31> 시업등급의 정확도 판정 위한 Sample Site 1

우점종	낙엽송	
조사면적(ha)	0.1	
평균 DBH(cm)	32	
평균수고(m)	20	
본수	15	
평균밀도(본/ha)	150	
임분안정도(H/D)	62.5	

Sample Site 6은 평균흉고직경이 31cm로 벌채가 가능하고, 밀도가 낮고, 임분 안정도가 높아 간벌은 필요하지 않아 보인다. 즉, 이 지역 또한 정확도가 높다.

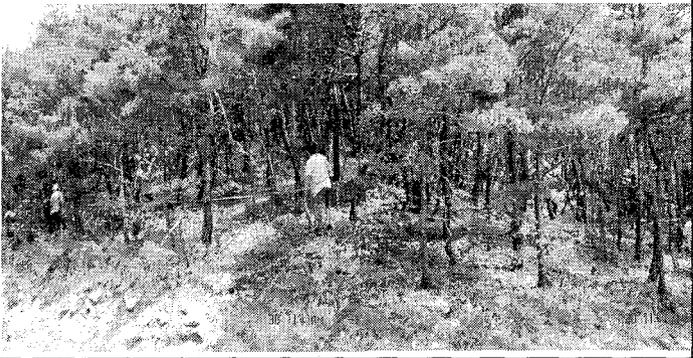
<표 4.32> 시업등급의 정확도 판정 위한 Sample Site 6

우점종	소나무	
조사면적(ha)	0.1	
평균 DBH(cm)	31	
평균수고(m)	12	
본수	18	
평균밀도(본/ha)	180	
임분안정도(H/D)	38.7	

다. 간벌 가능 등급

Sample Site 2는 임분 안정도는 높지만 흉고직경 및 수고가 낮고, 밀도가 높아 간벌이 매우 필요한 곳으로 보인다.

<표 4.33> 시업등급의 정확도 판정 위한 Sample Site 2

우점종	소나무 (신갈나무)	
조사면적(ha)	0.1	
평균 DBH(cm)	11	
평균수고(m)	8	
본수	43	
평균밀도(본/ha)	430	
임분안정도(H/D)	72.7	

Sample Site 3은 흉고직경 및 임분 안정도가 높고, 밀도가 낮아 간벌이 필요가 없어 보인다. 그러나 주위에 그루터기가 남아있는 흔적으로 볼 때 최근에 간벌이 시행되었던 것으로 보아 정확도가 떨어지는 것은 아니다.

<표 4.34> 시업등급의 정확도 판정 위한 Sample Site 3

소나무		
조사면적(ha)	0.1	
평균 DBH(cm)	25	
평균수고(m)	10	
본수	26	
평균밀도(본/ha)	260	
임분안정도(H/D)	40.0	

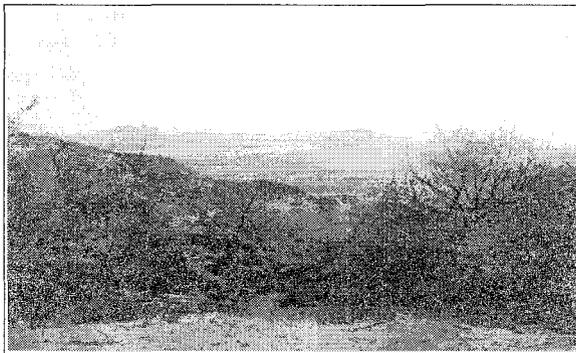
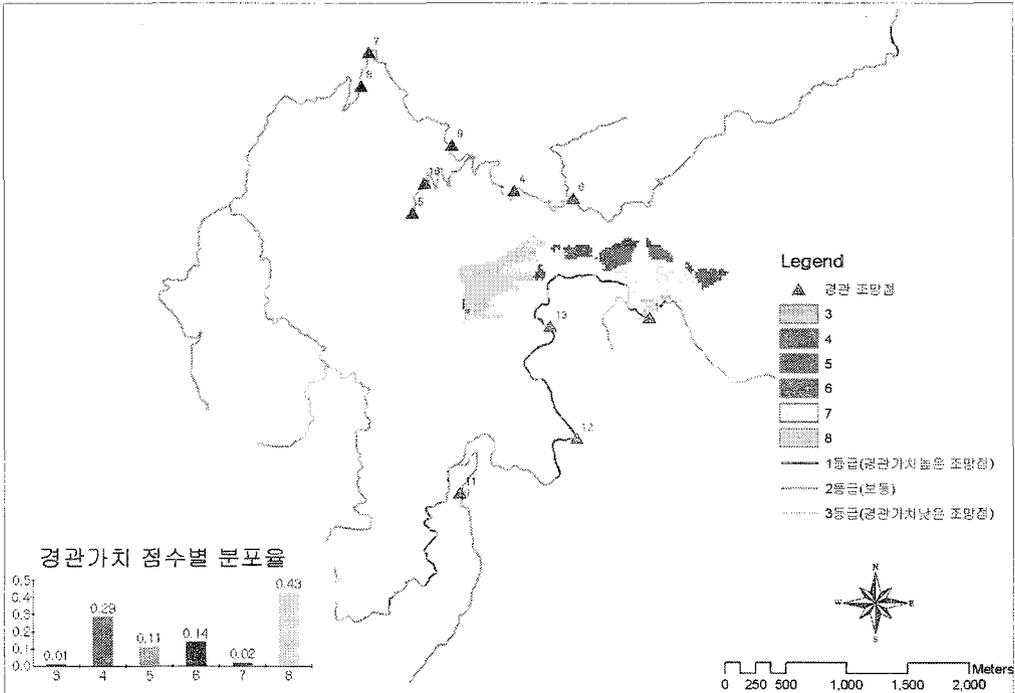
결과적으로 벌채가능 및 간벌가능에 대한 각각의 정확도는 매우 높게 나타났으나 벌채·간벌가능에 대한 정확도는 낮게 나타났다.

3. 경관등급 정확도 분석

내부경관등급 분류에 대한 정확도를 분석하였다. 연구지역에서 육안으로 주변 경관을 바라보았을 때 시야가 확보되는 지점을 분석 대상으로 하였다. 총 10개 지점의 주변 경관을 현지 조사하여 공간분석 자료와 비교한 결과 세 지점이 1등급, 여섯 지점이 2등급, 한 지점이 3등급으로 분석되었다.

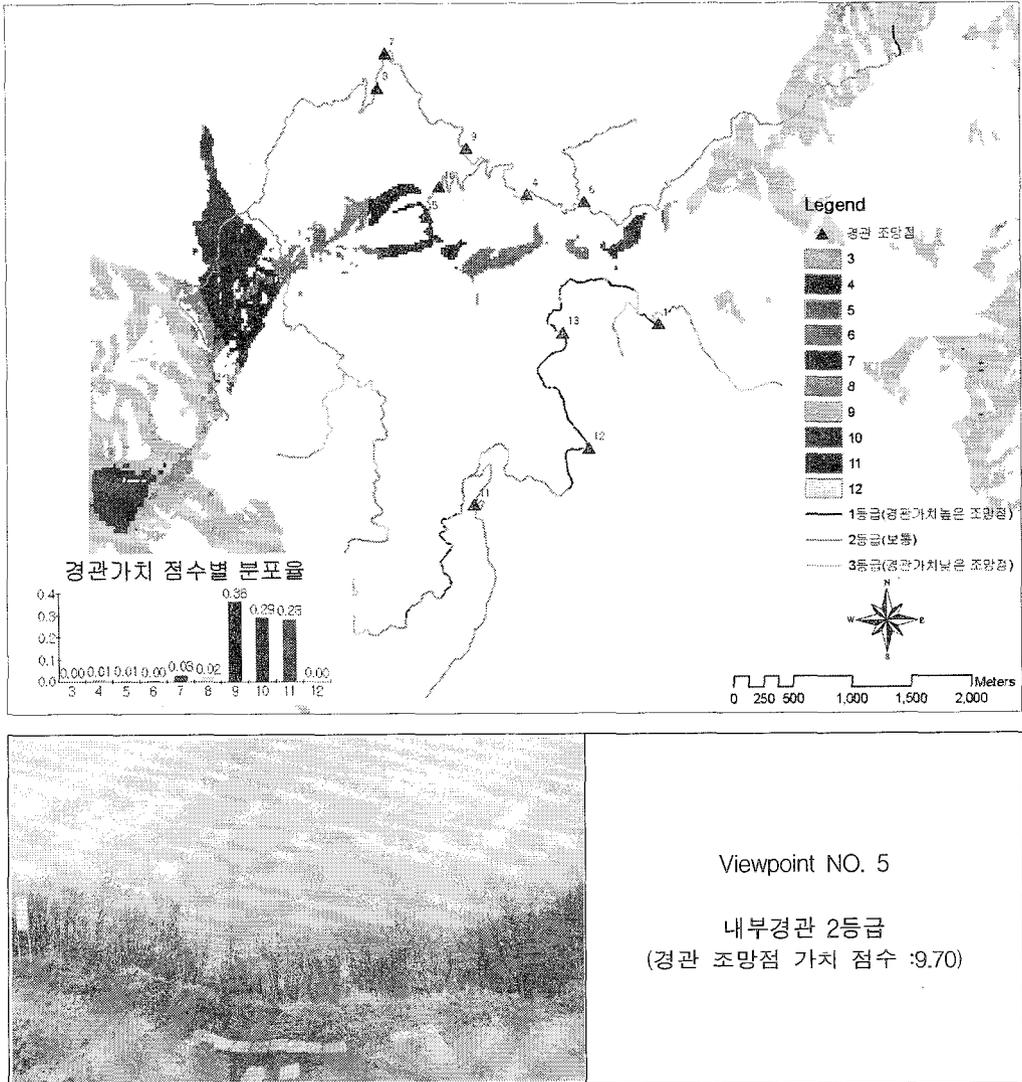
몇가지 비교 지점별로 살펴보면, 시점 2의 경우 오서산 정상부에서 남서쪽을 바라보았을 때의 경관으로 주변 경관요소는 산림으로 구성되었으며, 공간자료를 이용하여 분석한 결과 이 지점의 조망가치가 높게 산출되었다. 시점 6은 광천읍으로 연결되는 지점에서 북서쪽을 바라보는 경관으로 산림과 인접마을이 시야에 들어오는 곳으로 공간분석 결과 이 지점 조망가치 점수도 높게 산출되었다. 시점 11은 남쪽 방향으로 보이는 주변 경관요소는 산림으로 둘러싸여 있고 수역에 인접한 마을로 구성되어 있으며, 공간분석 결과 등급이 높게 산출되었다. 마지막으로 시점 16은 오서산 정상부로 연결되는 지점에서 보이는 경관으로 연속적인 주변 경관을 바라 볼 수 있는 조망시점이 될 수 있다. 공간자료 분석 결과 조망가치도 높게 평가되었다.

다음 그림 4.41~4.50은 패턴이 다르게 나타나는 대표적인 경관 시점에 대해 공간분석 결과와 현지조사사진 간에 비교분석을 수행한 것이다.

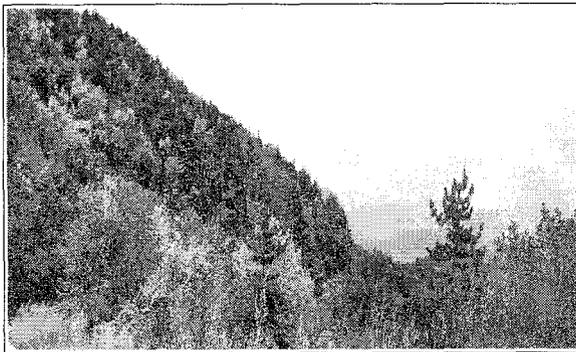
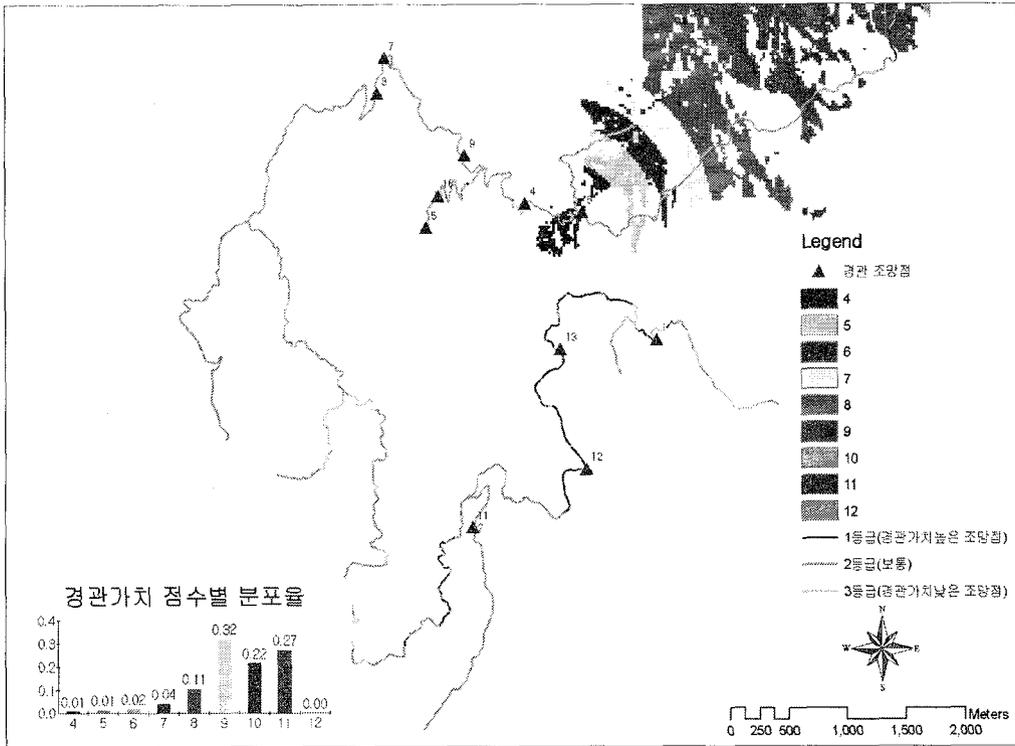


Viewpoint NO. 1
 내부경관 3등급
 (경관 조망점 가치 점수 :6.16)

<그림 4.41> 시점 1의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



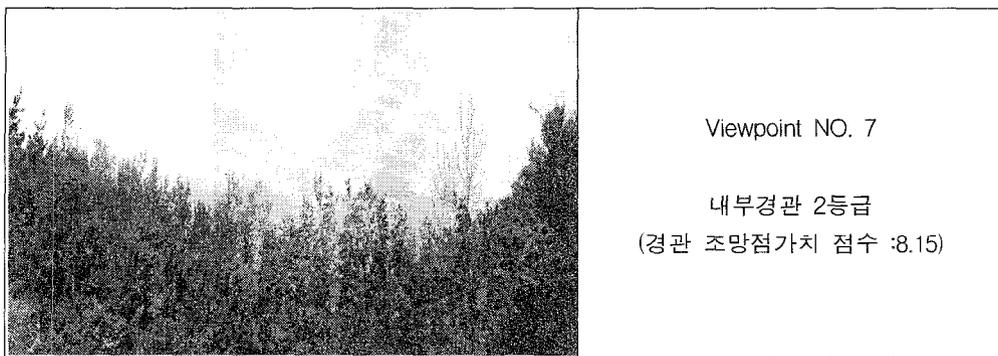
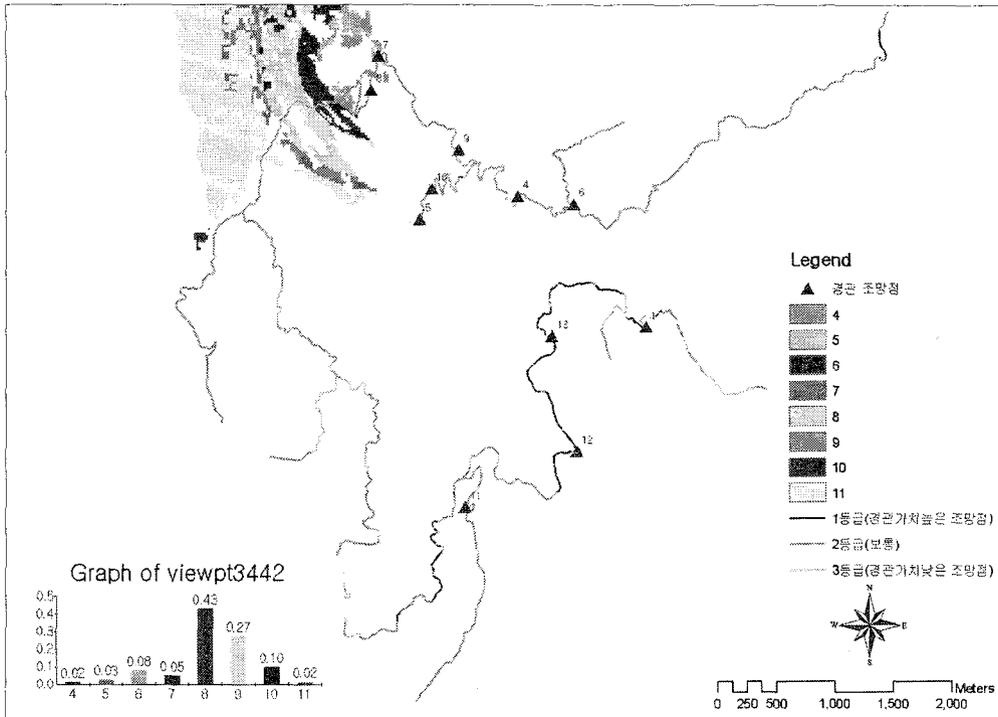
<그림 4.42> 시점 5의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



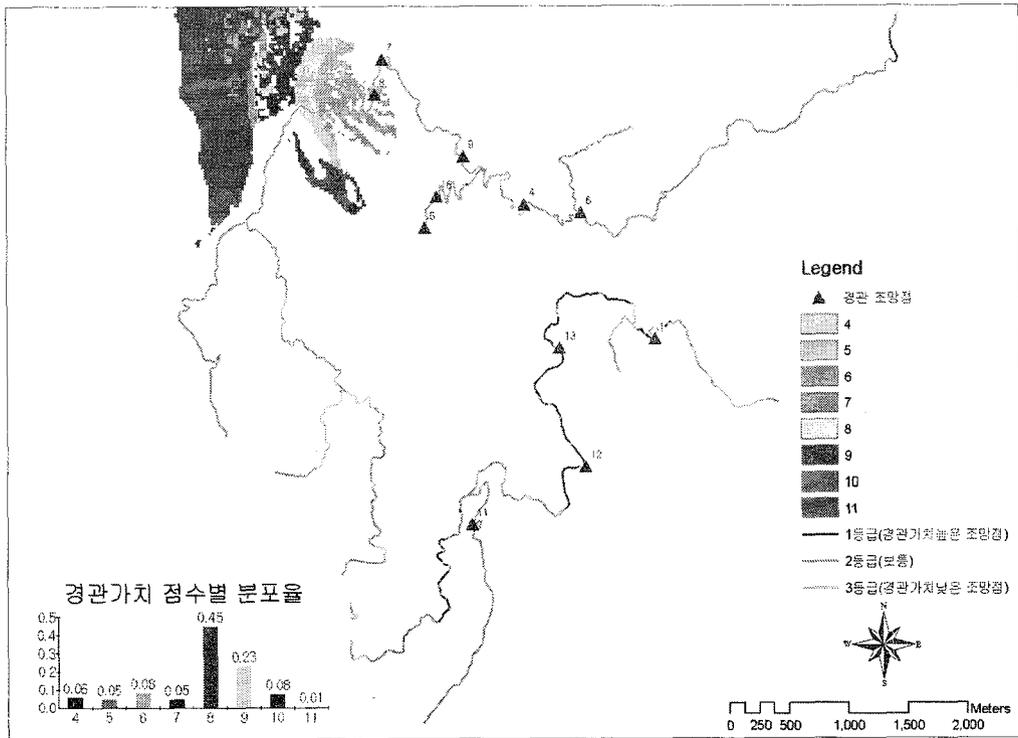
Viewpoint NO. 6

내부경관 2등급
(경관 조망점가치 점수 :9.48)

<그림 4.43> 시점 6의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



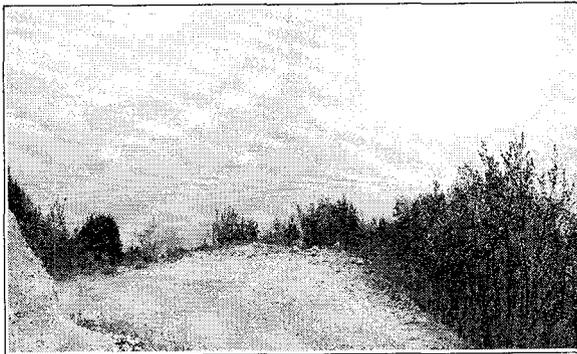
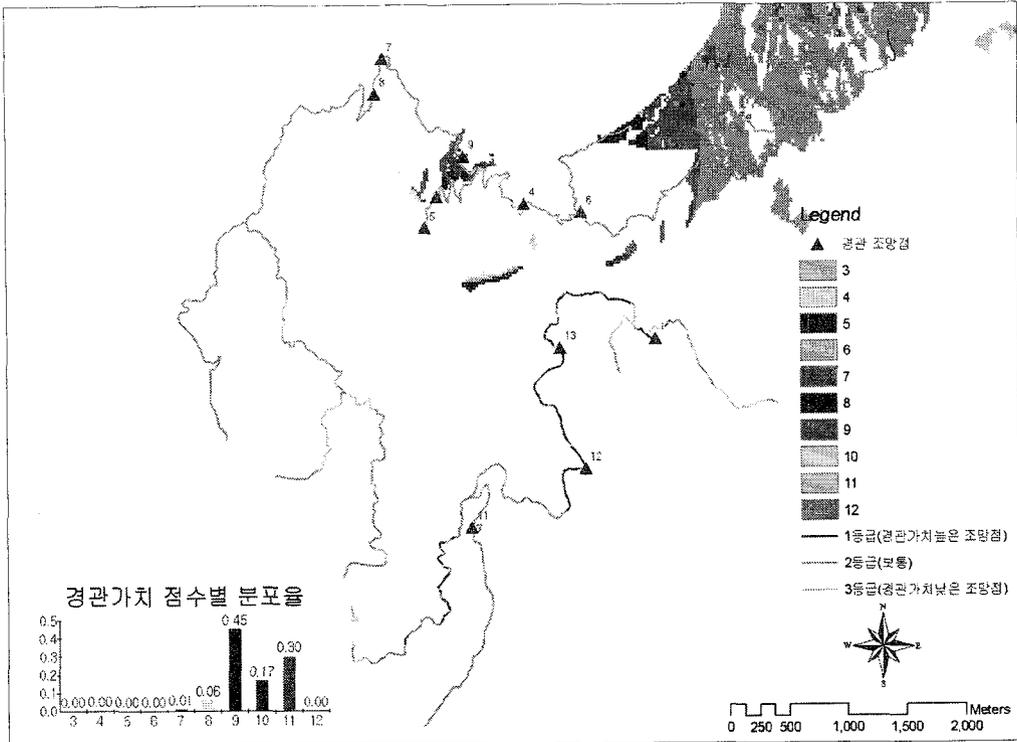
<그림 4.44> 시점 7의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



Viewpoint NO. 8

내부경관 2등급
(경관 조망점가치 점수 :7.80)

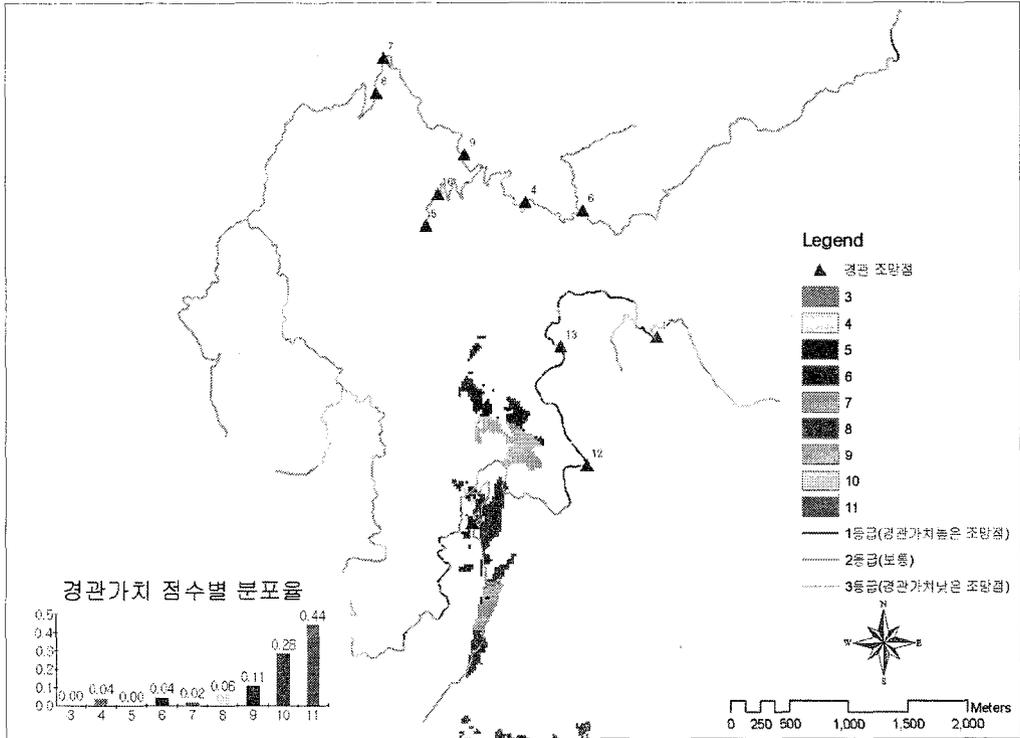
<그림 4.45> 시점 8의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



Viewpoint NO. 9

내부경관 2등급
(경관 조망점가치 점수 :9.64)

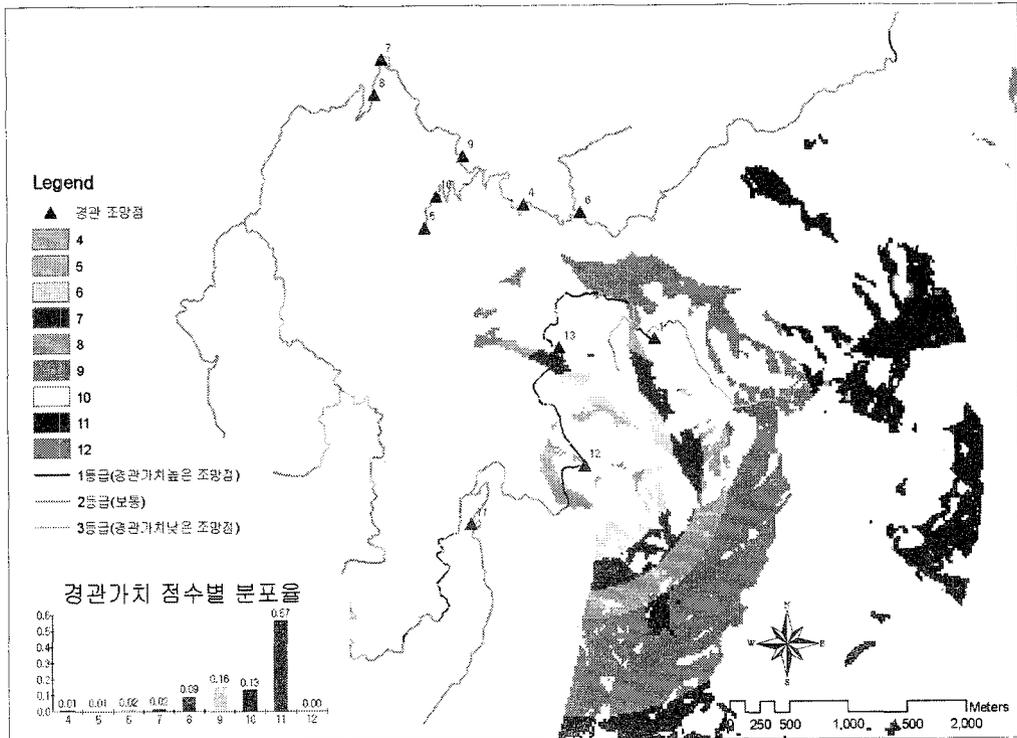
<그림 4.46> 시점 9의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



Viewpoint NO. 11

내부경관 2등급
(경관 조망점가치 점수 :9.71)

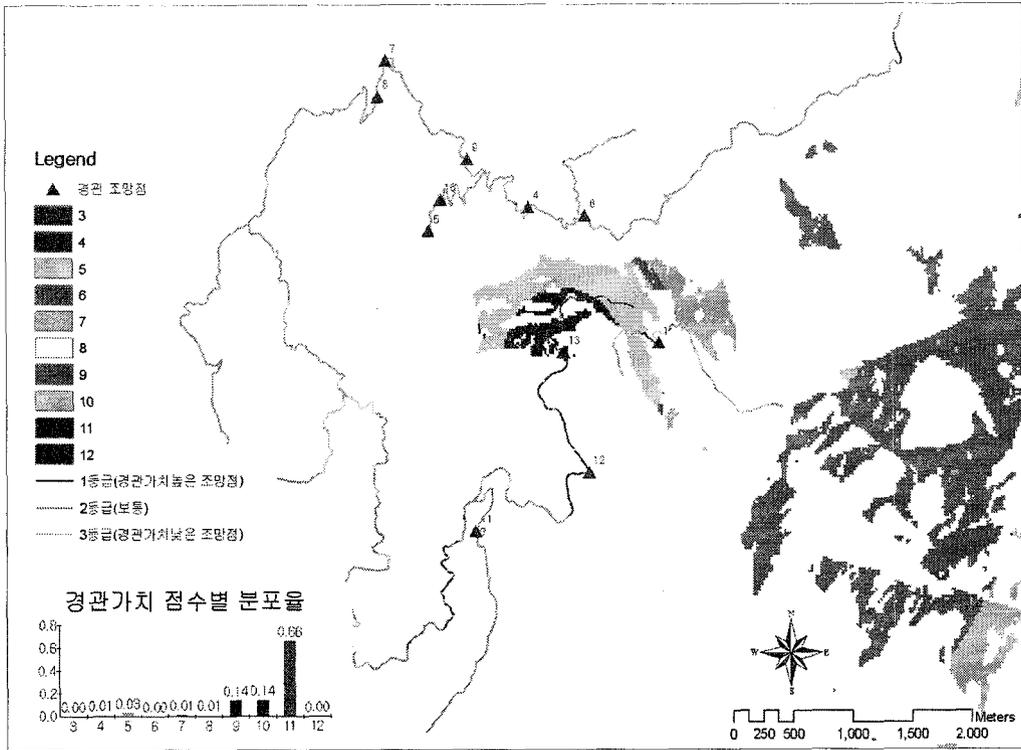
<그림 4.47> 시점 11의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



Viewpoint NO. 12

내부경관1등급
(경관 조망점가치 점수 :10.03)

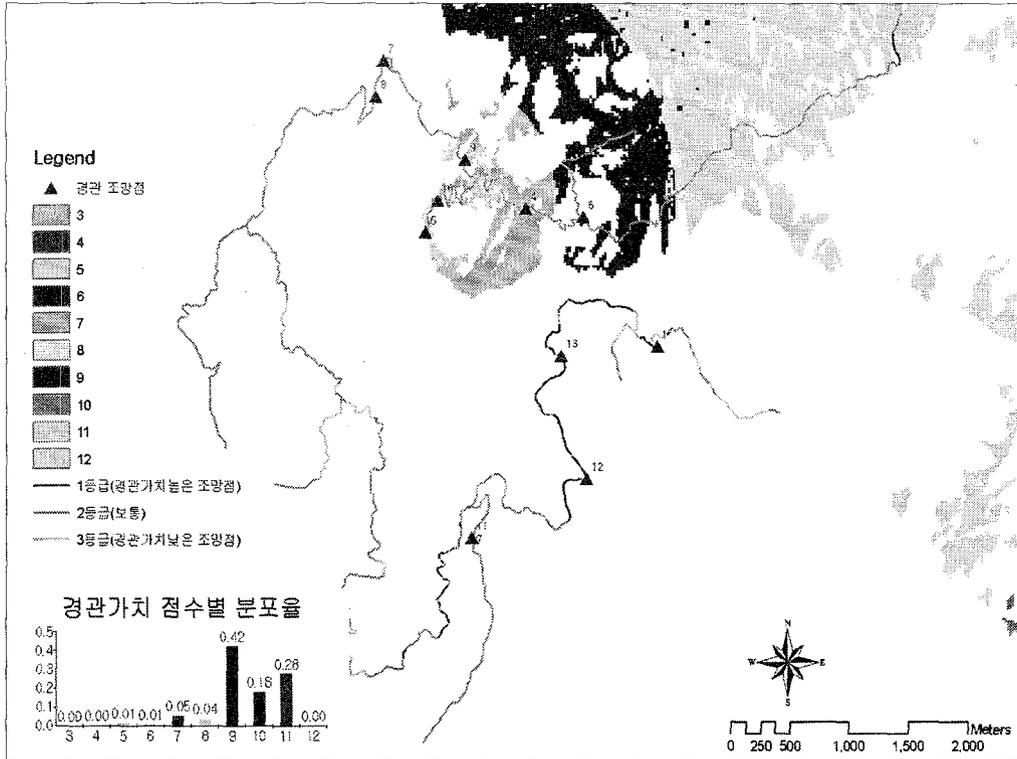
<그림 4.48> 시점 12의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



Viewpoint NO. 13

내부경관1등급
(경관 조망점가치 점수 :10.26)

<그림 4.49> 시점 13의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교



Viewpoint NO. 16

내부경관 1등급
(경관 조망점가치 점수)

<그림 4.50> 시점 16의 공간분석 결과와 현지조사 사진 비교

제5절 임도 유지관리등급 설정

여기서는 다음 표에서와 같이 세 개의 세부 등급을 종합하여 총괄 등급(임도 유지관리등급)을 설정하는 연구를 수행하였다.

<표 4.35> 임도 유지관리등급체계도

총괄 등급	세부 등급
임도 유지관리등급	붕괴위험등급
	시업등급
	경관등급

총괄 등급의 의미는 미국의 사례를 들어 설명하면, 'High Value /High Risk' 등급의 경우 임도의 가치가 높으면서 위험성도 함께 높다는 의미로 가장 우선 순위로 관리를 해야 함을 쉽게 판단할 수 있다. 반대로 'Low Value /High Risk' 등급의 경우는 임도가치가 낮은 반면 위험성이 크기 때문에 쉽게 폐쇄와 같은 결정을 내릴 수 있다.

이와 같이 임도가치와 위험등급을 종합함으로써 관리의 우선순위를 정하거나 집중 관리지역을 설정하는 등의 의사결정을 보다 과학적으로 내릴 수 있다는 장점이 있다. 또한 본 연구에서와 같은 경우는 세 가지 세부 등급을 종합할 때 관리자의 의도나 관할지역의 특성에 따라 세부 등급별 가중치를 다르게 부여함으로써 다양한 관리 특성을 반영할 수 있다는 장점도 있다.

1. 가중치 부여

본 연구에서는 세 가지의 세부 등급을 단순히 종합하지 않고, 세부 등급의 주요 인자들을 별도로 추출하여 인자마다의 중요성에 따라 가중치를 부여하고, 이를 종합하여 총괄 등급을 분류하였다. 다음 표는 총괄 등급 분류를 위해 추출한 인자 목록과 4가지의 시나리오를 통해 각각의 시나리오마다 인자별로 다르게 부여한 가중치를 정리한 표이다.

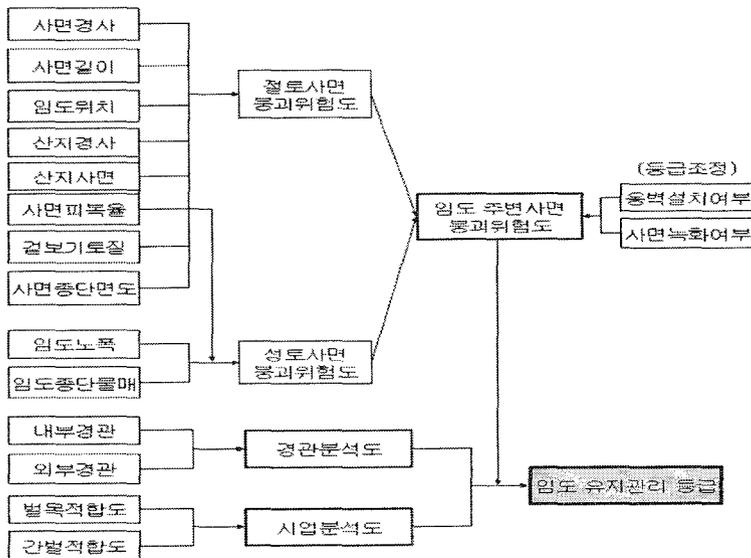
<표 4.36> 임도 유지관리등급 분류를 위한 추출 인자 및 시나리오별 가중치 부여

임도유지관리인자	경우1	경우2	경우3	경우4
절토사면붕괴위험도(3)	3	3	3	2
성토사면붕괴위험도(3)	3	3	2	3
내부경관적합도(3)	1	2	1	1
외부경관적합도(3)	1	2	1	1
사업적합도(4)	2	1	1	1

경우 1과 2에서는 임도 붕괴위험을 가장 중요한 요소로 고려하여 가중치를 3으로 동일하게 설정하였고, 대신 사업 및 경관 인자에 대해서는 가중치 변화를 주었으며, 경우 3과 4에서는 붕괴위험 인자 가운데서도 절토사면과 성토사면에 대한 가중치 다르게 부여하여 그 결과를 검토하였다.

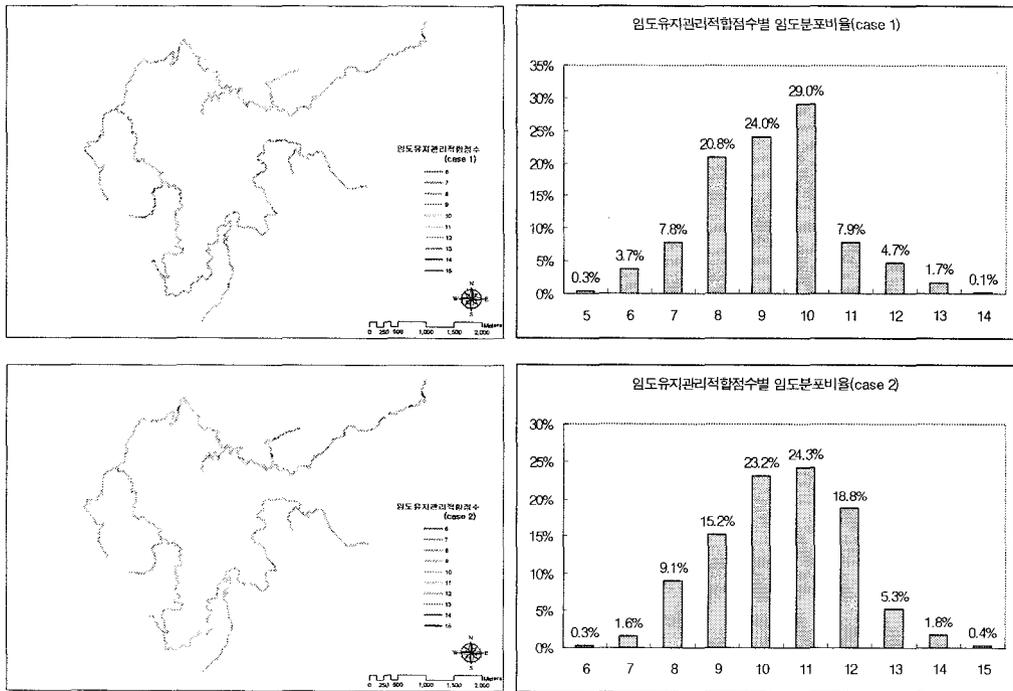
2. 임도 유지관리등급 설정

다음 그림은 임도 유지관리등급 설정을 위한 전체적인 과정을 보여준다.

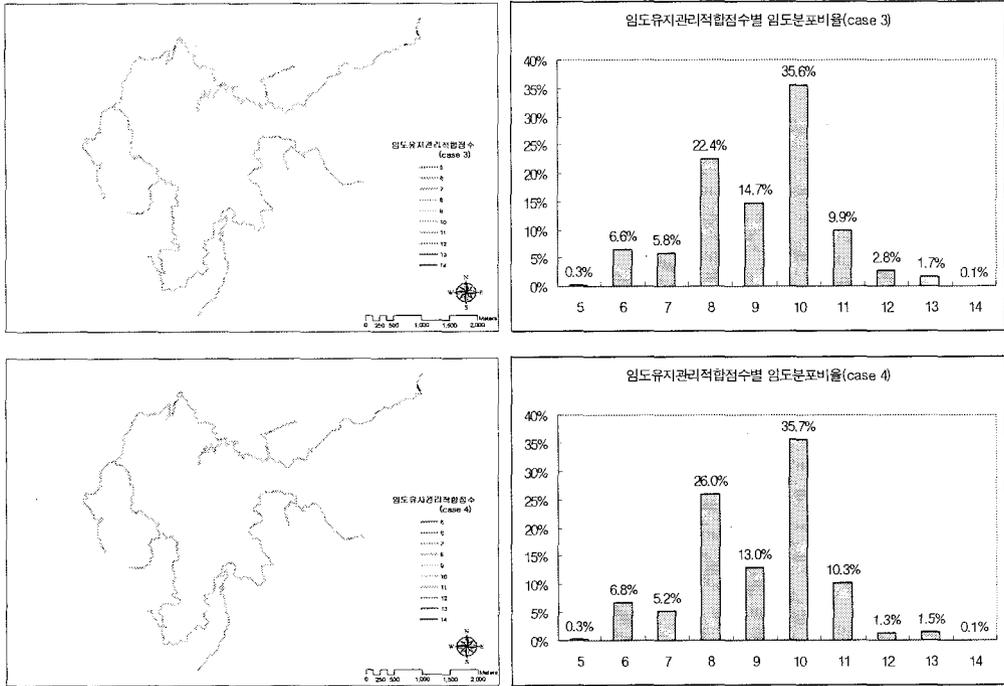


<그림 4.51> 임도 유지관리등급 설정을 위한 공간분석 과정

위와 같은 과정으로 각 인자마다 다르게 부여된 가중치를 적용하여 인자를 재분류하고, 이 인자들을 다시 종합하여 얻은 결과가 다음 그림이다. 그림에서 점수가 높을수록 유지관리 필요성이 높음을 나타낸다. 이런 이유로 새롭게 산출된 점수를 임도 유지관리 적합점수라 명하였다. 다음 그림에서 빨간색으로 표현된 부분이 점수가 높은 구간이다. 또한 그래프에서 보듯이 네 가지 경우에서 연구지역 전체 노선의 90% 이상이 점수 7-12점으로 임도 유지관리의 평균적인 적합점수에 해당한다고 할 수 있다.



<그림 4.52> 유지관리 적합점수 분포도 및 점수별 임도 분포비율(경우 1(상), 2(하))



<그림 4.53> 유지관리 적합점수 분포도 및 점수별 임도 분포비율(경우 3(상), 4(하))

이상과 같은 근거로 연구지역의 임도 유지관리등급을 3개 등급으로 설정하였으며, 판정점수는 다음 표와 같다.

<표 4.37> 임도 유지관리 등급 판정 점수 및 내용

임도유지관리등급	임도유지관리적합점수	내용
1등급	5-6	유지관리가 양호한 구간
2등급	7-12	보통
3등급	13-15	유지관리가 필요한 구간

제6절 유지관리등급체계 실무 적용방안

1. 붕괴위험등급별 관리방안

(1) 절·성토사면 붕괴위험 1등급 관리방안 (붕괴위험 낮음)

사면 붕괴위험에 비교적 안정적인 임도구간으로 1) 사면의 구조적, 지형적 변화를 주기적으로 조사하고, 배수에 문제가 없는지, 흩막이 등의 임도 구조물이 적절하게 설치되어 제 기능을 발휘하는지 등을 조사하는 단계이며, 사면의 변화가 감지될 경우 지질공학 전문가의 자문은 문제를 규명하고 해결하는데 도움이 될 수 있으며, 꾸준한 관리가 필요하다. 2) 실무적으로 적절한 배수를 위한 압거, 배수관, 그리고 측구 및 도수로의 청소를 하거나, 임도 주변 잔디 혹은 식생은 토사를 걸러내는 역할을 함으로 필요이상으로 제거하지 않고, 배수 문제를 명확하게 야기하는 경우만 제거한다. 또한 임도에 자생된 다양한 수종과 관목들은 가시성을 줄여 안정성의 문제를 야기할 수 있으며, 때론 사면의 안정성이나 배수체계의 효율성을 감소시킬 수 있으므로 적절한 식생 제어가 요구된다.

(2) 절·성토사면 붕괴위험 2등급 관리방안 (붕괴위험 보통)

1등급에 비해 붕괴위험이 발생하기 쉬운 등급으로 예방조치로서 침식, 토사제어 구조물들이 제 기능을 발휘할 수 있도록 유지보수가 필요한 구간이며, 정기보수를 춘계, 추계로 나누어 실시한다. 춘계보수로 해빙기에 대비한 전면적인 보수와 하절기 강우 및 홍수피해 예상지역에 대한 종합적인 보수 및 노면진압을 실시하여야 한다. 추계보수는 월동에 대비한 보수와 동계 적설 및 결빙을 예상한 소요자재의 비축과 장비의 정비를 실시하여야 한다. 특히 사면의 붕괴에 대한 예방조치 및 보수작업이 필요하다. 토양이 노출된 사면에 잔디, 피복, 그리고 짚으로 멀칭(mulching)하여 사면의 안정을 도모한다. 또한 표면유출량을 줄이기 위해 배수구를 넓혀 배수를 원활하게 하거나, 사면붕괴를 방지할 수 있는 구조물 등을 우선 설치한다.

(3) 절·성토사면 붕괴위험 3등급 관리방안 (붕괴위험 높음)

사면 붕괴위험이 높은 임도구간으로 임도 구조개량 사업이 요구되는 등급이다. 집중 호우시 피해가 발생할 수 있는 임도로서 필요한 조치사항으로는 1) 노면 보강재를 시공한다. 이는 노면유실을 방지하기 위하여 필요한 경우 혼합골재(쇄석·석분 등) 또는 기타 노면보강재로 노면을 보강하고, 경사가 급한 구간에는 콘크리트·아스콘 등으로 포장하여 침식을 방지한다. 또한 경사 급한 노면에는 우수 집중을 방지할 수 있도록 일정한 간격으로 노면 배수시설을 설치하고 침식우려가 있는 옆 도랑에는 낙차공 등 우수 완화시설을 설치한다. 2) 피해방지를 위한 구조물 설치를 확대한다. 이는 성토면의 무너짐을 방지하기 위한 공사가 필요한 구간에는 옹벽·산돌 쌓기·목책 기타 필요한 구조물을 설치한다. 절토면의 안정을 위한 추가 절토가 병행되어야 한다. 3) 절토면의 안정각 유지가 필요한 지역에는 추가로 절토하고, 흘러내리는 흙으로 인한 측구 막힘을 방지할 필요가 있는 지역에는 절토사면에 파종·녹화한다. 4) 배수를 원활하게 하기 위해서 암거 및 배수구의 확대 증설이 필요하며, 측구 터파기 등을 시행한다. 이때 빈번한 터파기는 오히려 과도한 침식을 야기하고 절토사면의 붕괴를 발생시킬 수 있다. 절토사면 붕괴로 인한 배수구 막힘 방지 시설물을 설치한다.

사면에 녹화되어 있지 않은 경우 1) 새심기·파종 등 방법으로 녹화·피복하며, 필요한 경우에는 피아그린·코아넷트·론생·거적 덮기·벚짚 덮기 기타 현지 여건에 알맞은 공법을 병행한다. 다만, 암석이 많아 녹화가 어렵거나 필요하지 않은 경우에 이를 생략할 수 있다. 2) 안정각이 유지되어야 녹화 가능한 경우에는 추가 절토하거나 옹벽·석축·목책 기타 구조물을 설치한 후 녹화·피복한다. 3) 성토면에 암석파편이 많아 파종이 어려운 구간의 경우에는 복토한 후 파종하거나 덩굴류 피복공법 등을 적용한다.

2. 시업등급별 관리방안

시업의 등급은 총 4 단계로 1등급은 보존, 2등급은 간벌 및 기타무육, 3등급은 벌채가능, 4등급은 벌채 및 간벌가능의 의미를 가진다.

(1) 시업등급 1등급 관리방안 (보존)

1등급은 보존을 필요로 하는 목적으로 산림법 67조 1항에 의해 지정된 보존산림과 인접한 임도이다. 따라서 이곳은 시업과는 무관하다. 그러나 이러한 산림도 무육이나 간벌과 같은 보육작업을 통해 관리가 이루어지므로 시업과 전혀 무관하다고는 할 수 없다. 본 연구에서는 시업을 주벌 및 이를 하기위한 여러 가지의 활동으로 제한을 두었기 때문에 보존등급은 시업과는 거리가 먼 가장 낮은 등급을 가졌다. 따라서 시업에 대한 등급은 낮지만 임상의 영급 및 경급, 밀도를 고려하여 간벌이나 가지치기와 같은 기타 무육작업을 시행할 필요가 있다. 이러한 이유로 작업로와 같은 반영구적인 도로가 추가적으로 건설될 가능성이 높다.

(2) 시업등급 2등급 관리방안 (간벌 및 기타무육)

2등급은 간벌 및 기타무육 작업이 필요한 임분과 인접한 임도로 입목 간의 경쟁을 조절해 주기위해 간벌을 시행하고 가지치기나 풀베기, 덩굴제거, 비료의 시비 등의 무육작업을 실시해야 함으로 1등급과 마찬가지로 작업로와 같은 임도가 추가적으로 건설될 가능성이 있다. 간벌이나 무육작업은 직접적인 경제성은 다소 떨어지지만 미래에 주벌의 대상이 되는 곳이므로 그 잠재적인 가치를 생각한다면, 그 규모에 따라서 차량이나 기계가 이동할 수 있는 정도의 임도를 추가적으로 건설하는 것이 바람직할 것이다.

(3) 시업등급 3등급 관리방안 (벌채가능 : 주벌)

3등급은 법정 벌기령에 도달해 주벌이 가능한 임분과 인접한 임도로 직접적인 생산 활동이 이루어진다. 따라서 비록 간선집재를 이용한다고 할지라도 대형 차량이 이동할 수 있는 규모를 유지해야 하고 벌채되어진 수목들을 집재할 수 있는 집재공간과 차량이 방향을 바꿀 수 있는 공간이 확보되어야 한다. 또한 주벌방식에 따라 조금 다르지만 벌채 후 지속가능한 산림자원의 육성차원에서 조림활동이 가능하도록 임도를 관리해야한다.

(4) 시업등급 4등급 관리방안 (벌채(주벌) 및 간벌 가능)

4등급은 위에서 설명한 2등급과 3등급의 가능성을 모두 가지고 있는 임분과

인접한 임도로 시업활동이 가장 활발할 것으로 예상된다. 때문에 주별이나 간별을 위한 임도의 추가 건설 및 벌채 수확에 따른 집재 공간, 차량 이동 공간 등의 이유로 다각도로 관리를 해야 한다. 많은 차량의 이동으로 인한 도로의 파손 여부, 집재공간의 확보, 차량 유턴시 필요한 공간 확보, 적재에 필요한 기계의 공간확보 등 임업시업의 전반적인 상황을 모두 고려해야 할 것이다.

3. 경관등급별 관리방안

가. 내부경관등급 관리방안

내부경관등급은 임도 외부의 미적 가치가 높은 경관을 조망할 수 있으나 없느냐의 문제로 1등급은 조망지점으로 가치가 낮고, 2등급은 보통이며, 3등급은 높음을 의미한다.

(1) 내부경관등급 1등급 관리방안 (근경)

주변 산림식생으로 차폐되어 근경 정도만을 볼 수 있는 조망지점으로서 가치가 낮은 등급이다. 따라서 경관적인 측면 보다는 이용자가 보행의 안전을 확보하고, 가시성을 낮추는 주변 잡·관목을 제거하는 등의 관리가 필요하다.

(2) 내부경관등급 2등급 관리방안 (보통)

호수, 하천, 넓은 지역의 개활지 그리고 인접된 산림지역 등 주변 경관요소들이 일부 혹은 전체적으로 볼 수 있는 조망지점으로 부분적으로는 이용자들이 삼림욕과 함께 아름다운 경관을 보고 즐길 수 있고, 쉼터로서 기능을 갖도록 임도주변 공간의 관리가 필요하다.

(3) 내부경관등급 3등급 관리방안 (원경)

주변 경관요소들을 전체적으로 원경까지 바라볼 수 있는 조망지점으로서 가치를 갖는 등급이다. 이는 산지 정상부분에 설치된 임도구간이 이에 해당한다.

그리고 연속적으로 변화하는 일종의 파노라마 경관을 바라볼 수 있는 조망지점을 제공한다. 산림 정상부분에 설치된 임도 대부분이 이에 해당하므로 이용자의 보행에 안전을 도모하기 위한 시설이 필요하며, 이용자들이 삼림욕과 함께 아름다운 경관을 보고 즐길 수 있고, 쉼터로서 기능을 갖도록 임도 주변 공간의 관리가 필요하다. 이를 위해 콘크리트 재료의 임도 시설물 대신 주변 환경과 자연스럽게 조화할 수 있는 목재로 설치하거나, 휴식을 취할 수 있는 벤치 혹은 파골라 등의 시설물을 설치할 필요도 있다.

나. 외부경관등급 관리방안

외부경관등급은 주변 마을이나 인접 도로에서 산림을 바라보았을 때 노출된 임도의 절취사면이 산림경관에 미치는 영향을 기준으로 1등급은 절취사면의 노출 정도가 적어 경관훼손이 낮은 등급이며, 2등급은 보통, 3등급은 산림경관 훼손이 크다는 의미이다.

(1) 외부경관등급 1등급 관리방안 (경관훼손 낮음)

절취된 임도사면이 피복이 되어 있거나, 수고가 높은 수목들이 밀집되어 외부로 노출되지 않은 경우에 해당하는 등급이다. 사면피복 처리 상태를 정기적으로 조사하는 단계의 유지관리가 필요하다.

(2) 외부경관등급 2등급 관리방안 (보통)

피복이 되지 않은 임도 절취사면이 부분적으로 보이는 구간으로 부분적인 사면처리 및 차폐식재 등 관리가 필요한 등급이다.

(3) 외부경관등급 3등급 관리방안 (경관훼손 높음)

사면피복이 거의 되지 않아 노출 정도가 심한 구간으로 사면 피복처리나 차폐식재가 시급하게 이루어져 한다. 임도 시설물 등은 산림 경관보존의 목적으로 주위경관과 조화를 이루는 재료를 선정하여 시설물을 설치해야 한다.

제 5 장 임도 유지관리시스템 개발

제1절 시스템 요구분석 및 개발 방향

1. 시스템 요구분석

임도 유지관리시스템을 구축함에 있어 사용자 요구분석은 시스템의 기능과 활용성을 결정하는 중요한 기초자료이다. 임도 유지관리시스템을 위한 사용자 요구분석은 기존 임도 업무분석과 더불어 실제 임도 업무를 담당하는 산림청 공무원 및 일선 업무를 담당하고 있는 지자체·국유림관리소 공무원과의 인터뷰, 현장조사 및 문헌조사를 통하여 수행되었다. 먼저 임도관리 업무를 담당하는 실무자의 의견을 반영하여 기존 업무의 개선을 위한 실무자 요구사항을 분석하였다.

(1) 정확한 임도망도의 활용

현행 임도 유지관리에 있어 가장 시급히 개선되어야 할 사항은 정확한 임도의 활용이다. 현재 산림지리정보시스템(FGIS)에 임도망도가 구축되어 있긴 하지만, 초기 임도망도 구축 목적이 정확한 임도의 위치 파악이 아니라, 임도가 전국적으로 어떻게 산재되어 있는가 하는 임도 현황과 노선 연결상태 등과 같은 전반적인 상황을 파악하기 위한 것이었으므로, 실제 임도망과는 오차가 크게 발생한다.

이러한 문제는 관리기관별로 보유하고 있는 임도망도나 지형도 상에 표시된 임도망도에서도 나타난다. 임도망도의 정확도는 산사태 등의 위험지역 분석시에도 임도망도가 정확하지 않으면 오차가 크게 발생할 수 있기 때문에 무엇보다도 정확도가 요구되는 부분으로, 임도업무 담당자 인터뷰에서 개선 요구도가 가장 높게 나타났다. 이처럼 현재 정확한 임도망도를 활용하지 못하는 것은 임도 유지관리가 제대로 이루어지지 못하고 있는 큰 원인 중의 하나라고 할 수 있다.

(2) 임도시설물 정보의 활용

임도에는 측구, 배수로, 사방댐, 옹벽, 차단기, 표주 등과 같은 임도시설물이 있는데, 이와 같은 시설물의 관리 상태는 임도의 활용이나 붕괴와 밀접한 연관

이 있다. 기존 임도망도에서는 임도시설물의 개수 정도의 개괄적인 정보만을 제공하고 있어 임도 시설물에 대한 정확한 위치정보나 사진정보, 상태정보와 같은 관련 정보에 대한 활용 요구가 있었다.

(3) 임도주변 공간데이터의 활용

기존의 임도 피해 및 붕괴 등에 관해 조사한 많은 연구에 따르면, 임도사면의 형태를 비롯한 토양층, 토질 및 암질, 사면의 절·성토 여부, 사면 피복상태, 사면길이, 주변 식생, 종단물매, 산지경사, 임도 위치 등의 요소들이 임도주변 산사태 발생이나 임도 붕괴위험도와 직접적인 관련이 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 요소들은 전문적이고 객관적인 정보가 있을 때 정확히 판단할 수 있는 요소들이므로, 임도관리에 있어서 임도 주변지역에 대한 지형, 토양, 식생과 같은 객관적인 임도주변 공간데이터 활용에 대한 요구가 있었다.

(4) 임도 이용자 측면에서의 요구사항

산림청에서는 1999년부터 임도 정책을 ‘물량’ 위주에서 ‘품질’ 우선인 ‘환경친화적 녹색임도 정책’으로 전환함으로써 경관유지 및 피해방지 가능한 견실한 임도 구축을 제도화하는데 중점을 두고 있다. 주 5일 근무제 도입과 더불어 여가활동에 대한 요구가 크게 증가하고, 이에 따라 휴양목적으로 임도를 이용하는 비율이 증가함에 따라, 임도의 휴양적 기능과 활용성에 대한 관심이 높아지고 있으며, 지자체에서도 ‘산길가꾸기’, ‘산길걷기’ 등 임도와 관련된 행사를 적극 추진하고 있다.

이에 따라 임도를 이용하는 이용자 측면에서도 요구분석을 수행하였다. 이를 통해 도출된 요구사항으로는, 임도 안내지도 및 임도상에서의 현 위치, 임도노선 연결상태, 교육적 측면에서 임도주변 수목(임상)이나 지형·지질에 대한 설명, 휴게 시설물 제공, 방향 표지판, 거리표지판의 설치 등이 있었다. 이는 주로 임도 시설물 자체에 대한 요구사항이라 볼 수 있으나 이런 분석결과를 통해 임도 유지관리시스템이 어떤 기능을 포함하고 있어야 하는지를 결정할 수 있다. 이를테면, 업무 담당자가 이용자에게 임도관련 정보를 제공하거나, 시설물 설치 여부 및 위치 결정 등의 의사결정을 하는데 있어 임도 유지관리시스템의 지원을 받을 수 있어야 한다. 즉, 본 시스템을 통해 임도시설물 정보를 관리하고 활용함으로써 이와 같은 업무를 효율적으로 처리할 수 있어야 한다.

2. 임도 유지관리시스템 개발 방향

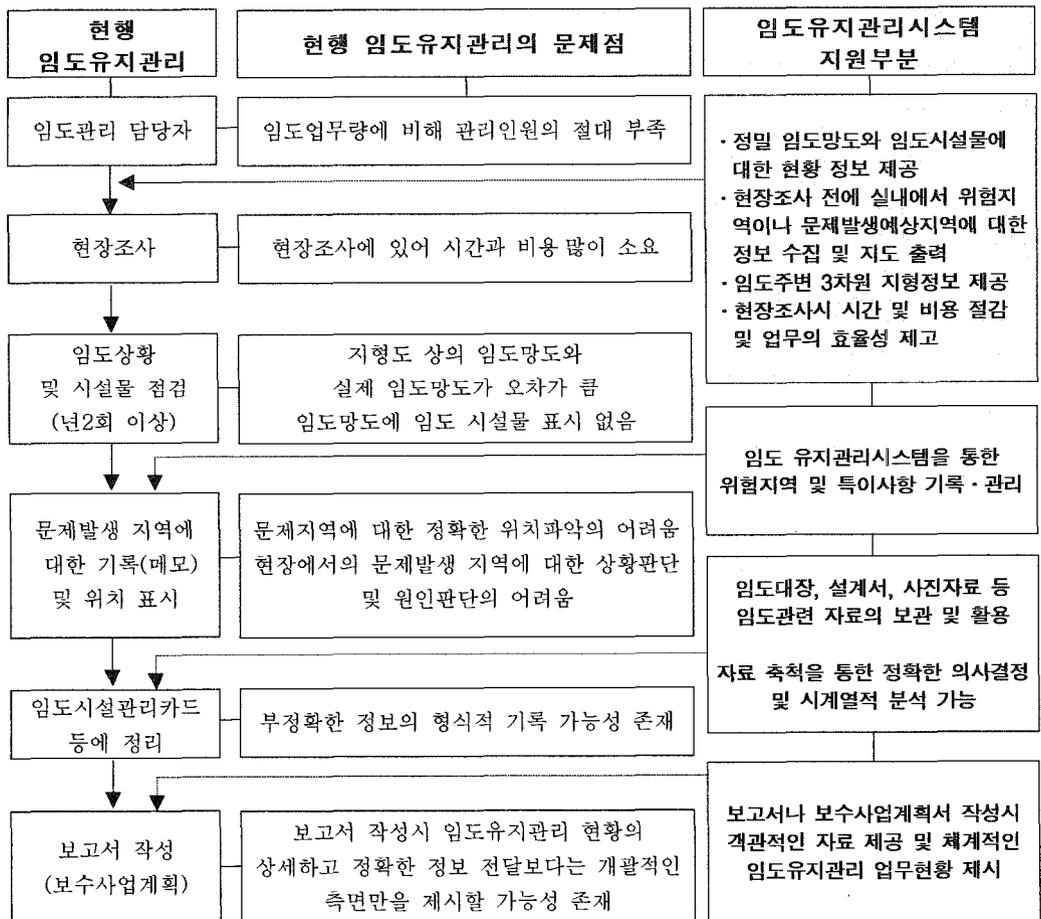
지금까지의 요구분석을 정리해보면 가장 중요한 것은, 기존 업무에서는 임도 관련 정보를 체계적으로 관리하거나 활용할 수 있는 방법이 부재하다는 것이다. 예를 들면, 임도시설물이나 특이지점에 대한 정확한 위치와 관련 내용을 기록하고 관리할 수 있는 시스템이 갖춰져 있지 못하다. 물론 임도시설물관리대장과 같은 문서를 통해 관리할 수는 있지만 여러 가지 한계를 가지고 있다. 이런 문제는 담당자가 바뀔 경우 가장 크게 노출되는데, 특히 업무 인수인계의 문제로 관할지역의 특성이나 임도시설 상태정보와 같은 생생한 정보는 전임자의 머릿속에만 있어 신임 담당자는 처음부터 다시 시작해야 하는 어려움이 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 앞의 요구분석에서도 구체적으로 언급하고 있듯이 임도시설물 정보나 임도주변 공간데이터와 같은 임도관련 정보나 자료를 체계적으로 관리하고 또한 쉽게 활용할 수 있도록 임도 유지관리시스템이 개발되어야 한다. 다음 표는 요구분석 결과를 정리한 것이다.

<표 5.1> 요구분석에 의한 임도 유지관리시스템 요구 기능

요구사항	시스템 기능	비고
정확한 임도망도 활용	정밀 임도망도의 구축·활용	- 정밀 임도망도 구축 방법 • 위성영상 • 항공사진 활용 • GPS 노선측량
임도시설물의 정확한 위치 파악 및 시설물 정보 활용	임도시설물 정보의 관리·활용	- 임도 시설물 DB 구축 • GPS측량을 통한 위치정보 • 사진촬영 및 설계서 등 활용 - DB 검색/활용
임도주변 지형, 임상, 토양데이터와 같은 공간데이터의 활용	기존 데이터 입력·활용 및 GIS 공간분석 또는 3차원 시뮬레이션을 통한 임도주변 공간분석	- 임도망도 기반 중첩 분석 • 임상도, 자연환경현황도, 토양도 등 구축 데이터 활용 - DEM을 활용한 GIS 공간분석 - 3차원 시뮬레이션 분석
임도 이용자 측면에서의 요구사항	시스템을 이용한 체계적인 임도관련 정보 추출 및 제공	- 정확한 임도노선, 임도노면상태, 편의시설위치 등 임도관련정보의 추출 및 제공 - 임도 이용자가 요구하는 시설물 설치위치 선정 등 관련 업무 지원

개발될 임대 유지관리시스템은 실제 임대 관리를 담당하는 지방산림관리청과 지자체의 일선 임대업무를 지원하게 된다. 실제 지자체나 지방산림관리청의 임대 담당자는 1~2명 정도로 인원이 부족하고, 기타 다른 업무와 병행하고 있기 때문에 효율적인 임대 유지관리는 어려운 상황이다. 임대 유지관리시스템은 이러한 임대유지관리의 현실적인 어려움을 반영하여, 실제 임대 업무를 담당하는데 있어 현장조사 전의 실내조사, 현장 조사시 임대상황 및 시설물 점검결과, 특이사항이나 문제발생지역에 대한 기록 및 위치표시, 현장조사 결과에 대한 기록, 보고서작성 등 임대 업무의 전반적인 부분에 있어서 객관적이고 보다 과학적인 정보를 제공할 수 있어야 한다. 다음 그림은 기존의 임대 유지관리업무와 본 연구에서 개발한 시스템의 기능관계를 정리한 것이다.

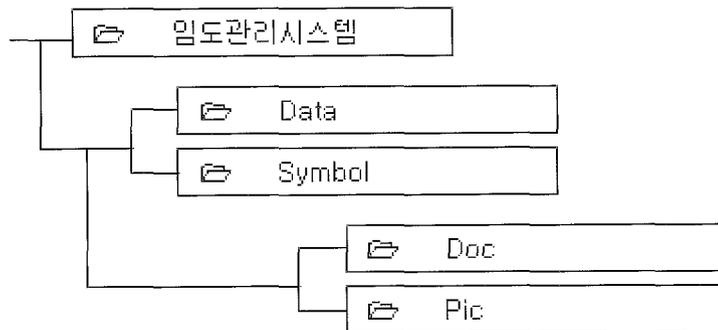


<그림 5.1> 기존 임대 유지관리업무와 시스템 기능 관계

제2절 임도 유지관리시스템 개발

1. 시스템 환경

- 운영체제
 - Microsoft Windows 2000 및 상위버전
- 하드웨어 사양
 - CPU : Intel Pentium4 호환
 - RAM : 최소 256MB, 권장 512MB
 - HDD 여유공간 : 1GB이상
- 시스템 폴더 구성



<그림 5.2> 시스템 경로 및 폴더 구성

- 시스템 설치경로 : C:\Program files\임도관리시스템
- 임도관리시스템 : 시스템 설치 폴더
- FRMS/Data : 데이터베이스 파일과 각종 데이터들이 들어있는 폴더
 - FRMS/Data/Doc : 각 시설물 관련 자료가 들어있는 폴더
 - FRMS/Data/Pic : 각 시설물 관련 사진이 들어있는 폴더
- FRMS/Symbol : 각 시설물 심볼 파일을 들어있는 폴더

입력 및 수정 등의 기능을 수행한다.

③ 인텍스 지도창

- 메인 지도창에 표지되는 지도가 어떤 지역인지 공간적 범위를 보여준다.

④ 컨트롤 창

- 컨트롤 창을 통해 작업내용에 따라 '시설물관리' 탭, '임도대장관리' 탭, '검색 결과' 탭을 선택하여 작업을 하게 된다.

나. 화면별 주요 기능

1) 메뉴 및 툴바

가) 메뉴 구성

파일	지도	보기	검색	레이어	시계열	공간분석
화면복사	확대 축소 이동	속성보기	구간검색	영상파일 열기 Shape 파일 열기	선택	경사분석 향분석
화면저장 화면인쇄	이전 이후	시설물관리탭 임도대장관리탭 검색결과탭	시설물검색 시설물 점검색 재해 발생지점 검색 재해 위험지역 검색	DEM 열기 GeoTiff -> Ascii	생성 수정 삭제	수계영분석 3D View
폴더 설정		메모		레이어 제거 레이어 순서 조절	시설물 등록	
초기화면지정	초기화면	도구모음 상태표시줄				
종료						

<그림 5.4> 시스템 메뉴 구성

대부분의 메뉴 항목은 다음의 툴바 설명이나 주요 기능 설명에서 다루진다. 여기서는 앞으로 다루지지 않는 주요 항목에 대해서만 간단히 살펴보았다.

- ① 파일/화면복사·저장·인쇄: 메인화면을 캡처해서 파일로 저장하거나 인쇄하는 기능을 수행하며, 보고서와 같은 문서작업에 관련 그림파일을 붙여 넣고자 할 때 필요한 기능이다.
- ② 보기/도구모음: 툴바의 표시 여부를 제어하는 기능을 수행한다.
- ③ 보기/상태표시줄: 화면 아래쪽에 시스템의 상태와 좌표값을 나타내는 바

의 표시 여부를 제어하는 기능을 수행한다.

- ④ **보기/메모**: 메인 지도창 위에 메모를 하는 기능으로, 포스트잇을 붙이는 것과 같은 효과이다. 이 기능을 써서 메모한 후에 파일메뉴의 화면복사와 같은 기능을 사용하면 메모가 포함된 그림파일을 얻을 수 있어 보고서 작업 등에 더욱 효과적이다.
- ⑤ **레이어**: 이 메뉴는 메인화면의 배경으로 영상파일(MIP 포맷)을 불러오거나 수치지도(등고선), 유지관리등급지도와 같은 Shape 파일 포맷의 데이터를 불러오는 기능을 수행한다.
- ⑥ **레이어/레이어 제거 · 레이어 순서 조절**: 시설물관리 탭에서 레이어를 관리하는 기능으로 특정 레이어를 제거하거나 레이어 순서를 변경할 때 사용하는 기능이다. 특히, 레이어 순서 조절은 레이어가 겹칠 경우 무엇을 위에 보이게 할 것인가를 결정하는 것으로 시설물관리 탭에서 목록의 상위에 있을수록 앞에 보인다.

위 ①④⑤⑥번의 기능에 대해서는 뒤에 기타 기능으로 상세히 설명하였다.

나) 툴바의 버튼별 기능

-  **선택** - 메인 지도창의 객체를 선택하고 조작한다.
-  **확대** - 지도를 확대할 때 사용한다.
-  **축소** - 지도를 축소할 때 사용한다.
-  **이동** - 지도를 이동할 때 사용한다.
-  **이전** - 현재 지도 이전에 보던 지도영역으로 이동한다.
-  **이후** - 현재 지도 이후에 보던 지도영역으로 이동한다.
-  **처음** - 프로그램 시작시의 초기 지도영역으로 이동한다.
-  **거리** - 지도에서 거리를 측정한다.
-  **속성** - 지도에서 선택한 객체의 속성을 조회한다.
-  **검색** - 시설물을 검색한다.
-  **생성** - 객체를 생성할 때 사용한다.
-  **수정** - 지도에 선택한 객체를 수정한다.
-  **삭제** - 지도에 선택한 객체를 삭제한다.

※ 객체 : 임도 노선 및 임도 시설물

2) 메인 지도창

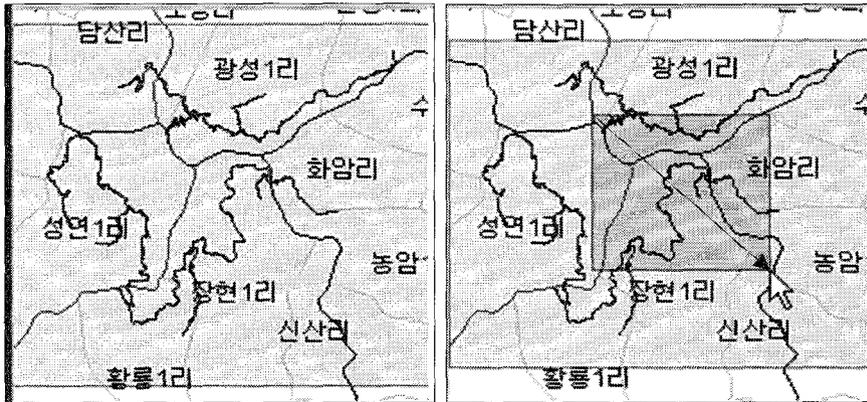
- ① 메인 지도창에는 프로그램에 등록된 모든 시설물의 위치가 표시된다.
- ② 선택된 시설물은 붉은색으로 진하게 표시된다.
- ③ 위성영상이나 DEM, 분석결과 등도 메인 지도창에 표시된다.
- ④ 메인 지도창에서 시설물 좌표를 마우스로 수정할 수 있다.
- ⑤ 각각의 레이어들은 축척에 따라서 화면에 표시되거나 사라진다.
- ⑥ 메인 지도창 좌하단에는 축척이 표시된다.



<그림 5.5> 메인 지도창

3) 인덱스 지도창

- ① 인덱스 지도창의 연한녹색 부분은 메인 지도창에 보여지는 영역을 나타낸다.
- ② 인덱스 지도창에서 마우스를 클릭하면 클릭한 부분을 중심으로 이동한다.
- ③ 인덱스 지도창에서 마우스를 드래그하면 진한 녹색으로 영역이 표시되고 해당 영역이 메인 지도창에 표시된다.

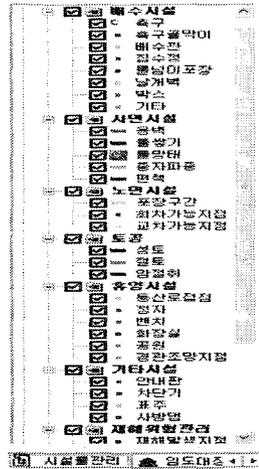


<그림 5.6> 인덱스 지도창

4) 컨트롤 창

(1) 시설물관리 탭

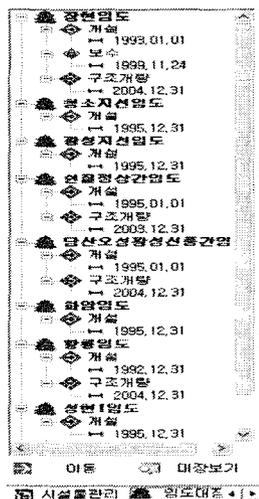
- ① 시설물관리 탭은 지도에 표시되는 각 시설물에 대한 범례를 보여주며, 시설물 생성 또는 편집시 해당 시설물을 선택함으로써 실행할 수 있다.
- ② 각 항목은 시설물의 이름과 입력형태(지점 또는 구간), 색을 나타낸다.
- ③ 각 시설물 이름 앞의 체크표시를 끄고 켜에 따라 지도에 해당 시설물의 표시여부를 결정할 수 있다.
- ④ 시설물 목록에서 특정 시설물을 두 번 클릭하면 시설물 표시 색과 굵기를 조정할 수 있다.



<그림 5.7> 시설물관리 탭

(2) 임도대장관리 탭

- ① 임도대장관리 탭은 관할 지역의 임도 목록과 각 임도의 유지관리 내역을 볼 수 있으며, 이와 같은 내역을 시간 순서에 따라 정리된 임도시설대장으로 볼 수 있다.
- ② 이 탭에서 관심 임도를 선택하거나 임도 목록 하위에 있는 유지관리 내역을 선택하면 메인 지도창에 선택된 임도 또는 구간이 표시된다.
- ③ 이동 버튼을 클릭하면 선택된 객체의 영역으로 이동된다.
- ④ 관심 있는 임도를 선택하고 창의 아래 부분의 대장보기 버튼을 클릭하면 다음 그림과 같이 선택된 임도의 임도시설대장 창이 뜬다.



<그림 5.8> 임도대장관리 탭

구분	공사시작	공사종료	구간길이(m)	노선길이(m)	폭 (m)	공사비계(천원)	국비(천원)	지방비(천원)	자부담(천원)	시공지명	시
개설	1992.01.01	1993.01.01	5185.3	5185.3	4.0	62934	29917	26260	6757	보령군산림조합장	
보수	1999.05.24	1999.11.24	5185.3	5185.3	4.0	0	0	0	0		
구조개량	2002.01.01	2004.12.31	5185.3	5185.3	6.0	0	0	0	0		

<그림 5.9> 임도시설대장 창

(3) 검색결과 탭

- ① 검색결과 탭은 시설물 검색으로 검색된 시설물 검색결과를 보여준다.
- ② 가장 상위 항목은 검색 범위 구간을 보여주고, 그 다음 항목은 시설물 종류, 가장 마지막 항목은 각각의 시설물을 나타낸다.
- ③ 각각의 시설물들은 시스템에서 자동으로 부여된 고유의 일련번호로 구분된다.

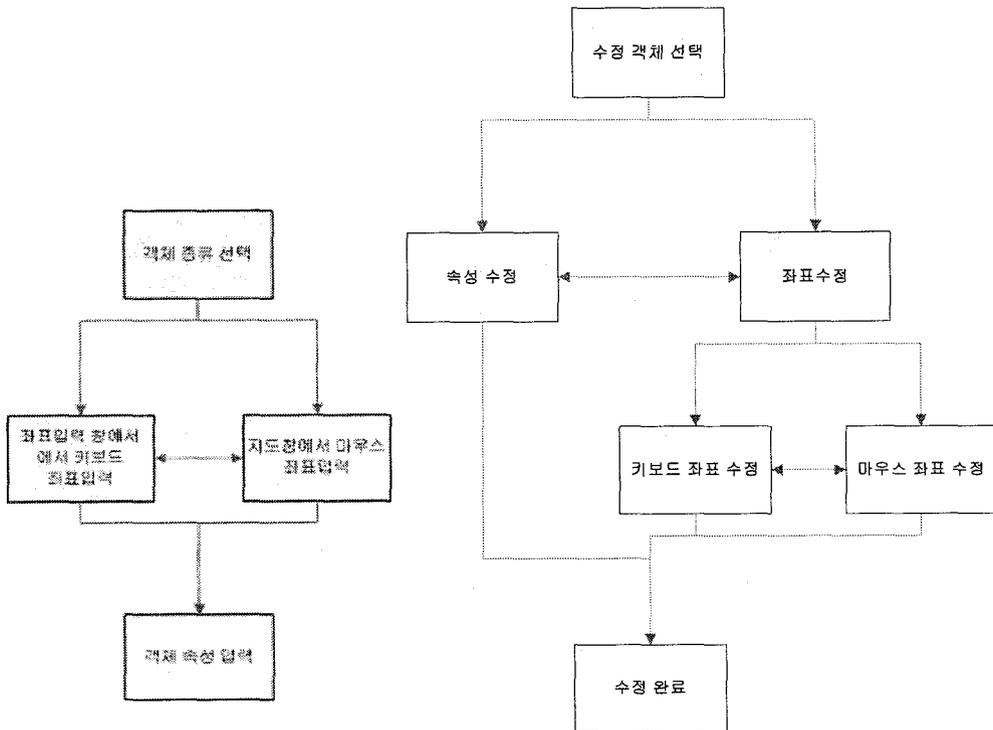
임도시설구간(3)
- 임도관리
- 개설 102
- 구조개량 105
- 보수 104
- 표주
- 30
- 31
- 교차가능지점
- 38
- 39

<그림 5.10> 검색결과 탭

3. 주요 기능모듈 개발

가. 데이터 입력 및 수정편집

임도 유지관리시스템은 사용자 요구분석을 통해 도출된 사항을 토대로 정밀 임도망도 및 임도 시설물 데이터와 같은 임도관련 데이터를 입력함으로써 임도 유지관리 DB를 구축하고, 신규 데이터 추가 입력·생성, 데이터 갱신 등을 통해 지속적으로 DB를 관리하고 활용할 수 있도록 하는 기능을 구현하였다. 임도 유지관리시스템을 통한 데이터 입력 및 편집 절차는 다음 그림과 같다.



<그림 5.11> 데이터 입력 및 편집 절차

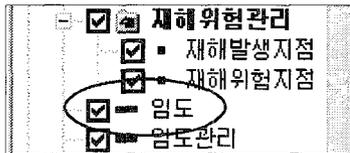
위 그림과 같은 절차를 기본으로 데이터 입력과 수정편집이 이루어지게 된다. 다음은 구체적으로 임도 유지관리를 위해 주로 이루어지는 작업 즉, 임도 노선 또는 임도 시설물 데이터의 입력 및 수정편집 절차에 대해 좀 더 자세히 설명하였다.

1) 임도 생성

임도생성 기능은 처음 시스템 운영을 위해 관할 지역의 임도망도를 생성하거나 기존 임도망도에 누락된 임도나 신설 임도를 추가할 때 사용할 수 있다. 또는 임도에정구간을 기존 임도망도와 함께 표시할 때 쉽게 사용할 수 있도록 구현하였다.

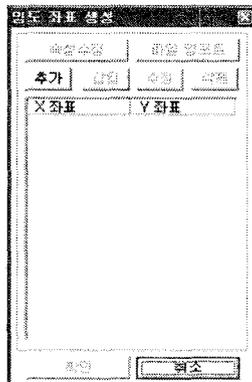
전자의 경우는 노선측량을 통해 작성된 좌표파일을 시스템에서 불러들임으로써 임도를 생성할 수 있다. 이 기능은 임도 유지관리를 담당하고 있는 일선 기관에 GPS 장비가 보급되어 있고 또한 GPS 노선측량 계획이 있어 이를 지원하기 위해 구현한 기능이다. 후자의 경우는 좌표를 직접 입력함으로써 임도를 생성할 수 있다. 좌표입력 방법은 키보드를 통한 좌표입력 방법과 화면상에 마우스를 클릭하여 생성하는 방법의 두 가지가 있다. 임도 생성 절차는 다음과 같다.

- ① 시설물관리 탭에서 임도 레이어를 선택한다.



<그림 5.12> 임도레이어 선택

- ② 툴바에서 '생성' 버튼을 클릭하면, 다음 그림과 같이 '임도 생성' 창이 뜨는데, 이 창의 우상단에 위치한 '파일 입력' 버튼을 통해 파일을 읽어들이어 새로운 임도를 생성할 수 있다.

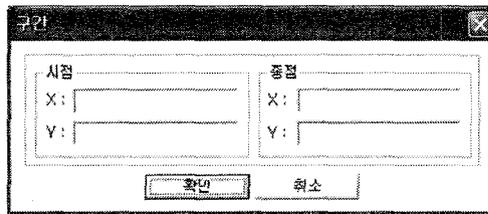


<그림 5.13> 임도 생성 창(파일 입력)

이상은 임도 노선측량을 통해 작성된 좌표 파일을 읽어 임도를 생성하는 절차이다. 직접 좌표입력을 통한 임도 생성은 '임도 생성' 창에서 '파일 입력' 버튼 대신 '추가' 버튼을 이용한 키보드 입력 방법과 메인 화면상에 마우스로 클릭을 통해 입력하는 방법을 통해 생성할 수 있다.

③ 직접 좌표입력 : 키보드 입력 방식

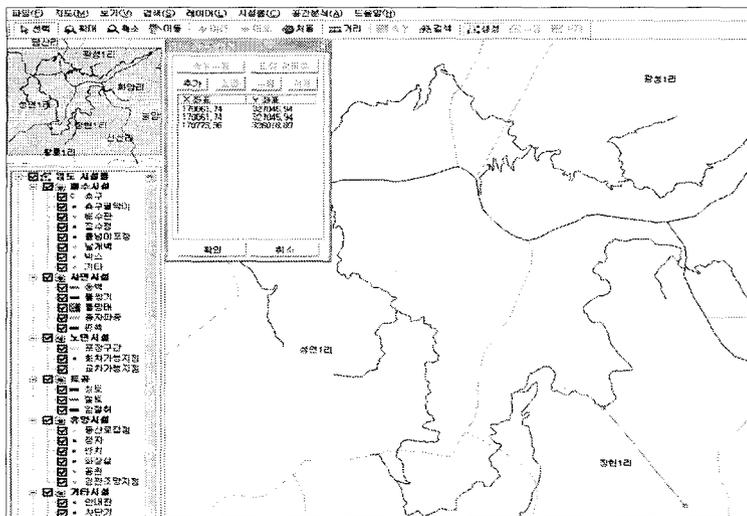
- '임도 생성' 창에서 '추가' 버튼을 누르면 좌표를 입력할 수 있는 창이 뜨고, 이 창을 통해 키보드로 좌표를 입력할 수 있다.



<그림 5.14> 좌표입력 창(키보드 입력)

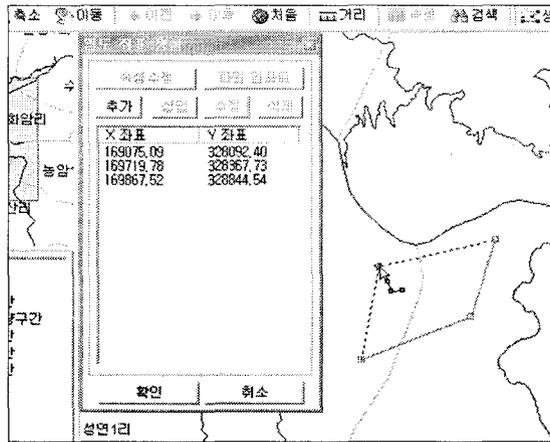
④ 직접 좌표입력 : 마우스 입력 방식

- '임도 생성' 창이 표시된 상태에서 메인 화면에 마우스로 입력한다.
- 입력 방법은 기존 GIS 툴에서의 스크린디지타이징 방식과 같다.



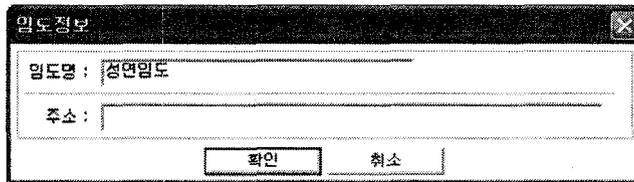
<그림 5.15> 좌표입력 창(마우스 입력)

- 이미 입력한 좌표를 수정할 때는 수정하고자 하는 지점을 마우스로 클릭하고 움직이면 좌표를 수정할 수 있다.



<그림 5.16> 좌표 수정

- ⑤ 좌표를 모두 입력한 후 '확인' 버튼을 누르면 다음과 같이 임도명과 주소를 입력할 수 있는 창이 뜨게 되고, 이런 과정을 통해 임도를 생성할 수 있다.



<그림 5.17> 임도명 주소입력

2) 임도 관리

임도는 처음 개설에서부터 구간의 연장, 보수와 구조개량과 같은 유지관리가 이루어지게 된다. 따라서 유지관리시스템에서는 이와 같은 정보를 담고 필요할 때마다 정보를 조회할 수 있는 기능이 요구된다. 이를 위해 구현한 기능이 '임도관리' 기능으로, 이 기능은 처음 임도가 개설된 구간에 대해 해당 구간을 지도에서 선택하고 개설 당시의 상황 즉, 구간 위치, 시공사, 감독관, 시설물 내역 등의 정보를 입력할 수 있도록 되어 있으며, 개설 이후에 이루어지는 보수나 구조개량과 같은 모든 작업에 대해서도 같은 방식으로 정보를 입력할 수 있다.

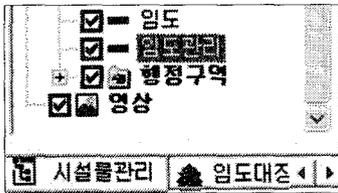
이렇게 입력된 자료는 시간 순서에 따라 DB로 구축되어 임도시설대장의 역할을 하게 된다. ‘임도관리’의 절차는 다음과 같다.

① 임도관리 대상 임도를 선택한다.



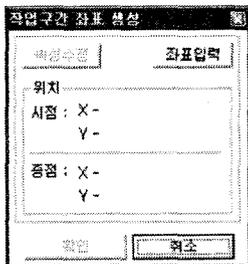
<그림 5.18> 임도관리 대상 임도 선택

② 시설물관리 탭에서 ‘임도관리’ 레이어를 선택한다.



<그림 5.19> 임도관리 레이어선택

③ 툴바에서 생성을 클릭하면 ‘임도관리구간 생성’ 창이 표시되고, 메인 지도 창은 생성 구간의 좌표를 입력받을 준비를 한다.

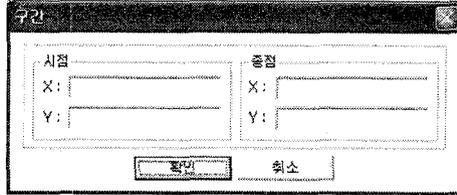


<그림 5.20> 임도관리구간 생성 창

- 여기서 구간 생성 방식은 앞의 임도 생성과 마찬가지로 키보드를 통한 좌표입력과 마우스 클릭을 통한 좌표입력의 두 가지 방식이 있다.

④ 키보드를 통한 좌표입력

- '임도관리구간 생성' 창에서 '좌표입력' 버튼을 클릭하면 다음 그림과 같이 키보드를 통한 '좌표입력' 창이 표시된다.

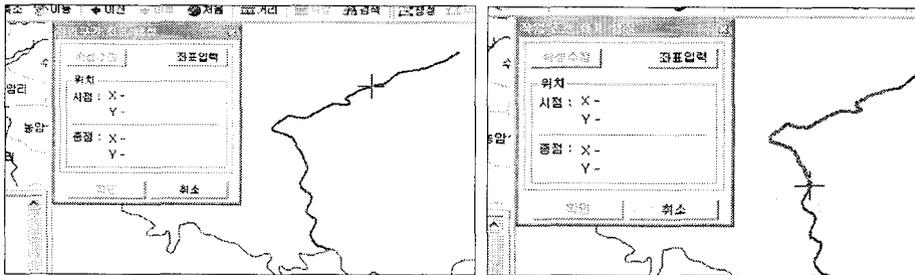


<그림 5.21> 좌표 입력(키보드)

- 이 창을 통해 시점과 종점을 입력하여 임도관리구간을 생성할 수 있다. 단 30m 이내의 정확도로 좌표를 입력해야한다.

⑤ 마우스 클릭을 통한 좌표입력

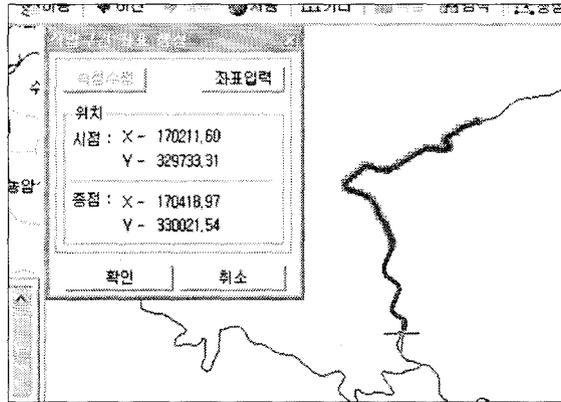
- '임도관리구간 생성' 창이 표시된 상태에서 메인 화면에 마우스로 입력한다.
- 구간을 생성할 임도 위에 마우스를 가져가면 십자 표시가 되고, 시점에서 클릭해서 종점까지 따라가서 클릭을 놓으면 구간이 생성된다.



<그림 5.22> 좌표 입력(마우스)

※ 임도관리 구간은 기존 임도 상에서 이루어지기 때문에 구간 생성시 임도 노선을 따라 생성되도록 구현하였다.

- 입력한 구간을 연장하거나 줄이려면 '좌표입력' 버튼을 눌러서 입력된 좌표를 수정하거나 구간의 끝점을 마우스로 움직여서 수정할 수 있다.



<그림 5.23> 좌표 수정

- ⑥ 좌표를 모두 입력하고 '확인' 버튼을 누르면 다음과 같은 창이 표시되고, 이를 통해 해당 구간의 속성을 입력할 수 있다.

<그림 5.24> 작업구간 속성 입력

- '구간정보' 밑의 종류 메뉴에서 임도관리 종류 즉, 개설, 연장, 보수, 구조 개량 중 하나를 선택할 수 있으며, 그 밖에 관련 정보를 입력할 수 있다.
- 속성정보를 입력한 후 '확인' 버튼을 클릭하면 모든 입력 작업이 완료되고 구간이 저장된다.
- 취소버튼을 누르면 좌표입력 창으로 돌아가게 돼서 좌표를 계속 입력하거나 수정할 수 있다.

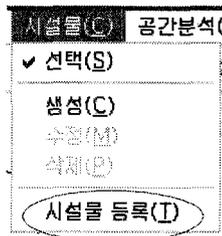
3) 시설물 생성

시설물 생성 기능은 임도상에 존재하는 모든 시설물에 대한 정보를 시스템에 입력하고, 필요시마다 정보를 조회·검색함으로써 유지관리 업무를 효율화하기 위한 기능으로, 임도 시설물과 관리자의 다양성을 고려하여 시설물 관리체계를 직접 구성할 수 있도록 하였다.

즉, 시설물 생성을 위해서는 먼저 메뉴의 '시설물 / 시설물 등록'을 선택하여 입력할 시설물을 등록해야 하는데, 이때 관할 지역의 특성과 관리자의 관리 방식에 따라 시설물을 성격에 따라 분류하여 관리체계를 구성할 수 있도록 하였다. 이러한 시설물 등록과정 후에 시설물 데이터를 입력할 수 있다. 시설물 데이터 입력의 절차는 다음과 같다.

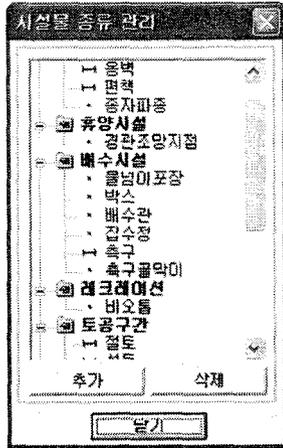
가) 시설물 등록

- ① 메뉴의 '시설물 / 시설물 등록'을 선택한다.



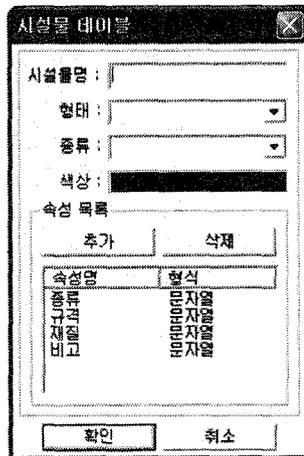
<그림 5.25> 시설물 등록

- ② '시설물 등록' 메뉴를 선택하면 다음과 같은 창이 나타난다.



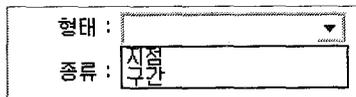
<그림 5.26> 시설물 종류 관리

- ③ 위 '시설물 등록' 창에서 '추가' 버튼을 클릭하면, 다음과 같이 시설물 추가 창이 나타난다.



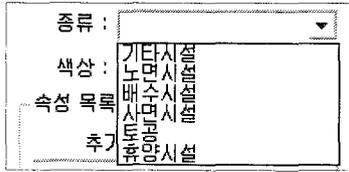
<그림 5.27> 시설물 추가

- '시설물명'에는 입력하고자하는 시설물의 이름을 입력한다.
- '형태'에는 입력하고자하는 시설물이 '지점'인지 '구간'인지를 선택한다.



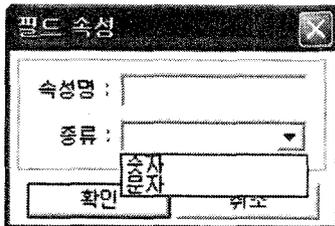
<그림 5.28> 시설물 형태

- '종류'에는 입력하고자하는 시설물의 종류를 입력하거나 선택한다. 이때 시설물 종류는 사용자에게 따라 다르게 구성할 수 있다.



<그림 5.29> 시설물 종류 입력 창

- '속성 목록'란에는 시설물과 관련된 정보를 입력할 수 있는 항목이 기본적으로 구성되어 있으며, '추가' 버튼을 통해 목록을 추가 또는 삭제할 수 있다.
- '추가' 버튼을 누르면 다음과 같은 창이 뜨고, 이때 '속성명'에 추가할 속성 이름, '종류'에 속성값의 데이터 타입 즉, 숫자인지 문자인지를 선택하여 입력하면 된다.



<그림 5.30> 시설물 속성항목 입력 창

- '확인' 버튼을 누르면 시설물에 속성 목록이 추가된다.

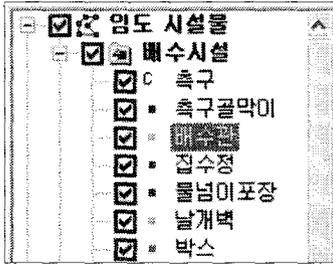
나) 시설물 생성

- ① 시설물을 생성할 대상 임도를 선택한다.



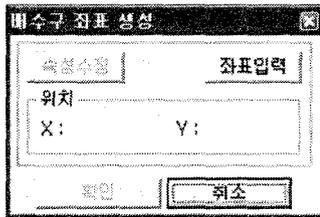
<그림 5.31> 시설물 생성(대상임도 선택)

② ‘시설물관리’ 탭에서 생성할 시설물을 선택한다.



<그림 5.32> 생성할 시설물 선택

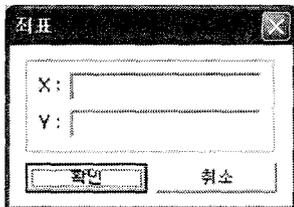
③ 툴바에서 생성을 클릭하면, ‘시설물 생성’ 창이 표시되고 메인 지도 창은 시설물을 입력받을 준비를 한다.



<그림 5.33> 시설물 생성

- 여기서 시설물 생성 방식은 앞의 임도 생성이나 임도관리구간 생성과 마찬가지로 키보드를 통한 좌표입력과 마우스 클릭을 통한 좌표입력의 두 가지 방식이 있다.

④ 키보드를 통한 좌표입력

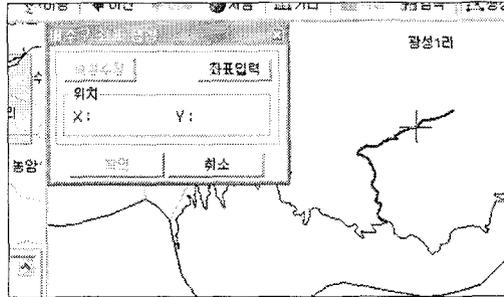


<그림 5.34> 좌표입력(키보드)

- 해당 시설물의 좌표를 키보드를 통해 직접 입력한다.
- 좌표입력시 해당 임도에서 30m이내의 정확도로 입력해야한다.

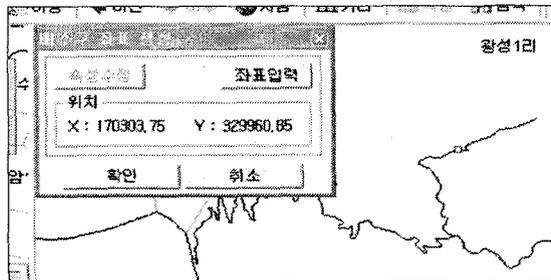
⑤ 마우스를 통한 좌표입력

- '시설물 생성' 창이 표시된 상태에서 메인 화면상의 해당 임도 위치에 마우스를 가져가면 십자 표시가 된다.



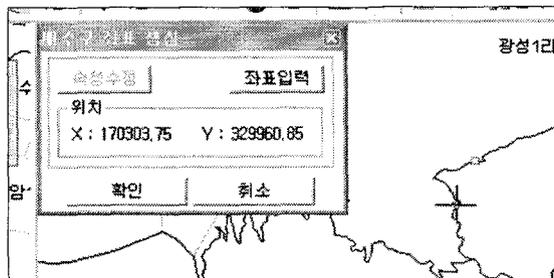
<그림 5.35> 좌표 표시(마우스)

- 십자 표시된 상태에서 마우스를 클릭하면 시설물 좌표가 입력된다.



<그림 5.36> 좌표 입력(마우스)

- 입력한 좌표를 수정하려면 '좌표입력' 버튼을 눌러 키보드로 수정하거나 시설물을 마우스로 클릭&드래그해서 수정할 수 있다.



<그림 5.37> 좌표 수정(마우스)

- ⑥ 좌표를 모두 입력한 후 '확인' 버튼을 누르면 다음과 같이 시설물 속성을 입력할 수 있다.

속성	내용
종류	
규격	
재질	
비고	

<그림 5.38> 시설물 속성입력

- 속성 입력 후 '확인' 버튼을 클릭함으로써 모든 입력 작업이 완료되고 시설물이 저장된다.
- '취소' 버튼을 누르면 '시설물 생성' 창으로 돌아가서 좌표를 수정할 수 있다.

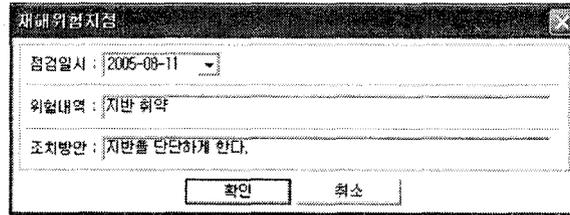
4) 재해발생지점 생성

- 재해발생지점은 시설물지점과 동일한 방법으로 생성하고, 속성 입력은 다음 그림과 같은 입력 창을 이용하여 입력한다.

<그림 5.39> 재해발생지점 속성 입력 창

5) 재해위험지점 생성

- 재해발생지점 또한 시설물지점과 동일한 방법으로 생성하고, 속성 입력은 다음 그림과 같은 입력 창을 이용하여 입력한다.



재해위험지점 속성 입력 창

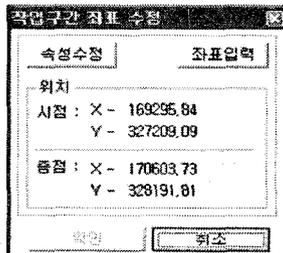
점검일시 :	2005-08-11
위험내역 :	지반 취약
조치방안 :	지반을 단단하게 한다.

확인 취소

<그림 5.40> 재해발생지점 속성 입력 창

6) 입력 데이터 수정편집

- ① 입력된 데이터에 대해 도형이나 속성에 대한 수정편집을 하기 위해서는 대상 객체를 선택하고 툴바에서 수정을 클릭한다.
 - 수정 창을 통해 대상 시설물의 좌표 수정과 속성 수정을 모두 할 수 있다.



좌표/속성 수정 창

속성수정	좌표입력
위치	
시점 : X - 169295.94 Y - 327209.09	
종점 : X - 170603.73 Y - 328191.01	

확인 취소

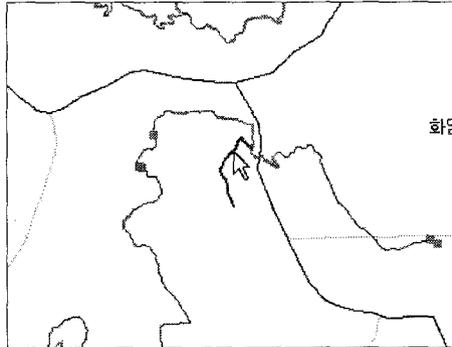
<그림 5.41> 좌표/속성 수정 창

- ② 좌표 수정 : 키보드 입력 방식
 - 좌표 수정할 경우 '좌표입력' 버튼을 통해 키보드로 수정 좌표를 입력해서 수정할 수 있다.
- ③ 좌표 수정 : 마우스 입력 방식
 - 수정하고자 하는 대상 객체를 클릭&드래그해서 옮기고자 하는 위치로 이동한다.
- ④ 속성 수정은 '속성수정' 버튼을 클릭해서 속성을 수정 또는 추가 할 수 있다.

나. 속성 조회 및 관리

1) 시설물 선택

- ① 툴바에서 선택 버튼을 누른다.
- ② 메인 지도창에서 선택하고 싶은 시설물을 클릭한다.



<그림 5.42> 시설물 선택

- 선택한 지점에 여러 개의 시설물이 중첩되어 존재한다면 다음과 같은 선택 창이 나타난다.

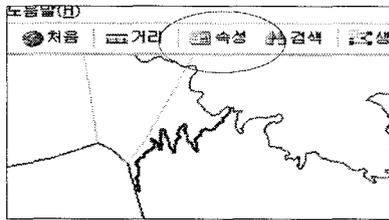


<그림 5.43> 시설물 선택 창

- 이때 원하는 시설물 항목을 선택하고 선택버튼을 누르거나 항목위에서 더블클릭을 하면 해당 시설물이 선택된다.

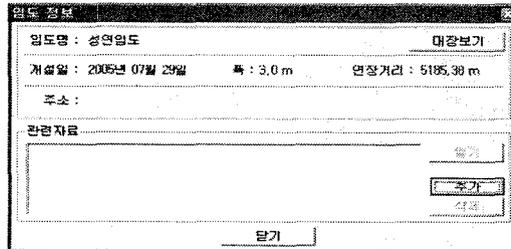
2) 시설물 속성 조회

시스템에 입력되어 있는 시설물의 속성을 필요에 따라 그때그때 조회할 수 있다. 먼저 모든 조회 절차는 앞에서 설명한 조회할 대상 시설물에 대한 선택이 있는 후 가능하다. 조회할 시설물을 선택하면 툴바에 '속성' 버튼이 활성화 되고, '속성' 버튼을 클릭하면 선택된 시설물이 임도냐, 임도관리구간이냐, 임도 시설물이냐에 따라 해당 속성 창이 화면에 나타난다.



<그림 5.44> 시설물 속성조회

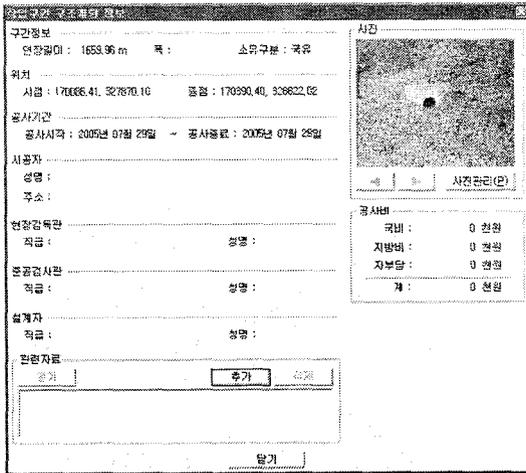
가) 임도 속성 창



<그림 5.45> 임도 속성 창

- 임도명은 각 임도를 구분하는 고유의 임도명을 나타낸다.
- 개설일은 해당 임도의 최초 개설 구간의 공사가 종료된 시점을 나타낸다.
- 폭은 최종 작업구간의 폭을 나타낸다.
- 연장거리는 전체 임도 노선의 총 길이를 나타내며, 자동 계산 된다.
- 주소는 해당임도 생성시 입력된 주소이다.
- '대장보기' 버튼을 누르면 해당 임도의 임도대장을 볼 수 있다.
- 해당 임도에 대한 관련자료를 관리할 수 있다.(관련자료 기능 참조)

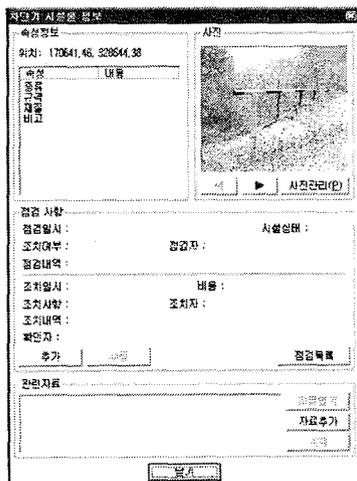
나) 임도관리구간 속성 창



<그림 5.46> 임도관리구간 속성 창

- 연장길이는 구간의 총길이를 나타내며, 자동 계산 된다.
- 시점/종점은 구간의 시작되는 지점의 좌표와 종료되는 지점의 좌표를 나타낸다.
- 해당 구간에 대한 사진자료를 관리할 수 있다.(사진관리 기능 참조)
- 해당 구간에 대한 관련자료를 관리할 수 있다.(관련자료 기능 참조)

다) 임도 시설물 속성 창

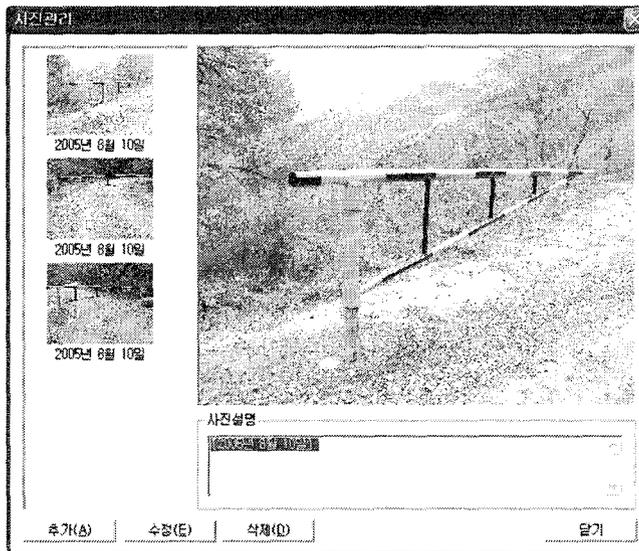


<그림 5.47> 임도 시설물 속성 창

- 시설물의 속성정보는 해당 시설물을 등록할 때 시설물에 따라 설정한 속성 항목을 가지고 있다.
- 해당 시설물에 대한 사진자료를 관리할 수 있다.(사진관리 기능 참조)
- 해당 시설물에 대한 관련자료를 관리할 수 있다.(관련자료 기능 참조)

라) 사진관리 창

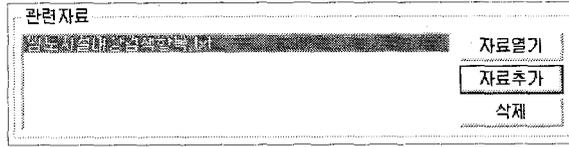
- ① 임도관리구간 및 시설물은 해당 객체에 관련된 사진자료를 관리할 수 있다. '속성' 버튼을 클릭해서 나타난 창에서 '사진관리' 버튼을 누르면 관련된 사진을 조회하고 관리하는 창이 나타난다.



<그림 5.48> 사진관리 창

- ② 사진관리 창의 왼쪽부분은 해당 객체에 관련된 사진들의 목록을 보여주며, 입력시간 순서에 따라 정렬되어 있다.
- ③ 사진관리 창의 오른쪽부분은 사진목록에서 선택된 사진에 대해 확대 사진과 입력당시 작성한 설명을 보여준다.
- ④ 입력된 사진을 삭제하거나 새로운 사진을 추가할 수 있으며, 입력되는 사진에 대한 날짜와 설명을 기입할 수 있다.

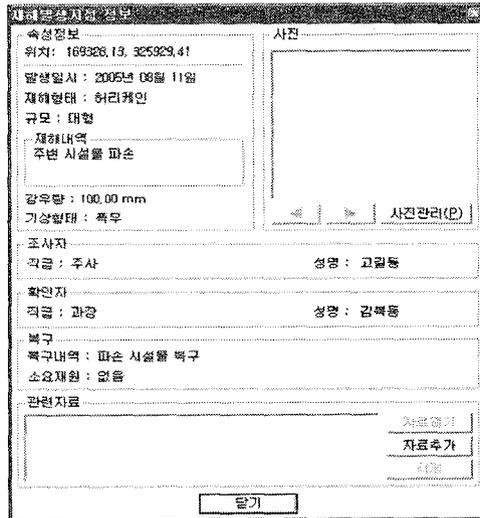
마) 관련자료 관리 창



<그림 5.49> 관련자료 관리 창

- ① 입력되는 모든 시설물은 해당 시설물과 관련된 자료를 함께 입력해서 관리할 수 있다.
- ② '자료추가' 버튼을 누르고 입력할 자료를 선택하면 시스템 폴더 내로 자료를 복사해오게 되고, 해당 시스템과 연관되어 관리된다.
- ③ 관련자료 목록에서 보고자 하는 자료를 선택하고 '자료열기' 버튼을 누르면 자료를 볼 수 있다. 단, 그 자료를 열 수 있는 프로그램이 설치되어 있어야 한다.
- ④ 목록에서 자료를 선택하고 '삭제'를 누르면 선택한 자료를 삭제할 수 있다.

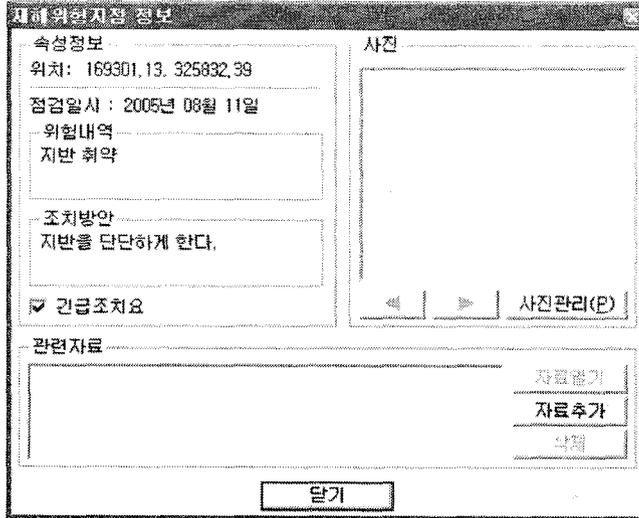
바) 재해발생지점 속성



<그림 5.50> 재해발생지점 속성 창

- 사용방법은 시설물 속성 창과 동일하다.

사) 재해위험지점 속성



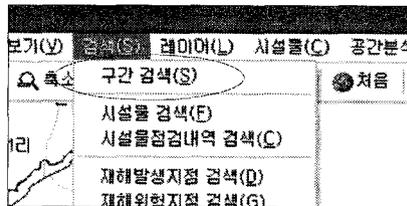
<그림 5.51> 재해위험지점 속성 창

- 사용방법은 시설물 속성 창과 동일하다.

다. DB 검색

1) 구간 검색

① 구간 검색을 하려면 '검색' 메뉴에서 '구간검색'을 선택한다.



<그림 5.52> 구간검색

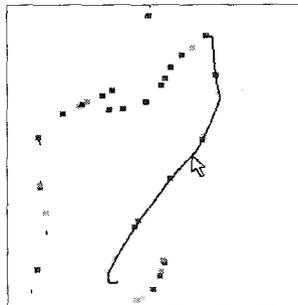
② 검색하고자 하는 조건을 입력하고 '검색시작' 버튼을 누르면 원하는 임도관리구간을 검색할 수 있다.

구분	종류	공사시작	공사종료	구간길이(m)	노선길이(m)	폭 (m)	공사비계(천원)	국비(천원)	지방비(천원)	자부담(천원)
장현임도	개설	1992.01.01	1993.01.01	5185.3	5185.3	4.0	62934	29917	26260	6757
황소지선임도	개설	1995.01.01	1995.12.31	1384.9	1384.9	4.0	0	0	0	0
광성지선임도	개설	1995.01.01	1995.12.31	1257.3	1257.3	4.0	0	0	0	0
임질정상간임도	개설	1995.01.01	1995.01.01	1519.9	1519.9	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1992.01.01	1993.01.01	5185.3	5185.3	4.0	62934	29917	26260	6757
담산오성광성신풍간임도	개설	1992.01.01	1992.12.31	5807.4	5807.4	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1995.01.01	1995.12.31	1915.1	1915.1	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1995.01.01	1995.12.31	1384.9	1384.9	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1995.01.01	1995.12.31	4683.7	4683.7	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1995.01.01	1995.12.31	4259.2	4259.2	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1995.01.01	1995.01.01	9281.2	9281.2	4.0	0	0	0	0
담산오성광성신풍간임도	개설	1995.01.01	1995.01.01	1519.9	1519.9	4.0	0	0	0	0

<그림 5.53> 임도관리구간 검색

2) 시설물 검색

- ① 시설물 검색을 하기 위해서는 메인 지도창에서 검색할 구간(임도, 임도관리구간, 측구, 포장구간 등)을 선택해야한다.



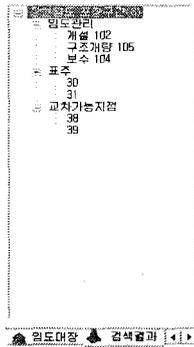
<그림 5.54>
시설물 검색

- ② 시설물을 선택한 후 툴바에서 검색을 누르면 해당 구간에 속해 있는 시설물들을 볼 수 있다.



<그림 5.55> 해당구간 시설물

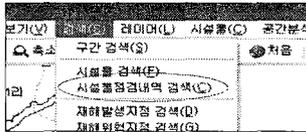
③ 시설물 검색 결과는 검색결과 탭 표시된다.



<그림 5.56> 시설물 검색 결과

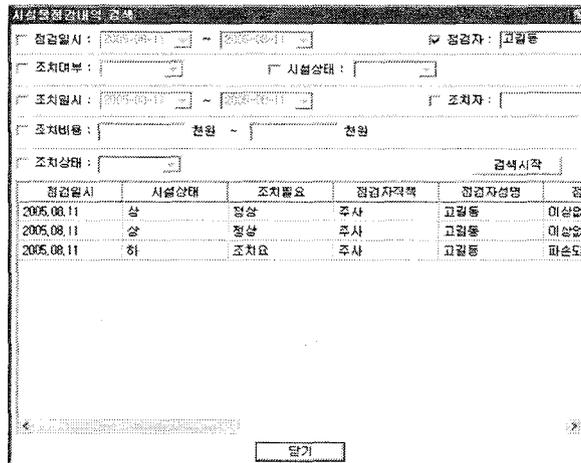
3) 시설물점검내역 검색

① 검색을 하려면 '검색' 메뉴에서 '시설물점검내역 검색' 선택한다.



<그림 5.57> 시설물 점검내역 검색

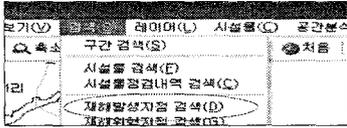
② 검색하고자 하는 조건을 입력하고 '검색시작' 버튼을 누르면 원하는 시설물 점검내역을 검색할 수 있다.



<그림 5.58> 시설물 점검내역 검색 결과

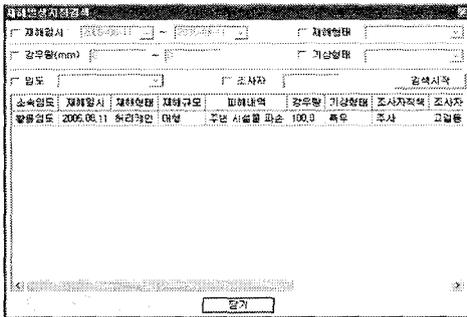
4) 재해발생지점 검색

- ① 검색을 하려면 '검색' 메뉴에서 '재해발생지점 검색'을 선택한다.



<그림 5.59> 재해발생지점 검색

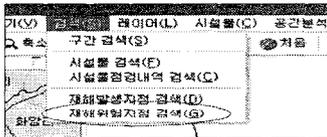
- ② 검색하고자 하는 조건을 입력하고 '검색시작' 버튼을 누르면 원하는 재해발생지점을 검색할 수 있다.



<그림 5.60> 재해발생지점 검색결과

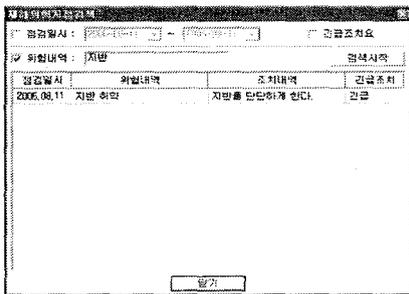
5) 재해위험지점 검색

- ① 검색을 하려면 '검색' 메뉴에서 '재해위험지점 검색'을 선택한다.



<그림 5.61> 재해위험지점 검색

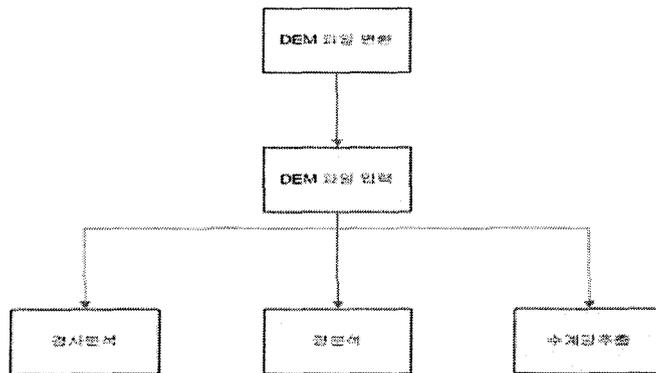
- ② 검색하고자 하는 조건을 입력하고 '검색시작' 버튼을 누르면 원하는 재해위험지점을 검색할 수 있다.



<그림 5.62> 재해위험지점 검색결과

라. 공간분석

여타 다른 시스템과 마찬가지로 임도 유지관리시스템 또한 DB가 함께 갖춰져야 제대로 운영될 수 있다. 하지만 모든 임도 담당 실무 기관에서 완벽한 DB를 구축하고 시스템을 운영할 수 있는 상황은 아니다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 연구개발 결과 중 하나인 수치표고모형 구축방안을 통해 관할 지역의 수치표고모형만 구축 확보한다면, 임도 유지관리업무 중 가장 중요하다고 할 수 있는 임도붕괴와 관련된 간단하지만 중요한 인자에 대한 실시간 분석을 할 수 있도록 구현하였다. 공간분석 과정은 다음 그림과 같은 흐름으로 이루어진다.

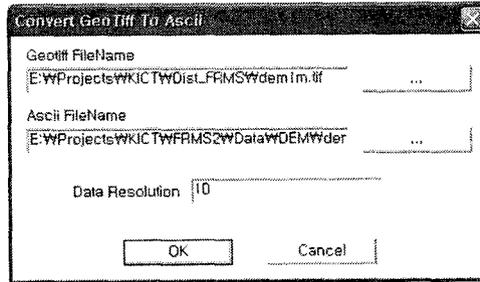


<그림 5.63> 공간분석 과정

공간분석을 하기 위해서는 먼저 수치표고모형이 ASCII 포맷으로 존재해야 한다. 따라서 ASCII 포맷으로 변환하는 기능도 함께 구현하였다. 변환된 수치표고모형을 시스템에 입력하여 경사 분석, 향 분석, 수계망 분석과 같은 공간분석을 수행할 수 있다. 공간분석 과정은 다음과 같다.

1) 수치표고모형 포맷 변환 및 시스템 입력

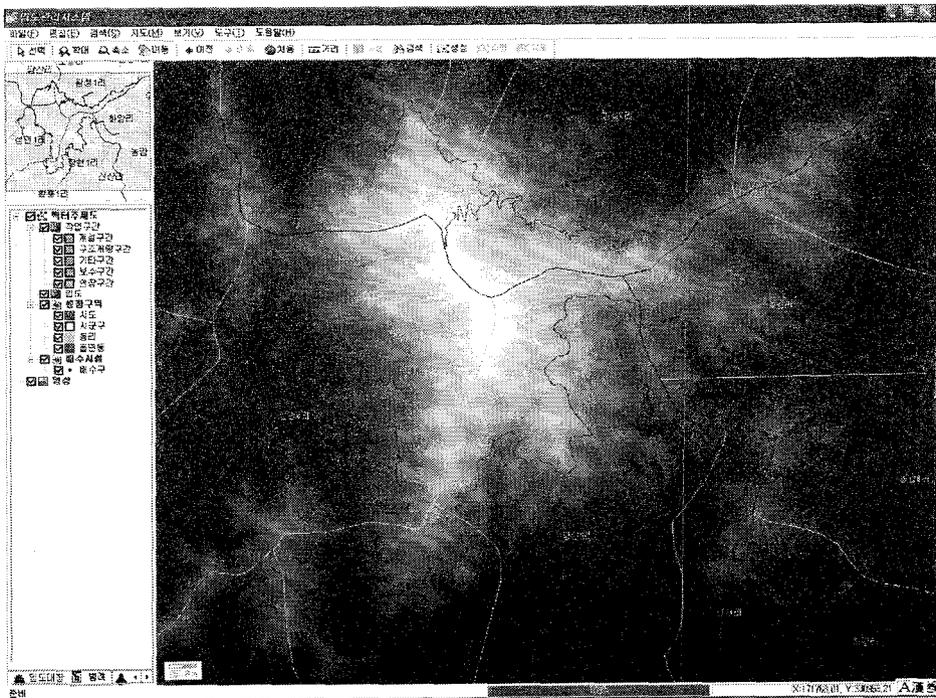
공간분석의 가장 기본 데이터인 수치표고모형을 시스템에서 분석 가능한 ASCII 포맷으로 확보해야 한다. 그러나 최근 대부분의 수치표고모형은 GeoTiff 포맷을 가지고 있기 때문에 이 경우 다음 그림과 같이 메뉴의 '레이어 / GeoTiff -> Ascii' 창을 통해 포맷을 변환해야 한다. 포맷 변환 절차는 다음과 같다.



<그림 5.64> 포맷변환 절차

- ① 'GeoTIFF FileName' 에는 수치표고모형 원본 파일을 입력한다.
- ② 'Ascii FileName' 에는 변환될 파일명을 입력한다.
- ③ 'Data Resolution' 에는 변환결과 파일의 공간해상도를 미터단위로 입력한다.

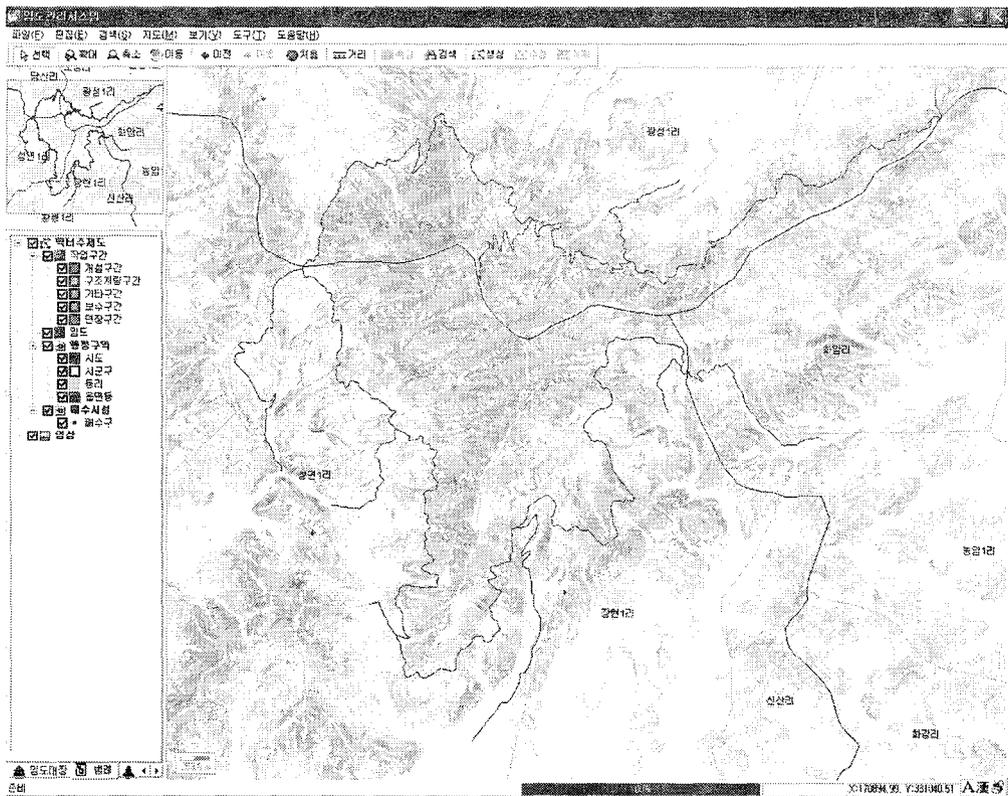
포맷 변환 후 메뉴의 '레이어 / DEM 열기'를 통해 ASCII 포맷의 수치표고모형을 입력한다.



<그림 5.65> 수치표고모형 입력

2) 경사 분석

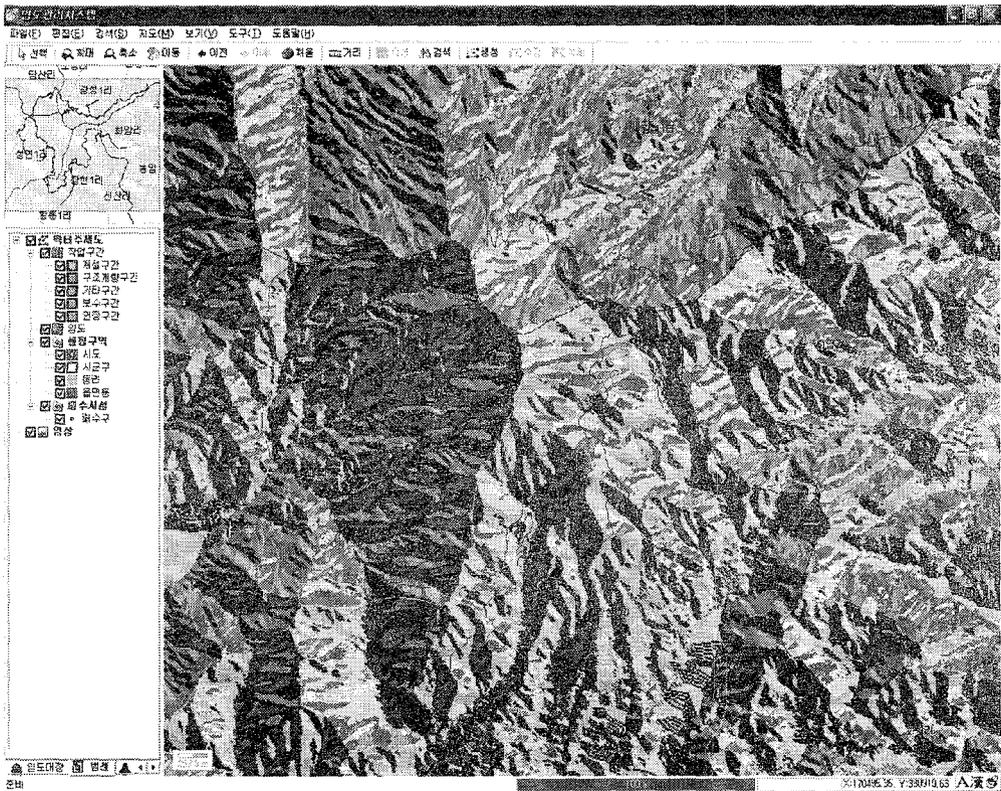
수치표고모형이 입력되면 경사 분석과 향 분석, 수계망 분석을 수행할 수 있다. 먼저 경사 분석의 경우 메뉴에서 '공간분석 / 경사분석'을 통해 자동으로 공간분석이 이루어지게 되고, 다음 그림과 같이 결과가 화면에 표시된다. 화면에서 진한 색으로 표시된 지역일수록 경사도가 큰 지형으로 임도망도와 중첩해 봄으로써 특별히 관리해야할 지역을 추출할 수 있다. 또한 임도 시설물 데이터를 함께 표시함으로써 기존에 관리되고 있는 지역과 전혀 관리되지 않고 있는 지역을 확인할 수 있다.



<그림 5.66> 경사 분석

3) 향 분석

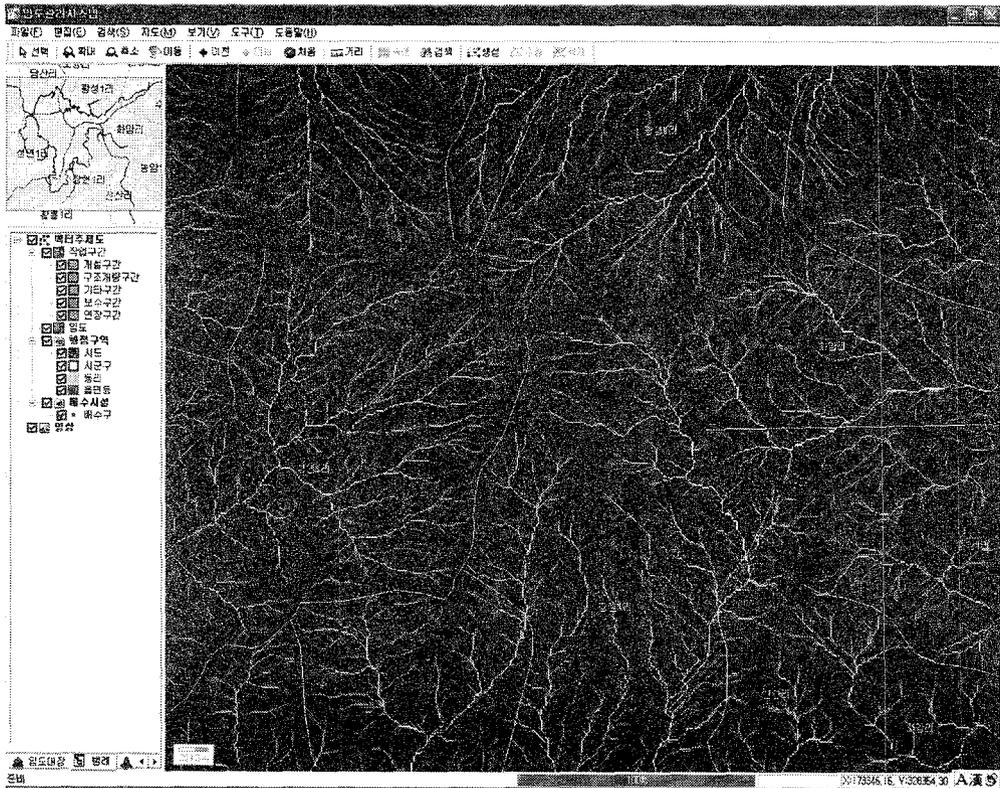
향 분석은 메뉴에서 '공간분석 / 향분석'을 통해 자동으로 공간분석이 이루어지게 되고, 다음 그림과 같이 결과가 화면에 표시된다. 화면에서 동일한 향은 동일한 색으로 표시되고, 특별히 관리되어야 하는 향에 대해서는 임도망도를 중첩하여 관리 지역을 추출할 수 있다.



<그림 5.67> 향 분석

4) 수계망 분석

수계망 분석은 메뉴에서 '공간분석 / 수계망분석'을 통해 자동으로 공간분석이 이루어지게 되고, 다음 그림과 같이 결과가 화면에 표시된다. 화면에서 흰 실선이 지나가는 곳이 강우시 물길이 생길 수 있는 곳이다. 따라서 임도망도와 함께 중첩분석을 함으로써 물길이 생길 수 있는 부분에 대해 특별 관리를 할 수 있으며, 시설물 데이터를 함께 띄움으로써 관리 현황을 파악하고, 관리 우선순위를 결정할 수 있다. 수계망 분석은 Accumulated Model을 사용했기 때문에 실선의 굵기는 물의 양을 의미하게 되며, 이 정보에 따라서도 관리방안을 수립할 수 있다.



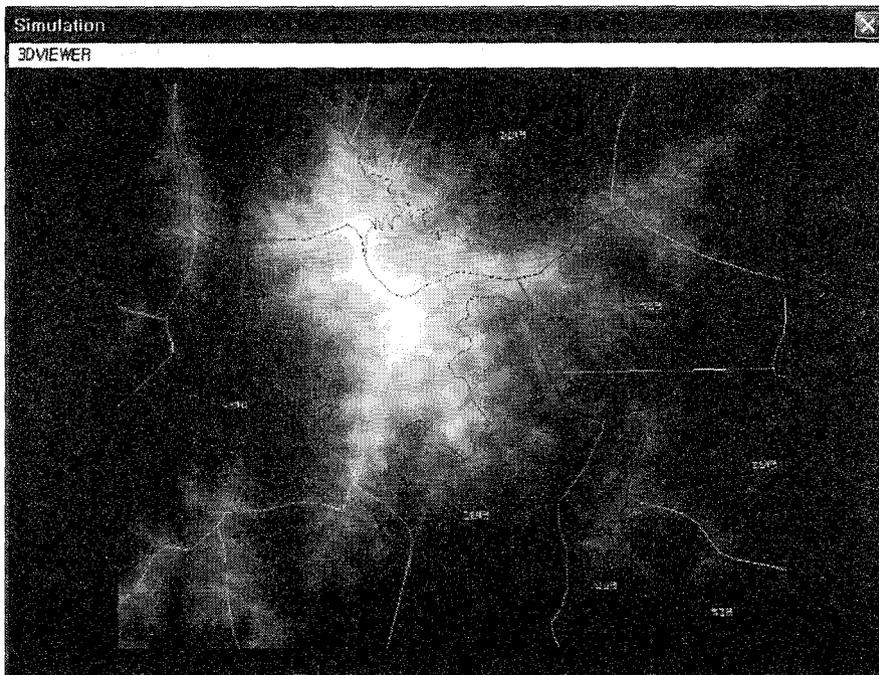
<그림 5.68> 수계망 분석

마. 3차원 시물레이션 분석

3차원 시물레이션 분석은 시스템을 통해 비행하는 것과 같은 효과로 광범위한 지역을 쉽게 둘러볼 수 있도록 하는 기능을 제공한다. 이 분석에도 공간분석에서와 같이 수치표고모형이 반드시 요구되며, 앞에서 수치표고모형 포맷변환 및 입력 절차에 따라 수치표고모형을 입력할 수 있다. 또한 메뉴의 ‘레이어 / 영상과일 열기’를 통해 영상을 배경으로 입력함으로써 현실세계와 보다 유사하게 대상지역에 대한 3차원 시물레이션 분석을 수행할 수 있다. 3차원 시물레이션 분석에는 OverView와 FlyView 모드가 있다.

1) OverView 모드

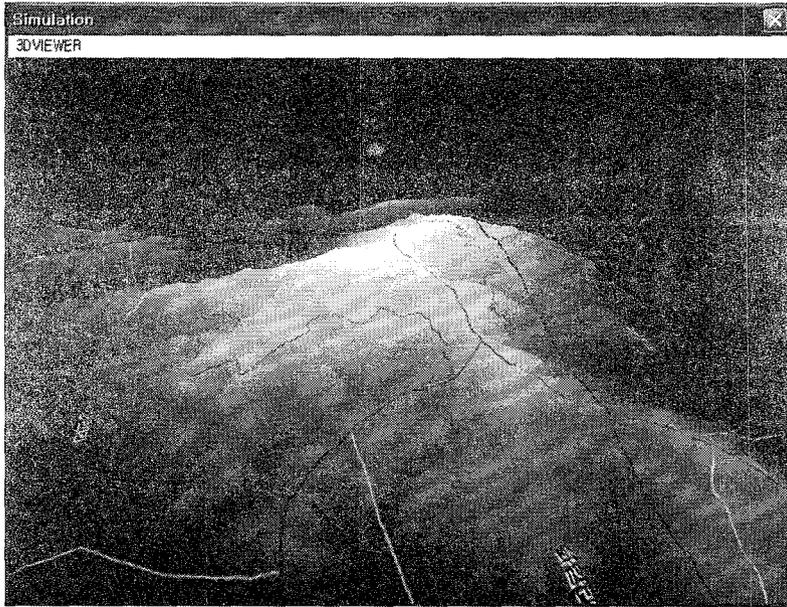
OverView 모드는 대상지역을 상공에서 연직하방으로 내려보는 것과 같은 효과를 낸다. 다음 그림에서 밝게 나타날수록 고도가 높음을 의미하며, 임도망도, 행정구역도, 임도 시설물 데이터 등을 함께 표시하여 볼 수 있다.



<그림 5.69> OverView 모드

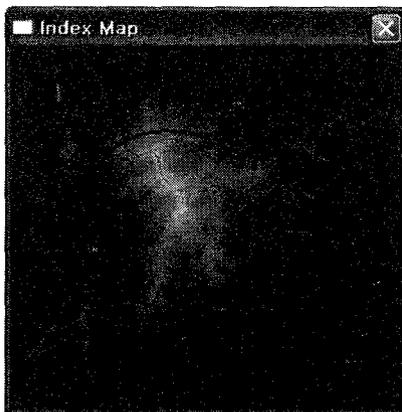
2) FlyView 모드

비행기로 대상지역을 둘러보는 듯한 뷰를 제공한다. 비행경로는 사용자가 설정할 수 있으며, 경로가 설정되면 경로를 따라 이동한다.



<그림 5.70> FlyView 모드

Fly 경로를 설정할 수 있는데, 시뮬레이션 창의 메뉴에서 Show Course를 선택해서 마우스로 경로를 입력한 후 오른쪽 버튼을 클릭하면 경로가 설정된다.



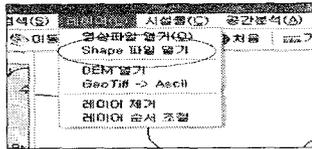
<그림 5.71> OverView 경로설정

바. 기타 기능

1) 레이어 관리

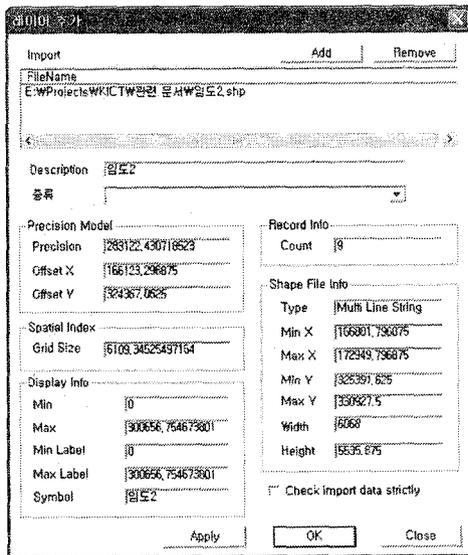
가) Shape 파일 열기

- ① Shape 파일 열기를 통해서 등고선이나 유지관리등급지도 등 Shape 포맷의 파일을 시스템에 추가할 수 있다.
- ② Shape파일을 추가하려면 ‘레이어’ 메뉴에 ‘Shape 파일 열기’를 선택한다.



<그림 5.71> Shape 파일 열기

- ③ 다음과 같이 창을 볼 수 있다.

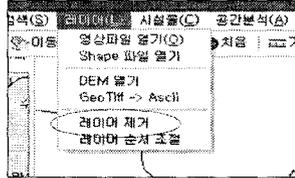


<그림 5.72> Shape 파일 추가 창

- ④ [Add]버튼을 통해 프로그램으로 가져오고자 하는 shape파일들을 선택한다.
- ⑤ Description에는 레이어에 대한 설명을 넣는다.
- ⑥ 종류에서는 레이어의 종류를 써준다.
- ⑦ [Apply]나 [OK]를 누르면 프로그램에 레이어로 등록된다.

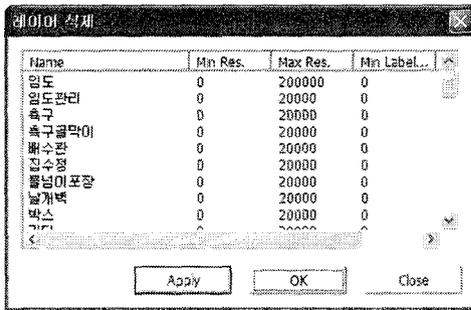
나) 레이어 제거

- ① 레이어 제거를 통해서 'Shape 파일 열기'에서 추가한 레이어를 삭제한다.
- ② 레이어 제거를 하려면 '레이어' 메뉴에서 '레이어 제거'를 선택한다.



<그림 5.73> 레이어 제거

- ③ 다음과 같이 창이 나타난다..

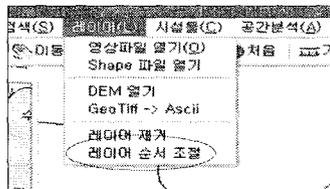


<그림 5.74> 레이어 제거 창

- ④ 목록에서 삭제하려는 레이어를 선택하고 'Apply'나 'OK' 버튼을 누르면 선택한 레이어가 삭제된다.

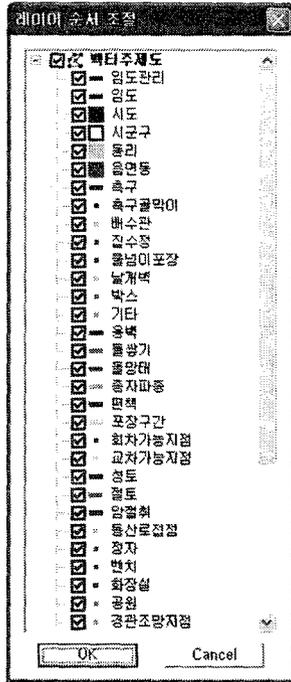
다) 레이어 순서조절

- ① 메인 지도창에서 시설물이 겹칠 경우 보이는 순서를 변경하고자 할 때 이 기능을 사용한다.
- ② '레이어' 메뉴에서 '레이어 순서조절'을 선택한다.



<그림 5.75> 레이어 순서조절

③ 다음과 같이 창이 나타난다.

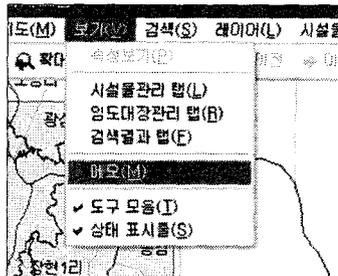


<그림 5.76> 레이어 순서조절 창

④ 목록에서 순서를 변경하려는 레이어를 선택해서 클릭&드래그를 통해 원하는 위치로 옮기면 순서가 변경된다.

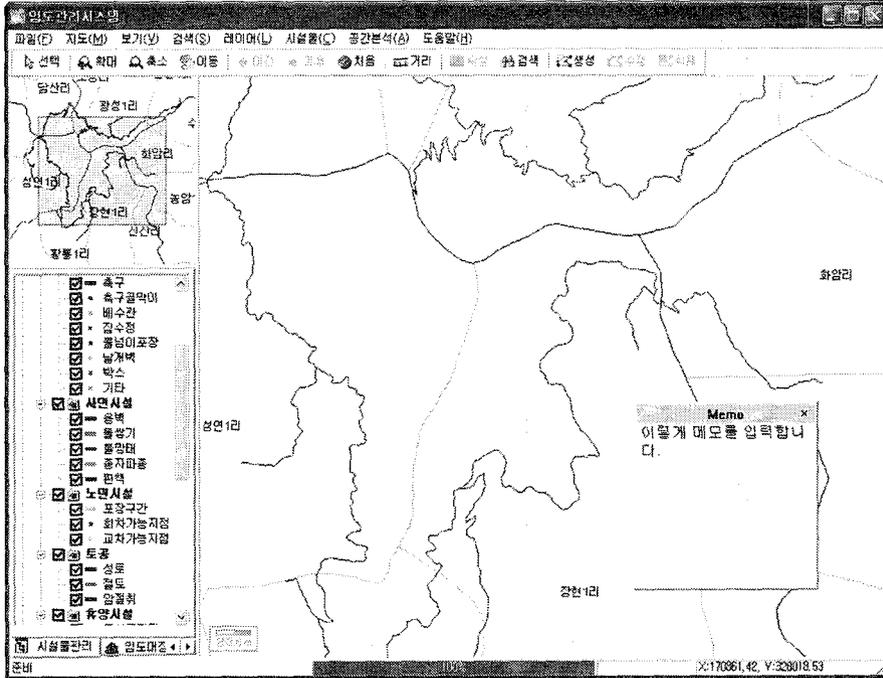
2) 메모 관리

① 화면에 메모를 하려면 '보기' 메뉴에서 '메모'를 선택한다. 이 메모는 꺾다 켜면 사라진다.



<그림 5.77> 메모 관리

- ② 원하는 위치에 마우스를 클릭하면 지도에 메모를 입력할 수 있는 포스트잇과 같은 창이 나타난다.



<그림 5.78> 메모 관리 창

3) 화면복사 · 저장 · 인쇄

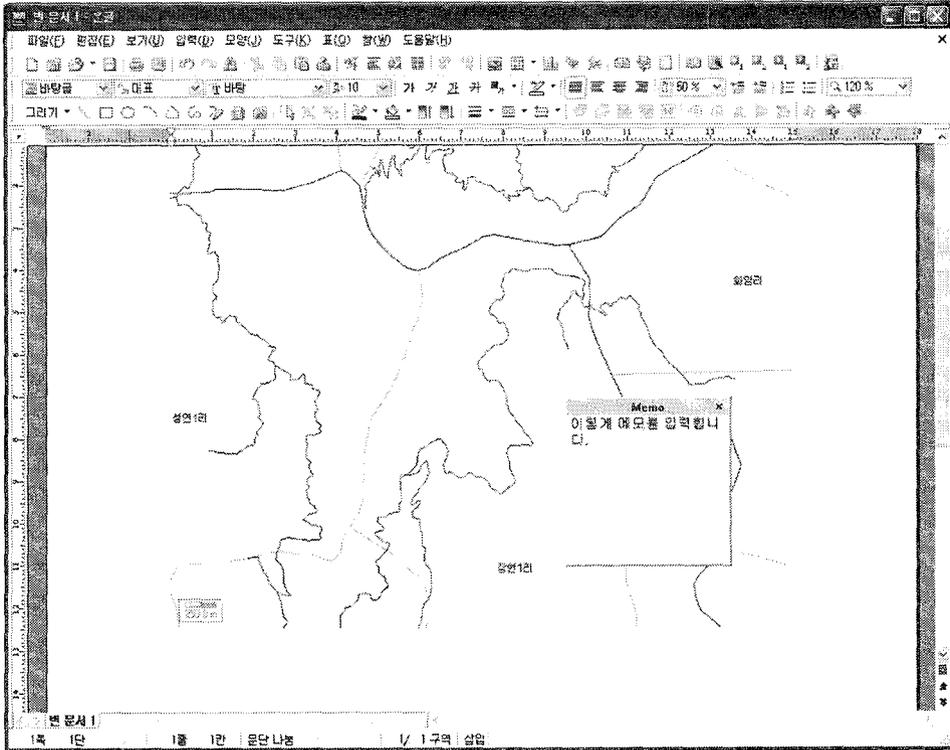
가) 화면복사

- ① 임도관련 문서작업을 하다가 관련 그림을 넣고자 할 때 사용할 수 있다.
 ② '파일' 메뉴에서 '화면복사'를 선택하여 메인 지도창을 캡처한다.



<그림 5.79> 화면 복사

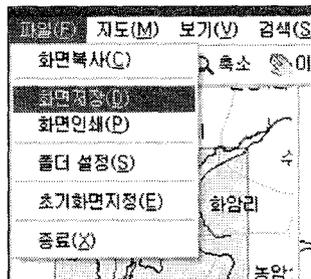
- ③ 그림을 추가하고자 하는 문서에 ‘붙여넣기’를 통해 삽입할 수 있다.



<그림 5.80> 화면 붙여 넣기

나) 화면저장

- ① 현재 보고 있는 메인 지도창을 그림파일로 저장할 수 있다.
- ② ‘파일’ 메뉴의 ‘화면저장’을 선택한다.



<그림 5.81> 화면 저장

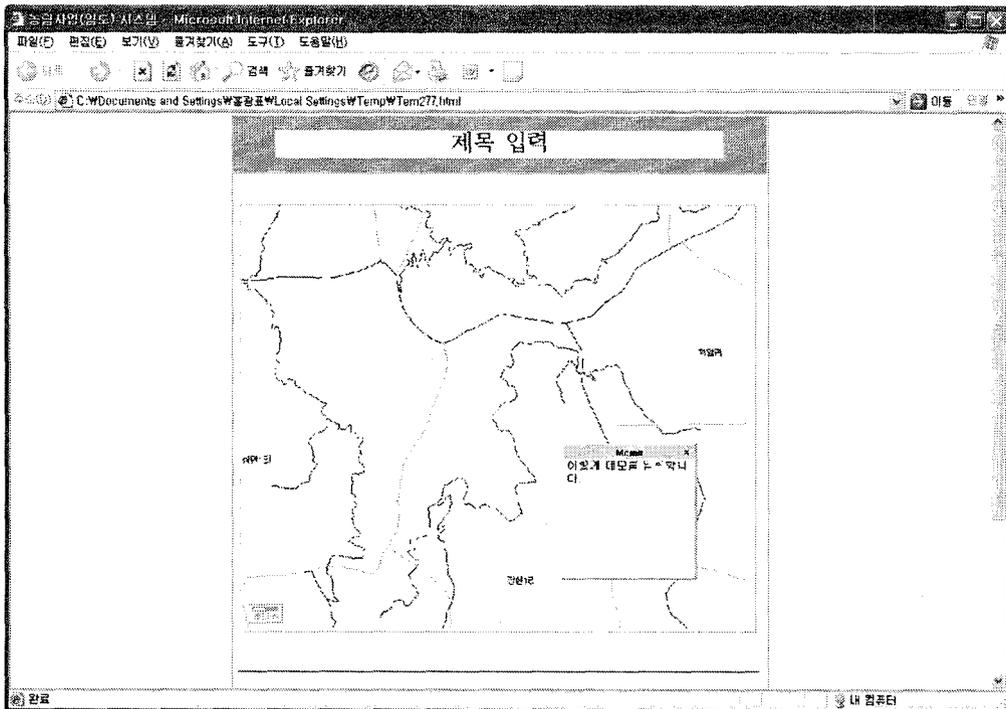
다) 화면인쇄

- ① 현재 보고 있는 메인 지도창을 익스플로러를 통해 인쇄 할 수 있다.



<그림 5.82> 화면 인쇄

- ② 다음과 같은 창이 표시되면, 제목을 넣어 출력할 수 있다.



<그림 5.83> 화면 출력

참고문헌

1. 김계현, 2004, 공간분석, 두양상
2. 김장수, 1998, 환경임업, 탐구당, chapter 4.
3. 이규성, 1991, 컴퓨터 지도분석을 이용한 임도계획, 한국임학회지, 제 80권, 제 3호.
4. 박태식 외, 1992, 임업경영학, 향문사, 222~231
5. 유복모, 1996, 경관공학, 동명사
6. 우보명 외, 1997, 산림공학, 광일문화사, 253~434
7. 농림부, 2000, 임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가 시스템 개발
8. 산림청, 1999, 환경 친화적 녹색임도 정책구현을 위한 임도노선 선정 및 평가 프로그램의 개발
9. 산림청, 2002, FGIS 구축을 위한 GIS 소프트웨어 비교·분석 연구
10. 산림청, 2002, 산림과 임업 동향에 관한 연차 보고서
11. 산림청, 2003, 산림과 임업 동향에 관한 연차 보고서
12. 산림청, 2003, FGIS 2003 WORKSHOP
13. 산림청, 2004, 임도담당자 실무교육 교재
14. 박상준, 손두식, 2001, 임도개발에 있어서 투자효과를 최대화 하는 임도배치 프로그램 개발, 한국임학회지, 제 90권, 제 4호.
15. 이병두, 정주상, 2000, GIS를 이용한 환경친화적 임도 노선 선정 프로그램의 개발, 한국임학회지, 제 89권, 제 3호.
16. 정주상, 정우담, 1995, 임도설계 자동화를 위한 전산모델의 개발, 한국임학회지, 제 84권, 제 3호.
17. 차두송, 이준우, 1992, 최적임도배치계획에 관한 연구, 한국임학회지, 제 81권, 제 2호.
18. 차두송, 조구현, 1994, 기계화 집재작업을 위한 노망정비에 관한 연구(II), 한국임학회지, 제 83권, 제 3호.
19. 차두송, 조구현, 1995, 국유임도의 노선선형과 지형과의 관계 분석, 한국임학

회지 84권 4호

20. 차두송, 지병윤, 2002, 임도절토사면의 붕괴예측모델 개발, 한국임학회지, 제 91권, 제 3호.
21. 김남신, 이민부, 2004, 지형계측 기법을 적용한 지형분류, 한국지형학회지 제 11권 제4호 pp.47-60
22. 우보명, 1987, 임도에 있어서 절취사면의 안정성분석에 관한 연구, 서울대 대학원 학위논문
23. 우보명, 1983, 임도 비탈면의 경관안정을 위한 기본 모델 설정에 관한 연구, 한국임학회지 61권
24. 우보명, 권태호, 김남춘, 1993, 임도 비탈면의 자연식생 침입과 효과적인 비탈면 녹화공법 개발에 관한 연구, 한국임학회지 82권 4호
25. 정주상, 1993, 가선집계시스템 역학구조 해석에 관한 연구, 한국임학회지 82(1), 34~43
26. 최기만, 이춘석, 임승빈, 1997. GIS를 이용한 가시권정보 분석기법에 관한 연구, 한국조경학회지. Vol.25. No.2 pp.31-42
27. 최기만, 1997, GIS를 이용한 가시권분석기법 및 가시권정보구축에 관한 연구 (제주 산방산 지역 사례연구), 서울대 대학원 석사 학위논문.
28. 김종윤, 1992, 수치지형도를 이용한 최적임도망 편성방법과 임도개발효과 분석, 경상대학교 박사 논문
29. 김종윤, 이해주, 정도현, 정영관, 1996, 임목축적과 임도밀도의 변화에 따른 임도의 경제적 효과 분석, 산림과학논문집 54권
30. 김종윤, 정도현, 이해주, 1997, 설치위치에 따른 임도의 효율성과 경제성, 산림과학논문집 56권
31. 이규성, 1991, Computer Assited Map Analysis for Planning Forest Road Network, 한국임학회지 80권 3호
32. 이준우, 1992, 수치지형모델을 이용한 임도망배치계획에 관한 연구, 서울대학교 박사 논문
33. 오은정, 1996, GIS를 이용한 등산로 선정에 관한 연구, 계명대학교 석사 논문
34. 정우담, 1995, 임도 설계 자동화를 위한 전산모델의 개발에 관한 연구, 서울대학교 석사 논문

35. Alan Evans, Howard Lu, Tod Shannon, 1997 Proceedings From The 1997 Fall Simulation Interoperability workshop rapid terrain visualization: prototyping synthetic natural environments for CGF and visualization
36. Ayman Habib, Andinet Asmamaw, Devin Kelley and Manja May, 2000, Linear Features in Photogrammetry, Report No. 450, Dep. of Civil and Environmental Eng. and Geodetic Science, Ohio State Univ., Columbus, Ohio.
37. Clive S. Fraser and Harry B. Hanley, 2003, Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 69, no. 1, pp. 53-57.
38. Kaichang Di, Ruijin Ma, and Rong Xing Li, 2003, Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 69, no. 1, pp. 33-41.
39. Martin Dodge, Andy Smith and Simon Doyle, 1997 Visualising Urban Environments for Planning and Design, Paper for the graphics, visualization and the social science workshop Loughborough, UK
40. Open GIS Consortium, The OpenGIS Abstract Specification, Volume 7: The Earth Imagery Case, 1999.
41. Philipp Hirtz, Hilko Hoffmann, Daniel Nuesch, Interactive3D Landscape Visualization: Improve realism through use of the remote sensing data and Geo-information, website for Department of Geography, Unniversity of Zurich, Swiss
42. USDA-Forest Service, 1999, Road Analysis : Informing Decisions About Manageing the National Forest Transportation System
43. USDA-Forest Service, 2000, Forest Roads : A Synthesis of Scientific Information
44. Superior National Forest R-9, Eastern Region USDA-Forest Service, 2002, Forest-Wide Roads Analysis For Objective Maintenance Level 3, 4, and 5 Roads
45. Jensen John R., 1996, Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective, pp. 236-239, Prentice Hall.

-
47. <http://www.jpeg.org/JPEG2000.html>
 48. <http://www.vterrain.org/Imagery/index.html>
 49. <http://www.jpeg.org/JPEG2000.html>
 50. <http://www.vterrain.org/Imagery/index.html>
 51. <http://www.kfri.go.kr/>