

GOVP 12018147

634.930285

L2936

최 종
연구보고서

임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가 시스템 개발

Expert System Development for Prediction of
Slope Failure Possibility on Forest Road

연구 기관
강원대학교

농 립 부



최 종 보 고 서

1998년도 농림개발사업에 의하여 완료한 임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가

시스템 개발에 관한 연구의 최종보고서를 별첨과 같이 제출합니다.

첨부 : 1. 최종보고서 10부

2. 최종보고서 디스켓 1매

2000. 10. 12

주관연구기관 : 강원대학교

총괄연구책임자 : 차 두 송 (인)

주관연구기관장 :

농림부장관귀하

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가 시스템 개발” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2000 . 10 . 12.

주관연구기관명 : 강원대학교
총괄연구책임자 : 차 두 송
세부연구책임자 : 서 옥 하
연 구 원 : 전 근 우
연 구 원 : 최 인 화
연 구 원 : 김 종 윤
연 구 원 : 최 종 민
연 구 원 : 지 병 윤
연 구 원 : 김 경 남
연 구 원 : 서 영 완
연 구 원 : 최 종 운
연 구 원 : 김 명 환
연 구 원 : 고 성 대
인 턴 연구원 : 조 구 현

요 약 문

I. 제 목

임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가 시스템 개발

II. 연구의 배경 및 필요성

산림이 갖고 있는 보건휴양기능, 수자원함양기능, 국토보전기능 등을 최대한도로 발휘시키고, 산림의 기능별에 적합한 다양한 산림시업을 시행하며, 향후 임업의 기계화를 통한 경쟁력 있는 임업의 육성을 위해 임도는 필수불가결한 임업기반시설로 인식되고 있다. 산림청의 제4차 산림기본계획에 의하면 2007년까지 총 29,100km의 임도를 확충할 예정으로 이는 매년 1,500km이상의 많은 임도를 개설해야 하는 실정이다. 이와 같이 매년 많은 양의 임도개설로 인한 여러 가지 문제가 발생되고 있으며, 특히 환경적인 문제에 대한 부정적 시각을 증폭되고 있다.

현행 우리나라 임도시설의 대부분은 저비용구조로 토공작업을 위주로 개설되기 때문에 집중 강우시에 임도의 사면붕괴가 많이 발생하고 있는 실정이다. 이와 같이 임도사면의 붕괴는 임업적 측면 뿐만아니라, 사회·경제적인 손실을 초래하기 때문에 임도사면붕괴를 미연에 방지하고, 더욱 그 기능을 발휘하도록 지속적인 임도시설물에 대한 사전 및 사후관리가 필요할

것이다. 그러나 우리나라의 경우 임도사면의 붕괴에 대한 어떠한 붕괴발생 기준도 마련되어 있지 못하여, 매년 집중호우시 붕괴가 발생되고 있는 실정이다. 따라서 우리나라 실정에 맞는 사면붕괴와 밀접하게 관련된 붕괴요인의 평가를 실시하여 붕괴기준의 마련과 이러한 기준을 바탕으로 붕괴위험 사면을 추출하여 적지적소에 가장 적합한 사면안정 대책이 수립되어야 할 것이다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서는 임도의 붕괴위험도 예측을 위한 전문가 시스템 개발하여 현장관리자가 보다 효율적으로 임도관리를 실행할 수 있도록 하였으며, 또한 임도시설물 관리시스템(FMS ; Facility Management System)를 이용하여 각 노선별, 주요 구간별, 각 임도의 구조 및 규격이 파악될 수 있도록 임도시설물(Forest Road Facility) database를 구축하여, 임도사면 붕괴에 대한 적절한 붕괴대책을 수립할 수 있다. 이와 같이 임도붕괴위험도 예측시스템의 개발은 1) 단순 임도관리의 표준화·일관성을 확보하고, 2) 임도의 붕괴사면에 대해 사면안정 처리공법의 수립이 가능하고, 3) 산림을 대상으로 구축되는 다양한 정보들과 연동시켜 임도의 고유기능과 산림의 환경보존 기능이 상호유기적으로 통합관리되기 때문에 고도의 산지이용과 환경친화적 녹색임도구축을 위한 자료로서 제공될 수 있을 것이다.

Ⅲ. 연구의 범위 및 내용

1. 임도사면 붕괴요인 평가 및 예측모델개발

- (1) 임도사면 붕괴발생과 관련이 깊은 요인들에 대한 평가를 실시하여, 우리나라 임도 사면붕괴의 발생기준 마련
- (2) 붕괴위험예지에 관련이 깊은 요인을 선정하여 최적의 붕괴예측 모델 개발
- (3) 최적의 붕괴예측 모델에 대한 현지 적용성 검토 실시

2. 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발

- (1) 일반적인 임도관리와 관련된 자료의 데이터 베이스화 실시
- (2) 사면붕괴예측 알고리즘 및 Programming 개발 및 예측 Module을 설계·제작하여 통합
- (3) Arcview와 Avenue Script Language를 사용하여 Query 기능 및 Menu환경 구축
- (4) 붕괴가능성 지수의 도면화

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구 결과

1) 수량화Ⅱ류 분석에 의한 임도 성토사면의 붕괴발생에 대한 요인의 영향은 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겘보기 토질, 임도위치 등 5개 요인이 가장 크게 나타났다. 상대점수에 의한 각 요인의 붕괴위험 기여도는 성토사면길이는 8m이상, 성토사면경사는 40° 이상, 사면방위는 동(E)사면, 임도위치는 능선부, 산지경사는 40° 이상, 겘보기 토질은 토사에서 가장 붕괴위험이 높은 것으로 나타났다.

임도 절토사면의 붕괴발생에 미치는 요인의 영향은 절토사면길이, 겘보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등 5개 요인이 가장 크게 나타났다. 특히, 절토사면길이는 8m이상, 겘보기 토질은 토사, 사면방위는 E사면, 절토사면경사는 60° 이상, 산지경사는 35~40° 사이에서 붕괴측에 기여도가 가장 크게 나타났다.

2) 퍼지이론을 이용한 임도 성토사면 붕괴예측 모델개발은 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겘보기 토질, 임도위치 등의 요인을 적용하여 각각의 요인별 붕괴발생과 관련한 특성치를 이용하여 최적의 퍼지적분 예측모델을 개발하였다. 퍼지적분을 이용한 최적의 붕괴예측 모델의 예측적중률은 79.7%로 나타났다. 또한 적용성 검토결과, 퍼지적분에 의한 붕괴예측모델의 적합성이 우수한 것으로 나타났으며, 적용성 검토지역에 대한 예측적중률은 83.3%로 높게 나타났다.

최적의 절토사면 붕괴진단 모델개발은 절토사면길이, 겘보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등의 5가지 요인의 특성치를 적용하여 최적의

퍼지 붕괴예측모델을 개발하였다. 퍼지적분을 이용한 최적 붕괴예측모델의 예측적중률은 74.6%로 나타났고, 조사대상지역에 적용한 모델의 적용성 검토의 예측적중률은 72.9%로, 붕괴예측모델의 적합성이 우수한 것으로 나타났다.

3) 임도붕괴 위험도를 예측하기 위해 Fuzzy Logic에 근거한 임도붕괴 위험도 예측 algorithm을 제작하였고, VB6.0을 사용하여 임도구조 인자에 대한 임도붕괴 위험도 예측 module을 개발하였다. 개발된 module을 사용자 편의가 고려된 program으로 만들기 위해 VB6.0의 Visual 기능을 사용하여 main 화면과 menu를 설계·제작하였고, ESRI(Environmental Systems Research Institute, Inc.)사의 MapObject Components를 사용하여 도면자료와 공간자료가 관리될 수 있도록 하였다. 속성자료의 관리는 VB6.0의 DAO(Data Access Object)호출 기능을 사용하여 MS Access 97에서 작성된 임도구조 인자 data을 access할 수 있도록 하였다.

임도붕괴 위험도 예측 program이 공간자료와 속성자료를 관리하기 위해 DAO호출 기능 및 components 호출 기능을 이용하게 됨으로서, 속성자료 및 공간자료의 display는 물론이고, 산림자원정보 및 임도관리 시스템과 연동 할 수 있게 되었다.

ArcView3.1 내에서의 임도붕괴 위험도 예측 시스템의 기능은 산림자원정보 시스템의 하부 시스템으로서, 기능할 수 있도록 하였으며, 현장에서의 사용의 용이성을 확보하기 위해서는 임도붕괴 위험도 예측 program으로서 Windos 계열의 OS에서 운용될 수 있도록 설계·제작 되었다. 특히, ArcView 내에서의 각 하부 시스템의 호출과 운용은 시스템간 호환성을 확보하기 위해 Avenue scripts에 의해 동작하는 icon으로 구성된 GUI(Graphic User Interface)로 제작하였다.

2. 활용에 대한 건의

비선형 모델인 퍼지적분에 의한 임도성토사면의 붕괴예측은 기존의 사면 붕괴의 평가 및 예측에 이용되고 있는 수량화Ⅱ류 등과 같은 통계적 방법들의 문제점인 지역성, 표본수 및 공선성의 문제점들을 다소 극복할 수 있으며, 임도의 붕괴가능성 평가시에 붕괴가능성을 0~1사이의 실수값으로 표현하기 때문에 임도사면의 보수 및 유지관리를 위해 평가자가 그 기준을 유동적으로 적용할 수 있어서 보다 명확하고, 객관적인 자료제시가 가능할 것이다. 현행 임도시공이 저비용, 토공위주로 시설되고 있음으로 말미암아 임도사면 붕괴가 다량 발생하고 있으나, 향후 「환경친화적 녹색임도」로의 정책전환으로 임도의 구조개량 및 시공단비의 현실화 등으로 보다 견고한 임도가 개설될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서의 수량화Ⅱ류에 의한 붕괴요인 평가와 퍼지이론에 의한 예측모델은 현행 임도시공하에 조사되고 분석되어진 것으로 향후 지속적인 보완·수정이 필요할 것으로 사료된다.

또한 개발되어진 임도붕괴위험도 예측 전문가 시스템의 보급으로 인하여 기존의 임도관리 업무가 임도재해 복구적 차원에서 예방업무 차원으로 전환될 수 있을 것이다. 특히 국내 임도는 저가의 개설단비로 시공되는 만큼 앞으로도 지속적인 붕괴 위험을 갖고 있으므로, 이 시스템을 이용하여 신설 및 기존 임도를 대상으로 임도관리 시스템을 구축하고 예측된 붕괴 위험도에 따라 각 임도에 대한 유지·관리비 투자 우선 순위를 결정할 수 있음은 물론, 동일 임도노선 내에서도 붕괴 위험개소를 결정할 수 있으므로, 예산의 효율적 운용이 가능할 것으로 사료된다. 그리고 기존의 산림자원정보 시스템과 임도 관리 시스템과 통합함으로써 산림작업시 임도개설 전·후의 각 산림작업에 대한 경제성 평가와 함께 임도노선을 기준으로, 임도를 이용한 작업 가능범위를 분석할 수 있으므로, 각 작업에 대한 모델링이 가능할 것으로 사료된다.

SUMMARY

I . Subject

**Expert System Development for Prediction of Slope Failure
Possibility on Forest Road**

II . Purpose and Importance of the Research

The forest road is recognized as necessary facility for rearing competitiveness by mechanization in future for forest, which greatly works for health, recreation, water resources conservation, and land conservation and for improving proper forest operation depending on the function of forest. Therefore, forest road will be constructed 29,100km until the year of 2007 by the Fourth Basic Forest Scheme and 1,500km every year. Various problems have occurred during a lot of forest road construction. Especially, the negative views from ecological and environmental aspects are increasing.

Now most of forest roads in our country are generating a lot of road failure mainly during the construction because of low-cost earth working. The continuous maintenance of forest road is necessary for the prevention of failure and the enforcement of road function because the failure of forest road occurring due to heavy rain without prediction

brings the loss of social and economical benefit as well as forest resources every year.

Accordingly, to prepare the failure criterion through executing the assessment of failure factors fitting in with the situation of our country and closely relating slope failures with countermeasures of slope stability is to prepare extracting failure-possible slopes based on such criterion. From this point of view, this research was carried out for field worker to manage better forest road through developing and applying the expert system for prediction of forest road failure. Also, for managing forest road, the establishment of proper countermeasures will be appropriate through extracting the information of slope failure and constructing data base of forest road facility to grasp structure and dimension of each line, main section, and each forest road using of FMS technology. The development of prediction system of forest road failure will be able to use forest land in advance and to make forest road sound. The development of these systems has results as follows;

- 1) getting standardization and consistency of forest road management,
- 2) being able to practice the establishment of stabilization method of slope stability on forest road failure slope,
- 3) systematically integrating and managing forest production function and forest environment conservation function to connect this system with forest resources information.

III. Contents and Scope of the Research

1. Evaluation of Failure Factors and Failure Prediction Model Development on Forest Road Slope

- (1) Executing the assessment on the factors closely related with the failure of forest road and preparing the criterion on forest road failure occurrence in our country.
- (2) Developing the model of reasonable failure prediction by selecting factors closely related with failure.
- (3) Executing the investigation of field application on the model of reasonable failure prediction.

2. Expert System Development for Prediction of Slope Failure Possibility on Forest Road

- (1) Making data base on data related with usual forest road management.
- (2) Integration through making and designing the prediction module and the development of program, and the algorithm for prediction of slope failure.
- (3) Constructing menu environment and query function using ArcView and Avenue Script language.
- (4) Mapping the index of failure possibility.

IV. Results and Suggestion

A. Results of Analysis

1) The evaluation of failure factors related to fill slope of forest road by Quantification theory(II) indicated that the weight of importance by factors were ranked in the order of fill slope length, fill slope gradient, aspect, apparent soil and rock types, and road position. According to the category weight for each factor, the fill slope failure mainly occurred in fill slope length greater at the places longer than 8m, in fill slope gradient at the places steeper than 40° , at the eastern aspects, at the ridge portion of road, and at the places of soil type. The evaluation of failure factors related to cut slope indicated that the weight of importance by factors were ranked in the order of cut slope length, apparent soil and rock types, aspect, cut slope gradient and slope gradient. According to the category weight for each factor, the cut slope failure mainly occurred in cut slope length at the places longer than 8m, at the places of soil type, eastern aspects, in cut slope gradient at the places steeper than 60° , in slope gradient at the places ranging from 35° to 40° .

2) The fuzzy integral was employed to develop the prediction model for estimating potential slope failure. The prediction model development of slope failure possibility on the forest road using fill slope

factors like fill slope length, fill slope gradient, aspect, apparent soil and rock types, road position, and cut slope factors such as cut slope length, apparent soil and rock types, aspect, cut slope gradient, slope gradient was made using fuzzy integral. The prediction ratio with five factors by fuzzy integral were 79.7% for fill slope and 74.6% for cut slope by optimal model development, and 83.3% for fill slope and 72.9% for cut slope by application test, respectively. And fitting prediction model for application areas show that this model was very excellent.

3) This research made an algorithm for prediction of failure possibility on forest road based on fuzzy logic and then developed a module for prediction of failure possibility on forest road to forest structural factors using Visual Basic 6.0.

Also, to make the module developed for a user-friendly program, the visual function of Visual Basic 6.0 was used to design and produce main windows and menu bar, and MapObject Components of ESRI was employed to manage drawing data and spatial data. The DAO calling function of Visual Basic 6.0 was used to access forest road structural data base made by MS Access 97.

The program predicting failure possibility on forest road can use DAO calling function and component calling function to manage attribute and spatial data, which make the program connected with forest resources information and forest road management system as well as the display of attribute and spatial data.

The function of this system inside of ArcView 3.1 is capable of operating as a sub-system of forest resources information system, and for the easiness of operation in field, this system was designed and produced to work on the OS of Windows series as the program predicting failure possibility on forest road.

Especially, operation and calling of each sub-system inside of ArcView were made as GUI(Graphic User Interface) composed of icon operating by Avenue Scripts to get the compatibility between systems.

B. Suggestions

The prediction for slope failure possibility of forest road using fuzzy theory which is non-linear model overcomes slight problem of region, number of sample and multicollinearity with statistical methods evaluating and predicting of slope failure factors such as quantification (II). And managers make use of the variable standard for repair and maintenance of forest road slope because fuzzy theory represents clearness and objective description presenting slope failure possibility by real number with ranging from 0 to 1.

Now most of forest roads in our country cause a lot of slope failure mainly during the construction of roads through the earth working of low cost, but road construction will be improved through construction cost actualized with a policy of environment-friendly green road. Thus, the evaluation and prediction model of the slope failure of forest road according to quantification and fuzzy theory repair and should be revised

hereafter because the present condition of forest road construction should be surveyed and analyzed.

The forest road management will be converted from repair of roads to prevention of road disaster through promoting the spread of expert system for prediction of slope failure possibility on forest road. Especially, the forest roads in our country have slope failure risk mainly because construction cost is very low for the earth working, this system will be used effectively for the determination of investment order of maintenance and repair and slope failure point within forest road route because of maintenance system for prediction of slope failure possibility on forest road.

As the system predicting failure possibility on forest road was integrated with forest resources information system and forest road management system, the workable zone using forest road and economical efficiency before and after the construction of forest road can be statistically and visually assessed, as modelling each forest operation is expected to be possible.

CONTENTS

SUMMARY(in KOREA)	1
SUMMARY	7
CONTENTS	14
CONTENTS(in KOREA)	16
TABLE	17
FIGURE	19

Chapter 1. Introduction

1. Purpose and range of the research	22
2. Contents of the research	26

Chapter 2. Evaluation of Failure Factors and Failure Prediction Model Development on Forest Road Slope

1. Introduction	32
2. Materials and Methods	36
3. Evaluation of slope failure factors on forest road	54
4. Model development of slope failure prediction on forest road	74
5. Conclusions and suggestions	112

Chapter 3. Expert System Development for Prediction of Slope Failure Possibility on Forest Road

1. Introduction	115
2. Materials and Methods	120
3. Expert system development for prediction of slope failure possibility on forest road	125
4. Conclusions and suggestions	162
Reference	164
Appendix	177

목 차

요 약 문	1
SUMMARY	7
CONTENTS	14
목 차	16
표 목 차	17
그 립 목 차	19

제1장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위	22
제 2 절 세부과제별 연구개발 내용	26

제2장 임도사면 붕괴요인 평가 및 예측모델개발

제 1 절 서 론	32
제 2 절 연구방법	36
제 3 절 임도사면의 붕괴요인 평가	54
제 4 절 임도사면 붕괴예측 모델개발	74
제 5 절 결론 및 향후 연구를 위한 제언	112

제3장 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발

제 1 절 서 론	115
제 2 절 연구방법	120
제 3 절 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발 및 구현	125
제 4 절 결론 및 향후 연구를 위한 제언	162

참 고 문 헌	164
부 록	177

표 목 차

<표 2-1> 조사대상 임도의 일반적 현황	37
<표 2-2> 수량화Ⅱ류의 자료형식	41
<표 2-3> 성토사면 붕괴예측을 위한 Category 결정	46
<표 2-4> 절토사면 붕괴예측을 위한 Category 결정	47
<표 2-5> 임도 성토사면의 붕괴요인별 상호단상관계수	55
<표 2-6> 임도성토사면의 요인별 편상관계수	55
<표 2-7> 임도 성토사면 요인별 Range 값 및 편상관계수	57
<표 2-8> 임도 성토사면의 붕괴군 및 안정군의 평균, 분산 및 표준편차 ..	62
<표 2-9> 임도 성토사면 붕괴유무의 판별 Cross표	63
<표 2-10> 임도 절토사면의 붕괴요인별 상호단상관계수	65
<표 2-11> 임도 절토사면의 요인별 편상관계수	65
<표 2-12> 임도 절토사면 요인별 Range 값 및 편상관계수	67
<표 2-13> 임도 절토사면의 붕괴군 및 안정군의 평균, 분산 및 표준편차 ..	72
<표 2-14> 임도 절토사면 붕괴유무의 판별 Cross표	73
<표 2-15> c값에 의한 임도 성토사면 9개 요인의 중요도 변환	82
<표 2-16> 임도 성토사면 9개 요인의 c값적용에 따른 λ값의 결정	84
<표 2-17> 임도 성토사면의 9개 요인을 적용시 퍼지적분값에 의한 붕괴유무 예측 Corss표	86
<표 2-18> c값에 의한 임도 성토사면 5개 요인의 중요도 변환	89
<표 2-19> 임도 성토사면 5개 요인의 c값적용에 따른 λ값의 결정	89
<표 2-20> 임도 성토사면의 5개 요인을 적용시 붕괴유무예측 Corss표 ..	91

<표 2-21> 임도 성토사면의 5개 요인을 적용한 붕괴유무 예측시의 최적 붕괴예측모델의 특성치	92
<표 2-22> 임도 성토사면 붕괴예측모델의 적용성 검토지역에 대한 붕괴유무 예측 Corss표	94
<표 2-23> c값에 의한 임도 절토사면 8개 요인의 중요도 변환	101
<표 2-24> 임도 절토사면 8개 요인의 c값적용에 따른 λ 값의 결정	102
<표 2-25> 임도 절토사면의 8개 요인을 적용시 퍼지적분값에 의한 붕괴유무예측 Corss표	103
<표 2-26> c값에 의한 임도 절토사면 5개 요인의 중요도 변환	105
<표 2-27> 임도 절토사면 5개 요인의 c값적용에 따른 λ 값의 결정	106
<표 2-28> 임도 절토사면의 5개 요인을 적용시 붕괴유무예측 Corss표 ..	108
<표 2-29> 임도 절토사면의 5개 요인을 적용한 붕괴유무 예측시의 최적 붕괴예측모델의 특성치	109
<표 2-30> 임도 절토사면 붕괴예측모델의 적용성 검토지역에 대한 붕괴유무 예측 Corss표	111
<표 3-1> 임도붕괴 예측을 위한 절·성토 사면의 임도 관련인자	127
<표 3-2> 임도붕괴 예측을 위한 임도 관련인자의 항목과 조사값에 대한 예	128
<표 3-3> 임도관리 시스템 구축을 위한 자료	131
<표 3-4> 도로 및 도로시설물의 종류	132
<표 3-5> GIS 데이터 베이스 구축을 위한 공간자료	134
<표 3-6> GIS 데이터 베이스의 속성자료	135
<표 3-7> 임도붕괴 예측 시스템을 위한 자료사전의 작성	137

그림 목 차

<그림 2-1> 임도사면 붕괴예측을 위한 모델개발 흐름도	34
<그림 2-2> 강원도, 경기도, 경상북도 일원의 임도조사 지역	36
<그림 2-3> 임도사면 조사방법	40
<그림 2-4> 퍼지적분을 이용한 임도사면 붕괴예측 산출흐름도	48
<그림 2-5> 퍼지적분 산출모식도	50
<그림 2-6> 임도 성토사면 요인에 대한 각 카테고리별 상대점수	59
<그림 2-7> 수량화Ⅱ류에 의한 성토사면붕괴 판별그래프	63
<그림 2-8> 임도 절토사면 요인에 대한 각 카테고리별 상대점수	69
<그림 2-9> 수량화Ⅱ류에 의한 절토사면붕괴 판별그래프	72
<그림 2-10> 임도성토사면의 붕괴요인에 대한 붕괴군 및 안정군의 상대빈도와 붕괴위험도	77
<그림 2-11> 임도 성토사면의 9개 요인의 중요도	81
<그림 2-12> 임도 성토사면의 9개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프	86
<그림 2-13> 임도 성토사면의 5개 요인의 중요도	88
<그림 2-14> 임도 성토사면의 5개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프	91
<그림 2-15> 임도 성토사면 붕괴예측 모델의 적용성 검토에 따른 퍼지적분값의 상대빈도 그래프	93
<그림 2-16> 임도 절토사면의 붕괴요인에 대한 붕괴군 및 안정군의 상대빈도와 붕괴위험도	97
<그림 2-17> 임도 절토사면의 8개 요인의 중요도	100

<그림 2-18> 임도 절토사면의 8개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프	103
<그림 2-19> 임도 절토사면의 5개 요인의 중요도	104
<그림 2-20> 임도 절토사면의 5개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프	108
<그림 2-21> 임도 절토사면 붕괴예측 모델의 적용성 검토에 따른 퍼지적분값의 상대빈도 그래프	110
<그림 3-1> 임도개설과 관리를 위한 업무흐름도	120
<그림 3-2> 일반적인 임도관리 업무 흐름	122
<그림 3-3> 개선된 임도 관리 업무 흐름	123
<그림 3-4> PC를 이용한 임도구조 자료 입력을 위한 자료처리 흐름도	126
<그림 3-5> MS Access 97과 Map Object Components를 이용한 임도구조 인자 입력 화면	129
<그림 3-6> MS Access 97을 이용한 임도구조 자료 보기 및 수정 화면	129
<그림 3-7> MS Excel 97을 이용한 임도구조 자료 입력 및 수정화면	130
<그림 3-8> 임도설계도 전산화를 위한 작업 흐름도	133
<그림 3-9> MS Access 97과 Map Object Components로 구현된 산림조사부 입력화면	136
<그림 3-10> MS Access 97로 구현한 산림자원정보 수정화면	136
<그림 3-11> 임도관리 업무의 시스템화를 위한 자료처리 모식도	140
<그림 3-12> 서버와 클라이언트를 사용한 프로그램 활용과정	141
<그림 3-13> 임도붕괴위험도 예측시스템의 운영체계	143

<그림 3-14> 임도붕괴 위험도 예측 프로그램의 실행화면	144
<그림 3-15> 파일열기에서 나타나는 대화상자	146
<그림 3-16> Fuzzy Integral Module의 순서도	148
<그림 3-17> 도면에서의 점찍기, 선그리기, 글자넣기의 실행결과	150
<그림 3-18> 사진보기의 결과	151
<그림 3-19> 레이어관리의 대화상자	151
<그림 3-20> 임도속성자료가 입력된 *.mdb 파일의 모습	152
<그림 3-21> 항목별보기의 메뉴	153
<그림 3-22> 통계량보기의 메뉴	153
<그림 3-23> 검색기준의 대화상자	154
<그림 3-24> 데이터입력 상자	154
<그림 3-25> 횡단선형보기의 예	155
<그림 3-26> 보강공법 선정참고의 예	156
<그림 3-27> 임도사면붕괴 예측을 위한 전문가 시스템 모식도	157
<그림 3-28> Arcview GIS기반의 산림자원정보, 임도관리 및 임도붕괴 예측 시스템 통합 운영 화면	158
<그림 3-29> 임도노선을 기준으로한 buffer zone 설정	159
<그림 3-30> 임도노선을 기준으로한 임도노선 통과지의 지형기복량에 대한 시각적 분석	160
<그림 3-31> 임도노선 통과지의 임상상태 파악	161

제1장 서론

제1절 연구개발의 목적과 범위

1. 연구개발의 목적

가. 연구개발의 필요성

오늘날 임도는 목재수확, 인력 및 장비의 운송, 산림순시 등 산림의 집약적인 관리에 중추적인 역할을 담당하고 있을 뿐만 아니라 산촌의 교통로 역할, 레크레이션 기능, 신속한 산불진화대처 등 다목적으로 활용이 가능한 시설이다. 특히, 최근의 어려운 임업현실을 감안할 때 임업의 기계화를 통한 경쟁력 있는 임업의 육성이 필요하며, 임도는 기계화의 선행조건으로서 필수불가결한 임업생산기반시설로 인식되고 있다. 이에 우리나라에서는 합리적인 산림경영의 수행을 위하여 1984년부터 본격적으로 임도개설을 실시하여 1999년말 현재 총임도연장이 14,432km(국유임도 3,907km, 민유임도 10,525km)로서 임도밀도는 2.24m/ha로 향상되었다. 또한 제4차 산림기본계획에 의하면 2007년까지 총 29,100km의 임도를 확충할 예정이며, 이는 매년 1,500km이상의 많은 임도를 개설해야 하는 실정이다(산림청, 1997). 이와 같이 매년 많은 양의 임도 개설로 인해 많은 문제가 발생되며, 지형의 改變, 식생의 변화, 야생동물의 서식처 파괴, 임도사면의 붕괴, 산사태 유발, 사면의 침식에 따른 토사유출 등과 이로 인한 산림의 미적경관의 훼손은 임도에 대한 사회의 부정적 시각을 증폭시키고 있다. 따라서 오늘날 임도에 대한 부정적 시각이 늘어남에 따라 산림청에서는 「환경친화적인 녹색임도」 구현

을 기조로 정책을 마련하고 있다.

현행 우리나라 임도시설의 대부분은 저비용구조인 토공작업을 위주로 개설되기 때문에 집중강우시에 임도노체유실 및 임도사면붕괴 등의 1차적 피해가 발생되며, 이로 인한 산사태, 토사유출, 하류수계의 수질오염 등의 2차적인 피해를 유발하며, 산림 휴양, 위락기능 저하 및 일부에 있어서는 지역 교통로 역할을 저해시키는 3차적인 피해를 야기시키고 있다. 이와 같이 임도재해는 임업적 측면 뿐만아니라, 사회·경제적인 손실을 초래하고 있으며, 특히, 임도사면의 붕괴로 인해 임도의 고유기능이 상실되었을 때, 임도는 아무런 쓸모가 없는 흉물스러운 개발의 흔적으로 남아 단지 산림과피의 표상으로 존재하게 될 것이다. 따라서 임도사면붕괴를 미연에 방지하고, 더욱 그 다양한 기능을 발휘할 수 있도록 지속적인 임도시설물에 대한 사전 및 사후관리가 필요할 것이다. 그러나 우리나라의 경우 매년 집중호우시 임도사면의 붕괴가 발생되고 있는 실정이나, 임도사면 붕괴의 mechanism의 파악 및 그에 따른 붕괴발생의 기준정립이 아직 미흡한 실정으로 이에 대한 연구가 시급히 이루어져야 할 것이다.

따라서 우리나라 실정에 맞는 사면붕괴와 밀접하게 관련된 붕괴요인의 평가를 실시하여 붕괴기준을 마련하고, 임도관리시스템에 붕괴예측 모델을 개발·적용함으로써 현장관리자가 보다 효율적으로 임도를 관리할 수 있도록 하여야 할 것이다. 오늘날 사회의 전반적 발전방향이 정보화시대로 전환과 발맞추어 임업활성화의 일익을 담당하고 있는 임도분야의 표준화된 임도관리 및 붕괴예측을 위한 전문가 시스템 개발은 지역별·권역별 임도관리에 있어 보편성과 효율성을 제공할 수 있을 것이다. 그리고 현장의 임도관리자로 하여금 붕괴발생위험이 높은 임도사면을 집중적으로 보수관리함으로써 임도재해 방지 재원의 운용효율성 제고와 재해발생 방지효과를 동시에 얻을 수 있다.

또한 임도관리를 위해 임도 관리시스템을 이용하여 각 노선별, 주요 구간별, 각 임도의 구조 및 규격을 알 수 있도록 데이터 베이스를 구축하고, 임도사면 붕괴에 대한 정보를 추출하여 적절한 붕괴대책 수립을 실시하는 것이 바람직하다.

나. 연구개발의 목적

본 연구에서는 임도의 관리와 임도사면 붕괴예측 전문가 시스템을 개발하여 임도관리자가 보다 효율적으로 임도관리를 실시할 수 있고, 임도개설 이후에 발생할 수 있는 임도 사면의 붕괴에 대하여 적지적소에 사면안정대책을 수립하여 보다 견고한 임도를 유지하게 함으로서 임도의 고유기능이 최대한 발휘될 수 있도록 함에 그 의의가 있다. 또한 임도붕괴위험도 예측시스템의 개발은 1) 단순 임도관리의 표준화·일관성을 확보하고, 2) 임도 사면붕괴예측후, 즉각적인 사면안정 처리공법의 수립이 가능하고, 3) 산림을 대상으로 구축되는 다양한 정보들과 연동시켜 임도의 생산적 기능과 산림의 환경보존 기능이 상호유기적으로 통합관리 되도록 개발되었다.

이를 위한 세부연구과제별 최종 연구목표는 다음과 같다.

- 1) 임도사면 붕괴요인 평가 및 예측모델개발
 - 수량화II류에 의한 임도붕괴 요인평가
 - 퍼지적분에 의한 붕괴진단 모델 개발
 - 최적의 임도사면 붕괴진단 모델의 결정
 - 임도 사면붕괴 예측모델의 적용성 검토

2) 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발

- 퍼지이론에 근거한 사면붕괴예측 알고리즘개발 및 Programming을 통하여 GUI programming을 개발
- Arcview와 Avenue Script Language를 사용하여 Query 기능 및 Menu환경 구축
- 퍼지이론에 근거한 임도사면 붕괴예측 알고리즘을 개발하여 VB 6.0 language와 ESRI사의 mapobject components를 사용하여 임도 붕괴예측기능을 갖는 module를 개발
- 임도붕괴 예측 Module을 설계·제작하여 통합
- 붕괴예측 Module에 의한 붕괴가능성의 도면화

제2절 세부과제별 연구개발 내용

1. 제1세부과제 : 임도사면 붕괴요인 평가 및 예측모델개발

임도 성토사면의 붕괴발생에 대한 요인의 영향은 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겘보기 토질, 임도위치 등 5개 요인이 가장 크게 나타나, 임도 성토사면붕괴는 성토사면길이, 성토사면경사 등의 임도 구조적인 요인의 영향이 크게 작용하여 성토사면 붕괴가 발생하는 것으로 나타났고, 사면방위 및 임도위치 등 임도 통과지점의 위치적 요인, 그리고 겘보기 토질과 같은 성토사면 내적요인이 복합적으로 작용하여 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 상대점수에 의한 각 요인의 Category에 나타난 붕괴위험 기여도는 성토사면길이는 8m이상, 성토사면경사는 40° 이상, 사면방위는 동(E)사면, 임도위치는 능선부, 산지경사는 40° 이상, 겘보기 토질은 토사에서 가장 붕괴위험이 큰 것으로 나타났다. 임도 절토사면의 붕괴발생에 미치는 요인의 영향은 절토사면길이, 겘보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등 5개 요인의 영향이 가장 크게 나타나, 임도 절토사면의 붕괴는 절토사면길이와 같은 임도의 구조적요인이 가장 영향을 크게 미치는 것으로 나타났고, 다음으로 겘보기 토질과 같은 절토사면 내적요인의 영향이, 그리고 사면방위와 같은 임도 통과지점의 위치적 요인 등의 영향이 크게 작용하여 절토사면의 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 절토사면길이는 8m이상, 겘보기 토질은 토사, 사면방위는 E사면, 절토사면경사는 60° 이상, 산지경사는 35~40° 사이에서 붕괴측에 기여도가 가장 크게 나타났다.

임도 성토사면 붕괴예측 모델개발에 대해서는 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겘보기 토질, 임도위치 등 요인으로 구축한 최적의 예측모델은 c 값을 0.30, λ 값을 우가법적인 0.647275를 적용했을 때의 적절한 예측이

가능했으며, 이때의 예측적중률은 79.7%로 나타났다. 또한 임도 조사대상지역인 강원도, 경기도, 경상북도 지역에 대하여 실시한 적용성 검토결과, 퍼지적분에 의한 붕괴예측이 0.5를 기준으로 명확하게 안정군과 붕괴군이 차이를 보이고 있어 모델의 적합성이 우수한 것으로 나타났으며, 예측적중률 또한 83.3%로 높게 나타났다. 임도 절토사면의 붕괴예측 모델개발에 대해서는 절토사면길이, 겹보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등의 요인을 적용하였을 때, 최적의 절토사면 붕괴예측모델은 c 값을 0.20, λ 값을 우가법적인 7.16220이었고, 이때의 예측적중률은 74.6%로 나타났다. 또한 동일지역에 대하여 실시한 적용성 검토를 실시한 결과는 예측적중률은 72.9%로 나타났다.

2. 제2세부과제 : 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발

임도붕괴 위험도를 예측하기 위해 Fuzzy Logic에 근거한 임도사면 붕괴 위험도 예측 algorithm을 제작하였고, VB6.0을 사용하여 임도구조 인자에 근거한 임도붕괴 위험도 예측 module을 개발하였다. 개발된 module을 사용자 편의가 고려된 program으로 만들기 위해 VB6.0의 Visual 기능을 사용하여 main 화면과 menu를 설계·제작하였고, ESRI(Environmental Systems Research Institute, Inc.)사의 MapObject Components를 사용하여 도면자료와 공간자료가 관리될 수 있도록 하였다. 속성자료의 관리는 VB6.0의 DAO(Data Access Object)호출 기능을 사용하여 MS Access 97에서 작성된 임도구조 인자 data를 access할 수 있도록 하였다.

임도붕괴 위험도 예측 program은 이와 같이 공간자료와 속성자료를 DAO 호출 기능 및 components 호출 기능과 통합됨으로서, 속성자료 및 공간자료의 display는 물론이고, 산림자원관리 및 임도관리 시스템과 연동할 수 있도록 하였다.

ArcView3.1 내에서의 임도붕괴 위험도 예측 시스템의 기능은 산림자원 정보 시스템의 하부 시스템으로서, 기능할 수 있도록 하였으며, 현장에서의 사용의 용이성을 확보하기 위해서는 임도붕괴 위험도 예측 program으로서 Windos 계열의 OS에서 운용될 수 있도록 설계·제작 되었다. 특히, ArcView 내에서의 각 하부 시스템의 호출과 운용은 시스템간 호환성을 확보하기 위해 Avenue scripts에 Assign 된 icon으로 구성된 GUI(Graphic User Interface)로 제작하였다.

3. 연구개발의 범위

가. 연구개발의 체계

본 연구는 2개의 세부과제로 구분되어 추진되었다. 제1세부과제에서는 임도사면 붕괴요인 평가 및 예측모델개발에 관한 연구로서 수량화II류에 의한 임도붕괴 요인평가를 실시하고, 퍼지적분에 의한 붕괴예측모델을 개발하였다. 제2세부과제에서는 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발에 관한 연구로서 임도사면 붕괴위험도 예측알고리즘 개발 및 Programming을 제작하고, 붕괴예측 Module에 의한 사면붕괴 가능성의 도면화, 시각화함으로써 임도관리를 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 하였다. 또한 임도의 구조·규격 등을 도식화하여 주무로서 임도구조·체인별 임도에 관한 정보에 손쉽게 접근할 수 있도록 노력하였다.

1) 제1세부과제

이 연구에서는 우리나라 임도사면 붕괴발생 기준을 각 요인별로 수량화하여, 어떠한 요인이 붕괴발생과 밀접하게 관련되어 있으며, 또한 관련이 깊은

요인 각각의 Category의 붕괴발생 기여도를 이용하여 붕괴관여 정도를 정량적으로 파악하기 위하여 실시하였다. 또한 수량화II류의 분석에 의하여 임도사면 붕괴요인을 평가하고, 임도관리자가 임도사면 붕괴 가능성 판단을 용이하도록 퍼지이론에 의하여 임도사면 붕괴예측 모델을 개발하였다. 퍼지이론은 확실치 않은 정보들의 애매모호한 상태를 그대로 인정하면서 보다 효과적으로 의사결정을 가능하게 지원해 줄 수 있기 때문에 오늘날 널리 이용되고 있는 분석기법이다. 또한 임도 붕괴가능성을 0부터 1까지의 실수로 제시해 주기 때문에 보다 명확한 붕괴발생에 대한 의미전달이 가능하여 의사결정자 및 임도관리자가 그 위험기준을 주관적으로 결정하여 대책을 수립할 수 있도록 하였다.

2) 제2세부과제

제1세부과제에서 제시된 붕괴위험 예측모델을 전산 Module화하였고, 퍼지적분에 의한 임도의 붕괴위험도를 임도위치도, 지형도 등과 함께 사용자가 쉽게 이해하고 사용할 수 있도록 사용자환경을 구축하였다. 임도 사면붕괴 발생위험수준을 가능성지수를 0 ~ 100%로 환산하여 붕괴위험수준을 사용자 임의대로 적절히 사용할 수 있도록 시스템화 하였다. 또한 임도의 전반적인 구조·규격에 대한 정보를 보다 손쉽게 Display해 줌으로서 임도의 어느 부분에서 사면붕괴 위험이 존재하는가를 쉽게 살펴볼 수 있도록 하였다. 그리고 Arcview와 Avenue Script Language를 사용하여 Query 기능 및 Menu환경을 구축하였고, 붕괴예측 Module에 의한 붕괴가능성을 도면화하여 다양한 색으로 처리하여 줌으로서 붕괴위험 사면의 정보 습득이 용이하도록 사용자 중심의 환경을 구축하는데 노력하였다.

나. 연도별 연구수행 내용

1) 1년차 연구내용

1년차 연구에서는 임도사면 붕괴요인평가와 시설물에 대한 Database화를 수행하는데 중점을 두고 실시하였다. 제1세부과제에서는 임도사면 붕괴특성을 파악하기 위하여 강원도 및 경기도 일원의 변성암지역과 화성암지역으로 구분하여 임도사면을 붕괴지와 안정지에 대해 현지조사를 실시하였다. 그리고 1차적으로 1년차 조사대상지를 대상으로 수량화이론에 의한 임도사면 붕괴요인평가와 Fuzzy이론에 의한 붕괴가능성 예측을 실시하여 임도붕괴예측 모델개발의 기초연구 수행에 치중하여 실시하였다. 또한 제2세부과제에서는 Arcview GIS GUI개발, 임도설계도에 근거한 임도시설물 관리 System구축을 위한 Data Dictionary 작성 및 도면자료와 속성자료의 Database를 구축하였고, 도면자료와 속성자료의 Display구성을 실시하였다. 구축된 도면자료와 속성자료를 Arcview 3.1에서 Graphic Display가 가능하도록 하였다.

2) 2년차 연구내용

2년차 연구에서는 임도사면 붕괴예측 모델의 개발과 예측 전문가 시스템 개발을 중점적으로 실시하였다. 제1세부과제에서는 강원도 및 경기도 그리고 경상북도 일원으로 임도사면 조사를 확대실시하였으며, 계속적으로 임도사면 붕괴요인평가를 실시하고, 이에 대해 수정·보완을 실시하였다. 또한 변성암지역과 화성암지역의 임도사면 붕괴특성의 차이가 심하지 않아 모암별로 구분없이 붕괴요인 평가를 실시하였고, 임도붕괴와 밀접하게 관련된 붕괴요인 선정하여 Fuzzy이론을 이용한 최적의 임도붕괴 예측모델을 개발하였다. 그리고 조사지역을 대상으로 획득한 자료를 토대로 적용성 검토를

실시하였다. 제2세부과제에서는 임도사면붕괴 위험예측을 위한 알고리즘 개발 및 Program을 제작하였고, 임도붕괴 가능성 예측을 위한 비선형 Fuzzy Module을 설계·제작하여 통합하였다. Arcview와 Avenue Script Language를 사용하여 Query기능 및 Menu환경 구축하고, 최종적으로 Fuzzy Module에 의한 붕괴가능성 지수의 도면화와 강원대학교 부속연습림의 임도를 대상으로 임도사면의 붕괴위험도 예측시스템을 실연하였다.

제2장 임도사면 붕괴요인 평가 및 예측모델 개발

제1절 서론

1. 연구의 필요성

우리 나라의 임도사면의 붕괴는 매년 7~8월의 집중호우가 원인이 되어 발생한다. 최경(1999)에 의하면 임도의 붕괴는 평균적으로 km당 화성암지대 4.20개소, 변성암지대 3.33개소, 퇴적암지대 1.05개소가 발생한다고 하여, 집중호우로 인한 임도 사면붕괴는 대부분 화성암과 변성암지대의 화강풍화토 지대에서 발생하고, 발생빈도도 큰 것으로 보고되고 있다. 이러한 임도사면의 붕괴발생은 사면붕괴 자체뿐만 아니라 대부분 산사태로 이어지는 경우가 많아 환경적, 사회적 문제를 야기시키고 있다. 이러한 임도사면의 붕괴메커니즘은 내적요인인 지질, 토질, 지형 등과 임도의 구조적 요인인 사면길이, 사면경사 등이 안정화되어 있지 못한 사면에서 강우와 같은 외적요인의 작용에 의하여 발생한다. 즉, 집중강우에 의한 유출수가 임도사면 내부로 침투하여 사면내부의 간극수압을 상승시키고, 토괴자체의 단위중량을 증가시킴으로서 활동을 일으키려는 힘은 증가하고 저항하려는 힘은 감소하여 사면붕괴가 발생된다. 이와 같이 임도사면붕괴에 작용하는 체요인에 대한 특성의 파악과 붕괴메커니즘을 구명하고 이해하는 것은 임도 사면붕괴를 미연에 방지하고, 적절한 안정공법을 수립하는 데 필수적이다. 즉, 임도가 영구적 임업생산기반시설로써 그 고유기능을 최대한 발휘할 수 있도록 임도구조, 토질, 환경 등과 관련한 임도사면 붕괴요인의 특성을 평가·

예측하고, 붕괴위험이 있는 사면에 대해 적절한 안정공법을 적용하여 견고한 임도를 구축하여야 할 것이다. 그러나 우리 나라에서는 매년 여름 우기 시 장마로 인하여 임도 사면붕괴가 빈번히 발생하고 있으나, 아직 임도 사면붕괴 발생 및 방지대책에 대한 기준이 마련되어 있지 못하여 이에 대한 연구가 매우 시급한 실정이다.

2. 연구목적

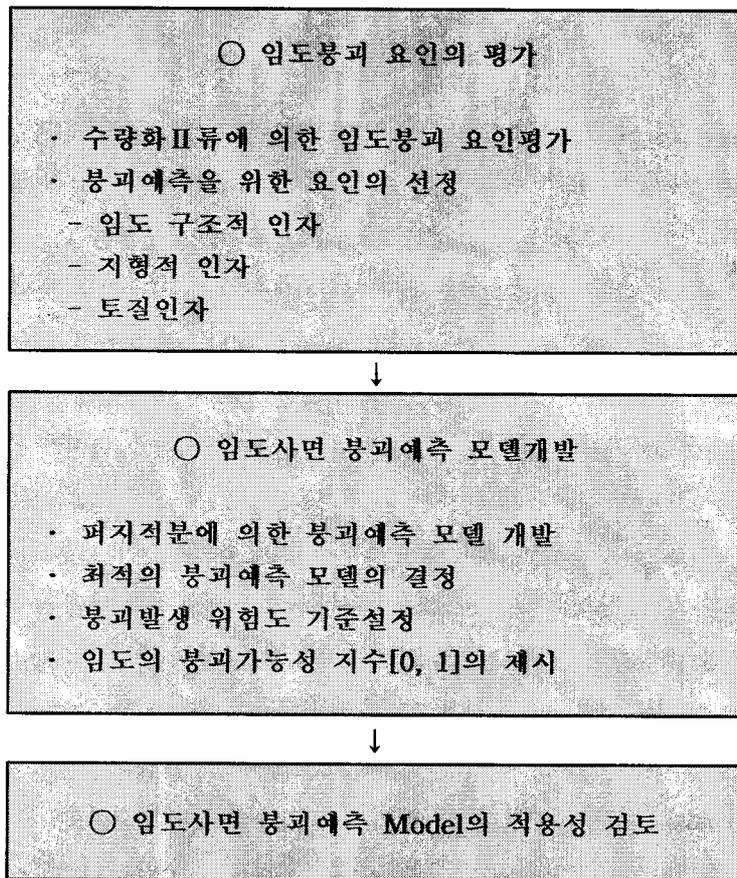
매년 우리나라에서는 많은 양의 임도가 개설됨으로서 이에 따른 임도사면의 붕괴가 발생되고 있다. 이러한 임도의 붕괴는 환경적, 사회적인 문제를 발생시키고 있으나, 아직 우리나라에서는 임도사면 붕괴발생에 대한 기준마련이 되어 있지 못한 실정이다.

따라서 본 연구는 집중호우로 인하여 임도사면의 붕괴가 발생된 중부지방을 대상으로 임도의 사면붕괴와 밀접하게 관련된 임도의 구조적 인자, 지형적 인자, 환경적인자 등을 조사 분석하여 임도사면 붕괴요인을 평가함으로써 각 요인이 붕괴발생과 어느 정도 밀접하게 관련되어 있는지를 고찰하여 붕괴발생 기준을 마련하고자 실시하였다. 또한 임도사면 붕괴예측 모델을 개발하여 임도관리자 및 현장 종사자의 임도 시설에 대한 위험정도를 정량적으로 제시함으로써 임도개설에 따른 임도의 관리와 유지보수에 충실을 기할 수 있도록 하는 데 그 목적이 있다.

3. 연구내용 및 체제

우리나라 임도사면의 붕괴는 산악지라는 열악한 조건에서 저비용으로 개설되기 때문에 일반도로와는 붕괴특성이 차이가 있을 것으로 보여진다. 국

내의 경우 이러한 붕괴에 관여하는 제요인에 대한 연구는 거의 실시되고 있지 않아 입도사면 붕괴예측을 위한 전산모델개발을 위하여 수량화II류에 의한 붕괴요인 평가를 실시하였고, 입도붕괴와 밀접하게 관련된 요인을 기준으로 비선형 모델인 퍼지이론을 이용하여 입도사면붕괴 예측모델을 개발하였다. 본 연구의 흐름도는 <그림 2-1>과 같다.



<그림 2-1> 입도사면 붕괴예측을 위한 모델개발 흐름도

가. 수량화Ⅱ류에 의한 임도사면 붕괴요인 평가

임도붕괴 요인평가는 수량화Ⅱ류에 의한 각 요인의 Category에 주어지는 계수(상대점수)값의 대소에 따라 붕괴유무의 관여정도를 평가할 수 있으며, 범위값과 편상관계수의 값으로 붕괴위험요인의 평가가 가능하다. 또한 질적인(정성적) 변수와 양적인(정량적) 변수를 모두 이용할 수 있는 통계적 수법으로 임도 사면의 안정성 평가에 주로 이용되고 있는 방법으로, 질적인 형으로 주어진 외적기준(목적변수)을 질적인 요인에 의하여 예측 혹은 판별하는 방법으로서 정성자료의 판별분석인 경우로 생각할 수 있다.

우선, 수량화Ⅱ류에 의한 임도사면 붕괴요인 평가는 임도 사면붕괴와 밀접하게 관련된 요인에 대한 수량화를 실시하여 붕괴관여 정도를 파악하고, 임도붕괴와 밀접하게 관련된 요인을 선정하여 붕괴예측모델을 구성하는 기초자료로 이용하였다. 또한 각 요인의 Category에 주어진 상대점수를 이용하여 각 요인에 대하여 붕괴위험정도를 고찰하였다.

나. 퍼지이론에 의한 붕괴예측 모델개발

여러 가지 속성을 갖는 평가대상들(붕괴관련 요인)의 비선형적인 관계를 규명하고, 평가하고자 하는 객체의 모호성을 판단할 수 있는 퍼지이론인 퍼지적분을 이용하여 붕괴와 관련된 각 요인의 Category의 안정군에 대한 붕괴군의 상대비율인 붕괴발생비로서 붕괴위험도를 산출하고, 산출된 붕괴위험도와 요인의 중요도의 상호관계로부터 λ 퍼지측도를 이용하여 임도사면의 붕괴예측을 실시하였다. 또한 수량화Ⅱ류에서 나타난 붕괴발생과 밀접한 관련이 없는 요인을 제거한 후 사면붕괴 예측을 재실시하였다. 이와 같은 방법으로 다양하게 요인의 중요도를 변화시키면서 최적의 붕괴예측 모델을 결정하였다.

제2절 연구방법

1. 조사대상지역

임도사면의 붕괴위험 요인평가 및 붕괴예측모델 개발을 위하여 1998년부터 1999년에 걸쳐 <그림 2-2>와 같이 강원도 및 경기도, 그리고 경상북도 지역의 임도를 대상으로 집중호우로 인한 임도 사면붕괴가 비교적 많이 발생한 지역의 임도에 대해 총 331.97km를 조사하였다. 또한 조사지역의 임도현황은 <표 2-1>과 같이 강원도지역은 8개 시·군을 대상으로 총 26개 노선 264km, 경기도지역은 2개군을 대상으로 총 4개 노선 43.90km, 그리고 경상북도지역은 1개군을 대상으로 3개 노선 23.86km를 조사하였다.

대상지역의 임도 성토사면의 조사개소수는 총 1,091개소로 붕괴지는 347개소, 안정지는 744개소를 조사하였다. 또한 절토사면에 대한 조사개소수는 총 919개소로 이중 붕괴지는 188개소, 안정지는 731개소를 조사하였다.



<그림 2-2> 강원도, 경기도, 경상북도 일원의 임도조사 지역
(● : 조사지역).

<표 2-1> 조사대상 임도의 일반적 현황

지자체	시·군	임도명	임도개설년도	시설거리 (km)	시설거리 소계(km)
강 원 도	춘천	사오랑	1991	8.98	67.82
		상결	1988	20.74	
		부귀	1994	10.56	
		변가터	1991	10.16	
		백양	1993	8.68	
		당림	1990	8.70	
	화천	방천 I	1992	9.65	19.43
		방천 II	1994	9.78	
	철원	잠곡 I	1992	8.4	24.3
		잠곡 II	1993	4.4	
		잠곡 III	1995	4.0	
		잠곡 IV	1996	7.5	
	정선	용산 I	1989	9.00	29.5
		용산 II	1990	10.50	
		도전	1991	10.00	
	강릉	삼당령 I	1993	10.00	36.98
		삼당령 II	1994	16.72	
		삼당령 III	1995	10.26	
	양양	수리 I	1998	2.83	8.48
		수리 II	1999	5.65	
	평창	계촌	1993	20.52	29.53
신림		1996	9.01		
삼척	중마읍	1995	16.00	48.17	
	양림	1995	13.23		
	하마읍	1996	9.84		
	주지	1997	9.10		
경 기 도	가평	실곡	1994	8.56	8.56
		양평	1996	9.88	
	양평	계정 I	1991	11.62	35.34
		계정 II	1991	13.84	
경상북도	춘양	우구치 I	1992	11.80	23.86
		우구치 II	1995	7.36	
		서벽	1998	4.70	

또한 조사지역에 내린 강우의 대부분은 주로 7, 8, 9월에 집중적으로 발생하였으며, 중부지방의 평균 연강수량 1,300mm와 비교할 때, 1995년, 1998년, 1999년은 거의 대부분의 강우가 이 3개월 동안 내린 것으로 나타났다. 또한 붕괴발생에 큰 영향을 미치는 최대시간당 강우량은 춘천지역의 경우 49.5mm/hr(1996. 7. 26), 철원지역 45.2mm/hr(1996. 7. 27), 양평지역 80.0mm/hr(1999. 7. 22) 등 게릴라성 집중호우가 발생한 것으로 나타났다(기상청, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000).

2. 조사방법

가. 조사요인의 선정

임도사면의 붕괴의 평가 및 예측을 위하여 붕괴에 관여하는 요인은 기존의 임도사면 붕괴에 관한 연구(中尾와 森田, 1972, 1973; 森田과 中尾, 1974; 山本, 1974; 馬相圭, 1987; 吉村 등, 1992; 吉村과 神崎, 1995; 石川 등, 1996)에서 임도사면 붕괴와 밀접하게 관련된 12개의 요인을 선정하여 조사하였으며, 직접적인 붕괴유발요인인 강우인자에 대해서는 모든 임도사면에 동일하게 작용하는 것으로 사료되어 해석요인에서 제외하였다.

절·성토사면의 붕괴에 관여하는 조사요인은 다음과 같다.

- ① 총노폭(m) : 측구와 노폭, 길어깨를 포함하는 길이로서 Criterion 측량기를 이용하여 조사하였다.
- ② 성토사면길이(m) : 길어깨로부터 성토부 끝점까지의 거리로 Criterion 측량기를 이용하여 조사하였다.
- ③ 성토사면경사($^{\circ}$) : 성토사면의 기울기로 경사계를 이용하여 조사하였

다.

- ④ 절토사면길이(m) : 측구로부터 절토부 끝점까지의 거리로 Criterion 측량기를 이용하여 조사하였다.
- ⑤ 절토사면경사(°) : 절토사면의 기울기로 경사계(Sunnto clinometer)를 이용하여 조사하였다.
- ⑥ 종단물매(°) : 임도 중심선의 수평면에 대한 기울기로서 경사계를 이용하여 조사하였다.
- ⑦ 임도위치 : 임도위치는 사면부, 계곡부, 능선부로 구분·조사하였다.
- ⑧ 사면방위 : 방위계를 이용하여 8방위 N(337.6° ~22.5°), NE(22.6° ~67.5°), E(67.6° ~112.5°), SE(112.6° ~157.5°), S(157.6° ~202.5°), SW(202.6° ~247.5°), W(247.6° ~292.5°), NW(292.6° ~337.5°)로 구분·조사하였다.
- ⑨ 사면종단면형 : 산지사면의 형상으로凹형,凸형,직선형으로 조사하였다.
- ⑩ 산지경사(°) : 임도통과위치의 산지사면경사로서 경사계를 이용하여 조사하였다.
- ⑪ 겉보기 토질

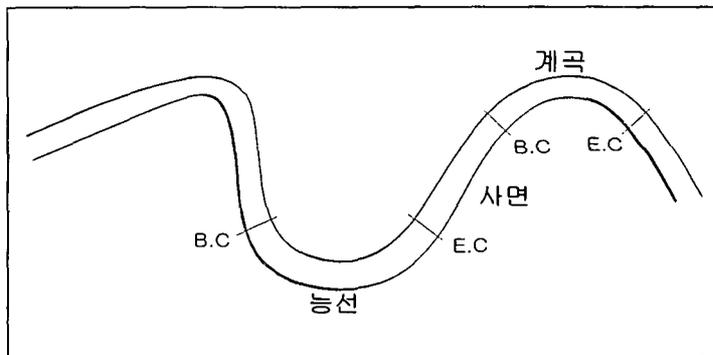
겉보기 토질의 기준은 건설교통부 표준품셈(全仁植, 1995)에서 정하는 정성적 토질분류 기준인 토질 및 암의 분류에 따라 그 특징을 상실하지 않는 범위 내에서 토사, 호박돌 섞인 토사, 풍화암, 연암, 경암 등 총 5가지로 분류하여 조사하였다. 겉보기 토질분류의 기준은 다음과 같다.

- ㉠ 보통토사 : 보통상태의 실트 및 점토, 모래질 흙 및 이들의 혼합물로서 삽이나 팽이를 사용할 정도의 토질
- ㉡ 호박돌 섞인 토사 : 호박돌 크기의 돌이 섞이고 굴착에 약간의 화약을 사용할 정도의 단단한 토질

- ㉓ 풍화암 : 일부는 곡괭이를 사용할 수 있으나, 암질이 부식되고 균열이 1 ~ 10cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질
- ㉔ 연암 : 혈암·사암 등으로서 균열이 10~30cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하나 석축용으로는 부적합한 암질
- ㉕ 경암 : 화강암, 안산암 등으로서 굴착 또는 절취에 화약을 사용해야 하며, 균열상태가 1m 이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질
- ㉖ 식생피복율(%) : 식생 피복율(%)은 疎(식생피복 30%이하), 中(식생피복 30~60%), 密(식생피복 60% 이상)로 구분하여 조사하였다.

나. 조사방법

임도사면붕괴의 조사는 <그림 2-3>과 같이 능선의 꼭선의 시점(B.C)부터 종점(E.C), 계곡부의 꼭선의 시점(B.C)부터 종점(E.C) 그리고 그 외의 구간은 사면부로 구분하여 각 임도의 시점으로부터 안정지 및 붕괴지에 대한 조사를 실시하였다.



<그림 2-3> 임도사면 조사방법

3. 임도사면 붕괴요인의 평가방법

가. 수량화Ⅱ류에 의한 붕괴요인의 평가

임도 붕괴요인평가는 수량화Ⅱ류에 의해 실시하였으며, 이 방법은 각 요인의 Category에 주어지는 계수의 값의 대소에 따라 붕괴유무의 관여정도를 평가할 수 있다. 또한 범위값과 편상관계수의 값으로 붕괴위험요의 평가가 가능하다. 즉, 수량화이론이란 질적인(정성적) 변수와 양적인(정량적) 변수의 각각의 범주에 수량을 부여하는 통계적 수법으로 임도 사면의 안정성 평가에 주로 이용되고 있는 방법이며, 질적인 형으로 주어진 외적기준(목적변수)을 질적인 요인에 의하여 예측 혹은 판별하는 방법으로서 정성자료의 판별 분석인 경우로 생각할 수 있다(脇本와 田中, 1982).

<표 2-2> 수량화Ⅱ류의 자료형식

외적기준	조사지역	요인 1			요인 2			...	요인 R		
		1	2	.. c ₁	1	2	.. c ₂		1	2	.. c _R
1	1	√			√			√			
	2	√				√				√	
	·										
	n			√	√				√		
2	1		√			√				√	
	2		√			√		√			
	·										
	n	√			√					√	
...	
K	1	√			√					√	
	2		√		√					√	
	·										
	n _K			√	√					√	

<표 2-2>에서와 같이 외적기준의 K개의 범주가운데 i번째 범주에 반응한 개체(표본)를 모아 제 i군이라 하고, 제 i군의 α번째 개체가 각 아이템의 어느 범주에 반응하는가를 나타내고자 dummy변수(가변수)를 이용한다.

$$\delta_{ia}(jk) = 1 \text{ or } 0 \quad (1-1)$$

1 ... 제 i군의 α번째 개체가 아이тем j의 범주 k에 반응할 때
 0 ... 그 밖의 경우

각 요인 아이тем의 범주로의 반응으로부터 외적기준에 의한 분류를 예측하는 경우, 각 아이тем 범주에 대응하는 가변수의 선형식을 생각하여 이것을 해당개체의 수량(평점)이라 한다.

$$Y_{ia} = \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} a_{jk} \delta_{ia}(jk) \quad (1-2)$$

식 (1-2)에 의하여 외적기준 K개의 분류를 더욱 잘 판별하기 위하여 K개군의 구간변동을 전변동에 대하여 상대적으로 최대가 되도록 a_{jk} 를 정한다. 즉, 전변동(S_T) = 구간변동(S_B) + 군내변동(S_W)으로 나타낼 수 있다. 이를 식으로 나타내면 (1-3)식과 같다.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{a=1}^{n_i} (Y_{ia} - \bar{Y})^2 = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{a=1}^{n_i} (Y_{ia} - \bar{Y}_i)^2 \quad (1-3)$$

각 항을 n 으로 나누어 전분산 σ_T^2 , 군간분산 σ_B^2 , 군내분산 σ_W^2 로 나타내면 상관비 (correlation ratio) η^2 은 (1-4)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta^2 = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2} = \frac{S_B}{S_T} \quad (1-4)$$

여기서, S_T 는 (1-5)식과 같고, S_B 는 (1-6)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S_T &= \sum_{i=1}^K \sum_{a=1}^{n_i} (Y_{ia} - \bar{Y}_{..})^2 \\ &= \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=1}^{c_u} t(jk, uv) a_{jk} a_{uv} \end{aligned} \quad (1-5)$$

$$\begin{aligned} S_B &= \sum_{i=1}^K n_i (\bar{Y}_i - \bar{Y}_{..})^2 \\ &= \sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=1}^{c_u} b(jk, uv) a_{jk} a_{uv} \end{aligned} \quad (1-6)$$

S_T (1-5)식과 S_B (1-6)식을 (1-4)식에 대입하여 정리하면, 상관비에 관한 식은 (1-7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\therefore \eta^2 = \frac{\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=1}^{c_u} b(jk, uv) a_{jk} a_{uv}}{\sum_{j=1}^R \sum_{k=1}^{c_j} \sum_{u=1}^R \sum_{v=1}^{c_u} t(jk, uv) a_{jk} a_{uv}} \quad (1-7)$$

여기서, $t(jk, uv) = f(jk, uv) - \frac{n_{jk}n_{uv}}{n}$

$$b(jk, uv) = \sum_{i=1}^k \frac{g^i(jk)g^i(uv)}{n_i} - \frac{n_{jk}n_{uv}}{n}$$

또한, $f(jk, uv)$: 요인인 j 아이템 · k 범주와, u 아이템 · v 범주 양쪽에 반응한 개체의 수

$g^i(jk)$: 제 i 군에서 j 아이템 · k 범주에 반응한 개체의 수

n_{jk} : j 아이템 · k 범주에 반응한 개체의 수

상관비 η^2 을 최대로 하는 $\{a_{jk}\}$ 를 구하기 위하여, η^2 를 a_{uv} 로 편미분하여 0으로 놓으면 (1-8)식과 같고, 이를 정리하면 (1-9)식과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_{j=1}^R \sum_{k=2}^{C_j} \{ b(jk, uv) - \eta^2(jk, uv) \} a_{jk} = 0,$$

$$u = 1, \dots, R, \quad v = 2, \dots, c_u \quad (1-8)$$

$$(B^* - \eta^2 T^*) a^* = 0 \quad (1-9)$$

$$B^* = [b(jk, uv)] : \sum_{j=1}^R (c_j - 1) \times \sum_{j=1}^R (c_j - 1)$$

$$T^* = [t(jk, uv)] : \sum_{j=1}^R (c_j - 1) \times \sum_{j=1}^R (c_j - 1)$$

$$a^* = [a_{jk}] : \sum_{j=1}^R (c_j - 1) \times 1$$

여기서, B^* , T^* 는 가변수 $\delta_{ia}(jk)$ 벡터의 군간 및 전체의 편차 제곱합 곱합행렬이다. 또한 (1-9) 식은 일반 고유치문제라 불리고, 구하는 $\{a_{jk}\}$ 인

각 아이템·범주에 부여하는 수량은 최대고유치 η^2 에 대응하는 고유벡터 a^* 로서 구해진다. 이 순서는 바로 가변수 $\{\delta_{ia}(jk)\}$ 를 이용한 경우의 정준 분석(중판별분석)에 해당한다. 또 외적기준의 각 범주에 부여하는 수량으로 는 위의 $\{a_{jk}\}$ 를 채용하였을 때의 개체의 수량의 각 군의 평균치를 이용하면 된다.

또한 외적기준에 대한 각 요인의 기여정도를 평가하는 척도는 (1-10)식에 의한 외적기준과의 편상관계수(Partial correlation coefficient), 혹은 (1-11)식에 의한 각 요인내의 범주에 부여된 수량의 범위(Range)를 이용하였다. 또한 범위값이 큰 요인일수록 어느 범주에 반응하는가에 의해 예측치가 크게 변하게 되고, 그 만큼의 외적기준에 대한 영향이 크다고 판정한다. 또한 각 요인별 Category에 반응한 상대점수를 토대로 사면의 붕괴유무에 작용하는 요인의 평가를 실시하였다.

$$r_{yj \cdot 12 \dots j-1, j+1 \dots R} = \frac{-r^{jy}}{\sqrt{r^{jj} r^{yy}}} \quad (1-10)$$

$$\text{Range} = \max(a_{jk}) - \min(a_{jk}), \quad j=1, 2, \dots, R \quad (1-11)$$

나. 임도사면의 요인별 Category의 결정

1) 임도 성토사면의 요인별 Category의 결정

임도 성토사면의 붕괴요인별 Category의 결정은 <표 2-3>과 같이 요인의 특성이 명확하게 표현될 수 있도록 적절히 구분하였다. 임도위치와 사면 종단면형은 3단계, 총노폭, 종단물매, 성토사면경사 및 산지경사는 4단계, 걸보기 토질은 5단계, 성토사면길이는 6단계, 사면방위는 8단계로 결정하였다.

<표 2-3> 성토사면 붕괴예측을 위한 Category 결정

요인	1	2	3	4	5	6	7	8
총노폭(m)	<4	4~5	5~6	6<				
종단물매(°)	<2	2~4	4~6	6<				
성토사면길이(m)	<4	4~6	6~8	8~10	10~12	12<		
성토사면경사(°)	<30	30~35	35~40	40<				
임도위치	사면	계곡	능선					
걸보기 토질	일반 토사	호박돌 토사	풍화암	연암	경암			
산지경사(°)	<30	30~35	35~40	40<				
사면방위	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
사면종단면형	직선	요형	철형					

2) 임도 절토사면의 요인별 Category의 결정

임도 절토사면의 붕괴요인별 Category의 결정은 <표 2-4>와 같이 요인의 특성을 명확하게 표현될 수 있도록 적절히 구분하였다. 노선위치와 사면 종단면형, 산지피복율은 3단계, 산지경사, 절토사면경사는 4단계, 절보기 토질은 5단계, 절토사면길이는 6단계, 사면방위는 8단계로 결정하였다.

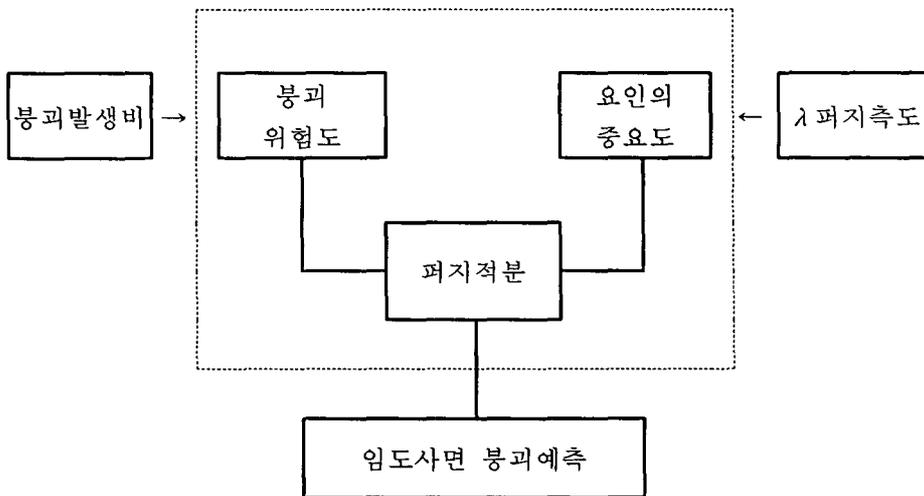
<표 2-4> 절토사면 붕괴예측을 위한 Category 결정

요인	1	2	3	4	5	6	7	8
노선위치	사면	계곡	능선					
절보기 토질	일반 토사	호박돌 토사	풍화암	연암	경암			
산지경사(°)	<30	30~35	35~40	40<				
사면방위	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
사면종단면형	직선	요형	철형					
절토사면경사(°)	<40	40~50	50~60	60<				
절토사면길이(m)	<4	4~6	6~8	8~10	10~12	12<		
산지피복율	소	중	밀					

4. 퍼지이론에 의한 임대사면 붕괴예측 모델개발

가. 퍼지이론의 정의 및 붕괴예측 모델개발 흐름도

여러 가지 속성을 갖는 평가대상들의 비선형적인 관계를 규명하고, 평가하고자 하는 객체의 모호성을 판단할 수 있는 퍼지이론인 퍼지적분을 이용하여 <그림 2-4>와 같이 ①붕괴와 관련된 각 요인에 대해 Category를 설정한 후, ②각 Category의 안정군에 대한 붕괴군의 상대비율인 붕괴발생비로서 붕괴위험도를 산출하여, ③요인의 중요도에 λ 퍼지측도를 사용하여 퍼지적분을 실시하여 총합적으로 평가를 실시한다. 또한 요인의 중요도가 낮은 요인을 제거한 후 ②~③의 방법으로 사면붕괴 예측을 재실시하여 최적의 붕괴예측모델을 선정하였다.



<그림 2-4> 퍼지적분을 이용한 임대사면 붕괴예측 산출흐름도

나. 임도사면의 붕괴예측을 위한 퍼지이론

임도사면에서 붕괴요인을 $x_1 \sim x_n$ 이라고 할 때 임도사면의 붕괴를 나타내는 유한집합 X 는 식 (1-12)과 같다.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1-12)$$

여기서 $x_1 \sim x_n$ 은 임도사면의 붕괴요인이다.

각 요인별로 임도사면의 붕괴위험도를 $h(x_i)$ 라 한다면, 요인의 Category 별로 단조성을 만족하도록 붕괴위험도를 크기별로 다음 식 (1-13)와 같이 재배열한다. 이것은 임도사면의 붕괴를 나타내는 집합 X 중 어떤 요인 x_i 에 대해서 Category별로 0과 1사이의 정량화한 값으로, 요인의 Category별로 붕괴위험도의 크기순서로 나열한 것이다.

$$h(x_1) \geq h(x_2) \geq h(x_3) \geq \dots \geq h(x_n) \quad (1-13)$$

그리고 임도사면 붕괴에 관여하는 요인의 중요도(H_i)는 붕괴 및 안정군의 평가지 요인별 가중치로서, 붕괴 평가에 대한 각 요인의 기여정도를 평가하는 척도가 된다.

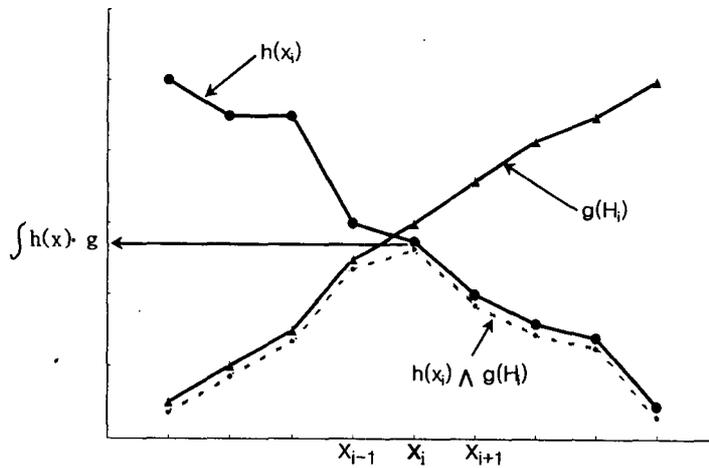
이와 같이 임도사면의 붕괴위험도($h(x_i)$)와 붕괴요인의 중요도로 구성된 퍼지측도 ($g(H_i)$)를 통해 이루어지는 퍼지적분은 다음 식 (1-14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\int_X h(x_i) \circ g = \bigvee_{i=1}^n [(h(x_i)) \wedge g(H_i)] \quad (1-14)$$

또한 H_n 은 집합 X 의 n 개의 부분집합으로 식 (1-15)와 같이 표시할 수 있다.

$$H_n = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \quad (1-15)$$

이때 퍼지측도 $g(H_i)$ 는 최대값이 1이 되는 가법성을 지니게 된다. 산출 모형은 <그림 2-5>와 같으며, 각 요인의 $h(x_i)$ 와 $g(H_i)$ 의 결합에서 나타나는 최소값중에 최대값을 취하여 퍼지적분값을 산출할 수 있다.



<그림 2-5> 퍼지적분 산출모식도.

그러나 퍼지적분의 가법성의 조건으로부터 여러 요인의 결합으로 인해 중요도 값이 1을 초과하는 경우, 0과 1사이의 값을 가지도록 식 (1-16)과 같은 λ 퍼지측도를 사용하였다.

E 와 F 가 임도사면의 붕괴를 나타내는 집합 X 의 부분집합이고 $E \cap F = \emptyset$ 일 때

$$g_\lambda(E \cup F) = g_\lambda(E) + g_\lambda(F) + \lambda g_\lambda(E) \cdot g_\lambda(F), \quad -1 < \lambda < \infty \quad (1-16)$$

여기서, λ 는 매개변수로써 $\lambda > 0$ 이면 $g_\lambda(E \cup F) > g_\lambda(E) + g_\lambda(F)$ 와 같이 g_λ 는 우가법성을 갖고, $\lambda = 0$ 이면 $g_\lambda(E \cup F) = g_\lambda(E) + g_\lambda(F)$ 와 같이 확률측도와 일치하는 가법성을 가지며, $\lambda < 0$ 이면 $g_\lambda(E \cup F) < g_\lambda(E) + g_\lambda(F)$ 와 같이 열가법성을 갖는다. $g_\lambda^1 = g_\lambda(\{x_1\})$, \dots , $g_\lambda^i = g_\lambda(\{x_i\})$ 에서 $g_\lambda(\{x_i\})$ 의 값은 g_λ^i 의 상수배, 즉 $c(g_\lambda^1, \dots, g_\lambda^i)$ 와 같이 상수 c 를 곱하여 정할 수 있고, 요인의 중요도로서 이미 알고 있으므로 다음 식 (1-17)과 같은 λ 퍼지측도 g_λ 를 정할 수 있다.

$$\begin{aligned} g_\lambda(H_i) &= g^i + g_\lambda(H_{i-1}) + \lambda \cdot g^i \cdot g_\lambda(H_{i-1}) \\ &= \frac{1}{\lambda} \left[\prod_{k=1}^i (1 + \lambda g^k) - 1 \right] \end{aligned} \quad (1-17)$$

여기서 사면붕괴의 평가에 사용된 요인들을 x_1, x_2, \dots, x_n 이라고 하면

$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1$ 이 되어야 한다. 따라서 g' 로 치환된 식을 통해 임도사면붕괴의 평가에 사용된 모든 요인들에 대한 측도의 합이 1이라는 조건으로부터 $n-1$ 차식을 풀면 매개변수 λ 의 값을 구할 수 있다.

다. 붕괴위험도 및 요인의 중요도 산출

붕괴위험도는 각 요인의 Category에 주어지는 붕괴발생위험을 나타내며, 퍼지적분의 연산을 위해서는 요인의 각 카테고리의 붕괴발생비를 $[0, 1]$ 사이의 실수값으로 변환시켜 붕괴위험도 $h(x_i)$ 를 결정하여야 한다. 각 요인에 대한 붕괴위험도의 결정은 吉村 等(1995, 1996)이 사용한 방법을 이용하였고, 이 방법은 Category별 붕괴발생비가 1 : 1인 경우 붕괴판정이 가장 모호한 상태이므로 각 붕괴발생비에 $\frac{1}{2}$ 를 곱하고, 곱한 값이 1이상일 경우 모두 1로 처리하는 것으로서 결정방법은 식 (1-18)과 같다.

$$h(x_i) = \frac{WSF}{OSF} \times \frac{1}{2} \quad (1-18)$$

여기서, WSF(with slope failure) : 붕괴군에 소속된 i 번째 요인의 Category 상대빈도율(%), OSF(without slope failure) : 안정군에 소속된 i 번째 요인의 Category 상대빈도율(%)이며, 붕괴위험도 $h(x_i)$ 는 0.5를 기준으로 0에 가까울수록 붕괴위험성이 작고, 1에 가까울수록 붕괴위험성이 크며, 0.5는 가장 붕괴발생 유무의 판정이 모호한 상태를 나타낸다.

또한 요인의 중요도는 각 요인에 주어지는 가중치로서, 그 크기가 클수록 붕괴발생 유무의 판정에 매우 밀접하게 관련되는 요인이며, 본 연구에서는 수량화II류의 범위(Range) 값을 요인의 중요도로 이용하였다. 이를 재정리

하면 다음 식 (1-19)와 같다.

$$H_i = \max(a_{ik}) - \min(a_{ik}) \quad (1-19)$$

즉, 상관비 η^2 를 최대로 하는 고유벡터(Eigenvector) a 를 산출한 후, 각 요인내의 Category에 부여된 고유벡터값의 최대값과 최소값의 차이로서 중요도(H_i)를 결정하였다.

제3절 임도사면의 붕괴요인 평가

1. 임도 성토사면의 붕괴요인 평가

임도 성토사면의 붕괴요인 평가는 수량화Ⅱ류를 이용하여 분석하였고, 조사개소수 총 1,091개소 중 전체자료의 75%인 819개소(붕괴지 : 267개소, 안정지 : 552개소)를 이용하여 붕괴요인 평가를 실시하였다.

가. 임도 성토사면 붕괴요인의 독립성 검증

수량화Ⅱ류에 의한 붕괴유무의 판별시 각 요인이 독립적이어야 하며, 독립적이지 못할 경우 다중공선성 문제를 야기하여 문제의 해를 구하지 못하는 경우가 있다. 따라서 각 요인이 독립적임을 살펴보기 위하여 임도사면붕괴에 관여하는 9개 요인의 단상관 및 편상관계수로서 독립성 검정을 실시하였다. <표 2-5>와 같이 요인상호간 단상관계수의 값의 작은 순으로는 총노폭과 사면방위(-0.0029), 총노폭과 임도위치(-0.0083), 임도위치와 사면방위(0.0117), 총노폭과 결보기 토질(0.0168)순으로 나타났고, 큰 순으로는 성토사면길이와 임도위치(0.23), 임도위치와 사면종단면형(0.23), 성토사면길이와 성토사면경사(0.21)로 이들 요인간에는 다소 상관이 있는 것으로 나타났다. 또한 <표 2-6>과 같이 요인상호간의 편상관계수 값의 작은 순으로는 총노폭과 임도위치(-0.0013), 총노폭과 사면방위(0.0041), 임도위치와 사면방위(-0.0042), 결보기 토질과 사면종단면형(-0.0075), 성토사면경사와 사면종단면형(-0.0076) 순으로 나타났고, 비교적 큰 순으로는 임도위치와 사면종단면형(0.21), 결보기 토질과 산지경사(-0.20), 성토사면길이와 임도위치(0.19), 성토사면길이와 성토사면경사(0.19)로 이들 요인간에는 다소 상관이 있는 것으로

나타났다.

그러나 전체적인 각 요인의 단상관계수 및 편상관계수 값이 매우 미미하여 각 요인은 독립적으로 보아도 무방할 것으로 판단된다.

<표 2-5> 임도 성토사면의 붕괴요인별 상호단상관계수

	총노폭	중단물매	성토사면길이	성토사면경사	임도위치	겉보기 토질	산지경사	사면방위	사면중단면형
총노폭	1	0.0626	0.0493	-0.0288	-0.0083	0.0168	-0.0336	-0.0029	-0.0938
중단물매		1	0.0433	0.0300	0.0744	-0.0200	0.0324	0.0252	0.1241
성토사면길이			1	0.2061	0.2312	0.0877	0.1488	0.0285	0.0834
성토사면경사				1	0.0765	0.0252	0.0775	0.0515	0.0259
임도위치					1	0.1600	0.0564	0.0117	0.2309
겉보기 토질						1	-0.1817	-0.0499	0.0200
산지경사							1	0.0233	0.0393
사면방위								1	0.0701
사면중단면형									1

<표 2-6> 임도성토사면의 요인별 편상관계수

	총노폭	중단물매	성토사면길이	성토사면경사	임도위치	겉보기 토질	산지경사	사면방위	사면중단면형
총노폭	1	0.0753	0.0647	-0.0392	-0.0013	0.0089	-0.0364	0.0041	-0.1032
중단물매		1	0.0134	0.0210	0.0441	-0.0282	0.0180	0.0134	0.1142
성토사면길이			1	0.1852	0.1888	0.0792	0.1420	0.0162	0.0317
성토사면경사				1	0.0252	0.0162	0.0473	0.0462	-0.0076
임도위치					1	0.1516	0.0453	-0.0042	0.2097
겉보기 토질						1	-0.2017	-0.0505	-0.0075
산지경사							1	0.0048	0.0133
사면방위								1	0.0656
사면중단면형									1

나. 임도 성토사면의 붕괴위험요인 평가

임도 성토사면의 붕괴발생에 대한 요인의 영향은 외적기준에 대한 각 요인의 편상관계수값과 각 요인의 범위(Range)값이 클수록 크다고 할 수 있으며, 이에 대한 편상관계수와 범위 값의 산출결과는 <표 2-7>과 같다. 붕괴 위험예지에 영향을 주는 범위(Range)값의 순서로는 성토사면길이(0.5837) > 성토사면경사(0.3929) > 사면방위(0.1941) > 겹보기 토질(0.1633) > 임도위치(0.1296) > 총노폭(0.0967) > 사면종단면형(0.0958) > 산지경사(0.0796) > 종단물매(0.0596) 순으로 나타났다.

또한 임도성토사면의 붕괴발생 유무와 관계가 깊은 편상관계수의 순서를 열거하면, 성토사면길이(0.4342) > 성토사면경사(0.2797) > 사면방위(0.1975) > 겹보기 토질(0.1864) > 임도위치(0.1434) > 사면종단면형(0.1193) > 총노폭(0.1014) > 산지경사(0.0985) > 종단물매(0.0542) 순으로 나타났다.

이상의 결과에서 대체적으로 임도 성토사면의 붕괴발생과 관련한 요인의 편상관계수값과 각 요인의 범위(Range)값이 5순위까지는 일치하는 경향을 보이고 있었고, 특히 붕괴위험예지와 밀접하게 관련이 있는 범위(Range)값이 0.1이상의 것만을 고려하였을 때 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겹보기 토질, 임도위치 등 5개 요인의 영향이 가장 임도 성토사면붕괴와 밀접한 연관이 있는 것으로 판단된다.

따라서 임도 성토사면붕괴는 성토사면길이, 성토사면경사 등의 임도 구조적인 요인의 영향이 크게 작용하여 성토사면 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. 사면방위 및 임도위치 등 임도 통과지점의 위치적 요인, 그리고 겹보기 토질과 같은 성토사면 내적요인이 복합적으로 작용하여 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다.

<표 2-7> 임도 성토사면 요인별 Range 값 및 편상관계수

요인	Range	순위	편상관계수	순위
총노폭	0.0967	6	0.1014	7
종단물매	0.0596	9	0.0542	9
성토사면길이	0.5837	1	0.4342	1
성토사면경사	0.3929	2	0.2797	2
임도위치	0.1296	5	0.1434	5
겉보기 토질	0.1633	4	0.1864	4
산지경사	0.0796	8	0.0895	8
사면방위	0.1941	3	0.1975	3
사면종단면형	0.0958	7	0.1193	6

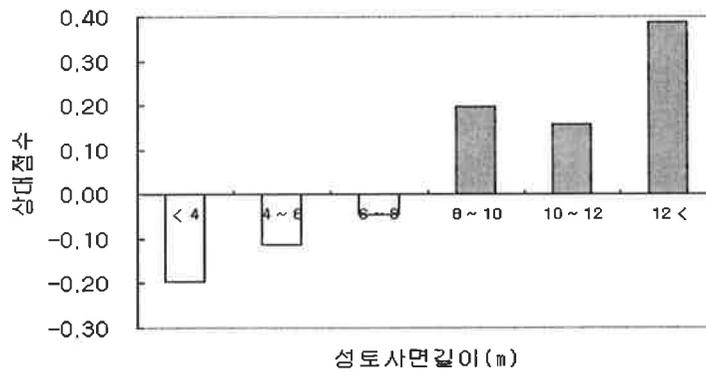
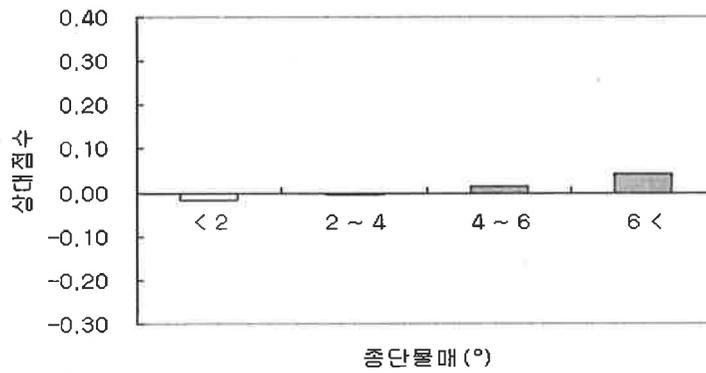
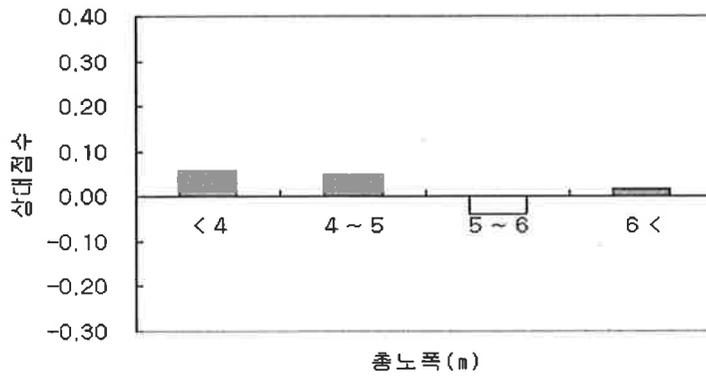
또한 상대점수(Category weight)의 값을 이용한 임도성토사면의 붕괴유무에 작용하는 각 요인의 Category별 기여도는 <그림 2-6>과 같다. 여기서 각 요인의 Category에 반응한 점수가 負의 값은 안정측에, 正의 값의 붕괴측에 작용하며, x축에 대하여 y축의 최대치와 최소치 차의 절대치가 클수록 영향정도가 크다고 할 수 있다.

가장 성토사면붕괴와 밀접한 관련이 있는 요인들에 대하여 Category별 기여도로써 붕괴에 관한 특성을 열거하면, 성토사면길이 요인은 8m미만에서 안정측에, 그 이상에서는 길이가 증가할수록 붕괴측에 크게 기여하는 것으로 나타났다. 또한 성토사면경사 요인은 40° 미만에서는 경사가 완만할수록 안정측에, 그 이상에서는 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났고, 사면방위 요인은 SE, S, SW사면에서 안정측에, 그 외의 사면에서 붕괴측에 기여하는 것으로 나타나 주로 남사면 방향의 사면에서 성토사면 붕괴발생 위험이 적은 것으로 나타났다. 겉보기 토질 요인은 호박돌 토사와 경암, 연암에서 안정측에, 토사, 풍화암에서 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났으며, 임도위치

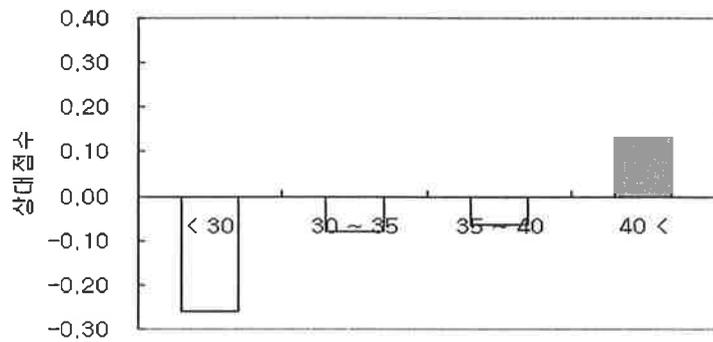
요인은 사면과 계곡부에서 안정측에, 능선부에서 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 총노폭, 종단물매, 산지경사, 사면종단면형 요인은 Category 점수가 아주 미미하여 임도 성토사면 붕괴와 밀접한 관련이 없을 것으로 판단된다.

기존의 연구결과에 의하면, 사면길이가 길어질수록, 성토사면경사가 급할수록, 토질 요인은 풍화암, 산지경사 요인은 35° 이상 그리고 계곡부에서 붕괴발생이 많은 것으로 보고(菊地, 1973, 1974; 馬相圭, 1987; 金鍾閔 등, 1990; 吉村 등, 1992; 近藤, 1994; 吉村과 神崎, 1995)되고 있어, 본 연구결과와 전반적으로 유사하게 나타났다. 그러나 본 연구결과의 임도위치 요인의 경우 능선부에서 붕괴발생이 큰 것으로 나타나 기존의 연구결과와 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 일반적으로 우리 나라에서의 임도개설행태는 토공작업시 능선부에서의 토량발생이 많아지나, 적절한 운토를 시행하지 않고 성토부쪽에 그대로 성토시키는 사례가 많이 발생하고 있다. 따라서 능선부의 경우 집중호우시 토괴의 단위중량이 증가하고, 흙의 전단강도가 약화되어 사면붕괴 발생위험이 높게 나타난 것으로 판단된다.

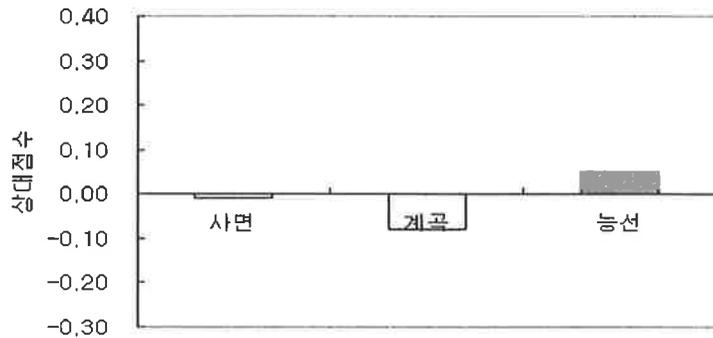
이상과 같이 수량화II류의 의한 임도 성토사면 붕괴요인의 평가에서 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 임도위치, 겉보기 토질, 임도위치 등의 요인이 임도 성토사면붕괴와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났고, 특히 성토사면길이가 가장 큰 영향을 미치고 있었다. 또한 각 요인의 Category에 나타난 붕괴위험 기여도는 성토사면길이는 8m이상, 성토사면경사는 40° 이상, 사면방위는 동(E)사면, 겉보기 토질은 토사, 임도위치는 능선부에서 가장 붕괴위험이 큰 것으로 나타났다. 따라서 이상에서 제시된 수준의 요인들이 붕괴와 밀접한 관련이 있는 범주에 반응할 경우 붕괴위험이 클 것으로 판단된다.



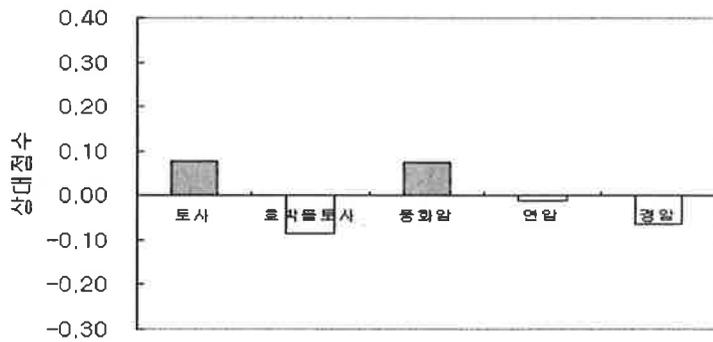
<그림 2-6> 입도 성토사면 요인에 대한 각 카테고리별 상대점수.



경도사면경사(°)

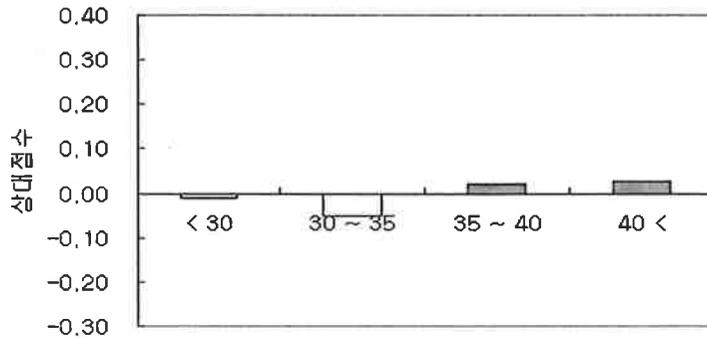


임도위치

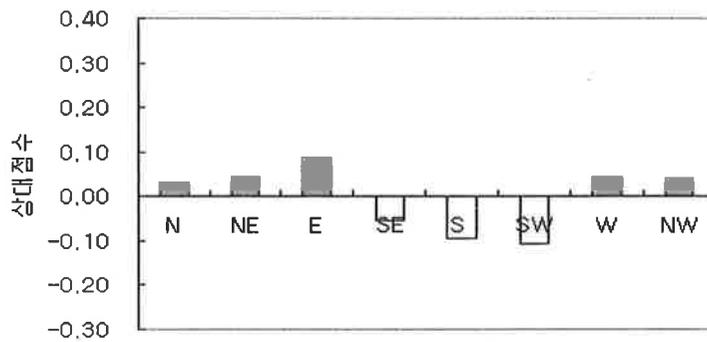


겉보기 토질

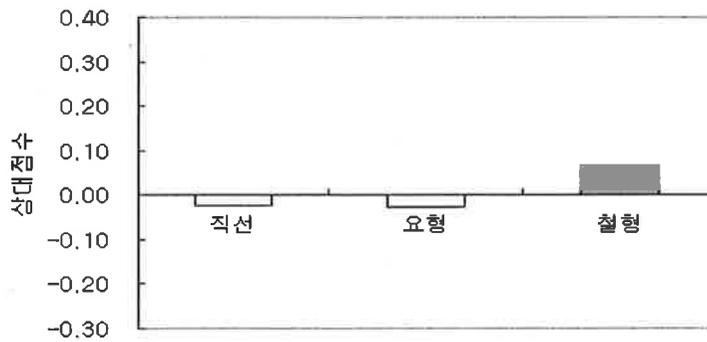
<그림 2-6> 계 속



산지경사(°)



사면방위



사면종단면형

<그림 2-6> 계 속

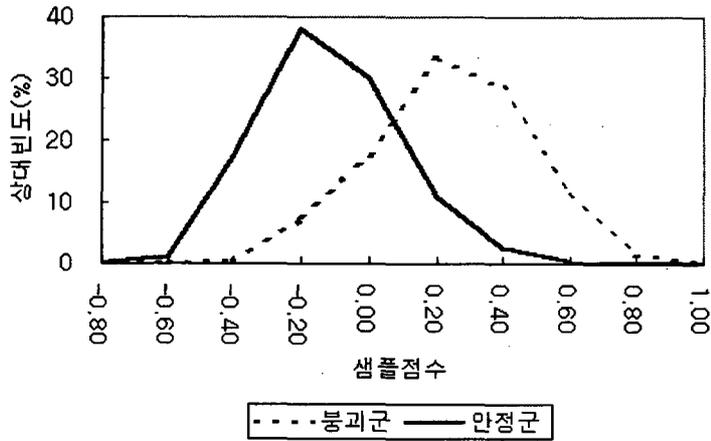
따라서 붕괴예방차원에서 인위적인 조절이 가능한 성토사면길이는 8m 이 내로 제한하는 것이 바람직할 것이나, 부득이한 경우 성토사면에 소단 및 억지공법 등을 설치할 필요가 있으며, 성토사면경사는 40° 미만으로 시설하는 것이 바람직할 것이다. 또한 대부분의 붕괴가 능선부의 좌우측에서 발생되기 때문에 입도개설시 토량이 과다하게 발생하면 적절한 유토를 실시하여야 할 것으로 판단된다.

다. 입도 성토사면의 붕괴요인평가 정도

입도 성토사면붕괴의 判別精度는 <표 2-8>과 같이 붕괴군의 평균은 0.2478, 분산 0.0506, 표준편차 0.2250으로, 안정군은 평균이 -0.1199, 분산 0.0395, 표준편차 0.1987로 나타났으며, 상관비 (η^2)는 0.4079로 산출되었다. 붕괴군과 안정군의 판별적중점은 0.0525이며(<그림 2-7>), 이 값 이상이면 붕괴군, 이 값 이하이면 안정군으로 판별한다. 그림에서 가로축의 수치가 클수록 붕괴위험은 높고, 낮을수록 붕괴위험도가 저하된다.

<표 2-8> 입도 성토사면의 붕괴군 및 안정군의 평균, 분산 및 표준편차

	평균	분산	표준편차
붕괴군	0.2478	0.0506	0.2250
안정군	-0.1199	0.0395	0.1987
전체	0.0000	0.0728	0.2699



<그림 2-7> 수량화Ⅱ류에 의한 성토사면붕괴 판별그래프

이상과 같이 임도성토사면의 붕괴유무 판별치를 이용하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 추정치로 재분류한 결과, 오분류율은 <표 2-9>와 같이 붕괴군의 경우 총 267개소중 53개가 오분류되어 오분류율은 19.4%였고, 안정군의 경우는 총 552개소중 107개소가 오분류되어 19.9%의 오분류율을 나타내 전체적인 판별적중률은 80.5%로 나타났다.

<표 2-9> 임도 성토사면 붕괴유무의 판별 Cross표

	붕괴군	안정군	판별적중률
붕괴군으로 판별	214(80.1%)	107(19.4%)	659(80.5%)
안정군으로 판별	53(19.9%)	445(80.6%)	
합계	267(100.0%)	552(100%)	819(100%)

2. 임도 절토사면의 붕괴요인 평가

임도 절토사면의 붕괴요인 평가는 조사개소수 총 919개소 중 전체자료의 75%인 690개소 (붕괴지 : 141개소, 안정지 : 549개소)를 이용하여 붕괴요인 평가를 실시하였다.

가. 임도 절토사면 붕괴요인의 독립성 검정

수량화Ⅱ류에 의한 각 요인의 Category의 상대점수는 외적기준과 각 요인간에 선형적 관계로부터 정해지기 때문에 요인상호간의 상관관계가 높은 경우 다중공선성의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 각 요인은 상호간에 영향을 독립적인 관계가 요구된다. 각 요인간 독립적임을 살펴보기 위하여 8개 요인의 단상관계수 및 편상관계수를 산출한 결과는 <표 2-10> 및 <표 2-11>과 같다. <표 2-10>에서와 같이 요인상호간 단상관관계수가 작은 순으로는 사면종단면형과 산지피복율(0.0125), 사면방위와 절토사면경사(0.0163), 사면방위와 산지피복율(0.0183), 사면방위와 사면종단면형(0.0184) 순으로 산출되었고, 단상관관계가 큰 순으로는 걸보기 토질과 절토사면경사(-0.4650), 걸보기 토질과 산지경사(-0.2608), 산지경사와 절토사면경사(0.2333) 순으로 산출되었다. 또한 <표 2-11>에서와 같이 요인상호간 편상관계수가 작은 순으로는 사면방위와 사면종단면형(0.0022), 사면방위와 절토사면경사(0.0031), 걸보기 토질과 사면장위(-0.0112), 걸보기 토질과 사면종단면형(0.0104)으로 나타났으며, 큰 순으로는 걸보기 토질과 절토사면경사(-0.4367), 임도위치와 사면종단면형(-0.1948), 산지경사와 절토사면길이(0.1592), 걸보기 토질과 산지경사(-0.1535)로 나타났다.

이상과 같이 각 요인의 단상관계수 및 편상관계수를 산출한 결과, 걸보기

토질과 절토사면경사간에는 다소의 부의 상관관계가 있는 것으로 나타나, 결보기 토질의 풍화정도에 따라 절토사면경사가 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 그러나 그 외의 대부분의 요인간에는 상관관계가 미미하여 각 요인을 독립적으로 보아도 무방할 것으로 판단된다.

<표 2-10> 임도 절토사면의 붕괴요인별 상호단상관계수

	임도위치	결보기 토질	산지경사	사면방위	사면종단면형	절토사면길이	절토사면경사	산지피복율
임도위치	1	-0.0506	0.1184	-0.0411	-0.1714	0.1032	0.1318	0.0781
결보기 토질		1	-0.2608	-0.0264	-0.0253	-0.1223	-0.4650	0.0914
산지경사			1	0.0532	0.0689	0.1952	0.2333	-0.0583
사면방위				1	0.0184	0.0358	0.0163	0.0183
사면종단면형					1	0.0981	0.0376	0.0125
절토사면이						1	0.0452	0.0391
절토사면경사							1	0.0187
산지피복율								1

<표 2-11> 임도 절토사면의 요인별 편상관계수

	임도위치	결보기 토질	산지경사	사면방위	사면종단면형	절토사면길이	절토사면경사	산지피복율
임도위치	1	0.0294	0.0958	-0.0509	-0.1948	0.1005	0.1141	0.0800
결보기 토질		1	-0.1535	-0.0112	0.0140	-0.0922	-0.4367	0.1058
산지경사			1	0.0479	0.0629	0.1592	0.1253	-0.0639
사면방위				1	0.0022	0.0274	0.0031	0.0251
사면종단면형					1	0.1035	0.0450	0.0256
절토사면이						1	-0.0537	0.0506
절토사면경사							1	0.0670
산지피복율								1

나. 임도 절토사면의 붕괴위험요인 평가

임도 절토사면의 붕괴발생에 미치는 요인의 중요도를 살펴보기 위하여 외적기준인 붕괴유무에 대한 각 요인의 편상관계수값과 각 요인의 범위(Range)값을 산출결과는 <표 2-12>와 같다. 붕괴위험예지에 영향을 주는 범위(Range)값의 순서로는 절토사면길이(0.5195) > 겉보기 토질(0.3959) > 사면방위(0.2630) > 절토사면경사(0.2458) > 산지경사(0.2064) > 산지피복율(0.1449) > 사면종단면형(0.0652) > 임도위치(0.0274) 순으로 나타났으며, 임도절토사면의 붕괴발생 유무와 관계가 깊은 편상관계수는 절토사면길이(0.2713) > 겉보기 토질(0.2530) > 사면방위(0.2059) > 절토사면경사(0.1784) > 산지경사(0.1705) > 산지피복율(0.16.3) > 사면종단면형(0.0631) > 임도위치(0.0260) 순으로 나타났다.

이상의 결과에서 대체적으로 임도 절토사면의 붕괴발생과 관련한 요인의 편상관계수값과 각 요인의 범위(Range)값은 모든 요인에 대하여 일치하는 것으로 나타났고, 특히 붕괴위험예지와 밀접하게 관련이 있는 범위(Range)값이 0.2이상의 것만을 고려하였을 때 절토사면길이, 겉보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등 5개 요인의 영향이 가장 임도 절토사면붕괴와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

따라서 임도 절토사면의 붕괴에 밀접한 영향을 미치는 요인은 절토사면 길이와 같은 임도의 구조적 요인이 가장 영향을 크게 미치는 것으로 나타났고, 다음으로 겉보기 토질과 같은 절토사면 내적요인의 영향이, 그리고 사면 방위와 같은 임도 통과지점의 위치적 요인 등의 영향이 크게 작용하여 절토사면의 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다.

<표 2-12> 임도 절토사면 요인별 Range 값 및 편상관계수

요 인	Range	순위	편상관계수	순위
임도위치	0.0274	8	0.0260	8
겉보기 토질	0.3959	2	0.2530	2
산지경사	0.2064	5	0.1705	5
사면방위	0.2630	3	0.2059	3
사면종단면형	0.0652	7	0.0631	7
절토사면이	0.5195	1	0.2713	1
절토사면경사	0.2458	4	0.1784	4
산지피복율	0.1449	6	0.1603	6

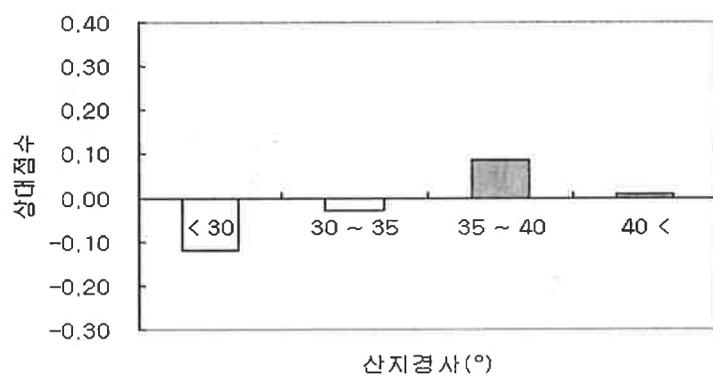
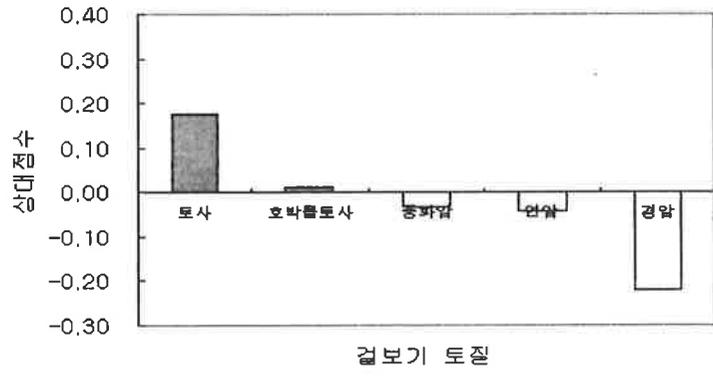
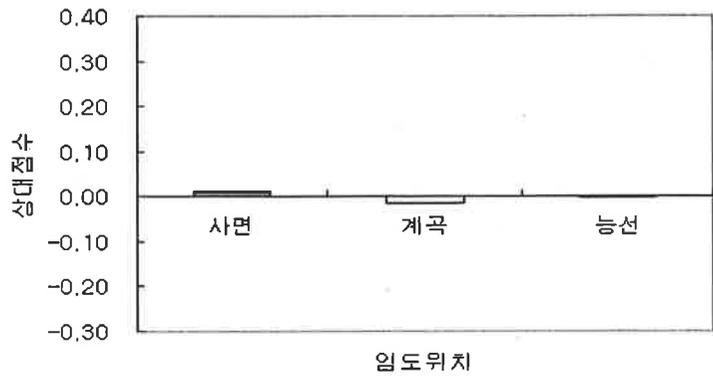
또한 상대점수(Category weight)의 값을 이용한 임도 절토사면의 붕괴유무에 작용하는 각 요인의 Category별 기여도는 <그림 2-8>과 같다.

절토 사면붕괴와 밀접한 관련이 있는 요인들에 대하여 Category별 기여도로써 붕괴에 관한 특성을 열거하면, 절토사면길이 요인은 8m를 기준으로 하여 그 미만에서는 길이가 짧아질수록 안정측에, 그 이상에서는 길이가 증가할수록 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났다. 특히 12m이상에서는 붕괴위험이 높은 것으로 나타났다. 겉보기 토질 요인은 풍화정도가 심할수록 붕괴발생 기여도가 큰 것으로 나타났고, 특히 토사사면에서 붕괴위험이 높고, 경암사면에서 붕괴위험이 낮은 것으로 나타났다. 일반적으로 풍화가 진행될수록 토양내부로 물의 침투가 용이하여 쉽게 포화되고, 이에 따라 단위중량이 증가하여 붕괴가 발생한다. 사면방위 요인은 SE, S, SW, W사면에서 안정측,

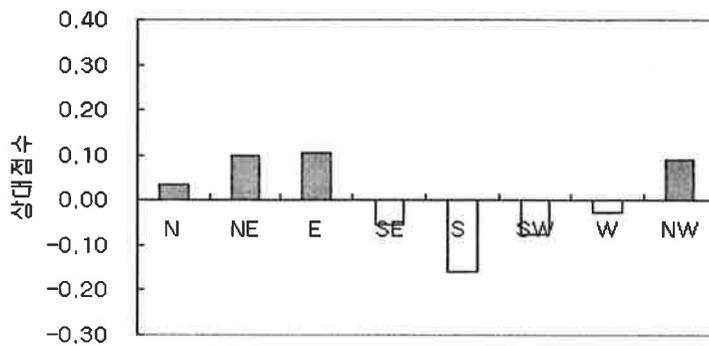
그외의 사면에서는 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 E사면에서 붕괴위험이 높고, S사면에서 붕괴위험이 적은 것으로 나타났다. 또한 절토사면 경사 요인은 50° 이하에서는 안정측에, 그 이상에서는 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 60° 이상의 급경사 사면에서 붕괴위험이 높은 것으로 나타났다. 그리고 산지경사 요인은 35° 미만에서 경사가 완만할수록 안정측에 기여하는 것으로 나타났고, $35\sim 40^\circ$ 사이에서는 붕괴측에 기여도가 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 주로 암석지역의 분포가 많은 40° 이상의 급경사지에서는 붕괴측에 기여도가 낮은 것으로 나타났다. 그 외의 원인인 임도위치, 사면종단면형, 산지피복율 요인은 Category 점수가 아주 미미하여 임도 절토사면 붕괴와 밀접한 관련이 없을 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 수량화Ⅱ류의 상대점수에 의한 붕괴요인 평가에서 절토사면길이, 겉보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 요인이 임도 절토사면 붕괴에 밀접한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 절토사면길이는 8m이상, 겉보기 토질은 토사, 사면방위는 E사면, 절토사면경사는 60° 이상, 산지경사는 $35\sim 40^\circ$ 사이에서 붕괴측에 기여도가 가장 크게 나타났다. 그러므로 이상에서 제시된 수준의 요인들이 붕괴와 밀접한 관련이 있는 범주에 반응할 경우 붕괴위험이 클 것으로 판단된다.

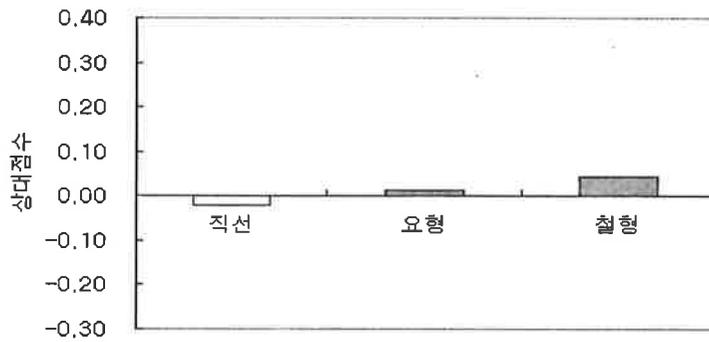
따라서 붕괴예방차원에서 인위적인 조절이 가능한 절토사면길이는 8m 이내로 제한하는 것이 바람직할 것이나, 부득이한 경우 절토사면에 소단 및 역지공법 등을 설치할 필요가 있으며, 절토사면경사는 60° 미만으로 시설하는 것이 식생침입 등을 용이하게 하여 붕괴발생위험이 적어질 수 있을 것으로 판단된다.



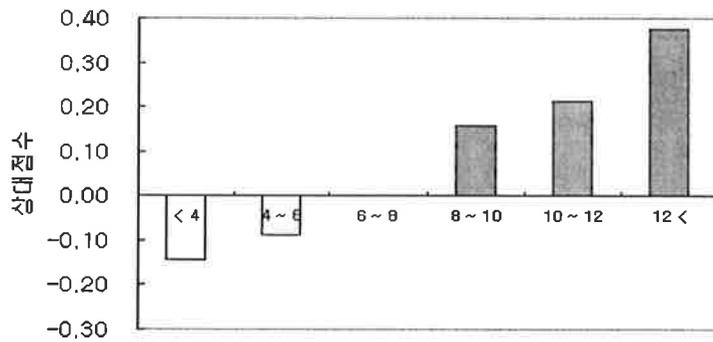
<그림 2-8> 임도 절토사면 요인에 대한 각 카테고리별 상대점수.



사면발위

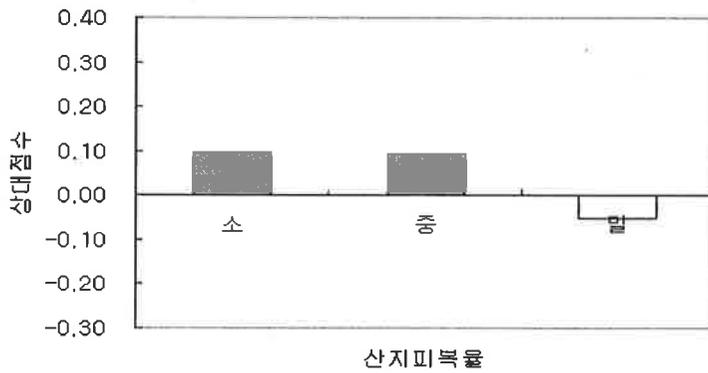
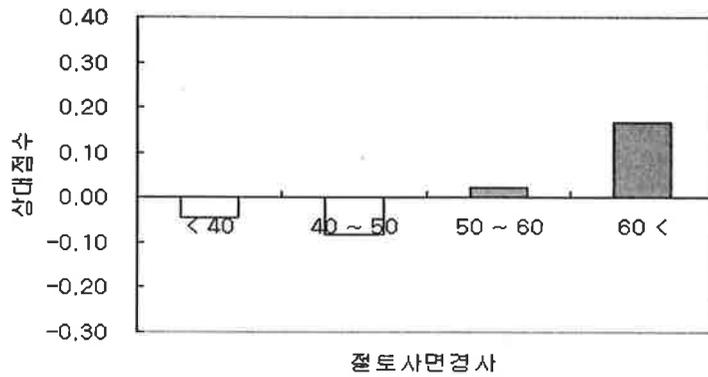


사면종단면형



절토사면길이

<그림 2-8> 계 속



<그림 2-8> 계 속

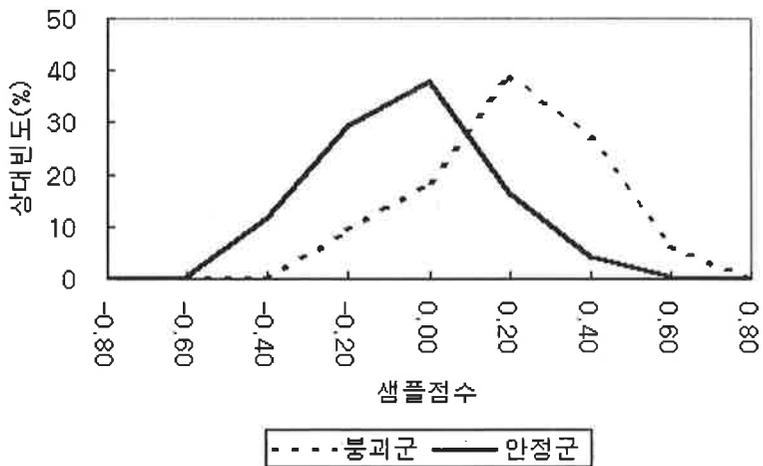
다. 임도 절토사면의 붕괴요인평가 정도

임도절토 사면붕괴의 판별정도는 <표 2-13>과 같이 붕괴군의 평균은 0.2120, 분산 0.0404, 표준편차 0.2009으로, 안정군은 평균이 -0.0544, 분산 0.0390, 표준편차 0.1975로 나타났으며, 상관비 (η^2)는 0.4079으로 산출되었

고, 또한 붕괴군과 안정군의 판별 적중점은 0.0525이며(<그림 2-9>), 이 값 이상이면 붕괴군, 이 값 이하이면 안정군으로 판별한다.

<표 2-13> 임도 절토사면의 붕괴군 및 안정군의 평균, 분산 및 표준편차

	평균	분산	표준편차
붕괴군	0.2120	0.0404	0.2009
안정군	-0.0544	0.0390	0.1975
전체	0.0000	0.0508	0.2254



<그림 2-9> 수량화 II류에 의한 절토사면붕괴 판별그래프

이상과 같이 임도절토사면의 붕괴유무 판별치를 이용하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 추정치로 재분류한 결과, 오분류율은 <표 2-14>와 같이 붕괴군의 경우 총 141개소중 37개가 오분류되어 오분류율은 26.6%였고, 안정군의 경우는 총 549개소중 131개소가 오분류되어 23.9%의 오분류로 전체적인 판별적중율은 75.7%로 나타났다. 小橋(1974)가 제시한 판별적중률의 판단기준(80%이상은 양호, 70%이상은 보통, 60%이하는 불량)에 비추어 볼 때 매우 양호한 값으로 산출되었다.

<표 2-14> 임도 절토사면 붕괴유무의 판별 Cross표

	붕괴군	안정군	계
붕괴군으로 판별	104(73.8%)	131(23.9%)	522(75.7%)
안정군으로 판별	37(26.6%)	418(76.1%)	
계	141(100%)	549(100%)	690(100%)

제4절 임도사면 붕괴예측 모델개발

기존의 붕괴판정을 위해 주로 이용되고 있는 수량화Ⅱ류는 동일지역에 대해 붕괴판정을 실시할 경우 높은 적중률을 보이거나, 이러한 통계적 방법은 붕괴자체의 유무판단에 치우쳐 있을 뿐만 아니라, 표본수가 적은 경우 혹은 Category에 반응하는 표본수가 적은 경우에는 그 영향이 과대하게 평가될 수 있으며, 다중공선성 문제를 극복하기 어려운 면도 있다. 또한 붕괴유무를 판정하기 위한 점수표는 Category의 상대점수를 몇 단계로 구분하여 붕괴발생 수준을 주관적으로 강, 중, 약 등으로 재 설정하여야 하는 어려움이 있으며, 타지역의 적용시 붕괴유무의 명확한 판정을 기대하기 어려운 면이 있다(小橋, 1974; 韓國建設技術研究所, 1989). 따라서 다중공선성의 위험이 없고, 타 지역에 적용할 경우 예측적중률을 높이며, 객관적인 의사결정 자료를 제공할 수 있는 비선형 모델인 퍼지적분을 이용한 붕괴예측 모델을 개발하였다. 이러한 퍼지적분은 각 요인의 Category에 주어진 붕괴위험도를 요인의 중요도로 구성된 λ 퍼지측도를 이용하여 종합적인 붕괴예측을 실시하는 것이다. 퍼지적분의 산출결과로 나타난 퍼지적분값은 조사사면의 붕괴가능성을 $[0, 1]$ 의 실수값을 제시하게 되며, 임도사면의 붕괴위험 예측을 위한 최적의 모델설정과 명확한 수치적 의미부여를 하는 데 노력하였다.

1. 임도 성토사면 붕괴예측 모델개발

임도 성토사면의 붕괴예측 모델을 개발하기 위하여 수량화Ⅱ류에서 이용한 데이터와 동일하게 총 조사개소수 1,091개소 중 전체자료의 75%인 819개소(붕괴지 : 267개소, 안정지 : 552개소)를 이용하여 붕괴요인 평가를 실시하였다.

가. 임도 성토사면의 붕괴위험도 및 중요도

임도 성토사면의 붕괴유무에 관여하는 요인을 붕괴균과 안정균으로 구분하여 상대빈도율(%) 및 이에 따른 붕괴위험도를 산출하였다. 붕괴위험도가 0.5인 경우는 붕괴균과 안정균의 출현빈도가 같은 경우로 붕괴유무 판정이 곤란한 경우에 해당된다. 따라서 붕괴위험도 0.5를 기준으로 1에 가까울수록 붕괴위험이 크고, 0에 가까울수록 붕괴위험이 적다고 할 수 있다. 상대빈도율 및 붕괴위험도의 산출결과는 <그림 2-10>과 같다.

총노퍽 요인의 붕괴균과 안정균의 출현빈도는 붕괴균의 경우, 6m이상에서 40.1%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 4m이하에서 가장 낮은 2.6%의 출현빈도를 보이고 있었다. 안정균의 경우 역시 6m이상에서 43.3%로 가장 큰 출현빈도를 보이고 있었고, 4m미만에서 1.6%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 4m미만에서 0.80으로 가장 크게 나타났으며, 5m~6m사이에서 가장 낮은 0.43로 나타났다.

중단물매 요인은 붕괴균의 경우, 붕괴발생이 2~4° 사이에서 33.7%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 6° 이상에서 가장 낮은 12.0%의 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 안정균의 경우도 2~4° 사이에서 41.5%의 가장 크고, 6° 이상에서 7.8%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 그리고 붕괴위험도는 2~4° 사이에서 0.41으로 가장 낮게 나타났으며, 6° 이상에서 가장 높은 0.77로 나타났다.

성토사면길이 요인은 붕괴균의 경우, 붕괴발생이 8~10m사이에서 28.5%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 4m이하에서 가장 낮은 1.1%의 출현빈도를 보이고 있었다. 안정균의 경우는 4~6m사이에서 37.9%의 가장 큰 반면, 12m이상에서 1.4%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험

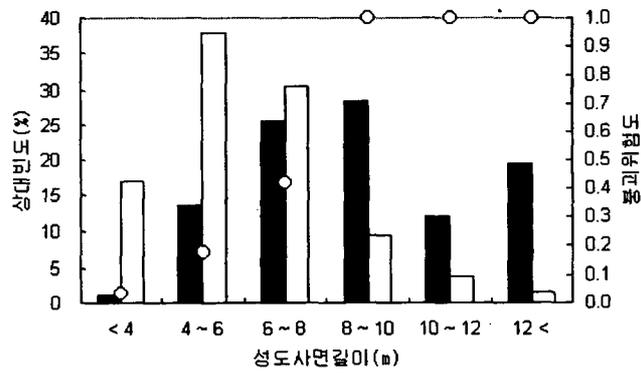
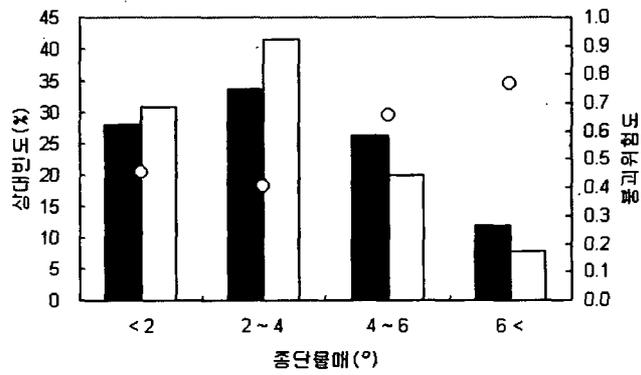
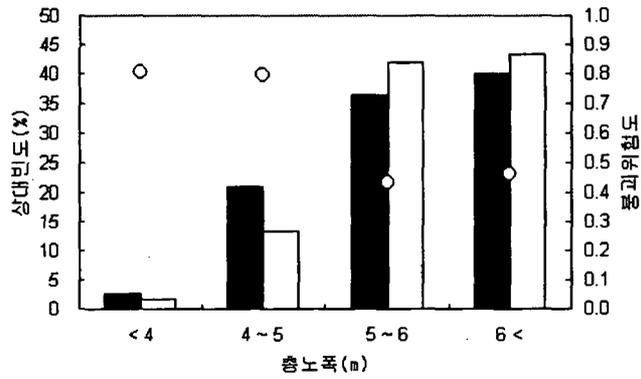
도는 8m이상에서 1.00으로 가장 크게 나타났고, 4m미만에서 가장 낮은 0.03으로 나타났다.

성토사면경사 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 40°이상에서 56.2%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 30°이하에서 0%의 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 안정군의 경우는 35~40°사이에서 66.1%의 가장 큰 반면, 30°이하에서 1.6%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 그리고 붕괴위험도는 40°이상에서 1.0로 가장 크게 나타났으며, 30°이하에서 가장 낮은 0으로 나타났다.

임도위치 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 능선부에서 58.1%로 가장 큰 출현빈도를 보이고, 계곡부에서 가장 낮은 8.2%의 출현빈도를 보이고 있었다. 안정군의 경우는 사면부에서 37.0%로 가장 높았고, 계곡부에서 30.1%로 가장 낮은 출현빈도를 보였다. 또한 붕괴위험도는 능선부에서 0.88으로 가장 크게 나타났고, 계곡부에서 0.14으로 가장 낮게 나타났다.

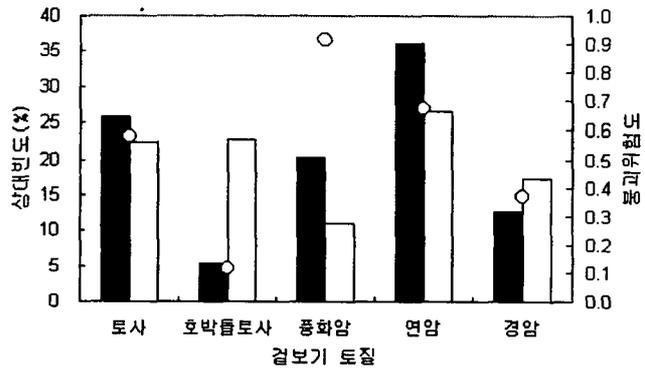
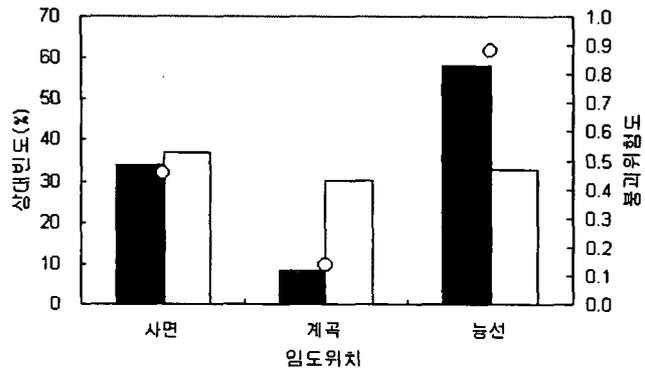
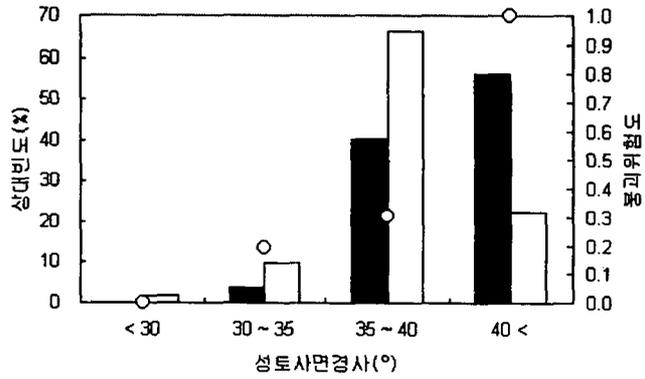
겉보기 토질 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 연암지역에서 36.0%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 호박돌토사에서 가장 낮은 5.2%의 출현빈도를 보이고 있다. 또한 안정군의 경우는 연암에서 26.6%의 가장 큰 반면, 풍화암에서 11.1%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 풍화암에서 0.92으로 가장 컸고, 호박돌 섞인 토사에서 가장 낮은 0.11로 나타났다.

산지경사 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 40° 이상에서 35.2%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 30~35° 사이에서 가장 낮은 14.6%의 출현빈도를 보이고 있다. 안정군의 경우는 전체적으로 24.1~26.4사이의 고른 분포를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 40° 이상에서 0.67으로 가장 컸고, 30~35° 사이에서 0.30으로 가장 낮게 나타났다.



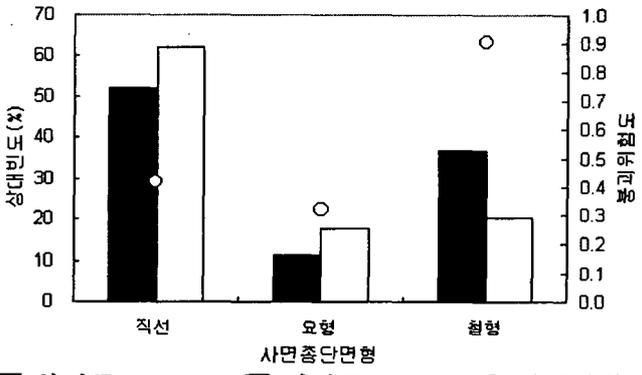
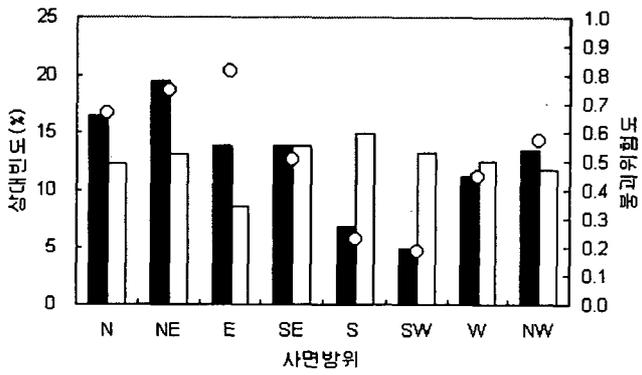
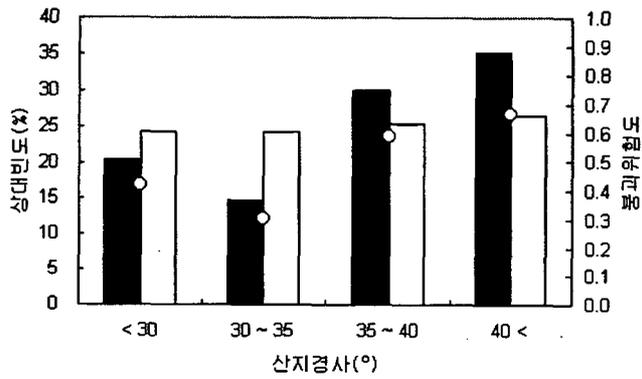
(■ 붕괴군 □ 안정군 ○ 붕괴위험도)

<그림 2-10> 임도성토사면의 붕괴요인에 대한 붕괴군 및 안정군의 상대빈도와 붕괴위험도



(■ 붕괴군 □ 안정군 ○ 붕괴위험도)

<그림 2-10> 계 속



(■ 붕괴군 □ 안정군 ○ 붕괴위험도)

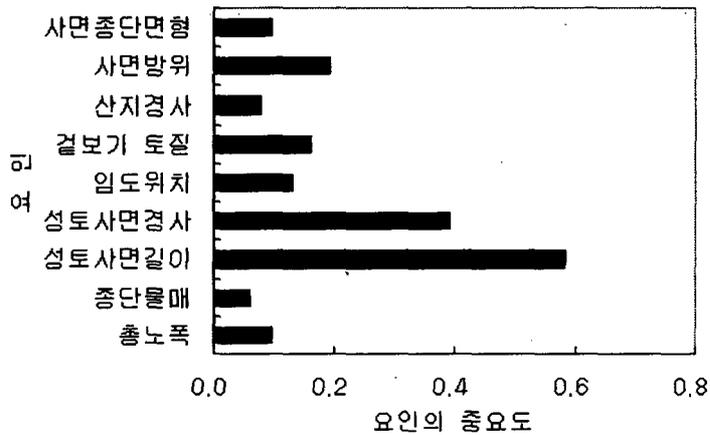
<그림 2-10> 계 속

사면방위 요인은 붕괴군의 경우, NE사면에서 19.5%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, SW사면에서 가장 낮은 4.9%의 출현빈도를 보이고 있다. 안정군의 경우는 S사면에서 14.9%의 가장 큰 출현빈도를 나타냈으며, E사면에서 8.5%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 E사면에서 0.81으로 가장 크게 나타났고, SW사면에서 가장 낮은 0.18으로 나타났다.

사면종단면형 요인은 붕괴군의 경우, 직선사면에서 52.1%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 요형사면에서 가장 낮은 11.2%의 출현빈도를 보였다. 또한 안정군의 경우는 직선사면에서 62.1%의 가장 크고, 철형사면에서 17.6%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 철형사면에서 0.90으로 가장 크게 나타났으며, 요형사면에서 0.32로 가장 낮게 나타났다.

또한 요인의 중요도는 붕괴발생과 밀접한 관련이 있는 요인에 주어지는 가중치로서 그 크기가 클수록 붕괴발생과 밀접한 관련이 있다. 요인의 중요도는 수량화Ⅱ류의 범위(Range)값을 이용하였으며, 산출결과는 <그림 2-11>과 같다. 그림에서와 같이 성토사면길이가 가장 크게 나타났고, 다음으로 성토사면경사, 사면방위, 겉보기 토질, 임도위치 순으로 나타났다.

이상과 같이 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겉보기토질, 임도위치 등 5개 요인은 붕괴위험도의 상대적인 값의 차이가 명확하여 붕괴발생 유무 판단이 용이하며, 요인의 중요도 또한 0.10이상으로 붕괴발생 유무에 밀접하게 관련된 요인으로 판단된다. 특히, 성토사면길이 요인은 붕괴유무에 밀접하게 관련이 있는 것으로 나타났다. 그러나 총노퍽, 종단물매, 산지경사, 사면종단면형 요인은 붕괴위험도의 기준 값을 0.5로 하여 각 요인의 Category의 붕괴위험도 상대적인 값의 차이가 명확하지 않고, 요인의 중요도 또한 매우 미미하여 붕괴발생 유무에 밀접한 관련이 없는 것으로 사료된다.



<그림 2-11> 임도 성토사면의 9개 요인의 중요도

나. 퍼지적분에 의한 임도 성토사면붕괴 예측

1) 임도 성토사면 붕괴발생요인 전체적용

λ 퍼지측도로 이용된 붕괴유무에 관여하는 요인에 대한 가중치인 중요도는 c값에 따라 비례적으로 감소시키거나, 증가시킬 수 있기 때문에 적절한 수준으로 조절하여 최적의 붕괴예측 모델을 구성할 수 있다. 퍼지적분값을 이용한 임도 성토사면 붕괴예측시 최적의 모델을 구성하기 위하여 c값을 0.55~0.95까지 변화시켰을 때 붕괴위험도의 변환값은 <표 2-15>와 같다.

<표 2-15> c값에 의한 임도 성토사면 9개 요인의 중요도 변환

요인	붕괴 위험도	c 값																		
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
총노폭	0.097	0.005	0.010	0.014	0.019	0.024	0.029	0.034	0.039	0.043	0.048	0.053	0.058	0.063	0.068	0.072	0.077	0.082	0.087	0.092
중단물때	0.060	0.003	0.006	0.009	0.012	0.015	0.018	0.021	0.024	0.027	0.030	0.033	0.036	0.039	0.042	0.045	0.048	0.051	0.054	0.057
성토사면길이	0.584	0.029	0.058	0.088	0.117	0.146	0.175	0.204	0.233	0.263	0.292	0.321	0.350	0.379	0.409	0.438	0.467	0.496	0.525	0.555
성토사면경사	0.393	0.020	0.039	0.059	0.079	0.098	0.118	0.138	0.157	0.177	0.196	0.216	0.236	0.255	0.275	0.295	0.314	0.334	0.354	0.373
임도위치	0.130	0.006	0.013	0.019	0.026	0.032	0.039	0.045	0.052	0.058	0.065	0.071	0.078	0.084	0.091	0.097	0.104	0.110	0.117	0.123
겉보기 토질	0.163	0.008	0.016	0.024	0.033	0.041	0.049	0.057	0.065	0.073	0.082	0.090	0.098	0.106	0.114	0.122	0.131	0.139	0.147	0.155
산지경사	0.080	0.004	0.008	0.012	0.016	0.020	0.024	0.028	0.032	0.036	0.040	0.044	0.048	0.052	0.056	0.060	0.064	0.068	0.072	0.076
사면방위	0.194	0.010	0.019	0.029	0.039	0.049	0.058	0.068	0.078	0.087	0.097	0.107	0.116	0.126	0.136	0.146	0.155	0.165	0.175	0.184
사면중단면형	0.096	0.005	0.010	0.014	0.019	0.024	0.029	0.034	0.038	0.043	0.048	0.053	0.057	0.062	0.067	0.072	0.077	0.081	0.086	0.091
합계	1.795	0.090	0.180	0.269	0.359	0.449	0.539	0.628	0.718	0.808	0.898	0.987	1.077	1.167	1.257	1.346	1.436	1.526	1.616	1.706

c값에 따라 각 요인의 붕괴위험도의 값이 최소 0.090~1.706까지 변화하는 것으로 나타났으며, 이때의 붕괴위험도의 합이 1이 아닐 경우, c값에 따라 결정된 요인의 중요도의 결합으로부터 λ 퍼지측도를 산출하였다. 그리고 안정군과 붕괴군의 실측치와 퍼지적분값의 결과치로 재분류하여 상대빈도율의 비가 퍼지적분값 0.5를 기준으로 1이상이고, 이때의 예측적중률이 최대가 되는 c값과 λ 값을 결정하여 최적의 모델을 결정하였다. 이러한 방법은 綱木 등(1990), 吉村 등(1995, 1996), 車斗松과 池炳潤(2000)은 퍼지적분값 0에서 1의 값에 대한 명확한 의미의 붕괴판정기준을 제시하고 있지 못하나, 본 연구에서는 c값에 변화에 의한 λ 값을 적용함으로써 퍼지적분값 0.5의 명확

한 의미를 부여하였다. 즉, 퍼지적분값의 0.5의 수치적 의미는 붕괴발생 가능성이 0.5라는 것으로서 붕괴판정유무가 매우 모호한 상태를 나타내며, 0.5를 기준으로 그 이상은 붕괴 가능성이 있고, 그 이하는 안정한 것으로 볼 수 있다. 즉, 퍼지적분값이 0.7이라면 붕괴가능성이 최소 0, 최대 1까지중 0.7만큼의 붕괴가능성이 있는 것이다. 따라서 0.5를 기준으로 0에 가까울수록 붕괴가능성이 적어지며, 1에 가까울수록 붕괴가능성은 커진다는 것을 의미한다.

λ 퍼지측도의 결정방법으로 우선 c 값에 따라 결정된 요인의 중요도의 합은 1, 즉 $g \lambda(X) = 1$ 이라는 조건으로부터 구할 수 있다. 여기서 λ 값은 요인의 중요도의 합의 값이 1을 초과할 경우 열가법성을 띠게 되고, 1일 경우 가법성 그리고 1미만일 경우 우가법성을 갖는다. 여기서 c 값을 낮게 정하면 전체 퍼지적분값의 평균이 감소하게 되고, c 값을 크게 정하면 전체 퍼지적분값의 평균이 증가하게 된다.

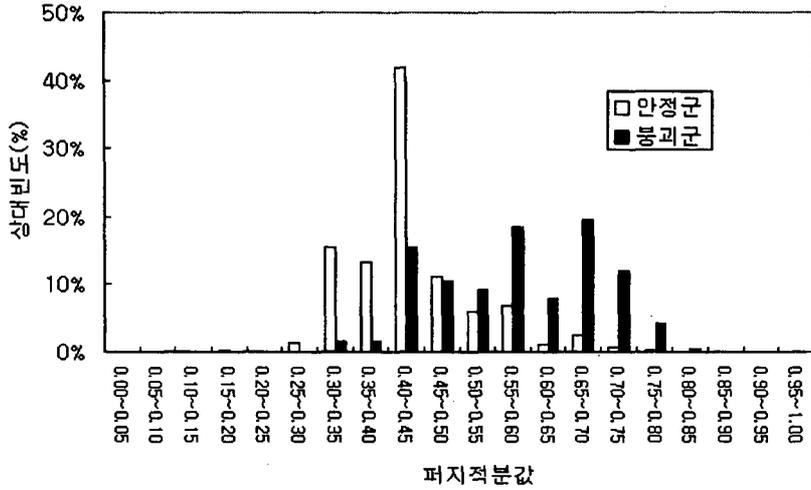
이와 같은 방법으로 c 값의 변화에 따른 λ 값의 결정은 <표 2-16>에서와 같이 c 값을 0.05에서 0.95까지 변화시키면서 산출하였다. 각각의 c 값을 변화시키면서 산출한 λ 값은 1원 8차방정식의 합이 1이라는 조건으로부터 구하였으며, c 값이 0.55이하는 우가법적, 0.60이상에서는 열가법적으로 나타났다.

<표 2-16> 임도 성토사면 9개 요인의 c값적용에 따른 λ 값의 결정

c 값	λ 의 계수값									λ 값
	상수	λ	λ^2	λ^3	λ^4	λ^5	λ^6	λ^7	λ^8	
0.05	0.069764	0.221406	0.293768	0.23368	0.116651	0.036808	0.007118	0.000769	3.54E-05	67.64755
0.10	0.179528	0.308493	0.285159	0.158027	0.054957	0.012081	0.001628	0.000122	3.93E-06	23.56397
0.15	0.269292	0.350406	0.245271	0.102926	0.027105	0.004512	0.00046	2.62E-05	6.38E-07	11.89574
0.20	0.359056	0.363412	0.197862	0.064585	0.013230	0.001713	0.000136	6.02E-06	1.14E-07	6.93971
0.25	0.448820	0.354898	0.150960	0.038497	0.006161	0.000623	3.86E-05	1.34E-06	1.98E-08	4.33737
0.30	0.538584	0.329084	0.108165	0.021314	0.002636	0.000206	9.87E-06	2.64E-07	3.02E-09	2.79297
0.35	0.628348	0.288688	0.071349	0.010572	0.000983	5.78E-05	2.08E-06	4.19E-08	3.59E-10	1.80010
0.40	0.718113	0.235602	0.041581	0.004400	0.000292	1.23E-05	3.15E-07	4.53E-09	2.78E-11	1.12477
0.45	0.807877	0.171212	0.019519	0.001334	5.72E-05	1.55E-06	2.58E-08	2.39E-10	9.47E-13	0.64582
0.50	0.897641	0.096572	0.005589	0.000194	4.22E-06	5.81E-08	4.9E-10	2.31E-12	4.64E-15	0.29506
0.55	0.987405	0.012510	8.53E-05	3.48E-07	8.93E-10	1.45E-12	1.44E-15	7.98E-19	1.89E-22	0.03159
0.60	1.077169	0.080314	0.003221	7.75E-05	1.17E-06	1.11E-08	6.52E-11	2.13E-13	2.96E-16	0.17041
0.65	1.166933	0.181358	0.015162	0.000760	2.39E-05	4.75E-07	5.79E-09	3.94E-11	1.14E-13	-0.32788
0.70	1.256697	0.290179	0.036044	0.002684	0.000125	3.71E-06	6.71E-08	6.78E-10	2.93E-12	-0.45235
0.75	1.346461	0.406400	0.065984	0.006423	0.000392	1.51E-05	3.59E-07	4.74E-09	2.67E-11	-0.55187
0.80	1.436225	0.529710	0.105095	0.012500	0.000933	4.4E-05	1.27E-06	2.06E-08	1.42E-10	-0.63221
0.85	1.525989	0.659840	0.153480	0.021403	0.001873	0.000104	3.51E-06	6.65E-08	5.37E-10	-0.69759
0.90	1.615753	0.796562	0.211248	0.033587	0.003351	0.000211	8.17E-06	1.76E-07	1.62E-09	-0.75117
0.95	1.705517	0.939681	0.278505	0.049487	0.005518	0.000389	1.68E-05	4.05E-07	4.17E-09	-0.79531

퍼지적분값에 대한 붕괴군과 안정군의 상대빈도는 <그림 2-12>와 같고, 예측적중률은 <표 2-17>과 같다. 9개 요인 모두를 적용하였을 때의 최적의 모델은 c 값을 0.60, λ 값을 우가법적인 0.17041을 적용한 경우로 나타났으며, 그림에서 볼 수 있듯이 안정군에 대한 붕괴군의 상대적인 비가 0.5에서 붕괴군과 안정군의 상대빈도율의 비가 1이상으로 나타났고, 최소 0.15에서 0.90까지의 분포를 보이고 있었다. 또한 이때의 퍼지적분값에 의한 분석결과 붕괴군의 평균은 0.580이었고, 안정군의 평균은 0.428로 나타났다.

이상과 같이 임도성토사면의 붕괴유무 예측치를 이용하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 예측치로 재분류한 결과, 오분류율은 <표 2-17>와 같이 붕괴군의 경우 총 267개소중 77개가 오분류되어 오분류율은 28.8%로 산출되었다. 안정군의 경우는 총 552개소중 93개소가 오분류되어 16.8%의 오분류율을 나타내, 전체적인 예측적중률은 79.2%로 나타났다. 이와 같은 수준은 <표 2-9>의 수량화Ⅱ류의 판별적중율 80.5%와 비교할 때 거의 같은 수준인 것으로 나타났다. 그러나 수량화Ⅱ류에 의한 붕괴유무의 판별은 그 위험 정도의 구분이 어렵지만, 퍼지적분에 의한 붕괴예측은 0부터 1까지의 실수값으로 제시되기 때문에 비전문가에 의한 사면붕괴 예측시 붕괴가능성에 대한 의미전달이 명확한 장점이 있다.



<그림 2-12> 임도 성토사면의 9개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프

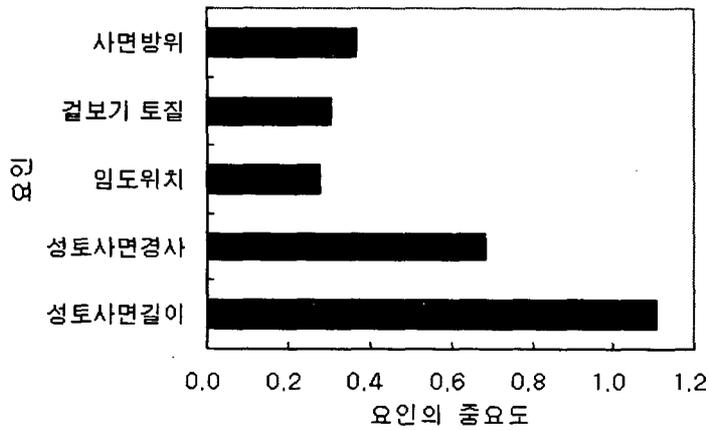
<표 2-17> 임도 성토사면의 9개 요인을 적용시 퍼지적분값에 의한 붕괴유무 예측 Corss표

	붕괴군	안정군	예측적중율
붕괴군으로 예측	190(71.2%)	93(16.8%)	649(79.2%)
안정군으로 예측	77(28.8%)	459(83.2%)	
합계	267(100.0%)	552(100%)	819(100%)

2) 임도 성토사면의 붕괴발생요인 축소적용

붕괴위험 예측을 실시하는데 적절한 수준의 요인의 수를 채택하여 예측 적중률이 동등한 수준이거나 또는 높일 수 있다면, 요인의 수를 적절히 축소시킴으로서 임도붕괴 예측을 위한 현장조사시 시간과 경비를 절감할 수 있을 것이다. 그리고 임도사면 붕괴예측은 붕괴위험도의 상대적 차이가 클수록, 요인의 중요도 값이 클수록 붕괴유무판정을 명확하게 실시할 수 있다. 따라서 수량화II류의 붕괴요인 평가에서 붕괴발생과 밀접한 관련이 있는 성토사면길이, 성토사면경사, 임도위치, 겹보기 토질, 사면방위 등 5요인으로 축소하여 퍼지적분을 실시하였다.

요인의 수를 축소하여 (1-19)식에 의하여 재산출한 요인의 중요도는 <그림 2-13>과 같다. 성토사면길이(1.12)가 가장 크게 나타났고, 성토사면경사(0.68), 사면방위(0.37), 겹보기 토질(0.31), 임도위치(0.28)순으로 나타났다. 이러한 요인의 중요도는 전체요인에서 나타난 결과와 같은 경향을 나타내고 있으며, 그 값이 클수록 붕괴에 미치는 영향이 크게 된다. 따라서 요인전체의 경우와 마찬가지로 성토사면길이 및 성토사면경사와 같은 임도의 구조적 영향이 임도사면의 붕괴발생과 가장 밀접하게 관련되어 있는 요인으로 나타났다.



<그림 2-13> 임도 성토사면의 5개 요인의 중요도

또한 퍼지적분값이 0.5수준에서 명확한 붕괴판정과 붕괴유무의 예측적중률이 가장 높은 경우의 λ 값을 결정하기 위해 적용한 c값은 퍼지적분의 경우 요인의 중요도의 값이 1을 초과해서는 안되기 때문에 0.95의 c값은 적용이 곤란하여 0.05~0.90까지 변화시켜 보았다. 그 결과는 <표 2-18>와 같다. c값의 변화에 따라 요인의 중요도 합의 값은 0.137~2.470까지 변화하는 것으로 나타났다.

또한 c값에 의한 λ 퍼지측도는 c값을 0.05~0.90까지 변화시키면서 산출하였고, 1원 3차방정식의 λ 계수값과 λ 값은 <표 2-19>와 같다. c값이 0.35까지는 우가법적으로 나타났고, c값이 0.40이상에서는 열가법적으로 나타났다. 이에 따라 λ 값은 최소 -0.99955에서 최대 -0.99, 최대 45.86041까지의 변화를 보이고 있었다.

<표 2-18> c값에 의한 임도 성토사면 5개 요인의 중요도 변환

요인	요인	c 값																	
	중요도	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90
성토사면길이	1.108	0.055	0.111	0.166	0.222	0.277	0.332	0.388	0.443	0.499	0.554	0.609	0.665	0.720	0.776	0.831	0.886	0.942	0.997
성토사면경사	0.680	0.034	0.068	0.102	0.136	0.170	0.204	0.238	0.272	0.306	0.340	0.374	0.408	0.442	0.476	0.510	0.544	0.578	0.612
임도위치	0.281	0.014	0.028	0.042	0.056	0.070	0.084	0.098	0.112	0.126	0.140	0.154	0.168	0.182	0.196	0.210	0.224	0.239	0.253
결보기 토질	0.307	0.015	0.031	0.046	0.061	0.077	0.092	0.107	0.123	0.138	0.153	0.169	0.184	0.199	0.215	0.230	0.245	0.261	0.276
사면방위	0.369	0.018	0.037	0.055	0.074	0.092	0.111	0.129	0.148	0.166	0.185	0.203	0.221	0.240	0.258	0.277	0.295	0.314	0.332
합 계	2.745	0.137	0.274	0.412	0.549	0.686	0.823	0.961	1.098	1.235	1.372	1.510	1.647	1.784	1.921	2.059	2.196	2.333	2.470

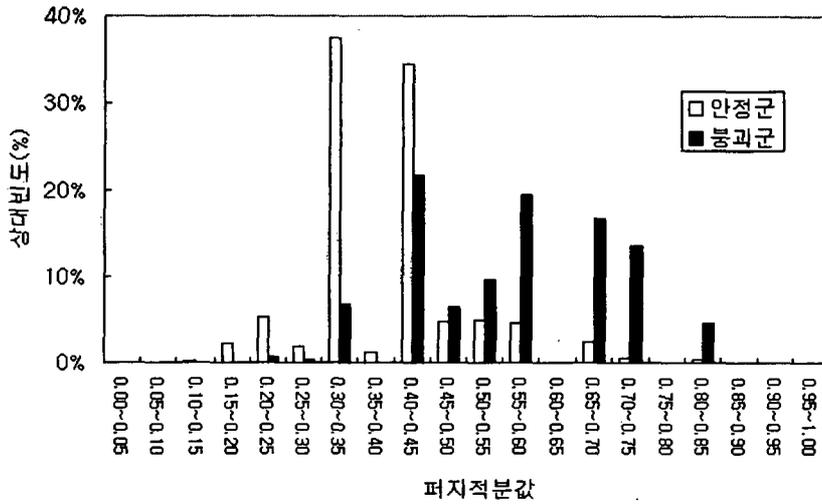
<표 2-19> 임도 성토사면 5개 요인의 c값적용에 따른 λ 값의 결정

c 값	λ 의 계수					λ 값
	상수	λ	λ ²	λ ³	λ ⁴	
0.05	0.13725	0.31730	0.340380	0.171945	0.033122	45.86041
0.10	0.27450	0.38640	0.252376	0.077625	0.009104	13.96159
0.15	0.41175	0.38474	0.166808	0.034057	0.002652	6.17849
0.20	0.54900	0.33965	0.097499	0.013180	0.000679	3.06808
0.25	0.68624	0.26296	0.046755	0.003915	0.000125	1.52024
0.30	0.82349	0.16122	0.014646	0.000627	1.02E-05	0.64727
0.35	0.96074	0.03853	0.000717	6.29E-06	2.1E-08	0.11366
0.40	1.09799	0.10233	0.004425	9.01E-05	7E-07	-0.23108
0.45	1.23524	0.25937	0.02527	0.001159	2.03E-05	-0.46280
0.50	2.47048	1.39685	0.366468	0.045275	0.002133	-0.62311
0.55	1.50974	0.61647	0.116800	0.010421	0.000355	-0.73636
0.60	1.64699	0.81454	0.186918	0.020199	0.000832	-0.81754
0.65	1.78423	1.02465	0.273033	0.034261	0.001639	-0.87629
0.70	1.92148	1.24626	0.375061	0.053154	0.002872	-0.91900
0.75	2.05873	1.47897	0.492988	0.077384	0.004632	-0.95003
0.80	2.19598	1.72243	0.626867	0.107435	0.007021	-0.97244
0.85	2.33323	1.97641	0.776811	0.143778	0.010148	-0.98842
0.90	2.47048	2.24072	0.942998	0.186885	0.014123	-0.99955

c값을 0.30, λ 값을 우가법적인 0.647275를 적용했을 때의 퍼지적분값에 대한 붕괴군과 안정군의 상대빈도는 <그림 2-14>와 같이 안정군에 대한 붕괴군의 상대적인 비가 1이상인 점이 0.50에서 결정되어 적절한 판정이 기대되며, 이때의 안정군의 평균은 0.4274, 붕괴군의 평균은 0.6352로 나타났다.

5개 요인을 적용하여 실시한 임도 성토사면 붕괴유무 예측정도를 살펴보기 위하여, 퍼지적분과 수량화Ⅱ류에 의한 임도성토사면의 붕괴유무 예측치를 산출하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 예측치로 재분류한 결과는 <표 2-20>와 같다. 퍼지적분의 예측 오분류율은 붕괴군의 경우 총 267개소중 96개가 오분류되어 오분류율은 36.0%이며, 안정군의 경우는 총 552개소중 70개소가 오분류되어 12.7%의 오분류율을 나타내, 전체적인 예측적중률은 79.7%로 나타났고, 수량화Ⅱ류의 판별 오분류율은 붕괴군의 경우 총 267개소중 56개가 오분류되어 오분류율은 21.0%였고, 안정군의 경우는 총 552개소중 119개소가 오분류되어 21.6%의 오분류율을 나타내 전체적인 판별적중률은 78.6%로 나타났다. 이상과 같이 퍼지적분에 의한 붕괴유무 예측적중율은 안정군의 예측에 보다 높은 적중율을 보이고 있고, 전체 예측적중율에 있어서 다소 높게 나타났다. 또한 요인의 수를 적절하게 줄여 붕괴예측을 실시할 경우, 수량화Ⅱ류는 다소 적중율이 떨어지나, 퍼지적분에 의한 예측적중율은 다소 높아지는 경향을 나타내고 있었다. 일반적으로 수량화Ⅱ류에 의한 판별은 요인의 수가 많을수록 높은 적중율을 보이는 것으로 보고되고 있다.

이상과 같은 결과에서 c값은 0.30이고, λ 값은 우가법적인 0.647275인 경우가 퍼지적분값 0.5를 기준으로 명확한 붕괴유무의 예측이 가능한 모델로 결정할 수 있으며, 예측적중률 또한 요인 전체를 적용한 경우와 유사한 것으로 나타났다.



<그림 2-14> 임도 성토사면의 5개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프

<표 2-20> 임도 성토사면의 5개 요인을 적용시 붕괴유무예측 Corss표

예측모델	붕괴예측	붕괴군	안정군	예측적중율
퍼지적분	붕괴군으로 예측	171(64.0%)	70(12.7%)	653(79.7%)
	안정군으로 예측	96(36.0%)	482(87.3%)	
수량화Ⅱ류	붕괴군으로 판별	211(79.0%)	119(21.6%)	644(78.6%)
	안정군으로 판별	56(21.0%)	433(78.4%)	
합계	합계	267(100.0%)	552(100%)	819(100%)

따라서 최종적인 임도 성토사면의 붕괴예측을 위한 퍼지적분모델의 붕괴 위험도, 중요도 그리고 λ 값은 <표 2-21>와 같이 결정하였다. 그리고 이를

기준으로 임도 성토사면의 붕괴에 대한 퍼지 붕괴예측 프로그램을 개발하였고, 각 조사개소에 대하여 적용성 검토를 실시하였다.

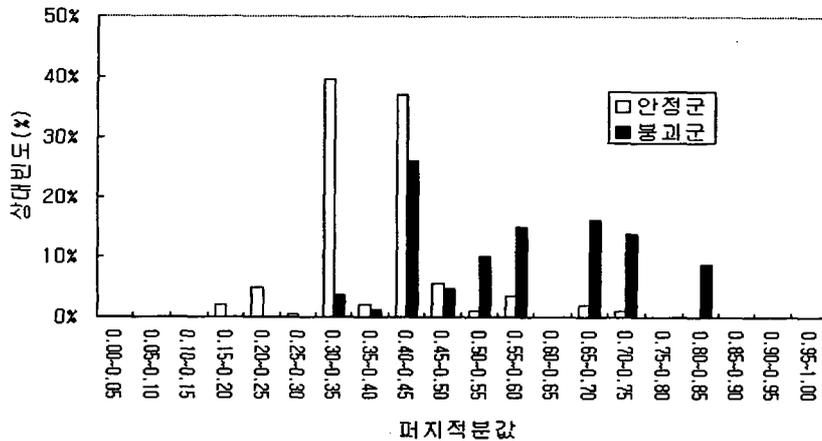
<표 2-21> 임도 성토사면의 5개 요인을 적용한 붕괴유무 예측시의 최적 붕괴예측모델의 특성치

요인	Category	붕괴위험도 $h(x_i)$	요인의 중요도 $g(H_i)$	λ 값
성토사면길이	< 4	0.0330	0.332	+0.647275
	4 ~ 6	0.1781		
	6 ~ 8	0.4184		
	8 ~ 10	1.0000		
	10 ~ 12	1.0000		
	12 <	1.0000		
성토사면경사	< 30	0.0000	0.204	
	30 ~ 35	0.1914		
	35 ~ 40	0.3030		
	40 <	1.0000		
임도위치	사면	0.4560	0.084	
	계곡	0.1370		
	능선	0.8804		
겉보기 토질	토사	0.5799	0.092	
	호박돌토사	0.1149		
	풍화암	0.9151		
	연암	0.6751		
	경암	0.3700		
사면방위	N	0.6689	0.111	
	NE	0.7466		
	E	0.8138		
	SE	0.5033		
	S	0.2269		
	SW	0.1841		
	W	0.4494		
	NW	0.5725		

다. 임도 성토사면 붕괴진단 모델의 적용성 검토

최적의 성토사면의 붕괴진단 모델은 <표 2-21>에서 제시된 성토사면경사, 사면방위, 겉보기 토질, 임도위치 등의 5가지 요인을 적용하여 개발한 모델이며, 이를 구성하고 있는 요인별 각각의 특성치인 요인의 붕괴위험도, 요인의 중요도 그리고 λ 퍼지측도를 이용하여 각 조사개소에 대해 붕괴예측 모델의 적용성 검토를 실시하였다.

임도 성토사면의 붕괴진단 모델의 적용성 검토는 강원도, 경기도, 경상북도 지역에서 획득한 전체자료의 25%인 272개소(붕괴지: 80개소, 안정지: 192개소)를 이용하였으며, 퍼지적분에 의한 예측적중율과 수량화II류의 상대점수를 이용한 붕괴판별적중율을 비교하여 보았다. 개발한 모델을 이용하여 적용성 검토지역의 붕괴발생 유무에 대한 현장 실측치를 퍼지적분에 의해 산출된 퍼지적분값으로 재분류한 상대빈도 그래프는 <그림 2-15>와 같다.



<그림 2-15> 임도 성토사면 붕괴예측 모델의 적용성 검토에 따른 퍼지적분값의 상대빈도 그래프

<그림 2-15>와 같이 퍼지적분에 의한 붕괴예측이 0.5를 기준으로 명확하게 안정군과 붕괴군이 차이를 보이고 있어 모델의 적합성이 우수한 것으로 나타났다. 또한 예측적중율은 <표 2-22>과 같고, 퍼지적분과 수량화Ⅱ류에 의한 예측결과를 비교할 때 퍼지적분에 의한 예측적중율은 붕괴군의 경우, 퍼지적분에 의한 예측은 63.8%, 수량화Ⅱ류에 의한 예측은 72.5%로 나타나, 안정군의 경우는 퍼지적분에 의한 예측은 92.2%, 수량화Ⅱ류에 의한 예측은 84.3%로 나타나, 퍼지적분을 통한 예측적중율이 높은 것으로 나타났다. 또한 전체적인 예측적중율은 퍼지적분에 의한 예측이 83.3%, 수량화Ⅱ류에 의한 예측이 80.9%로 퍼지이론에 의한 경우가 다소 높은 것으로 나타났다.

<표 2-22> 임도 성토사면 붕괴예측모델의 적용성 검토지역에 대한

붕괴유무예측 Corss표

예측모델	붕괴예측	붕괴군	안정군	판별적중율
퍼지적분	붕괴군으로 진단	51(63.8%)	15(7.8%)	228(83.8%)
	안정군으로 진단	29(36.2%)	177(92.2%)	
수량화Ⅱ류	붕괴군으로 진단	58(72.5%)	30(84.4%)	220(80.9%)
	안정군으로 진단	22(27.5%)	162(84.3%)	
합계	합계	80(100.0%)	192(100%)	272(100%)

이상과 같이 비선형적 모델인 퍼지이론에 의한 임도성토사면의 붕괴예측은 기존의 사면붕괴의 평가 및 예측에 이용되고 있는 방법들의 문제점인 지역성, 표본수 및 공선성의 문제점들을 다소 극복할 수 있으며, 임도의 붕괴가능성 평가시에 붕괴가능성을 0~1사이의 값으로 표현하기 때문에 임도성토사면의 보수 및 유지관리사 예산 및 장비 등을 감안하여 평가자의 주관에

따라 그 기준을 유동적으로 사용할 수 있다.

2. 임도 절토사면의 붕괴예측 모델개발

임도 절토사면의 붕괴예측 모델을 개발하기 위하여 수량화Ⅱ류에서 이용한 데이터와 동일하게 총 조사개소수 총 919개소 중 전체자료의 75%인 690개소 (붕괴지: 141개소, 안정지: 549개소)를 이용하여 평가를 실시하였다.

가. 임도 절토사면의 붕괴위험도 및 중요도

임도 절토사면의 붕괴유무에 관여하는 요인을 붕괴군과 안정군으로 구분하여 상대빈도율(%) 및 이에 따른 붕괴위험도를 산출한 결과는 <그림 2-16>와 같다.

임도위치 요인의 붕괴군과 안정군의 출현빈도는 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 사면부가 46.1%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 계곡부가 가장 낮은 18.4%의 출현빈도를 보이고 있었다. 안정군의 경우도 사면부가 39.9%이상의 가장 크고, 계곡부가 27.9%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 사면부가 0.58로 가장 크게 나타났으며, 계곡부가 가장 낮은 0.33으로 나타났다. 겉보기 토질 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 토사가 34.8%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 경암이 가장 낮은 9.9%의 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 안정군의 경우는 호박돌토사가 25.1%의 가장 컸고, 풍화암이 10.9%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 붕괴위험도는 토사가 0.76으로 가장 크게 나타났으며, 경암이 가장 낮은 0.29로 나타났다.

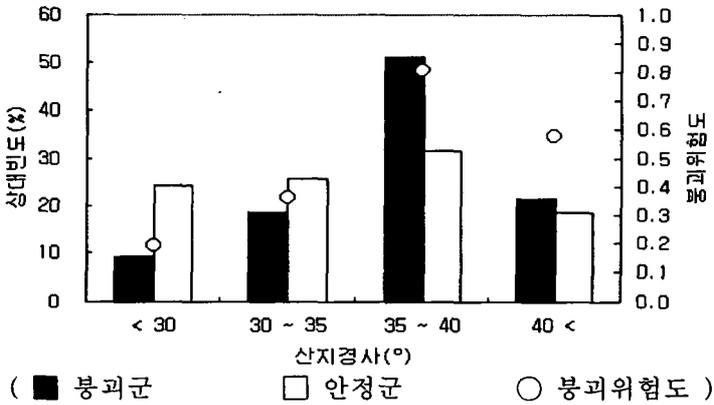
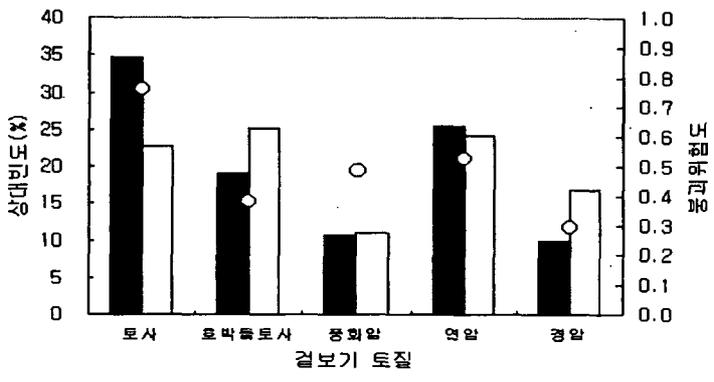
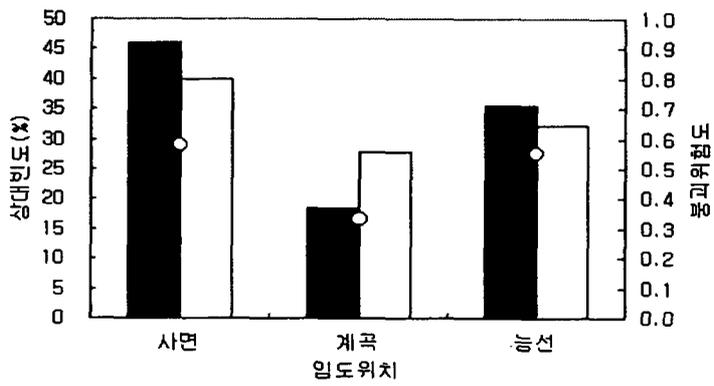
산지경사 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 35~40° 사이가 51.1%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 30° 미만이 가장 낮은 9.2%의 출현빈도를 보

이고 있다. 안정군의 경우는 35~40° 사이가 37.1%의 가장 컸고, 40° 이상에서 18.4%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 35~40° 사이가 0.81로 가장 높은 수치를 보이고 있으며, 30° 미만이 가장 낮은 0.19으로 나타났다.

사면방위 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 NW사면에서 19.1%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, S사면에서 가장 낮은 4.3%의 출현빈도를 보이고 있었다. 안정군의 경우는 SE사면에서 15.1%의 가장 큰 출현빈도를 보이고 있었고, E사면에서 8.4%로 가장 낮게 나타났다. 또한 붕괴위험도는 NW사면에서 0.83로 가장 크게 나타났으며, S사면에서 가장 낮은 0.15로 나타났다.

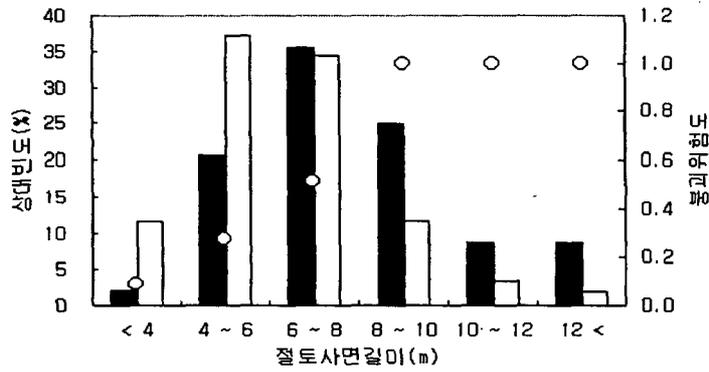
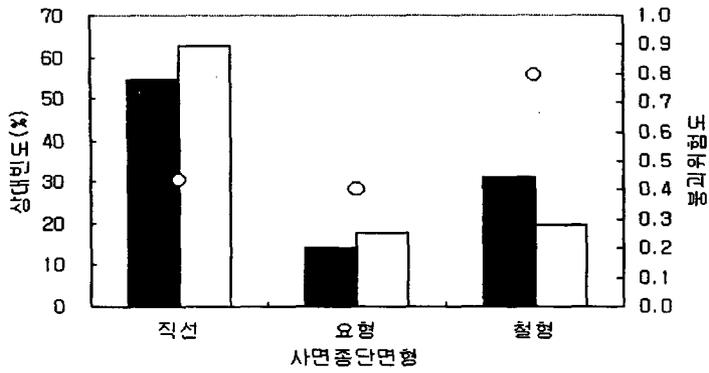
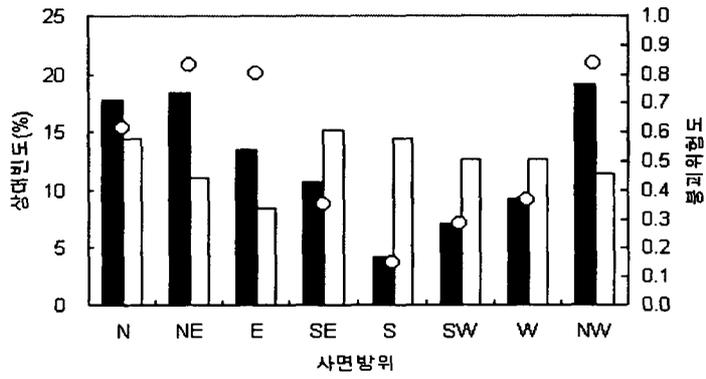
사면종단면형 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 직선형에서 54.6%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 요형이 가장 낮은 14.2%의 출현빈도를 보이고 있었다. 안정군의 경우는 직선형이 62.7%로 가장 높게 나타났고, 요형이 17.7%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 절형이 0.79으로 가장 크게 나타났으며, 요형이 0.40으로 가장 낮게 나타났다.

절토사면길이 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 6~8m사이에서 35.5%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 4m미만에서 가장 낮은 2.1%의 출현빈도를 보이고 있다. 안정군의 경우는 4~6m사이에서 37.2%의 가장 크게 나타났고, 12m이상에서 1.8%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 8m이상에서 1.00으로 가장 크게 나타났으며, 4m미만에서 가장 낮은 0.09로 좋은 대조를 보이고 있었다. 절토사면경사 요인은 붕괴군의 경우, 붕괴발생이 50~60° 사이에서 43.3%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 40° 미만이 가장 낮은 2.1%의 출현빈도를 보이고 있다. 안정군의 경우는 40~50° 사이에서 41.0%로 가장 큰 출현빈도를 보이고 있고, 40° 미만이 11.5%로 가장 낮게 나타났다. 또한 붕괴위험도는 60° 이상에서 0.73으로 가장 크게 나타났으며, 40° 미만에서 0.09으로 가장 낮게 나타났다.



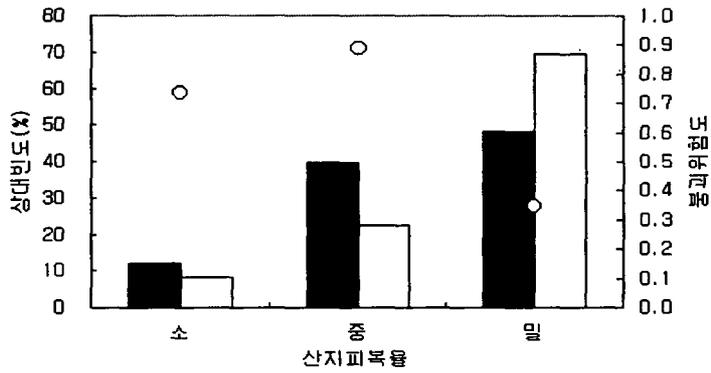
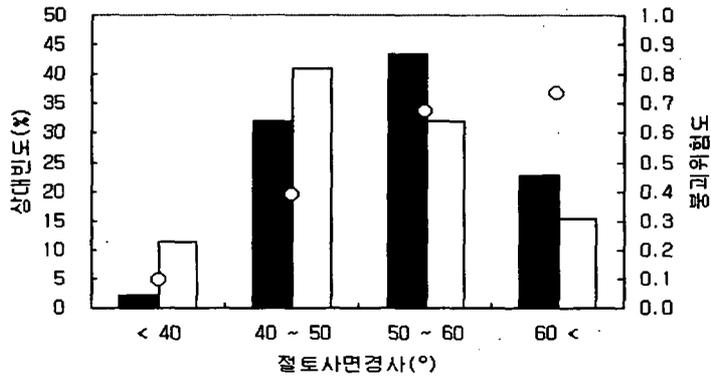
(■ 붕괴군 □ 안정군 ○ 붕괴위험도)

<그림 2-16> 임도 절토사면의 붕괴요인에 대한 붕괴군 및 안정군의 상대빈도와 붕괴위험도



(■ 붕괴군 □ 안정군 ○ 붕괴위험도)

<그림 2-16> 계 속



(■ 붕괴군 □ 안정군 ○ 붕괴위험도)

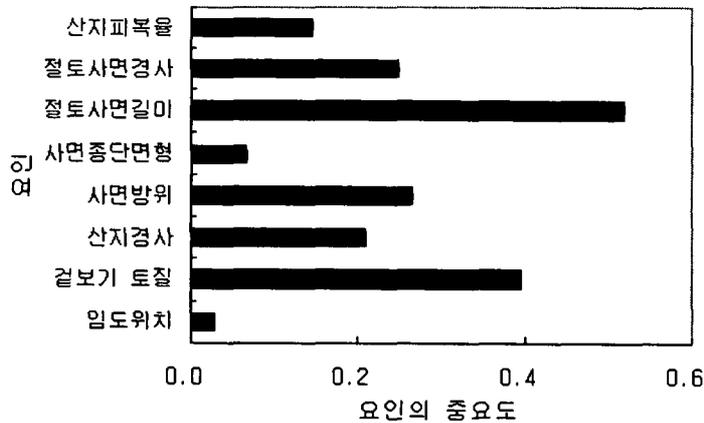
<그림 2-16> 계 속

산지피복률 요인은 붕괴군의 경우, 밀한 상태가 48.2%로 가장 큰 출현빈도를 보인 반면, 소한 상태가 가장 낮은 12.1%의 출현빈도를 보이고 있다. 안정군의 경우 역시 밀한 상태가 69.4%의 가장 컸고, 소한 상태가 8.2%로 가장 낮은 출현빈도를 보이고 있었다. 또한 붕괴위험도는 중의 경우가 0.89으로 가장 크게 나타났으며, 밀한 상태가 가장 낮은 0.35로 나타났다.

이상과 같이 붕괴위험도는 각 Category에 대한 안정군과 붕괴군의 상대빈도율의 비가 크면 클수록 붕괴위험이 크다고 할 수 있으며, 붕괴위험도의 최대치와 최소치의 차이가 클수록 붕괴유무를 명확하게 예측하는데 효과적이라 할 수 있다.

요인의 중요도의 산출결과는 <그림 2-17>과 같다. 절토사면길이 요인이 붕괴발생과 가장 밀접하게 관련된 요인으로 나타났고, 다음으로 겉보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등의 요인이 붕괴유무와 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다.

그러나 임도위치, 사면종단면형, 산지피복율은 요인의 중요도가 매우 미미하여 붕괴발생 유무에 밀접한 관련이 없는 것으로 보여지며, 겉보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 요인은 붕괴위험도의 상대적인 값의 차이가 보다 명확하고, 요인의 중요도도 0.20이상으로 붕괴발생 유무에 밀접하게 관여하는 요인으로 판단된다.



<그림 2-17> 임도 절토사면의 8개 요인의 중요도

나. 퍼지적분에 의한 임도 절토사면 붕괴예측

1) 임도 절토사면 붕괴발생요인 전체적용

퍼지적분값이 0.5수준에서 붕괴유무의 예측적중률이 가장 높은 경우의 λ 값을 결정하여 위해 적용한 c값의 변화에 따른 요인의 중요도는 <표 2-23>과 같다. c값의 변화에 따라 요인의 중요도의 합이 0.093~1.775까지 변화하는 것으로 나타났다.

c값에 의한 중요도의 λ 값은 c값을 0.05~0.95까지 19단계로 변화시키면서 산출하였고, 그에 따른 λ 값의 산출결과는 <표 2-24>와 같다. c값이 0.50이하에서는 우가법적인 것으로 나타났고, 0.55이상에서는 열가법적인 것으로 나타났다.

<표 2-23> c값에 의한 임도 절토사면 8개 요인의 중요도 변환

요인	요인의 중요도	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
임도위치	0.027	0.001	0.003	0.004	0.005	0.007	0.008	0.010	0.011	0.012	0.014	0.015	0.016	0.018	0.019	0.021	0.022	0.023	0.025	0.026
겉보기 토질	0.396	0.020	0.040	0.059	0.079	0.099	0.119	0.139	0.158	0.178	0.198	0.218	0.238	0.257	0.277	0.297	0.317	0.336	0.356	0.376
산지경사	0.206	0.010	0.021	0.031	0.041	0.052	0.062	0.072	0.083	0.093	0.103	0.114	0.124	0.134	0.144	0.155	0.165	0.175	0.186	0.196
사면방위	0.263	0.013	0.026	0.039	0.053	0.066	0.079	0.092	0.105	0.118	0.132	0.145	0.158	0.171	0.184	0.197	0.210	0.224	0.237	0.250
사면종단면형	0.065	0.003	0.007	0.010	0.013	0.016	0.020	0.023	0.026	0.029	0.033	0.037	0.039	0.042	0.046	0.049	0.052	0.055	0.059	0.062
절토사면길이	0.519	0.026	0.052	0.078	0.104	0.130	0.156	0.182	0.208	0.234	0.260	0.286	0.312	0.338	0.364	0.390	0.416	0.442	0.468	0.493
절토사면경사	0.246	0.012	0.025	0.037	0.049	0.061	0.074	0.086	0.098	0.111	0.123	0.135	0.147	0.160	0.172	0.184	0.197	0.209	0.221	0.234
산지파복울	0.145	0.007	0.014	0.022	0.029	0.036	0.043	0.051	0.058	0.065	0.072	0.080	0.087	0.094	0.101	0.109	0.116	0.123	0.130	0.138
합 계	1.868	0.093	0.187	0.280	0.374	0.467	0.560	0.654	0.747	0.841	0.934	1.027	1.121	1.214	1.308	1.401	1.494	1.588	1.681	1.775

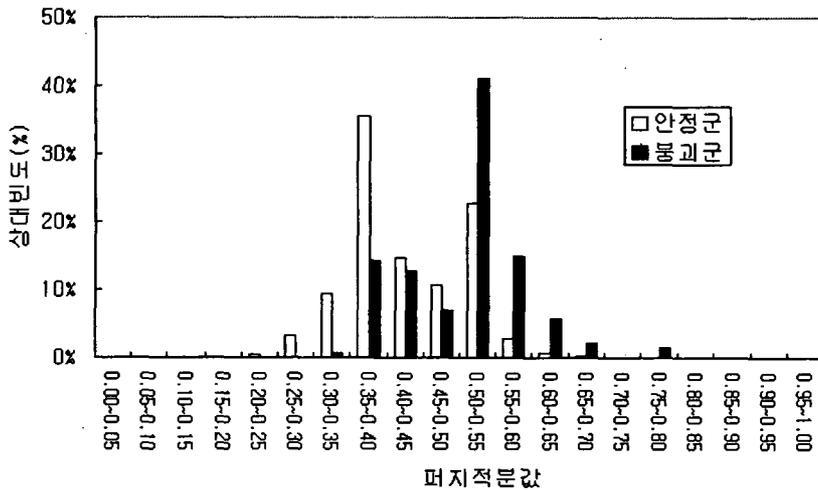
<표 2-24> 임도 절토사면 8개 요인의 c값적용에 따른 λ값의 결정

c값	λ의 계수								λ값
	상수	λ	λ ²	λ ³	λ ⁴	λ ²	λ ³	λ ⁴	
0.05	0.093404	0.231885	0.306815	0.234472	0.104390	0.025794	0.003107	0.000133	64.74966
0.10	0.186808	0.318175	0.288825	0.151431	0.046254	0.007841	0.000648	1.9E-05	22.21117
0.15	0.280212	0.357192	0.242669	0.095222	0.021768	0.002762	0.000171	3.74E-06	11.08217
0.20	0.373616	0.366195	0.191292	0.057715	0.010145	0.000990	4.71E-05	7.93E-07	6.390828
0.25	0.467021	0.352932	0.142149	0.033068	0.004481	0.000337	1.24E-05	1.61E-07	3.941993
0.30	0.560425	0.321794	0.098477	0.017406	0.001792	0.000102	2.85E-06	2.82E-08	2.495977
0.35	0.653829	0.275593	0.061912	0.008033	0.000607	2.55E-05	5.21E-07	3.78E-09	1.570500
0.40	0.747233	0.216274	0.033362	0.002972	0.000154	4.44E-06	6.24E-08	3.11E-10	0.943604
0.45	0.840637	0.145253	0.013376	0.000711	2.20E-05	3.79E-07	3.18E-09	9.44E-12	0.500731
0.50	0.934041	0.063602	0.002308	4.84E-05	5.91E-07	4.00E-09	1.32E-11	1.55E-14	0.177597
0.55	1.027445	0.027844	0.000402	3.35E-06	1.63E-08	4.40E-11	5.78E-14	2.69E-17	-0.064256
0.60	1.120849	0.128420	0.007842	0.000277	5.68E-06	6.48E-08	3.60E-10	7.10E-13	-0.249021
0.65	1.214253	0.237589	0.024777	0.001492	5.24E-05	1.02E-06	9.68E-09	3.26E-11	-0.392559
0.70	1.307657	0.354910	0.051338	0.004289	0.000209	5.64E-06	7.43E-08	3.47E-10	-0.505623
0.75	1.401062	0.480017	0.087650	0.009244	0.000568	1.94E-05	3.22E-07	1.9E-09	-0.595716
0.80	1.494466	0.612606	0.133836	0.016888	0.001241	5.06E-05	1.01E-06	7.1E-09	-0.668200
0.85	1.587870	0.752421	0.190023	0.027718	0.002355	0.000111	2.55E-06	2.08E-08	-0.726990
0.90	1.681274	0.899248	0.256341	0.042205	0.004048	0.000216	5.59E-06	5.14E-08	-0.774996
0.95	1.774678	1.052905	0.332933	0.060804	0.006469	0.000382	1.1E-05	1.12E-07	-0.814417

붕괴발생 유무에 대한 현장 실측치를 퍼지적분에 의해 산출된 퍼지적분값으로 재분류한 결과는 <그림 2-18>과 같다. c값을 0.35, λ값을 우가법적인 1.570500 적용했을 때, 안정군에 대한 붕괴군의 상대적인 비가 1이상인 점이 0.50에서 결정되었고, 이때의 안정군의 평균은 0.428, 붕괴군의 평균은 0.505로 나타났다.

이상과 같이 임도 절토사면의 붕괴유무 예측치를 이용하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 예측치로 재분류한 결과, 오분류율은 <표 2-25>와 같이 붕괴군의 경우 총 141개소중 49개가 오분류되어 오분류율은 34.8%였고, 안정

군의 경우는 총 549개소중 144개소가 오분류되어 26.2%의 오분류율을 나타내 전체적인 예측적중률은 72.0%로 나타났다. 이와 같은 수준은 <표 2-14>의 수량화II류의 판별적중률 75.7%와 비교할 때 다소 낮은 수준으로 나타났다. 그러나 퍼지적분에 의한 붕괴예측은 0부터 1까지의 실수값으로 제시되기 때문에 비전문가에 의한 사면붕괴 예측시 보다 효과적이라 사료된다.



<그림 2-18> 임도 절토사면의 8개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프

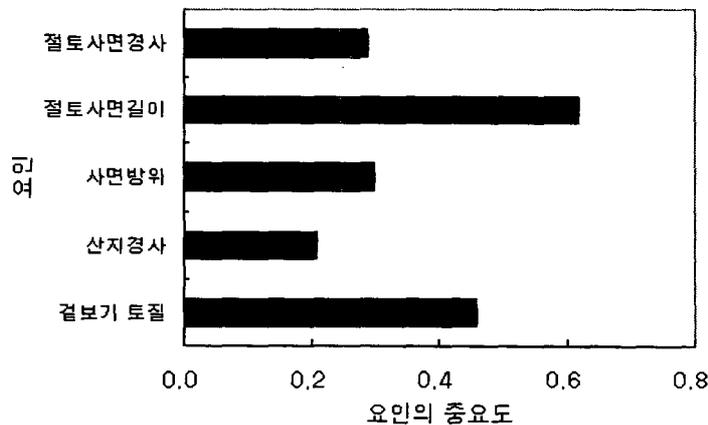
<표 2-25> 임도 절토사면의 8개 요인을 적용시 퍼지적분값에 의한 붕괴유무예측 Corss표

	붕괴군	안정군	예측적중률
붕괴군으로 예측	92(65.2%)	144(26.2%)	497(72.0%)
안정군으로 예측	49(34.8%)	405(73.8%)	
합계	141(100.0%)	549(100%)	690(100%)

2) 임도 절토사면의 붕괴발생요인 축소적용

임도 절토사면의 붕괴발생 요인의 수를 적절히 축소하여 수량화Ⅱ류의 결과를 토대로 임도 절토사면 붕괴예측을 재실시하였다. 즉, 임도 절토사면 붕괴발생과 밀접하게 관련이 있는 겉보기 토질, 산지경사, 사면방위, 절토사면길이, 절토사면경사 등 5요인으로 축소하여 퍼지적분에 의해 붕괴예측을 재실시하였다.

또한 축소된 요인에 의한 요인의 중요도는 식 (1-19)에 의해 재산출하였으며, 그 결과는 <그림 2-19>과 같다. 요인의 중요도는 절토사면길이가 0.62로 가장 크게 나타났고, 겉보기 토질(0.46), 사면방위(0.36), 절토사면경사(0.29), 산지경사(0.21) 순으로 산출되었으며, 전체요인에서 나타난 붕괴요인에 관여하는 중요도와 같은 순으로 나타났다.



<그림 2-19> 임도 절토사면의 5개 요인의 중요도

퍼지적분값이 0.5수준에서 붕괴유무의 예측적중률이 가장 높은 경우의 λ 값을 결정하여 위해 적용한 c값은 <표 2-26>과 같다. c값에 변화에 따라 요인의 중요도의 합이 0.093에서 1.776까지 변화하는 것으로 나타났다. 또한 c값에 의한 λ 값의 결정은 c값을 0.05에서 0.95까지 19단계로 변화시키면서 산출한 결과는 <표 2-27>과 같다. c값이 0.50이하에서는 우가법적인 것으로 나타났고, 0.55이상에서는 열가법적으로 나타났다.

<표 2-26> c값에 의한 임도 절토사면 5개 요인의 중요도 변환

요인	요인의 중요도	c 값																		
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
겉보기 토결	0.458	0.023	0.046	0.069	0.092	0.114	0.137	0.160	0.183	0.206	0.229	0.252	0.275	0.298	0.321	0.343	0.366	0.389	0.412	0.435
산지경사	0.209	0.010	0.021	0.031	0.042	0.052	0.063	0.073	0.084	0.094	0.104	0.115	0.125	0.136	0.146	0.157	0.167	0.178	0.188	0.199
사면방위	0.298	0.015	0.030	0.045	0.060	0.074	0.089	0.104	0.119	0.134	0.149	0.164	0.179	0.193	0.208	0.223	0.238	0.253	0.268	0.283
절토사면길이	0.618	0.031	0.062	0.093	0.124	0.155	0.185	0.216	0.247	0.278	0.309	0.340	0.371	0.402	0.433	0.464	0.494	0.525	0.556	0.587
절토사면경사	0.287	0.014	0.029	0.043	0.057	0.072	0.086	0.100	0.115	0.129	0.143	0.157	0.172	0.186	0.201	0.215	0.229	0.244	0.258	0.272
합 계	1.869	0.093	0.187	0.280	0.374	0.467	0.561	0.654	0.748	0.841	0.935	1.028	1.122	1.215	1.308	1.402	1.495	1.589	1.682	1.776

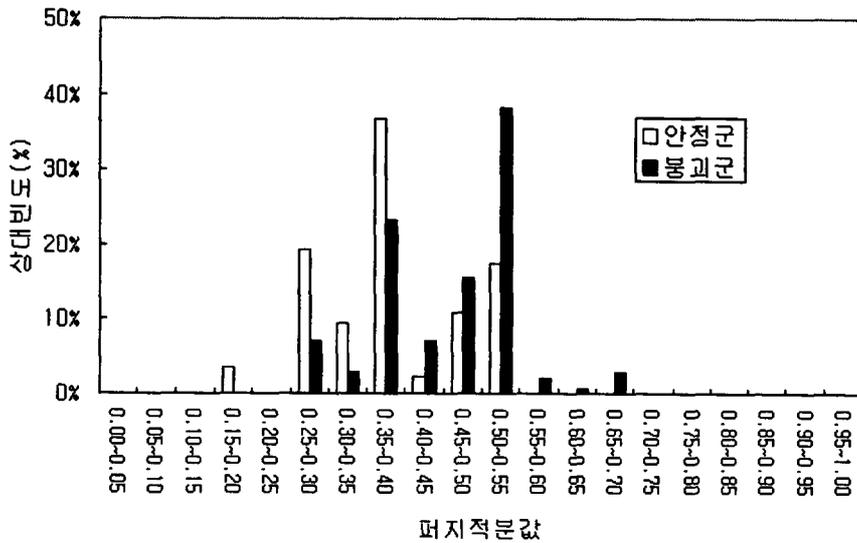
<표 2-27> 임도 절토사면 5개 요인의 c값적용에 따른 λ 값의 결정

c값	λ의 계수					λ 값
	상수	λ	λ ²	λ ³	λ ⁴	
0.05	0.09346	0.26222	0.35442	0.23140	0.05850	78.04025
0.10	0.18693	0.34683	0.31001	0.13385	0.02238	25.80499
0.15	0.18693	0.16943	0.07399	0.01561	0.00127	12.60630
0.20	0.37386	0.38505	0.19105	0.04579	0.00425	7.16220
0.25	0.46732	0.36683	0.13872	0.02534	0.00179	4.36690
0.30	0.56078	0.33128	0.09428	0.01296	0.00069	2.73871
0.35	0.65425	0.28139	0.05830	0.00584	0.00023	1.70906
0.40	0.74771	0.21917	0.03095	0.00211	5.58E-05	1.01918
0.45	0.84118	0.14610	0.01222	0.00049	7.73E-06	0.53679
0.50	0.93464	0.06326	0.00206	3.25E-05	1.98E-07	0.18828
0.55	1.02810	0.02848	0.00038	2.45E-06	6.12E-09	-0.07005
0.60	1.12157	0.12847	0.00709	0.00019	1.95E-06	-0.26552
0.65	1.21503	0.23616	0.02211	0.00100	1.75E-05	-0.41589
0.70	1.30850	0.35112	0.04539	0.00283	6.85E-05	-0.53315
0.75	1.40196	0.47298	0.07687	0.00604	0.00018	-0.62562
0.80	1.49542	0.60145	0.11653	0.01091	0.00040	-0.69921
0.85	1.58889	0.73627	0.16436	0.01772	0.00074	-0.75820
0.90	1.68235	0.87723	0.22036	0.02674	0.00126	-0.80578
0.95	1.77582	1.02417	0.28455	0.03819	0.00198	-0.84433

붕괴발생 유무에 대한 현장 실측치를 퍼지적분에 의해 산출된 퍼지적분값으로 재분류한 결과는 <그림 2-20>와 같이 c 값을 0.20, λ 값을 우가법적인 7.16220 적용했을 때, 안정군에 대한 붕괴군의 상대적인 비가 1이상인 점이 0.50에서 결정되었고, 이때의 안정군의 평균은 0.385, 붕괴군의 평균은 0.461로 나타났다.

5개 요인을 적용하여 실시한 임도 절토사면 붕괴유무 예측정도를 살펴보기 위하여 퍼지적분과 수량화Ⅱ류에 의한 임도 절토사면의 붕괴유무 예측치를 이용하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 예측치로 재분류한 결과는 <표 2-28>와 같다. 퍼지적분의 예측 오분류율은 붕괴군의 경우 총 141개소중 79개가 오분류되어 오분류율은 56.0%였고, 안정군의 경우는 총 549개소중 96개소가 오분류되어 17.5%의 오분류율을 나타내, 전체적인 예측적중률은 74.6%로 나타났고, 수량화Ⅱ류의 판별 오분류율은 붕괴군의 경우 총 141개소중 34개가 오분류되어 오분류율은 24.1%였고, 안정군의 경우는 총 549개소중 144개소가 오분류되어 26.2%의 오분류율을 나타내 전체적인 판별적중률은 74.2%로 나타났다. 이상과 같이 퍼지적분에 의한 붕괴유무 예측적중율은 붕괴군에 있어 수량화Ⅱ류의 결과보다 낮은 적중율을 보이고 있으나, 전체 예측적중율에 있어서 다소 높게 나타났다.

이상과 같은 결과에서 c 값은 0.20이고, λ 값은 우가법적인 7.16220인 경우가 퍼지적분값 0.5를 기준으로 명확한 붕괴유무의 예측이 가능한 모델로 결정할 수 있으며, 예측적중률 또한 요인 전체를 적용한 경우보다 다소 증가한 것으로 나타났다.



<그림 2-20> 임도 절토사면의 5개 요인을 적용한 퍼지적분값의 상대빈도 그래프

<표 2-28> 임도 절토사면의 5개 요인을 적용시 붕괴유무예측 Corss표

예측모델	붕괴예측	붕괴군	안정군	예측적중율
퍼지적분	붕괴군으로 예측	62(44.0%)	96(17.5%)	515(74.6%)
	안정군으로 예측	79(56.0%)	453(82.5%)	
수량화Ⅱ류	붕괴군으로 판별	107(75.9%)	144(26.2%)	512(74.2%)
	안정군으로 판별	34(24.1%)	405(73.8%)	
합계	합계	141(100.0%)	549(100%)	690(100%)

따라서 퍼지이론을 이용하여 절토사면 붕괴유무의 예측시 요인전체를 이
 용할 경우, 최적의 절토사면의 붕괴예측모델의 붕괴위험도, 중요도 그리고
 λ 값은 <표 2-29>와 같다.

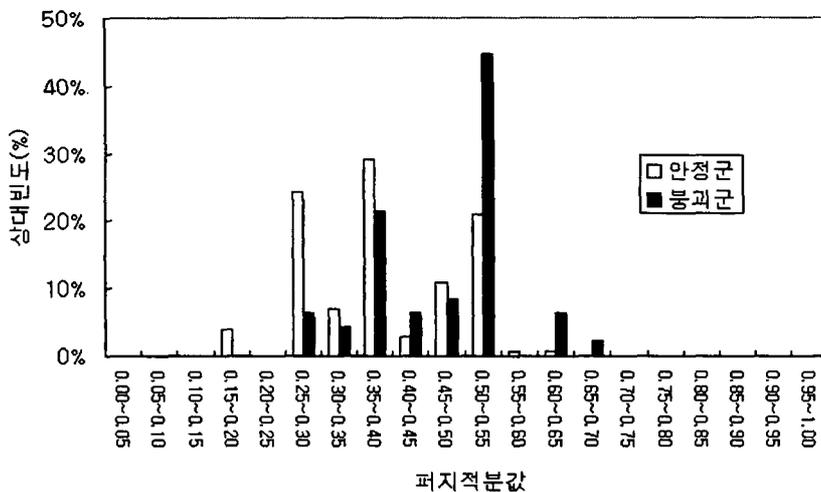
<표 2-29> 임도 절토사면의 5개 요인을 적용한 붕괴유무 예측시의
 최적 붕괴예측모델의 특성치

요인	Category	붕괴위험도 $h(x_i)$	요인의 중요도 $g(H_i)$	λ 값
결보기 토질	토사	0.7631	0.092	+7.162204
	호박돌토사	0.3809		
	풍화암	0.4867		
	연암	0.5270		
	경암	0.2931		
산지경사	< 30	0.1903	0.042	
	30 ~ 35	0.3590		
	35 ~ 40	0.8056		
	40 <	0.5783		
사면방위	N	0.6161	0.060	
	NE	0.8298		
	E	0.8041		
	SE	0.3518		
	S	0.1479		
	SW	0.2821		
	W	0.3668		
절토사면길이	NW	0.8343	0.124	
	< 4	0.0913		
	4 ~ 6	0.2768		
	6 ~ 8	0.5150		
	8 ~ 10	1.0000		
	10 ~ 12	1.0000		
절토사면경사	12 <	1.0000	0.057	
	< 40	0.0927		
	40 ~ 50	0.3894		
	50 ~ 60	0.6747		
	60 <	0.7329		

다. 임도 절토사면 붕괴진단 모델의 적용성 검토

최적의 절토사면의 붕괴진단 모델은 <표 2-29>에서 제시된 절토사면길이, 걸보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등의 5가지 요인을 적용하여 개발한 모델이며, 이를 구성하고 있는 요인별 각각의 특성치인 요인의 붕괴위험도, 요인의 중요도 그리고 λ 퍼지측도를 이용하여 각 조사개소에 대해 붕괴예측모델의 적용성 검토를 실시하였다.

임도 절토사면의 붕괴진단 모델의 적용성 검토는 조사대상지역에서 획득한 전체자료의 25%인 229개소(붕괴지 : 47개소, 안정지 : 182개소)를 이용하였으며, 퍼지적분에 의한 예측적중율과 과 수량화Ⅱ류의 상대점수를 이용한 판별적중율을 비교하여 보았다. 개발한 모델을 이용하여 붕괴발생 유무에 대한 조사지역의 현장 실측치를 퍼지적분에 의해 산출된 퍼지적분값으로 재분류한 결과는 <그림 2-21>와 같고, 진단적중률은 <표 2-30>과 같다.



<그림 2-21> 임도 절토사면 붕괴예측 모델의 적용성 검토에 따른 퍼지적분값의 상대빈도 그래프

<그림 2-21>과 같이 퍼지적분에 의한 붕괴예측이 0.5를 기준으로 명확하게 안정군과 붕괴군이 차이를 보이고 있었다. 또한 <표 2-30>과 같이 퍼지적분과 수량화Ⅱ류에 의한 예측결과를 비교할 때 붕괴군의 예측적중율이 퍼지적분에 의한 예측은 53.2%, 수량화Ⅱ류에 의한 예측은 72.3%로 나타났으나, 안정군의 경우는 퍼지적분에 의한 예측은 78.0%, 수량화Ⅱ류에 의한 예측은 71.4%로 나타나, 퍼지적분을 통한 예측적중율이 높은 것으로 나타났다. 또한 전체적인 예측적중율은 퍼지적분에 의한 예측이 72.9%, 수량화Ⅱ류에 의한 예측이 71.6%로 퍼지이론에 의한 경우가 다소 높은 것으로 나타났다.

이상과 같이 비선형 모델인 퍼지이론에 의한 임도 절토사면의 붕괴예측은 수량화Ⅱ류를 이용한 경우보다 전체적인 예측적중율이 높게 나타났으며, 임도의 붕괴가능성을 예측할 때 붕괴가능성을 0~1사이의 값으로 표현함으로써 임도관리자 및 비전문가에 의한 사면붕괴 예측시 보다 명확하고, 객관적인 자료제시가 가능할 것이다.

<표 2-30> 임도 절토사면 붕괴예측모델의 적용성 검토지역에 대한 붕괴유무예측 Corss표

예측모델	붕괴예측	붕괴군	안정군	예측적중율
퍼지적분	붕괴군으로 진단	25(53.2%)	40(22.0%)	167(72.9%)
	안정군으로 진단	22(46.8%)	142(78.0%)	
수량화Ⅱ류	붕괴군으로 진단	34(72.3%)	52(28.6%)	164(71.6%)
	안정군으로 진단	13(27.7%)	130(71.4%)	
합계	합계	47(100.0%)	182(100%)	229(100%)

제5절 결론 및 향후 연구를 위한 제언

1. 임도사면의 붕괴요인 평가

가. 임도 성토사면의 붕괴요인 평가

임도 성토사면의 붕괴발생에 대한 요인의 영향은 성토사면길이, 성토사면경사, 사면방위, 겔보기 토질, 임도위치 등 5개 요인이 가장 크게 나타나, 임도 성토사면붕괴는 성토사면길이, 성토사면경사 등의 임도 구조적인 요인의 영향이 크게 작용하여 성토사면 붕괴가 발생하는 것으로 나타났고, 사면방위 및 임도위치 등 임도 통과지점의 위치적 요인, 그리고 겔보기 토질과 같은 성토사면 내적요인이 복합적으로 작용하여 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다.

또한 상대점수에 의한 각 요인의 Category에 나타난 붕괴위험 기여도는 성토사면길이는 8m이상, 성토사면경사는 40° 이상, 사면방위는 동(E)사면, 겔보기 토질은 토사, 임도위치는 능선부에서 가장 붕괴위험이 큰 것으로 나타났다.

나. 임도 절토사면의 붕괴위험요인 평가

임도 절토사면의 붕괴발생에 미치는 요인의 영향은 절토사면길이, 겔보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등 5개 요인의 영향이 가장 크게 나타나, 임도 절토사면의 붕괴는 절토사면길이와 같은 임도의 구조적요인이 가장 영향을 크게 미치는 것으로 나타났고, 다음으로 겔보기 토질과 같은

절토사면 내적요인의 영향이 그리고 사면방위와 같은 임도 통과지점의 위치적 요인 등의 영향이 크게 작용하여 절토사면의 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. 특히, 절토사면길이는 8m이상, 겉보기 토질은 토사, 사면방위는 E사면, 절토사면경사는 60° 이상, 산지경사는 35~40° 사이에서 붕괴측에 기여도가 가장 크게 나타났다.

2. 임도사면 붕괴예측 모델개발

가. 임도 성토사면 붕괴예측 모델개발

최적의 성토사면의 붕괴예측 모델은 <표 2-21>에서 제시된 성토사면경사, 사면방위, 겉보기 토질, 임도위치 등의 5가지 요인을 적용하여 개발한 모델이며, 이를 구성하고 있는 요인별 각각의 특성치인 요인의 붕괴위험도, 요인의 중요도 그리고 λ 퍼지측도를 이용하여 각 조사개소에 대해 붕괴예측을 실시하였고, 조사대상지역에 대하여 모델의 적용성을 검토하였다.

퍼지적분을 이용한 최적의 붕괴예측 모델의 예측적중률은 79.7%로 나타났으며, 적용성 검토결과, 퍼지적분에 의한 붕괴예측이 0.5를 기준으로 명확하게 안정군과 붕괴군이 차이를 보이고 있어 모델의 적합성이 우수한 것으로 나타났으며, 예측적중율은 83.3%로 높게 나타났다.

나. 임도 절토사면의 붕괴예측 모델개발

최적의 절토사면의 붕괴진단 모델은 <표 2-29>에서 제시된 절토사면길이, 겉보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등의 5가지 요인을 적용하여 개발한 모델이며, 이를 구성하고 있는 요인별 각각의 특성치인 요인의

붕괴위험도, 요인의 중요도 그리고 1퍼지측도를 이용하여 각 조사개소에 대해 붕괴예측을 실시하였고, 조사대상지역에 대하여 붕괴예측모델의 적용성을 검토하였다.

퍼지적분을 이용한 최적의 붕괴예측 모델의 예측적중률은 74.6%로 나타났으며, 조사대상지역에 적용한 모델의 적용성 검토시 예측적중률은 72.9%로 나타났다. 또한 적용성 검토시 붕괴예측이 0.5를 기준으로 명확하게 안정군과 붕괴군이 차이를 보이고 있어 모델의 적합성이 우수한 것으로 나타났다.

이상과 같이 비선형 모델인 퍼지적분에 의한 임도성토사면의 붕괴예측은 기존의 사면붕괴의 평가 및 예측에 이용되고 있는 통계적 방법들의 문제점인 지역성, 표본수 및 공선성의 문제점들을 다소 극복할 수 있으며, 임도의 붕괴가능성 평가시에 붕괴가능성을 0~1사이의 실수값으로 표현하기 때문에 임도성토사면의 보수 및 유지관리시 예산 및 장비 등을 감안하여 평가자가 그 기준을 유동적으로 적용할 수 있어서 보다 명확하고, 객관적인 자료제시가 가능할 것이다.

현행 임도시공이 저비용, 토공위주로 시설되고 있음으로 말미암아 임도사면 붕괴가 다량 발생하고 있으나, 향후 「환경친화적 녹색임도」로의 정책 전환으로 임도의 구조개량 및 시공단비의 현실화 등으로 보다 나은 임도가 개설될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서의 수량화Ⅱ류에 의한 붕괴요인 평가와 퍼지이론에 의한 예측모델은 현행 임도 시공하에 조사되고 분석되어진 것으로 향후 지속적인 보완·수정이 필요할 것으로 사료된다.

제3장 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발

제1절 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

세계적인 산림자원부국의 보호정책 강화, 국제적 환경보호 단체들의 대두 및 국민들의 환경에 대한 관심도의 증가로 인하여 과거 무주공산의 관점에서 방치되던 우리나라의 산지는 최근 20-30년 내에 녹화성공과 함께 집약적 관리대상으로 전환되는 매우 중요한 전환기에 처해 있으며, 이러한 경향은 국토 이용의 고도화 및 도시화가 진행될수록 더욱 굳어 질 것으로 산림전문가들은 예측하고 있다.

이와 같은 시점에서 과거 저급 기술인력 중심으로 조방적으로 행하여져 오던 산림관리 방향이 임지의 기능구분에 따라 집약적 관리와 함께 병행하여야 할 사회환경이 되었다. 그러나 우리나라의 경우 임지의 기능구분에 따라 생산임지로 구분되었어도, 지형적 특성으로 인하여 외국에서 성공된 산림관리기술을 도입하여 실행에 옮기기는 매우 어려운 환경이다. 특히 국내 지형은 지질학적으로 장년기와 노년기에 속하면서 대부분의 지역에서 기복량이 풍부하게 나타나, 선진 입업국가에서 일반적으로 시설·이용되는 임도의 이용에 큰 제약을 받고 있는 것이 현실이다.

일부 입업전문가들은 이러한 지형적 제한 요소를 극복하기 위하여 산림관리에 임도 뿐만 아니라 삭도 및 모노레일을 이용한 산림관리 방안까지 제시

하고 있으나 매우 낮은 생산성을 지닌 국내 임업여건상 합리적인 투자대 효율성을 얻을 수 없고, 장기적인 측면에서 관리상의 문제점도 돌출 될 우려가 있어 범용화 되지는 못하고 있다.

1984년대부터 본격적으로 도입되기 시작한 임도가 비교적 낮은 시설비용으로 국내의 기술진에 의하여 대량으로 시설되어 국내 임업생산성 제고에 일익을 담당하고 있는 것이 오늘날 국내 산림관리의 한 단면이다. 임도는 주로 산림생산, 관리 및 산간오지 마을의 교통로로서 기능을 하며 시설되는 관계로 대부분 산지를 통과하고 있다. 최근 통계에 따르면, 외국에 비해 매우 낮은 밀도로 시설된 임도이지만 과거에 비해 매우 높은 임업생산성을 보장해 줄 뿐만 아니라 각종 산림이용 행태에서도 매우 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀지고 있다. 그러나 이러한 긍정적인 측면에도 불구하고 우리나라는 최근 몇 년 사이에 임도개설 사업 자체가 환경보호가론자들에 의해 중요한 이슈가 될 만큼 사회문제가 되고 있다. 이것의 가장 큰 이유는 현재 개설된 임도노선의 대부분에서 임도노체의 붕괴 현상이 발생되어 계곡부를 매몰하고 일부 토사가 계류를 따라 하류로 이동하여 2차 피해를 발생시키고 있기 때문이다. 이에 산림청에서는 임도재해를 예방하기 위해 다양한 방향에서 연구를 진행하고 있으나 개설당시 낮은 개설단비로 인하여 절·성토 사면에 충분한 사면보호 시설을 하지 않은 관계로 한계에 직면하고 있다.

이러한 임도관리 업무의 어려움을 극복하기 위해서는 최근 GIS분야에서 개발되거나 적용된 성공사례에 대한 탐구가 필요하며, 그 사례들을 중심으로 하여 산림분야의 응용가능성을 검토하여 실제 임도관리 분야에 적용할 필요성이 강하게 제기되고 있다. 이에 이 연구에서는 최근 1차기 NGIS(National Geographic Information System)사업과 함께 사회 각 분야에서 다양한 적용사례와 성공사례를 제시하고 있는 GIS 관련기술에 임업분야에서 발달해온 임도관리 기술을 접목하여 임도관리의 방향전환을 시도하

고자 한다.

산림청은 제4차 산림기본계획인 2007년까지 총임도 개설연장을 29,100km 시설하여 임도밀도를 4.6km/ha로 높일 계획이며, 또한 임도 관리의 체계화를 위해 임도종합관리 전산화 시스템 개발운용을 계획하고 있다. 계획중인 임도종합관리 전산화 시스템은 국·민유림과 산림내 공도를 연계한 전국 임도망 구축전산화, 산림종합 정보망(FORNET)을 이용한 기본 임도망 재정비, 시스템에 의한 임도시설 관리, 이용체계 정립을 목표로 하고 있다.

계획되고 있는 임도종합관리 전산화 시스템은 기존에 제작·관리되어오고 있는 임도관련도면과 임도관리 대장을 바탕으로 개발될 것으로 예측되는 만큼 선행작업으로서 임도관련도면 및 임도관리 대장에 대한 업무분석을 실시하고 설계도와 대장을 전산화하는 방법을 개발하는 것이 필요하다.

그러나 우리나라의 임도는 개설초기 물량위주의 사업시행 및 낮은 개설단비로 인하여 임도의 설계-시공-감리를 효과적으로 구분하지 못하였다. 이러한 이유로 인하여 임도설계도 및 측량성과물 대부분이 전산화되지 못하고 대장과 도면으로 관리되고 있으며, 시간이 지남에 따라 일부는 망실하거나 짚은 임도붕괴로 인하여 임도관리의 어려움을 가중시키고 있다.

이 연구에서는 국내 임업현실에 의해 주로 수 작업에 의해 관리되어오던 임도관련도면과 임도관리대장을 분석하여 관련자료를 전산화하고 나아가 이 자료들을 바탕으로 임도붕괴 위험도를 예측할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 특히 본 연구에서는 기 평가된 주요 영향인자들이 임도사면 상에서의 기구특성을 밝히고, 임도관리의 표준화 및 임도사면 붕괴위험도 예측에 기반을 둔 전문가 시스템을 개발하고자 한다.

2. 연구내용 및 연구체제

임도붕괴 위험도 예측에 관한 연구는 임도의 기하학적 구조에 따른 통계학적 임도붕괴 위험도 예측과 물리적 특성에 의한 붕괴위험도 평가에 관한 연구가 있다. 이 연구에서는 이러한 연구를 바탕으로 하여 현장 임도시설 관리자가 별도의 정교한 장비를 지참하지 않고, 임도조사에서 일반적으로 사용되는 휴대용 장비들을 이용하여 임도관련 인자를 조사하여 해당 지점의 임도붕괴 가능성을 평가할 수 있도록 하는 시스템을 개발하고자 한다.

연구내용으로는 현재 노선별로 작성·관리되어 오고 있는 임도설계도를 PC를 사용하여 전산화하는 방안을 제시하고자 한다. 특히 임도의 기하학적 구조인자 일부는 임도관련도면 및 대장에 의해 관리되나 임도개설 당시부터 조사되지 않은 사항이 있으므로 부가적인 조사실시를 필요로 한다.

- 임도설계도의 전산화는 기존의 범용 도면제작 tool을 사용하여 작업할 수 있도록 상업용으로 판매되고 있는 범용 도면제작 tool을 사용한다.
- 임도관리 대장은 chain별로 관리될 수 있도록 절토사면과 성토사면으로 구분하여 OA용으로 많이 사용되어 임업 현장 실무자들에게도 익숙한 Access와 Excel을 사용하여 DB로 구축할 수 있도록 한다.
- 임도는 산림생산 시설물인 만큼, 일반적인 산림자원정보들과 호환되어 관리·분석될 수 있도록 범용 GIS tool 을 사용하여 산림자원관리 시스템의 sub-system으로 임도관리 체계를 개발한다.
- 임도의 붕괴 위험도 예측은 Fuzzy Algorithm을 개발하고, 개발된 algorithm을 바탕으로 범용 computer language을 사용하고 GIS tool과 연동 될 수 있도록 개발한다. 이 연구의 연구체제는 시스템을 개발하기 위해 두 분야로 나뉘어 진행되었다.

본 시스템을 구축하기 위한 sample 자료의 준비 및 programming분야와 programming에 필요한 algorithm을 개발하기 위한 두 분야로 구성하였다. sample 자료의 개발과 programming 분야는 시스템의 범용적 운용이 가능하도록, 일반적으로 사용되는 몇 가지 주요 프로그램들에 대한 테스트를 함께 병행하여 본 시스템이 원활하게 이용되도록 하였다.

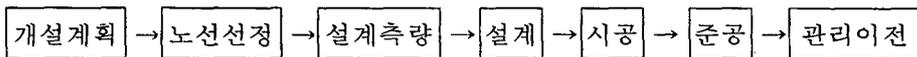
이 연구에서 개발에 이용한 몇 가지 시스템으로서는 도면자료를 전산화하기 위한 작업 tool과 속성자료를 전산화하기 위한 tool 로 구분하며, 도면자료를 전산화하기 위한 tool은 일반적으로 NGIS(National Geographic Information System)작업에서 주로 사용된 Microstation, I/RASB, GEOVEC, ACAD를 사용하였고, topology 정렬을 위해서는 NT Arc/Info 7.1과 Arcview 3.1을 사용하였다. 속성자료를 생성하기 위한 tool로서는 MS Excel과 MS access를 사용하였다. 본 시스템 개발 computer language로서는 Visual Basic 6.0을 채택하였다.

제2절 연구방법

임도관리는 해당 산림지 관리 담당기관 및 부서에서 산림생산 기반시설물의 하나로서 인식하여 관리원칙과 방법을 개발하여 담당하는 것이 일반적이다. 이 연구에서는 이러한 관리원칙과 방법을 분석하여 시스템화하기 위한 최적의 방안을 마련하고자, 「임도관리 업무체계 분석」 - 「system을 구현하기 위한 schema를 개발」 하는 순서로 연구를 수행하였다.

1. 임도관리 업무체계분석

임도개설사업은 **개설계획 - 노선선정 - 설계측량 - 설계 - 시공 - 준공**의 과정으로 이루어지는데, 대부분의 사업과정이 현장 중심이며, 측량 - 설계 - 시공의 과정은 산림관련 기관 내에서도 토목관련 기술자들을 확보하고 있는 부서나 하부기관에 용역과 하도급을 통하여 시설하도록 하고 있다. 준공이후는 일반적으로 해당 산림관리 부서로 관리이전 되며, 지속적인 관리를 위한 많은 노력이 투입되고 있다. 임도의 개설과 관리를 위한 업무흐름은 <그림 3-1> 과 같다.



<그림 3-1> 임도개설과 관리를 위한 업무흐름도

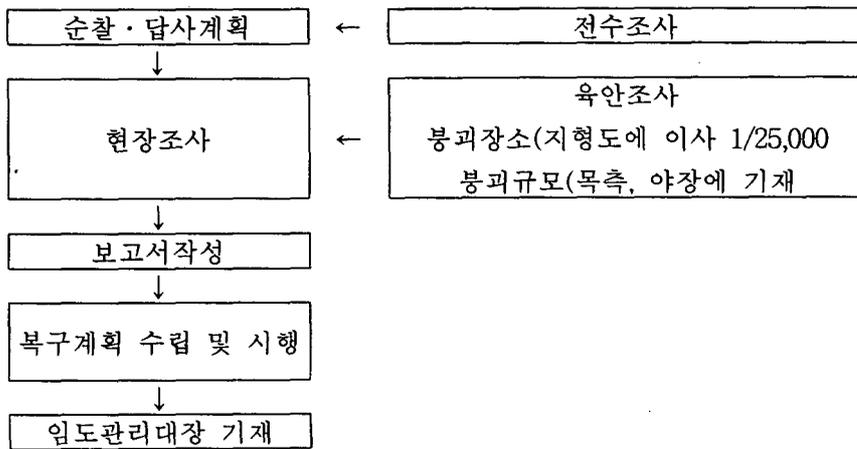
임도가 해당 임지관리 부서로 관리이전 된 이후, 담당자들은 정기적으로 또는 부정기적으로 차량 및 도보에 의한 노선답사에 의하여 임도의 기하학적 이상유무를 확인하게 된다. 국내의 경우 임도개설지 대부분이 산악지로

서 임업선진 외국의 평지임도와 비교할 때 도보는 물론이고, 차량으로서도 상당한 시간이 소요되고 있는 것이 현실이다.

현재의 관리시스템은 해당임지의 임도관리 담당자에 의한 전구간 답사를 원칙으로 하고 있어, 소규모 인원으로 운영되는 현장에서는 여름철 호우집중기에 정기적으로 충분한 임도순찰이 이루어지지 못하고 있는 것으로 밝혀지고 있다. 특히 현재의 답사방법은 차량 운행에 의한 임도붕괴 이후 임도복구를 목적으로 하는 답사와 순찰이 이루어짐으로서 오히려 심도있는 임도의 불안정성 확인은 어려운 실정이다. 따라서, 현재의 임도관리 시스템은 붕괴이후 복구를 목적으로 하는 답사와 순찰보다는 임도의 붕괴를 대비한 예방을 목적으로 한 답사와 순찰을 목적으로 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

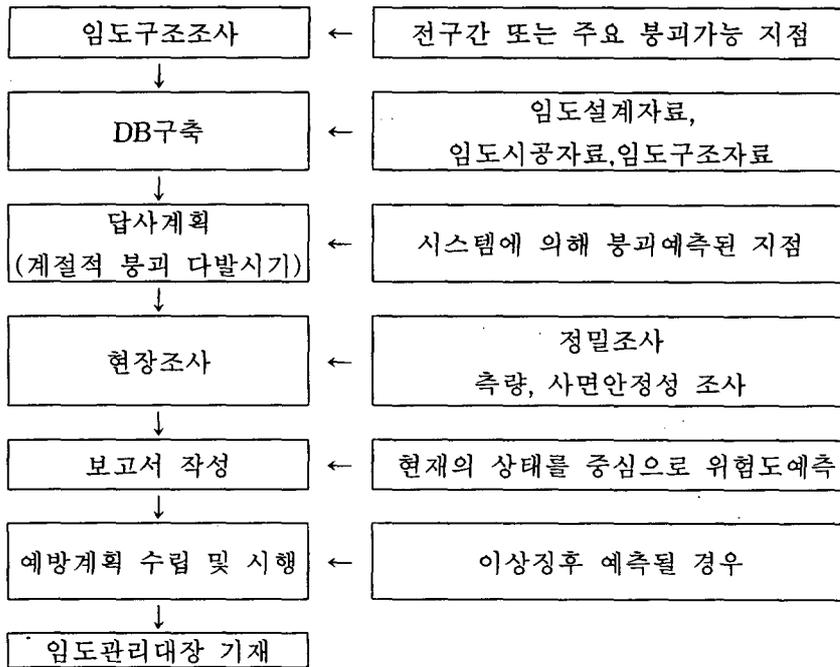
임도붕괴 예방을 위해서는 현재와 같이 시공당시의 설계도면과 임도관리 대장만으로는 효과적으로 업무를 추진할 수 없는 실정이다. 특히 각 노선별로 제작되는 설계도면과 임도완공 이후 시간이 경과함에 따라 증가하는 임도관리 대장을 휴대하고 임도를 답사한다는 것은 매우 비효율적일 뿐만 아니라, 임업부서 특성상 순환근무가 이루어지는 담당자들에게서 연속성있는 업무 추진을 철저하게 요구하는 것은 현실적으로 어려움이 많다. 따라서 최근의 사회전반에서 요구되고 있는 전산화와 시스템화를 통한 해결책을 찾을 필요성이 있다.

<그림 3-2>은 일반적인 임도관리 시스템이다.



<그림 3-2> 일반적인 입도관리 업무 흐름

기존의 입도관리 업무는 주로 시공전 작성된 입도설계도와 육안조사에 의존하게 됨으로서 입도의 절·성토사면을 중심으로 발생하는 입도재해에 대해 적절하게 대응하지 못하고 있다. 따라서 현재의 입도관리 업무에 입도 붕괴를 예측하기 위한 기능을 추가하기 위해서 입도준공 이후 완공된 입도의 절·성토사면을 추가로 조사하여 DB로 구축할 필요성이 있다. 이러한 입도재해 대비 관리업무는 초기 입도사면 상황조사에 비교적 많은 노력과 경비가 소요되는 특성이 있으나, 입도 붕괴 이후, 소요되는 복구 및 환경부담을 고려할 때 훨씬 효과적인 대안으로 생각된다. <그림 3-3> 는 개선된 입도관리 업무의 흐름도이다.



<그림 3-3> 개선된 임도 관리 업무 흐름

2. 시스템 개발 및 운용환경 결정

일반적으로 전문가 시스템이라 함은 기존의 조사·분석된 자료를 기반으로 하여 장래에 발생될 현상을 예측하는 것으로서 여러 가지 형태의 시스템 개발 환경이 존재한다. 이 연구에서는 연구기간, 장비, 개발인력을 고려하여 다음과 같은 사항을 시스템 채택의 주요 결정요소로 선정하였다.

- 시스템 개발의 용이성: 전문 program engineer가 아닌 임도 연구자에 의한 개발 가능성 고려
- 개발된 시스템의 호환성: 최근의 시스템 OS의 급격한 발전속도에 따

큰 호환성을 고려

- 시스템 개발의 효율성: 시스템 개발과정에서의 소프트웨어 공학적인 측면의 생산성과 시스템 개발 후의 완성도를 고려

이 연구에서는 computer cartography 및 GIS 기술분야에서 주로 발전해 온 FM(Facility Management)기술과 GIS(Geographic Information System)의 공간분석(Spatial analysis) algorithm을 응용하였다. 임도봉피를 예측하는데 필요한 임도의 입지환경요인과 임도의 구조요인을 FM기술을 응용한 임도시설물 관리 시스템과 산림자원정보 시스템을 연동시켜 자료를 공유할 수 있도록 설계하고, 이와 같이 연동되어 공유되는 자료들을 기반으로 하여 분석을 수행하는 임도봉피 예측 시스템을 구축하였다.

이 연구에서 채택하고자하는 DB기능 및 공간분석을 포함한 시스템 개발 tool을 고찰해보면

- ① 범용 computer language를 사용한 Data access engine 개발
- ② 상업용 GIS 시스템을 사용한 사용자 환경 구성 및 공간분석 기능의 통합으로 구분할 수 있으며, ①번 항의 경우 시스템 개발과정에 장기간의 기간이 소요되며, 많은 전문인력과 장비가 필요하며, 개발 후에도 상당한 기간 동안 개발 version 의 시스템을 테스트하는 과정이 필수적으로 필요하다. ②항과 같은 경우의 시스템 개발환경은 초기 적정규모의 투자비용과 최소한의 장비 및 인력이 준비되면 상대적으로 효율적으로 시스템을 구성하고 현장에서 사용 가능한 시스템을 구현 가능한 장점이 있다. 국내에서는 태백시 상수도관리시스템, 지역난방공사의 열배관 관리시스템, 국공유지관리 시스템 강원도의 물관리 시스템 등이 있다.

제3절 임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 개발 및 구현

1. 도면자료와 속성자료의 전산화

가. 임도 관리대장 전산화

임도관리 대장은 임도개설 초기에 작성·관리되는 자료로서, 해당 임도노선의 일반적 개황과 임도구조 인자에 대한 자료를 포함하고 있다. 해당 임도노선의 일반적 개황자료로는, 시설현황으로서, 시설구간, 투자액, 시설년도, 시설거리, 수해 산주에 관련된 사항이 기술되어 있으며, 임도구조 인자로서는 절·성토 사면의 특성에 대한 자료가 기술되어 있다.

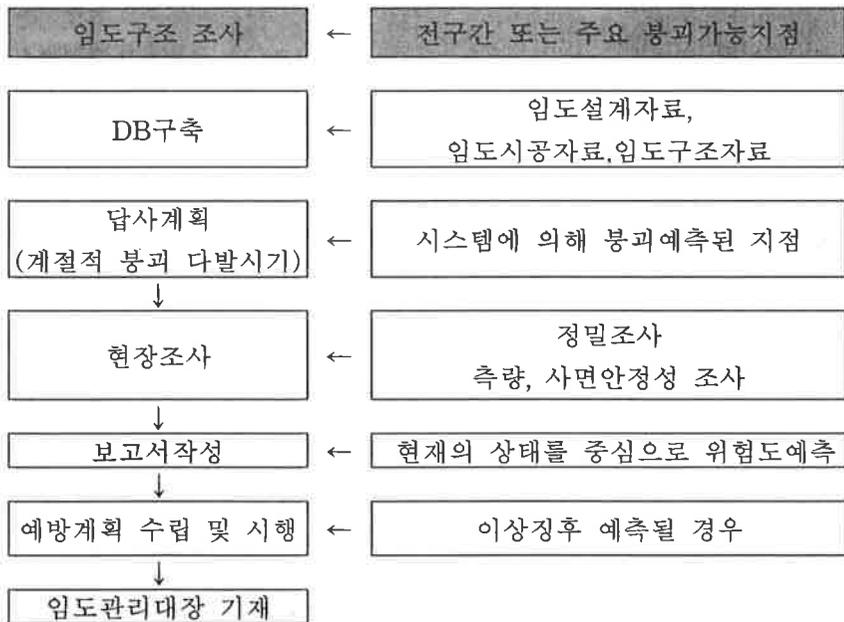
임도관리 대장에 기재된 임도구조 인자로서는 절토사면의 경우, 총노폭, 종단물매, 절토사면길이, 절토사면경사, 임도위치, 겹보기토질, 사면방위, 산지경사, 사면피복유이고 성토사면의 경우, 총노폭, 종단물매, 성토사면길이, 성토사면경사, 임도위치, 겹보기토질, 사면방위, 산지경사, 사면종단면형으로 구성되어 있다. 임도구조 인자자료의 수집은 시공 전 임도개설을 위해 측량된 자료와 임도준공 이후, 인위적 지형개변이 발생한 임도사면을 대상으로 조사하는 방법이 있다. 그러나 현실적으로 시공 전 측량된 자료와 설계도면으로부터 임도구조 인자를 수집하는 방법은 효율성 측면에서 사용하기 곤란한 방법이기 때문에, 이 연구에서는 현장 임도관리 실무자에 의해 임도 준공 이후 조사된 임도구조 자료를 임도관리 대장으로 작성하고, 이 자료를 기반으로 임도관리 대장을 전산화하는 것을 제시한다.

임도구조 자료를 위한 DB 구축은 현장 담당자들에 의해 수행되는 업무이므로 다음과 같은 DB구축을 위한 tool을 선정하는 기준을 수립하였다.

- 대부분의 사무실에서 보유하고 있으며,
- 익숙한 초기자료 입력환경을 갖고 있으며,
- 다수의 고급사용자가 있으며,
- 기초 통계 처리가 가능할 것.

이와 같은 기준에 따르면, 국내의 대부분의 사무실에서는 기본 OS를 Windows 계열을 사용하고 있으며, 특히 MS사의 Access의 경우 이미 많은 사용자 층이 확보되어 있어, 일선 담당부서의 PC에 탑재되어 있는 경우가 많기 때문에 추가 비용부담이 작은 특징이 있다.

PC 상에서 임도구조 자료 입력을 위한 자료처리 흐름도를 보면 <그림 3-4> 과 같다.



<그림 3-4> PC를 이용한 임도구조 자료 입력을 위한 자료처리 흐름도

조사 항목은 성토사면의 경우, 총노폭, 종단물매, 성토사면길이, 성토사면경사, 조사위치, 토질, 산지경사, 사면방위, 사면종단면형으로 구성되며, 절토사면의 경우, 조사위치, 토질, 산지경사, 사면방위, 사면종단면형, 절토사면길이, 절토사면경사, 산지피복율로 구성되며, 기본조사 항목으로서는 각 절·성토 사면 조사지점의 TM(Transverse Mercator)좌표계의 X,Y 좌표값과, 축점간의 구간거리 및 누가거리, 그리고, 각 지점의 관리내역이다. 이상의 사항을 표로 나타내면 <표 3-1> 과 같다.

<표 3-1> 임도붕괴 예측을 위한 절·성토 사면의 임도 관련인자

구 분	항 목
기본 조사항목	좌표계, 구간거리, 누가거리, 관리내역(메모)
절토사면 조사항목	조사위치, 토질, 산지경사, 사면방위, 사면종단면형, 절토사면길이, 절토사면경사, 산지피복율
성토사면 조사항목	총노폭, 종단물매, 성토사면길이, 성토사면경사, 조사위치, 토질, 산지경사, 사면방위, 사면종단면형

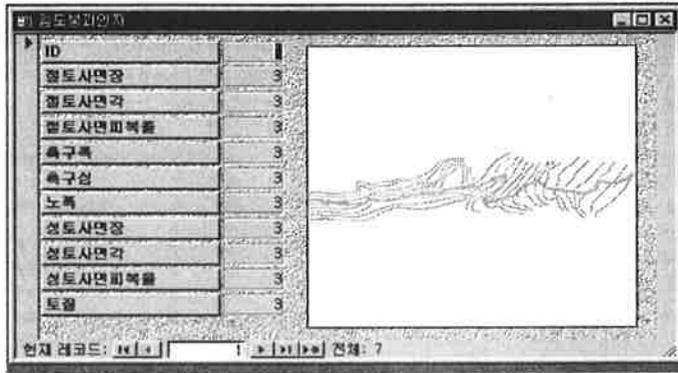
이와 같이 각각 임도구조 인자별로 야장에 기재된 자료는 MS Access를 사용하여 DB로 구축하여 산림자원 관리 및 임도관리를 위한 기초자료로 사용한다. 아래의 <표 3-2>는 임도구조 인자 조사 항목과 조사 값에 대한 예이다.

<표 3-2> 임도붕괴 예측을 위한 임도 관련인자의 항목과 조사값에 대한 예

ID	측점(no)	총노폭(m)	중단물매(%)	절토사면길이(m)
1	0	5	1.7	9
절토사면경사(%)	임도위치	겉보기토질	사면방위(도)	산지경사(도)
65	1	2	145	47
산지피복률(%)	성토사면길이(m)	성토사면경사(%)	사면중단면형	
5	8	37	1	
성토붕괴위험도	절토붕괴위험도	횡단물매(%)	X	Y
.58	.52	12.2	271570.3	475058.2
구간거리	누가거리	관리내역		
0	0			

위와 같은 임도구조 자료를 MS Access 97을 사용하여 <그림 3-5> 와 같이 필드이름과 데이터 형식을 갖도록 DB를 설계·구축하였다.

<그림3-5>는 MS Access 97을 이용한 임도구조 인자 보기화면이며, <그림 3-6>는 Excel을 이용한 임도구조 인자 입력화면이다.



<그림 3-5> MS Access 97과 Map Object Components를 이용한
임도구조 인자 입력 화면

ID	임도사면장	임도사면각	임도사면피복률	속구폭	속구심	노폭	성도사면장	성도사면각	
1	3	3	3	3	3	3	3	3	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	
5	5	5	5	5	5	5	5	5	
6	6	6	6	6	6	6	6	6	

<그림 3-6> MS Access 97을 이용한 임도구조 자료 보기 및 수정 화면

MS Access 97을 이용한 임도구조인자의 관리는 임도붕괴 위험도 예측 시스템과 연동되는 산림자원정보와 자료를 공유할 수 있도록 하기 위해, 유사한 작업환경을 갖도록 하였다. 또한, 임도구조 인자자료의 입력 용이성을 위하여 기존에 사용되던, Excel과 호환가능 하도록 하였다. <그림3-7>은 엑셀을 이용한 임도구조 인자의 입력화면이다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	속경(NO)	층노폭(m)	중단물대(%)	침단물대(%)	절토사면깊이(m)	절토사면경사(도)	임도위치	경보기도값	사면방위(도)	산지경	산지Ⅱ	성토사면
2	1	4.9	1.75	12.28	9	65	1	2	145	47	5	8
3	2	5.2	8.75	6.99	7	60	3	5	320	35	35	7
4	3	8.8	1.75	3.49	7	55	3	1	325	40	55	6
5	4	6	1.75	3.49	8	60	3	4	310	40	65	5
6	5	5.6	5.24	3.49	9	55	1	3	310	35	10	7
7	6	3.9	5.24	6.99	9	30	1	2	358	15	70	2
8	7	4.8	1.75	12.28	7	70	3	4	65	40	15	5
9	8	5.8	8.75	5.24	9	60	2	2	90	40	40	15
10	9	5	8.75	10.51	8	70	3	5	300	40	45	7
11	10	5.1	6.99	6.99	8	48	2	2	300	40	75	4
12	11	7.1	3.49	3.49	9	48	2	1	230	32	50	5
13	12	5.3	5.24	6.99	10	58	3	5	360	39	55	6
14	13	4.4	5.24	1.75	8	68	3	3	230	38	80	6

<그림 3-7> MS Excel 97을 이용한 임도구조 자료 입력 및 수정화면

임도관리 대장에 기술된 절·성토사면에 대한 자료는 임도붕괴에 직·간접적으로 관련된 것으로, 임도붕괴 원인의 대부분은 안정화되었던 산지사면에 인위적인 지형개변이 발생하게 되면서 사면의 물리적 안정이 훼손되어 발생한다. 산지에 개설되는 임도의 대부분이 토공작업에 의존하여 개설되는 반면 상대적으로 사면안정화를 위한 사면처리는 자연적 안정화에 의존하기 때문에 임도개설 직후 2 ~ 3년간 특히 임도재해 발생가능성이 높다. 이 연구에서는 제1세부과제에서 개발된 임도사면 붕괴예측 model을 이용하여 임도사면붕괴 가능 위험도를 예측할 수 있는 방법을 개발하였다.

나. 임도 전산화

임도구조의 기하학적 정보를 담고있는 임도설계도는 대부분이 1/1,000의 축척으로 제작되고 있으며, 설계도의 구성은 평면도, 중단면도, 횡단면도 및 구조물도로 구성되며, 이들 도면은 시공노선을 기준으로 제작·관리된다. 각 도면을 사용하여 임도관리 시스템을 구축하고자 할 경우, 일차적으로 전산

화가 필수적이며, <표 3-3>는 입도관리 시스템 구축을 위한 자료내용이다.

<표 3-3> 입도관리 시스템 구축을 위한 자료

항 목	내 용
평면도	입도의 chain, IP점의 위치 입도시설물의 위치에 대한 위치 표시
종단도	구간별 또는 chain 별 종단물매, 계획고, 지반고, 절토고, 성토고, 절토경사, 성토경사 등
횡단도	chain 별 횡단도의 형상, 성토 및 절토 단면적, 중심선의 위치 평면도 노체폭, 측구 폭, 깊이, 측구형상, 길어깨의 높이, 폭, 형상 입도의 시공 및 설계 관련자료
시공단가표	시공당시의 인건비, 입도시공 장비 운영비 및 부대비용에 대한 자료

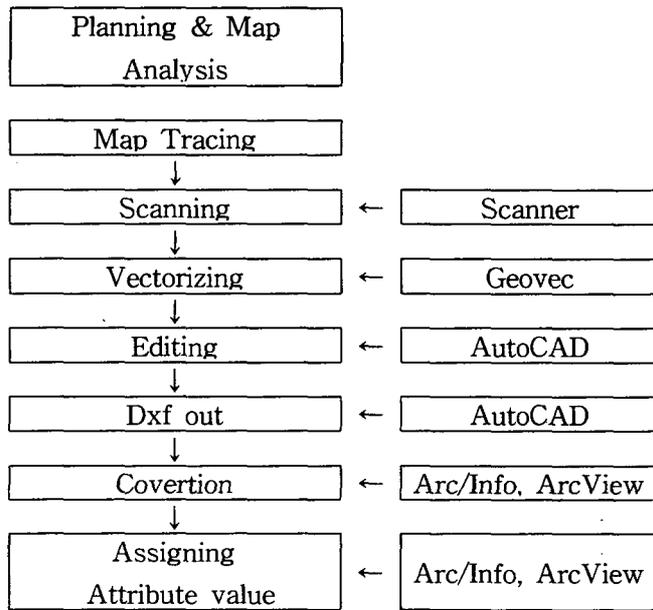
공간자료의 생성기법은 자료생성의 효율성 및 정확성을 감안하여 일반 도로 관리시스템에서 사용하는 기법을 준용하여 수행하였다. 특히 입도의 경우 입도개설시 작성된 도면자료가 대부분 수 작업에 의해 작성되어, 많은 시간이 지난 지금 도지의 신축과 관리 소홀로 인하여 도면으로부터 균일한 정도를 갖는 공간자료를 추출하는 것이 곤란하였고, 도면작성을 위한 측량 성과물의 부재로 인하여 현재 작성되어 보관된 도면의 오류를 수정할 수 없는 문제점이 노출되었다. 따라서 본 연구에서는 균일한 정도를 확보하고, 도지 신축에 따른 문제점을 제거하고자 도지의 신축량이 극히 미미하고, 일반 GIS업계에서 도면관리용으로 많이 사용되어지는 트레팔지를 사용하여 1/1000 tracing map을 작성하고, tracing map을 1000DPI의 CIT format으로 스캐닝하여, Intergraph사의 Microstation, I/RASB, Geovec을 사용하여 벡터화 하였다. 벡터화된 공간자료는 벡터화 과정에서 발생한 도면의 오류를 제거하고자 AutoCAD Release 14 및 AutoCAD 2000을 사용하여 편집하고

dxf(data exchange format)으로 output하여 NT Arc/Info 7.1을 사용하여 Coverage 데이터로 작성하였고, Arcview에서 import하여, 임도붕괴 예측 시스템의 Map Object Components에 의해 공유될 수 있도록 하였다<그림 3-7>. AutoCAD에서 편집된 도면은 도로 부분과 도로시설물 부분으로 구분하여 각각의 Layer로 정의하였고, color, thickness에 의해 구별이 되도록 하였다 <표 3-4>.

<표 3-4> 도로 및 도로시설물의 종류

도 로	도로시설물
노 폭	
측 구	사면처리공
횡단배수구	목 책
교 량	편 책
중심말뚝	석 축
중심선	절·성토사면
집수정	

임도설계도 전산화를 위한 작업순서는 <그림 3-8> 와 같다.



<그림 3-8> 임도설계도 전산화를 위한 작업 흐름도

다. 산림자원 관리 및 임도관리 업무의 시스템화

산림자원관리 업무의 시스템화에 사용된 자료는 자료구조에 따라 공간자료(도면자료)와 속성자료로 구분한다. 임업분야에서는 삼림자원을 관리하기 위해 기본단위로 임·소반을 구획한 임·소반 경계도와 산림조사부를 작성하고 있으며, 그 외의 임상도, 산지이용계획도, 간이산림토양도, 산지이용구분도 등이 있다. 이들 도면은 모두 1/25,000의 지형도에 항공사진 판독 및 이사, 광역적 표본지 조사에 의하여 작성된 도면들이며, <표 3-5>은 삼림자원정보시스템 구축을 위하여 본 연구에서 준비한 공간자료의 종류이다.

<표 3-5> GIS 데이터 베이스 구축을 위한 공간자료

도면의 종류	입 역 내 용	비 고
지 형 도	1/25,000을 이용한 DTM 구축	
입 상 도	1/25,000: 연습입의 입상, 경급, 영급, 소밀도	
수 계 도	1/25,000 지형도를 이용	
도 로 도	1/25,000 지형도를 기본으로 하여 노선을 삽입(국도, 지방도, 군도, 임도)	
지 질 도	1/50,000 지질도를 1/25,000지형도에 이사	
간이삼림토양도	1/25,000: 1-5급지, 농경지, 암석지	
산지이용구분도	1/25,000: 15 °이하, 16-20 °, 21-25 °, 26-30 °, 31 °이상지역으로 구분	
산지이용계획도	1/25,000: 보존림지, 준보존림지	
임·소반경계도	1/25,000 지형도에 이사	

자료들은 도면제작기관으로부터 구입한 후, Tracing map을 작성하여 입력단계에서 사용하였다. 산림자원정보 시스템의 기초가 되는 자료는 입력시 정확도 유지가 중요하며, 입력방법은 Scanner를 이용한 방법을 사용하였다. 산림자원정보에 대한 속성자료는 산림자원조사부의 각 항목과 각 도면의 범례가 있다. 산림자원조사부는 구획, 면적, 지황에 대한 최소 조사단위로 소반을 채택하고 있으며, 임황에 대해서는 각 소반 내 수종의 점유면적에 따라 조사, 기록되고 있다. <표 3-6>은 속성자료로서 입력된 산림자원조사부의 각 항목으로서 총 41개 항목이다.

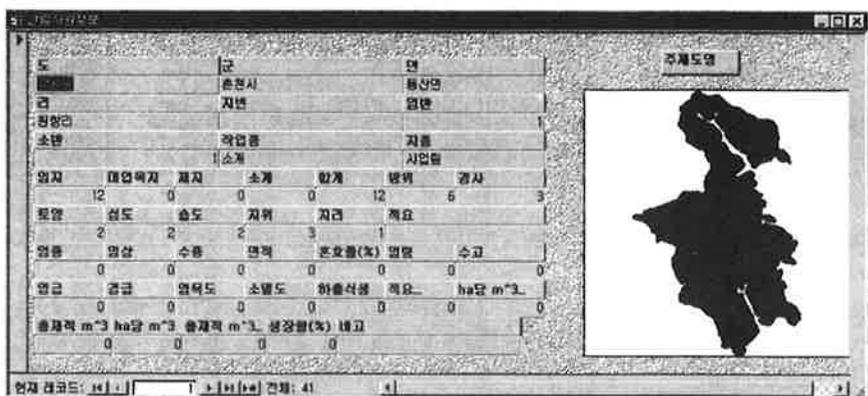
<표 3-6> GIS 데이터 베이스의 속성자료

구							작업종	면적(ha)					
도	군	면	리	지번	임반	소반		지종	임지	무입목지			합계
										미립목지	제지	소계	

지					황			입					황	
지	세	토지			지위	지리	적요	임종	임상	수종	면적	혼효율%	임령	
		토양	심도	습도										
방위	경사													

입							황					
수고	영급	경급	임목도	소밀도	하층식생	적요	재적		연년생장량			비고
							ha당 m'	총재적 m'	ha당 m'	총재적 m'	생장률 %	

이와 같은 산림자원정보 중, 산림자원조사부를 전산화하기 위해 MS Access 97을 사용하여, 자료 입·출력 창을 설계·제작하였고, 산림자원조사부 전산화를 수행하였다. <그림 3-9>는 MS Access 97과 Mab Object Components로 구현된 산림조사부 입력화면이고, <그림 3-10>는 수정화면이다



<그림 3-9> MS Access 97과 Map Object Components로 구현된 산림조사부 입력화면

소분	작업종	지종	면적	대면적지	제지	소계	합계	방위	경사	토양	습도	습도
1 소개	사업림		12	0	0	0	12	6	3	2	2	2
1 소개			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 하에작업			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

<그림 3-10> MS Access 97로 구현한 산림자원정보 수정화면

이와 같이 각각 공간자료와 속성자료로 구분된 자료에 대해 자료사전 (data dictionary)을 작성하여 자료의 취득·분석·갱신에서 자료의 일관성을 유지하기 위하여 <표 3-7>와 같이 자료사전을 작성하였다.

<표 3-7> 임도붕괴 예측 시스템을 위한 자료사전의 작성

자료 출처	지형도(NGIS 작업성과물)
자료명	등고선
자료특성	산림자원정보 시스템 구축에 필수적인 지형도 정보 포함
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

자료 출처	등고선
자료명	Slope
자료특성	Arcview의 3D 분석기능에 포함된 경사분석 algorithm을 사용하여 경사분포상황을 표현하는 경사도를 작성한다.
File type	shape format
작업도구	Arcview3.1 3D analyst

자료 출처	등고선
자료명	Aspect
자료특성	Arcview의 3D 분석기능에 포함된 향분석 algorithm을 사용하여 향분포상황을 표현하는 사면방위 분포현황도를 작성한다.
File type	shape format
작업도구	Arcview3.1 3D analyst

자료 출처	지형도
자료명	road_net
자료특성	지형도로부터 연구대상지 인근의 접근로 상황을 고속도로, 국도, 지방도, 시·군도, 농로 등으로 구분하고 각각의 도로에 분류등급을 부여한다. 도로도 추출에서 고려할 속성 정보로서는 분류등급에 따른 도로의 명칭, 개설연도, 관리주체, 개설목적에 대한 자료를 가능한 조사한다.
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

자료 출처	지형도
자료명	fr_net
자료특성	지형도로부터 연구대상지 산림에 개설된 임도노망을 추출하고 각각의 임도를 개설연도에 따라 구분한다. 임도노망도 추출에서 고려할 속성 정보로서는 임도의 개설목적, 개설연도, 관리주체이다.
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

자료 출처	임상도
자료명	for_stand
자료특성	임상도는 임업연구원에서 제작한 산림자원 현황 관리를 위한 기초자료로서 macro한 성격이 짝으므로 임도개설지 인근의 내용은 항공사진과 현지조사를 통하여 보완작성한다. 임상도 작성에서 고려할 속성자료로서는 임종, 임상, 소밀도, 경급, 영급의 임황과 임상도 제작연도, 제작기관, 갱신주기를 함께 조사한다.
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

자료 출처	임도설계도
자료명	fr_design
자료특성	임도설계도는 임도개설시 작성된 것으로, 이 연구에서는 NGIS 작업규정에 따라 Geovec을 사용하여 벡터라이징을 하였고, Acad 14을 사용하여 수정하였다.
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

자료 출처	지질도
자료명	geo
자료특성	지질도는 자원조사연구소에서 1/50,000도엽을 기본도로 작성한 주제도로서 지질분포현황을 도시하고 있다.
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

자료 출처	토양도
자료명	soil
자료특성	토양도는 임업연구원에서 작성한 자료로서 산림토양의 임지생산력을 기초로 작성한 자료로서, 일부 지역을 제외하고 작성되어 있다.
File type	dwg, dxf
작업도구	AutoCAD

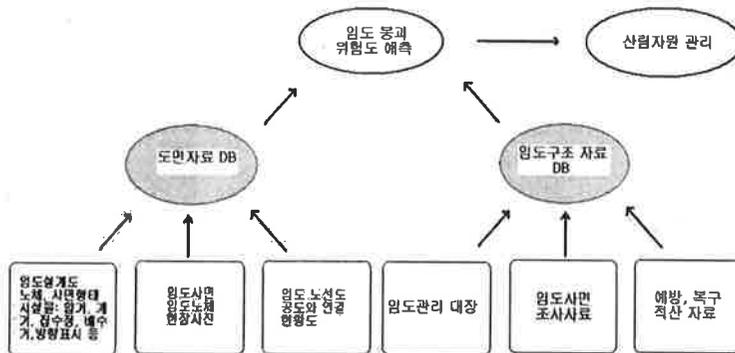
임도관리 업무의 시스템화를 위해서는 현재, 각 임도관리 담당부서에서 관리하는 임도설계도를 NGIS 산림자원정보 전산화 작업규정과 동일한 방법으로 도면을 관리하였다.

2. 임도붕괴 위험도 예측 전문가 프로그램의 개발

가. 임도붕괴위험도 예측 프로그램의 운용체계

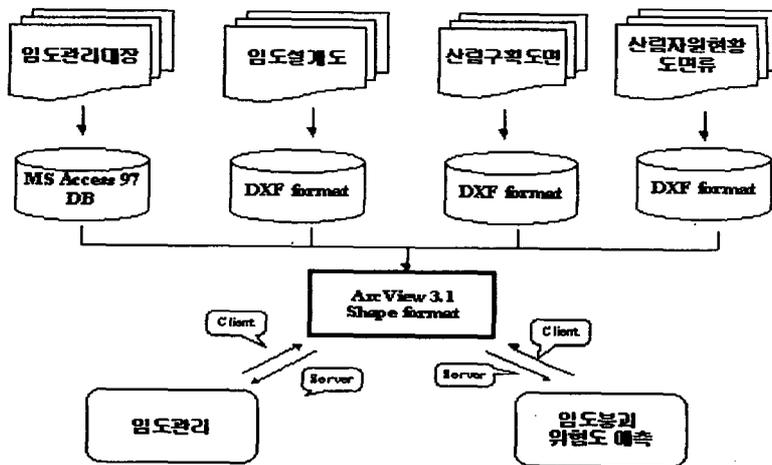
임도관리 업무 시스템을 합리적으로 운용하기 위해서는 다음의 모식도와 같이 필요한 자료들의 생성, 관리 과정과 만들어진 자료들을 이용하는 분석 과정들이 서로 유기적으로 연계되어야 한다. 모식도는 효율적인 삼림자원관리를 위해 필요한 임도 붕괴위험도 예측을 위해 필요한 지형자료(도면자료 DB), 속성자료(임도구조자료 DB)같은 자료들의 생성 과정과 임도붕괴 위험도 예측이라는 분석 과정간의 관계를 나타내고 있다.

전절에서 이미 기술한 것처럼 이러한 자료들의 생성과정은 그 이용목적과 사용소프트웨어에 따라 많은 차이가 있기 때문에 이를 일률적으로 정리기술하기는 어렵다. 따라서 여기에서는 본 연구에서 개발된 임도붕괴 위험도 예측 프로그램을 기준으로 하여 이 프로그램을 활용하기 위해 필요한 자료들의 생성관리 과정과 분석 과정간의 연계방법을 위주로 설명하고자 한다.



<그림 3-11> 임도관리 업무의 시스템화를 위한 자료처리 모식도

지형자료 DB구축 부분은 주로 GIS tool에 의존하게 되며, CAD를 비롯한 필요한 소프트웨어를 사용하여 수행되게 된다. 이러한 지형자료의 기본적인 파일 포맷은 전술한 것처럼 .DXF 나 .DWG, 혹은 일차 가공된 .SHP의 형식으로 저장되게 된다. 본 연구에서 개발한 프로그램은 이 중에서 .SHP 파일 형식을 사용하도록 코딩하였다. 이는 DXF는 파일간의 호환성이 높은 대신 비교적 높은 H/W 사양을 요구하기 때문에 이용효율이 떨어지고, GIS에 익숙한 이용자가 아니면 활용하기 어려울 것이라는 점을 고려했기 때문이다. ArcView같은 프로그램이 없거나 GIS를 사용하지 못하는 일반 사용자들도 필요한 도면의 SHP파일만 넘겨받으면 비교적 저사양의 H/W에서도 무리없이 사용할 수 있기 때문에 아래의 모식도처럼 Server와 Client로 분리하여 연계운용할 경우의 호환 가능성 등을 고려하여 SHP파일 포맷을 채용하였다. 이렇게 할 경우 서버에서 필요한 자료들을 생성, 관리해주고 각 지역에서 필요한 자료만을 다운받거나, 직접 서버와 연결하여 자체적으로 분석과정을 시행할 수 있게 된다.



<그림 3-12> 서버와 클라이언트를 사용한 프로그램 활용과정

속성자료 DB중에서 이 프로그램에서 이용되는 입도구조자료 DB를 대상으로 설명한다.

입도관리 대장에 기재하는 입도구조 인자는 총노퍽, 종단물매, 절토사면길이, 절토사면경사, 입도위치, 겹보기토질, 사면방위, 산지경사, 사면피복율, 성토사면길이, 성토사면경사, 사면종단면형, x좌표, y좌표 등으로 구성하였다. 전술한 것처럼 이러한 입도구조 인자자료는 측량이나 설계자료에서 얻는 방법과, 실지 조사에 의해 구하는 방법이 있다.

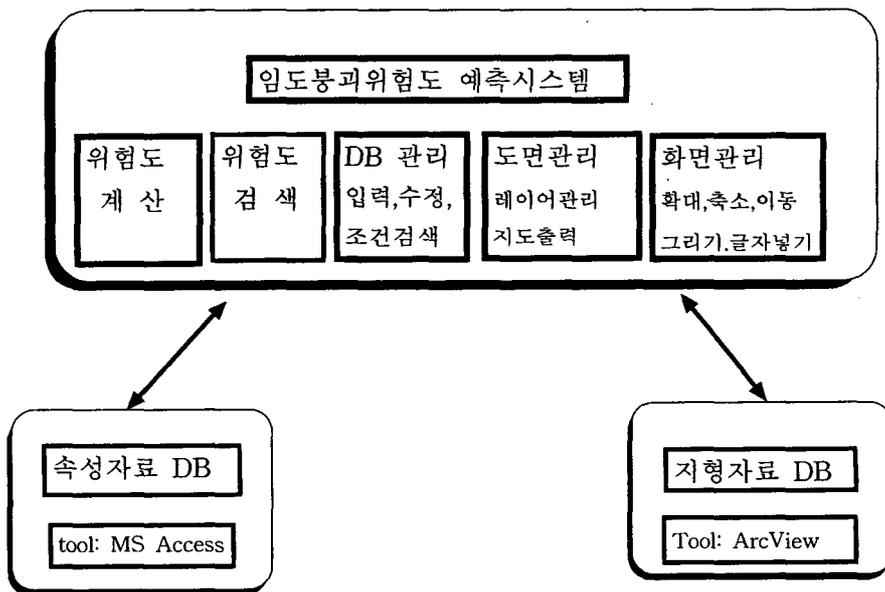
이러한 속성자료 DB는 자료입력과 수정의 용이성을 확보하기 위하여 MS Access 97을 이용하도록 프로그램을 작성하였다. Access는 파일확장자 이름이 .MDB로서 일반인들이 많이 사용하는 MS Office 프로그램중의 하나로 Excel과 호환이 가능하기 때문에 입력이나 수정이 편리하고 DB로서의 기능이 뛰어나며, 저사양의 H/W에서도 과부하가 걸리지 않는다는 장점이 있기 때문에 이를 채택하였다.

이러한 도면자료 DB와 속성자료 DB의 생성과정과 입도 붕괴위험도 예측의 분석과정은 PC안에서 각각 다른 과정과 복합적으로 운영할 수 있으며, 필요할 경우에는 단독으로 운영할 수 있도록 설계하였다. 즉 입도붕괴위험도 예측 프로그램은 PC내에 Access프로그램이 탑재되어 있지 않아도 미리 만들어진 DB들을 DAO(Data Access Object)기능을 이용하여 불러서 사용할 수 있도록 하였고, OLE Container를 제공하여 CAD나 GIS프로그램을 불러 이용할 수 있도록 프로그래밍하였다. 물론 이러한 프로그램들이 탑재되어 있는 PC에서는 Multi tasking기능을 활용하여 필요한 다른 프로그램을 불러 작업할 수도 있다.

또한 다른 프로그램의 지원없이도 자체프로그램만으로 데이터베이스관리, 붕괴위험도 계산, 도면의 확대, 축소, 이동, 점이나 선그리기 등을 실행할 수 있고, 해당지역의 사진이나 shp파일의 속성확인, 도면 레이어관리, 지도출력

등이 가능하기 때문에 GIS프로그램에 익숙하지 않은 일반 이용자들도 쉽게 운용할 수 있는 장점이 있다.

자체개발된 임도붕괴 위험도 예측 시스템과 속성자료 DB, 지형자료 DB간의 관계는 다음 그림과 같다.

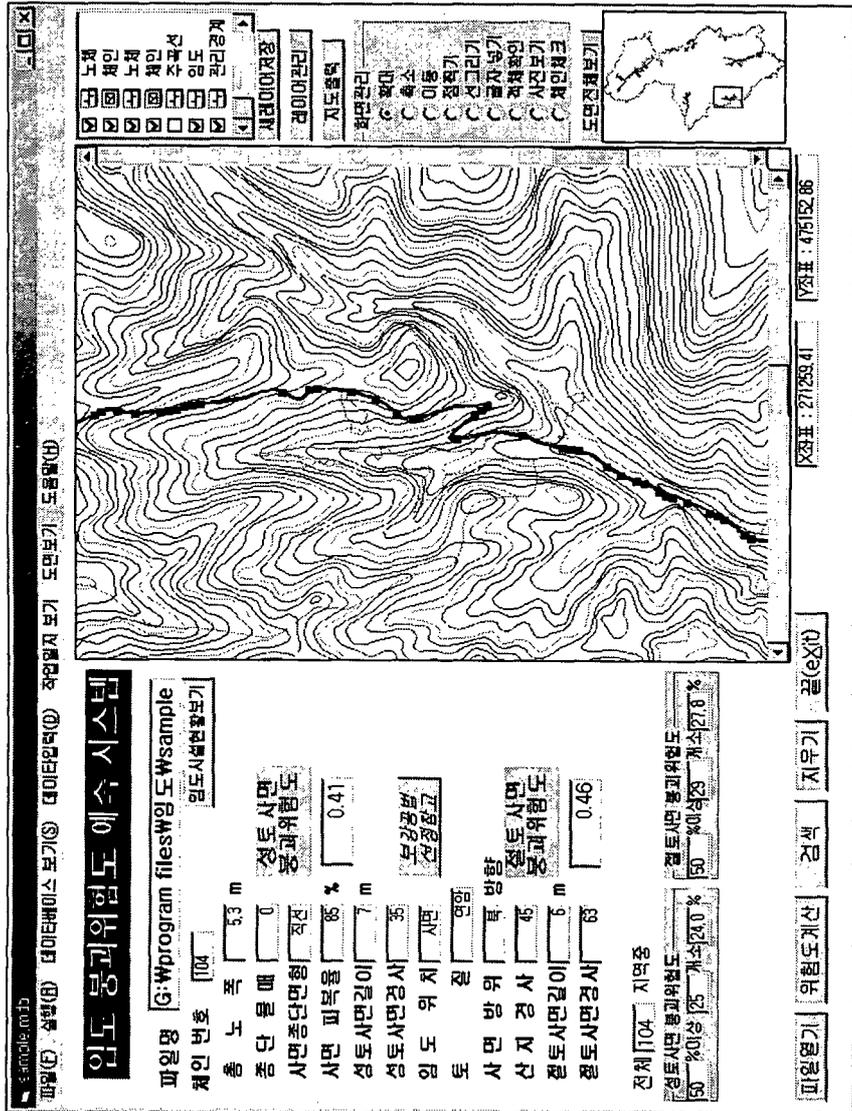


<그림 3-13> 임도붕괴위험도 예측시스템의 운용체계

나. 임도 붕괴위험도 예측프로그램의 개발 및 운용환경

본 프로그램은 Visual Basic 6.0을 개발도구로 하여 작성개발하였으며, 데이터베이스와의 연계는 DAO를 이용하였다. 또한 도면 표시와 관리를 위해 ESRI사의 Map Object 1.2를 내부 모듈로 채용하였다.

본 연구에서 개발된 인도붕괴 위험도 예측 프로그램의 실행화면은 아래의 <그림 3-14>와 같다.



<그림 3-14> 인도붕괴 위험도 예측 프로그램의 실행화면

1) 붕괴위험도 예측 프로그램의 일반 개발 및 운영환경

이 프로그램을 개발하는데 있어서 사용자의 사용편의성 제고와 낮은 H/W사양에서도 구동되는 것을 기본조건으로 채택하였다.

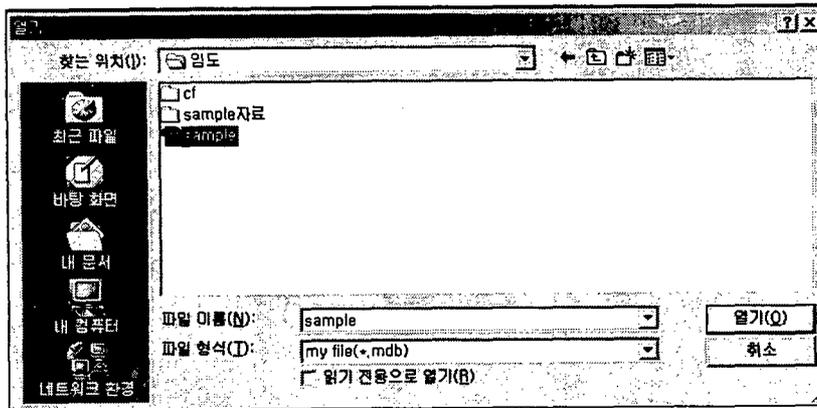
사용자의 편의성을 제고하기 위해서는 먼저 실행화면을 좌측의 속성정보 표시화면과 우측의 공간정보 표시화면으로 구성하고, 화면 상단과 하단에 프로그램 운용에 필요한 메뉴가 위치하도록 프로그램 GUI(Graphic User Interface)를 설계함으로써 직관적인 프로그램 운용이 가능하도록 하였다. 실행화면의 그림에서 알 수 있는 것처럼 이용자가 비교적 손쉽게 위험도 계산, 검색, DB관리 도면관리, 화면관리 등의 원하는 작업을 수행할 수 있도록 배려하였다.

특히 본 연구에서는 속성 DB의 위치가 도면위에 표시되고, 도면위에서 마우스를 클릭하면 해당 위치의 속성 DB를 연계할 수 있는 방법을 개발하였다. 이렇게 마우스를 이용한 도면위치정보와 DB 정보사이의 상호연계방법은 이용자에게 편의를 제공할 뿐 아니라 GPS시스템과 연계하여 새로운 GIS응용프로그램 개발에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

프로그램에서 수행되는 작업의 대부분은 마우스만으로도 작동이 가능하도록 하고 입력이 필요한 항목에서는 사용자의 번거로움을 줄이기 위해 커서의 위치가 직접 입력창에 나타나도록 하였다.

파일 열거나 저장, 에러메시지 같은 프로그램 운영중에서 나타나는 대화상자들은 MS CommonDialog 6.0 등의 컨트롤을 이용하여 일반사용자들에게 익숙한 Windows 98의 파일열기와 같은 환경을 제공하도록 하였다.

예를 들어 실행화면 하단에 있는 파일열기를 선택하면 아래그림과 같은 대화상자가 나타나서 프로그램이 요구하는 Access파일을 선택할 수 있도록 해준다.



<그림 3-15> 파일열기에서 나타나는 대화상자

여기에서 분석하고자 하는 지역 또는 임도노선 명을 갖는 *.mdb 파일을 선택하면, ArcView shape 파일로 작성된 공간 DB 자료 파일들이 들어있는 디렉토리도 함께 access 되도록 구성하였다.

또한 작업내용에 따라 일부 명령어 단추나 결과창들은 필요한 경우에만 나타나게 하고, 필요없는 경우는 보이지 않도록 배치하였다. 풀다운메뉴는 일반적인 Window 계열의 형태로 제작하였다.

이 프로그램은 Windows 9x 시리즈와 Windows2000, 그리고 NT의 각각 다른 시스템사양에서도 운영이 가능하도록 제작되었으며, RAM 32Mb이하의 낮은 H/W사양에서도 원활하게 작동하도록 하였다.

이하 본 프로그램에서 개발된 퍼지적분을 이용한 붕괴위험도 예측모델과, 도면을 비롯한 지형자료 관련 개발운영환경, 속성자료 DB 관련 개발운영환경, 기타 본 프로그램에 삽입된 횡단선형과 보강공법 관련 개발운영환경을 순차별로 간략하게 기술한다.

2) 붕괴위험도 예측모델

이 프로그램에서 붕괴 위험도 계산은 제1세부과제에서 전술한 Fuzzy logic에 근거한 붕괴요인의 카테고리별 붕괴위험도, 붕괴요인별 중요도, 선형의 형태를 결정하는 매개변수 λ 값에 의해 각 축점의 붕괴위험도가 순차적으로 계산되도록 하였다. 이 과정의 흐름도는 <그림 3-16>과 같다.

제1세부과제에서 구해진 세가지 변수값 중 먼저 카테고리별 붕괴위험도와 요인별 중요도를 각 요인의 카테고리구분과 비교하여 각각 해당되는 수치값을 2개의 변수에 Dimension을 할당한 후에 붕괴위험도의 크기순에 의해서 요인의 중요도를 재배열하였다. 재배열을 위해서는 다음과 같이 Swap라는 임의의 공적함수를 정의하여 사용하였다.

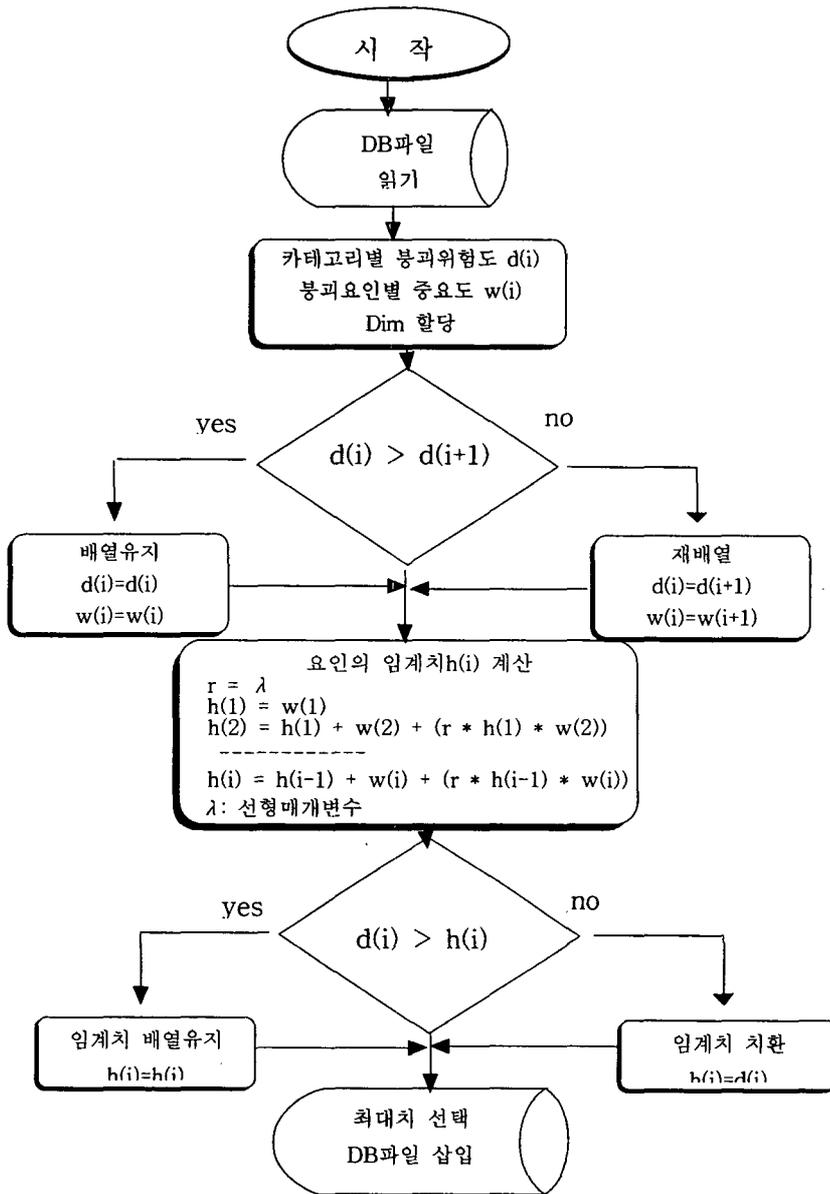
```
Public Sub Swap(a As Single, b As Single)
    Dim c As Single
    c = a
    a = b
    b = c
End Sub
```

선형의 형태를 결정하는 매개변수 λ 값을 이용하여 각 요인의 결합에 따라 나타나는 단계별 임계치와 카테고리별 붕괴위험도의 임계치를 비교하여 그중 최소치를 선택하도록 하였다. 그후 요인의 수만큼 나타난 최소치의 집합을 크기순으로 재배열하도록 하고, 그중 최대치가 붕괴위험도의 퍼지적분값으로 선정된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\int_x h(x_i) \circ g = \bigvee_{i=1}^n [(h(x_i)) \wedge g(H_i)]$$

이와 같이 산출된 퍼지적분값들이 mdb파일의 지정된 위치에 삽입되면서 동시에 도면에 위치가 나타나도록 하였다. 필요할 경우 파일중에 삽입된 위

협도값을 이용한 검색이나 통계처리가 가능하도록 코딩하였다.



<그림 3-16> Fuzzy Integral Module의 순서도

3) 지형자료 관련 개발운영환경

임도관련업무에서는 지형도를 비롯한 각종 도면자료 관리의 필요성이 높기 때문에 전술한 Map Object 1.2를 이용하여 필요한 도면의 관리와 활용의 편의성을 도모하였다.

지형자료 확인의 편의성을 위해 “확대”, “축소”, “이동”, “점찍기”, “선그리기”, “글자넣기”, “객체확인”, “사진보기”, “체인체크”의 9가지 작업을 화면 관리부분에 모아두고, 마우스가 도면위에서 움직이는 동안에는 좌표값이 하단에 표시되도록 하였다. 이부분은 Option Button으로 구성하여 도면위에서의 마우스의 동일한 조작에도 선택된 한가지 작업만을 할 수 있도록 구성하였다.

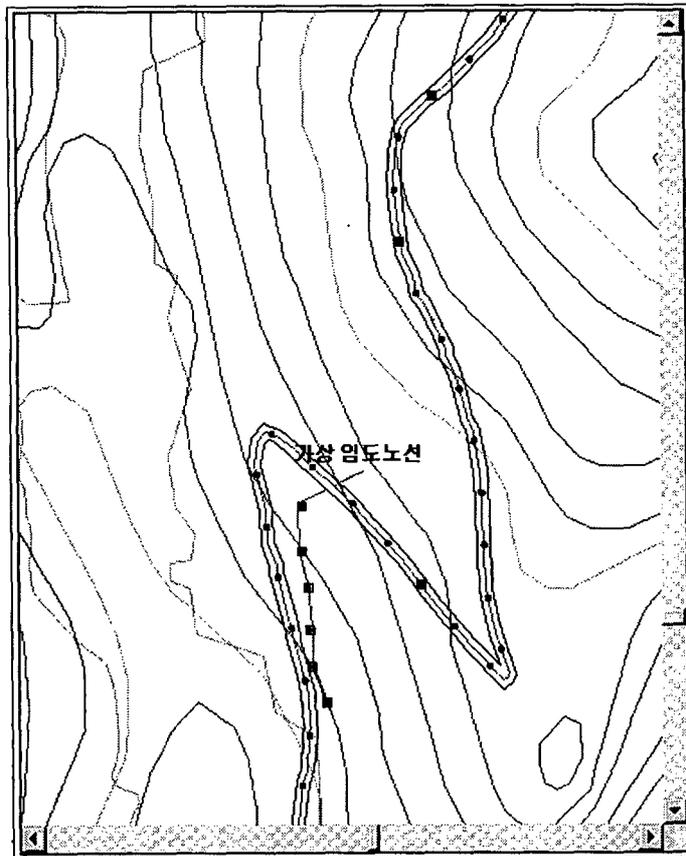
이중 확대는 마우스로 지정한 사각형의 범위를 기준으로 확대가 수행되고, 좌우, 상하의 범위중 보다 큰 값을 기준으로 확대되게 하였고, “축소”는 마우스가 클릭된 지점을 중심으로 화면범위가 넓어지도록 하였으며, “이동”은 programming 기능을 이용하여 좌우, 상하로 이동하여 필요한 부분을 검색할 수 있게 하였다. 이용자의 편의를 위해서 확대작업중에는 +가 적혀진 확대경, 축소작업중에는 -가 그려진 확대경 이동작업은 손바닥모양의 마우스 포인트가 나타나게 하였다. 지형도의 가독성을 높이기 위해서 1:25,000지형도의 30%미만의 범위가 표시될 때는 주곡선과 계곡선이 나타나고, 그 이상의 대면적을 표시할 때는 계곡선만 나타나도록 하였다.

또한 도면에 임의의 지점을 표시하거나 새로운 임도노선을 입력하는 등 이용자가 필요한 사항을 표시할 수 있도록 점찍기, 선그리기, 글자넣기 기능을 추가하였다.

“객체확인”은 메인화면에 나타난 각 레이어의 features를 하나의 객체로 인식하여 각 객체가 갖고 있는 속성정보를 나타내게 하였고, “사진보기”는

메인화면에 나타난 임도노선의 각 체인에 대한 현장 현황 사진 등을 확인할 수 있도록 하였다.

메인화면에 나타난 임도노선의 각 체인에 대한 임도구조 인자를 체인별로 확인하고자 할 때, "체인체크"를 사용하면 메인화면의 왼쪽 속성값 보기 창을 통하여 해당 체인의 인자들을 확인할 수 있도록 하였다.

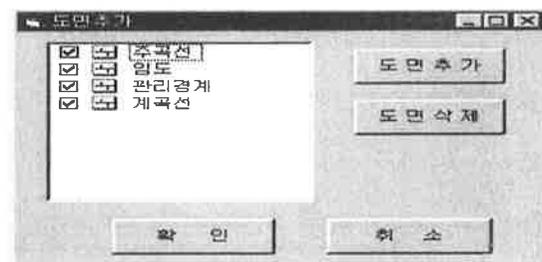


<그림 3-17> 도면에서의 점찍기, 선그리기, 글자넣기의 실행결과



<그림 3-18> 사진보기의 결과

기타 레이어관리를 위해서 레이어관리와 레이어저장 기능을 추가하였으며, 현재 나타난 도면을 프린터로 출력하기 위해서 지도출력 기능을 삽입하였다.



<그림 3-19> 레이어관리의 대화상자

4) 속성자료 관련 개발 및 운영환경

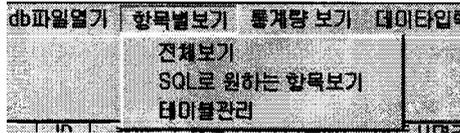
전술한 것처럼 합리적인 입도관리를 위한 속성자료 DB의 효율적인 관리 는 매우 중요하다. 여기에서는 속성자료 DB는 자료입력과 수정의 용이성을 확보하기 위하여 MS Access 97을 이용하도록 프로그램을 작성하였다

*.mdb 파일은 전술한 입도구조인자가 입력된 Access파일로서 프로그램과 DB와의 연결은 ADO Data Control 6.0을 이용하였다. 파일의 화면구성은 FrexGrid Control 6.0을 사용하였으며 전체적인 형태는 아래 그림과 같이 나타난다. *.mdb파일은 개발된 프로그램에서 제공하는 .dll에 의해 Access 프로그램이 탑재되지 않은 PC에서도 사용이 가능하고, 입력이나 수정도 가능하도록 하였다.

ID	속질	출노력	중단물량	절토사면길이	절토사면경사	입도위치	절묘기토질	사면방위	산지경사
1	1	4.9	49282176	9	65	1	2	145	
2	2	5.2	63525924	7	60	3	5	320	
3	3	6.8	49282176	7	55	3	1	325	
4	4	6	49282176	8	60	3	4	310	
5	5	5.6	92830412	9	55	1	3	310	
6	6	3.9	92830412	3	30	1	2	358	
7	7	4.6	49282176	7	70	3	4	65	
8	8	5.8	63525924	9	60	2	2	90	
9	9	5	63525924	8	70	3	5	300	
10	10	5.1	19435104	8	48	2	2	300	
11	11	7.1	94917477	9	48	2	1	230	
12	12	5.3	92830412	10	58	3	5	360	
13	13	4.4	92830412	8	68	3	3	230	
14	14	5.1	92830412	9	62	3	5	15	
15	15	5.1	92830412	9	62	3	5	15	
16	16	7.8	92830412	12	65	3	5	305	
17	17	5.4	49282176	5	38	3	1	150	
18	18	5	19435104	13	64	1	5	20	
19	19	5.8	94917477	7	52	2	1	110	
20	20	5.8	19435104	6	41	2	2	345	
21	21	5	19435104	8	66	3	4	320	
22	22	5.9	92830412	3.5	39	1	1	30	

<그림 3-20> 입도속성자료가 입력된 *.mdb 파일의 모습

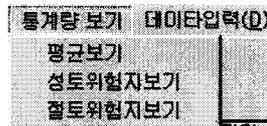
항목별 보기는 아래 그림과 같이 3개의 풀다운 메뉴로 구성된다.



<그림 3-21> 항목별보기의 메뉴

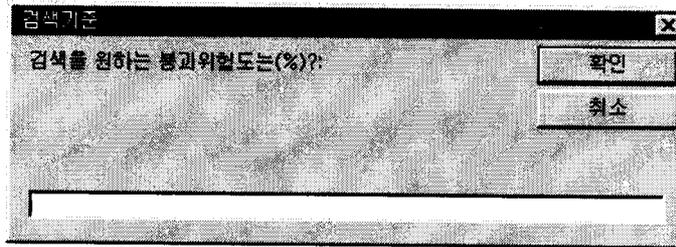
"전체보기"는 데이터베이스 파일 전체의 내용을 보여주며, "SQL로 원하는 항목보기"는 SQL(Structure Query Language)을 이용하여, 사용자가 원하는 항목을 볼 수 있도록 하였다.

그러나 이러한 SQL이 익숙하지 않은 이용자를 위해서 항목별 보기옆에 통계량 보기라는 풀다운 메뉴를 삽입하였다. 여기에서는 아래그림과 같이 평균보기, 성토위험지보기, 절토위험지 보기의 3항목으로 구성하였다.



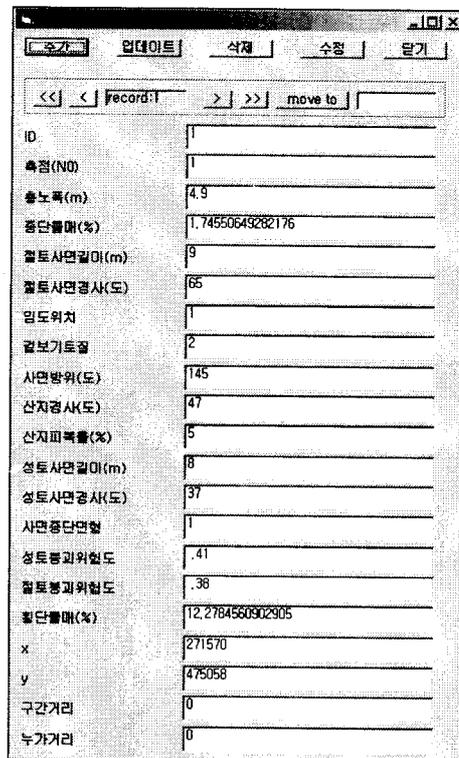
<그림 3-22> 통계량보기의 메뉴

평균보기를 선택하면 절토사면과 성토사면의 길이와 경사의 평균치, 그리고 성토사면과 절토사면의 위험도 평균치를 볼 수 있고, 성토위험지보기와 절토위험지보기에서는 아래와 같은 대화상자에서 사용자가 입력하는 위험도 이상의 데이터만을 보여주도록 하였다.



<그림3-23> 검색기준의 대화상자

“데이터 입력”에서는 “추가”, “업데이트”, “삭제”, “수정”, “닫기”의 메뉴를 이용하여 임도구조 인자값을 추가 및 수정을 할 수 있도록 하였다.



<그림 3-24> 데이터입력 상자

5) 기타 환경

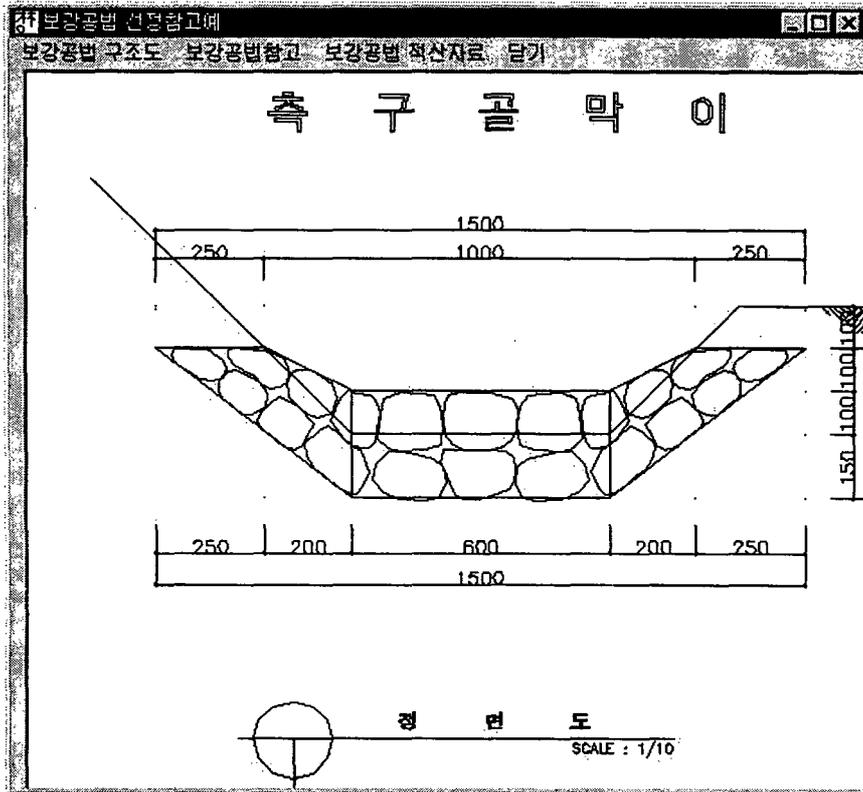
제작된 프로그램에서는 체인의 횡단선형보기와 보강공법 선정참고를 위한 메뉴를 삽입하였다.

횡단선형보기는 임도관리 업무 담당자가 붕괴위험도에 따른 가시적 참조 자료를 확보할 수 있도록 하기 위한 것이다. 선형보기에서 임의의 체인을 선택하면 왼쪽 메인 화면에서는 체인의 절·성토 특성과 붕괴위험도가 나타나고 부가적으로 아래와 같은 pop-up 윈도우가 나타나서 해당 체인의 횡단선형 형상을 가시적으로 보여준다.



<그림 3-25> 횡단선형보기의 예

“보강공법 선정참고”는 입도사면 특성별 주요 공법을 선택하기 위한 참고자료를 나타내기 위한 자료로서 “보강공법 선정참고” label를 클릭하면 아래와 같은 화면을 볼 수 있도록 하였다.

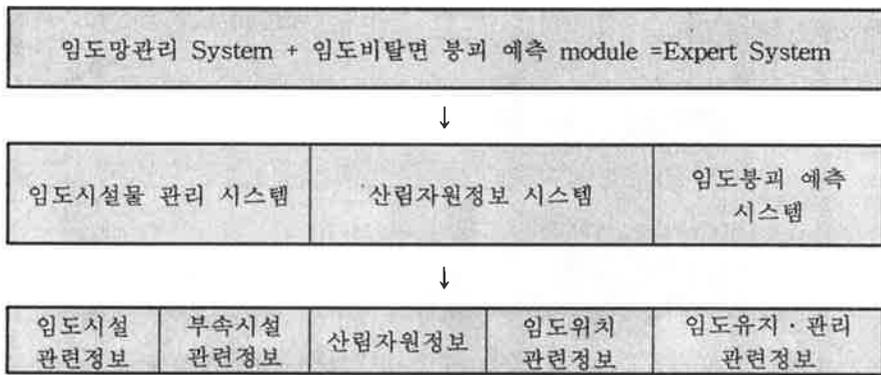


<그림 3-26> 보강공법 선정참고의 예

여기에서의 메뉴 구성은 “보강공법 구조도”, “보강공법 참고”, “보강공법” “적산자료”, “닫기”로 구성되어 있다. 차후 보강공법 DB가 구축될 경우 매우 용이하게 각 입도사면 특성에 적합한 공법 구조도를 시스템상에서 확인하고, 소요예산을 편성하기 위한 적산정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

3. 산림자원정보 시스템과 임도붕괴 위험도 예측 시스템의 통합

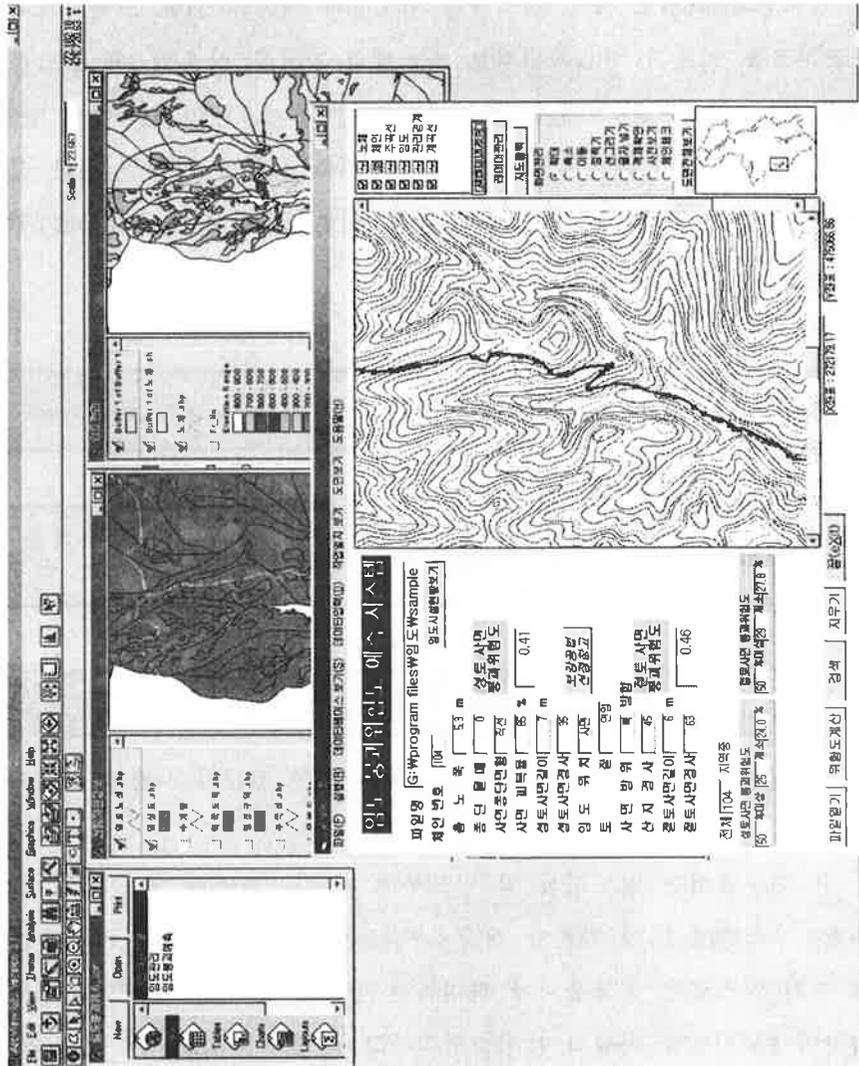
임도붕괴 위험도 예측 시스템은 임도붕괴 예측을 위해 도면자료와 임도 구조자료를 기존의 산림자원정보 시스템의 자료를 사용할 수 있도록 하기 위해, 시스템 구조를 아래와 같이 계획하여, 각 시스템이 연동하여 실행되도록 통합하였다. 따라서 임도붕괴 위험도 예측 시스템 개발을 위한 전제 조건으로 <그림 3-27>과 같은 임도노망에 대한 Geo-referenced DB개발과 산림자원정보 시스템의 개발이 바람직하다.



<그림 3-27> 임도사면붕괴 예측을 위한 전문가 시스템 모식도

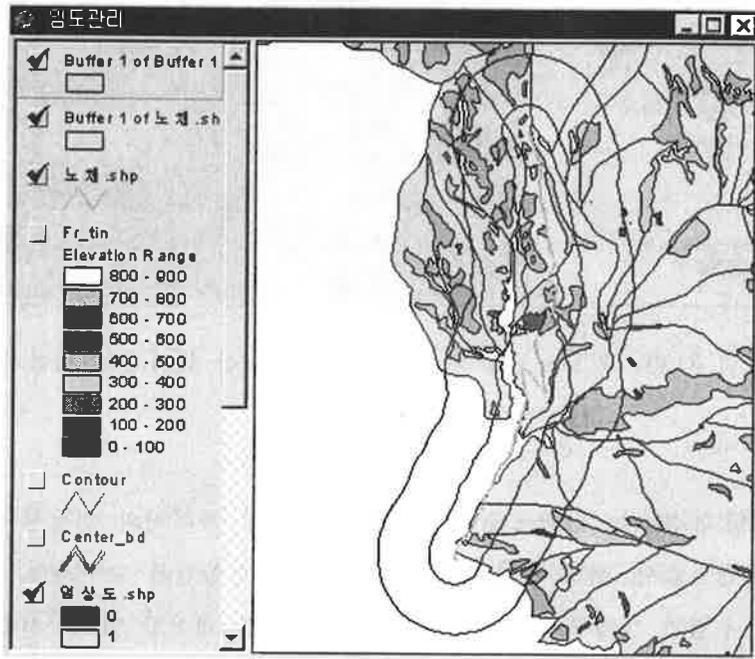
본 연구에서는 임도시설 및 임도부속 시설과 관련된 임도관리 시스템을 개발·구축하고 또한 기존에 개발·구축된 산림자원 정보를 이용하였다. 임도 관리 시스템은 임도붕괴에 관여하는 임도의 물리적 기하학적 자료를 조사하여 FM기술을 사용하여 시스템화하고, 산림자원정보 시스템은 연구대상 임도가 위치한 지역의 산림자원 및 산림환경 자료를 GIS기술을 사용하여 시스템화한 것으로 임도붕괴 위험도 예측을 위한 임도 입지환경 인자 자료

Database 이다. 아래의 <그림 3-28> 은 Arcview GIS기반의 산림자원정보, 임도관리 및 임도붕괴 예측 시스템이 통합되어 운영되는 화면이다.



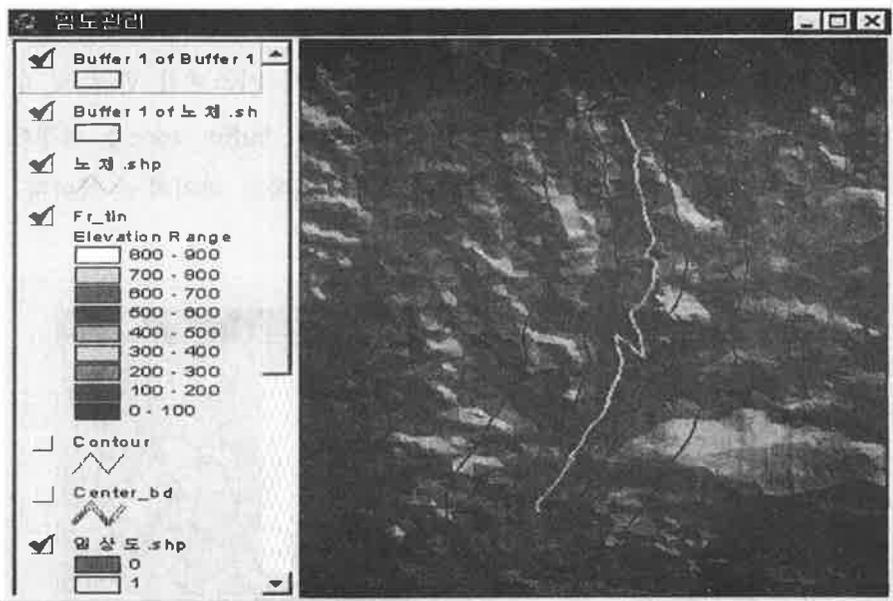
<그림 3-28> Arcview GIS기반의 산림자원정보, 임도관리 및 임도붕괴예측 시스템 통합 운영 화면

이와 같은 시스템 통합환경은 GIS 시스템이 갖고 있는 일반적인 공간분석 기능을 수행할 수 있으므로, 차후 임도붕괴 예측 시스템의 변경 및 확대가 용이하다. <그림 3-29>는 임도노선을 기준으로 buffer zone을 설정함으로써 각 작업방법별 가능범위와 가능범위내 임분현황을 파악하는 예이다.



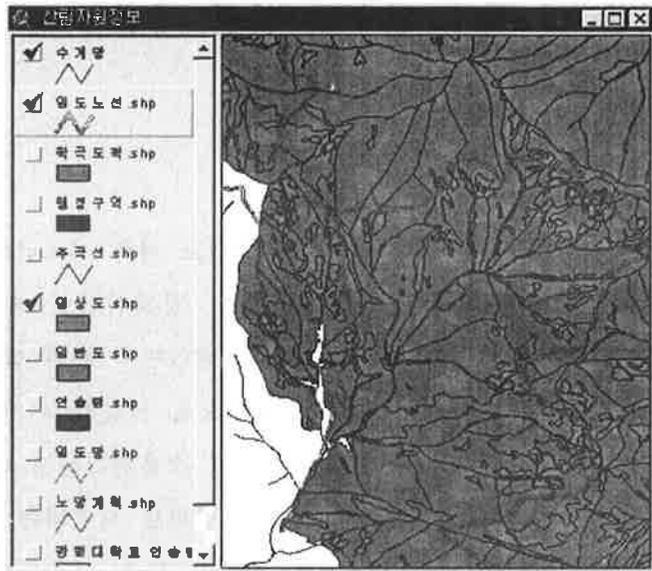
<그림 3-29> 임도노선을 기준으로한 buffer zone 설정

<그림 3-30>은 임도노선을 기준으로한 100m, 200m buffer zone을 설정하고, 임도노선 통과지의 지형기복량에 대한 시각적 분석과 buffer zone을 기준으로한 지형기복량을 파악할 수 있게 함으로써 임도를 기준으로한 작업방법과 작업기준을 설정할 때, 사전 분석작업의 효과를 얻을 수 있다.



<그림 3-30> 임도노선을 기준으로한 임도노선 통과지의 지형기복량에 대한 시각적 분석

<그림 3-31>는 임반도를 기준으로 임도노선 통과지의 임상상태를 파악하는 화면으로서, 현재 개설된 임도통과지의 임상상태를 고려하여, 임목수확 계획의 수립과 실행을 모델링할 수 있으며, 차후 개설할 임도노선을 설정할 때 임상을 고려하여 우선순위를 결정할 수 있는 등, 산림자원정보 시스템과 통합할 경우, 범용 GIS 가 갖고 있는 공간 및 속성 분석기능의 대부분을 사용할 수 있게 됨으로서, 독립적인 임도붕괴 예측 시스템으로서 존재할 경우보다 임업생산성 측면에서는 훨씬 많은 잇점을 얻을 수 있다.



<그림 3-31> 임도노선 통과지의 임상상태 파악

제4절 결론 및 향후 연구를 위한 제언

1. 결 론

본 연구결과를 토대로 개발된 임도붕괴 위험도 예측 시스템은 임도 구조 및 입지·환경 인자가 DB로 구축되었을 경우, 붕괴위험도 예측 적중율이 양호한 것으로 나타나, 이 시스템이 확대 보급된다면 기존의 임도관리 업무가 임도재해 복구적 차원에서 예방업무 차원으로 전환될 수 있으며, 이에 따른 임업적·경제적 이익은 기존의 평가기준을 적용하더라도 매우 높을 것으로 사료된다. 특히 국내 임도는 저가의 개설단비로 시공되는 만큼 앞으로도 지속적인 붕괴 위험을 안고 있으므로, 이 시스템을 이용하여 기존에 개설된 임도를 대상으로 임도관리 시스템을 구축하고 예측된 붕괴 위험도에 따라 각 임도에 대한 유지·관리비 투자 우선 순위를 결정할 수 있음은 물론, 동일 임도노선 내에서도 붕괴 위험개소를 결정할 수 있으므로, 예산의 효율적 운용이 가능할 것으로 사료된다.

기존의 산림자원정보 시스템과 임도 관리 시스템과 통합함으로써 산림작업시 임도개설 전·후의 각 산림작업에 대한 경제성 평가와 함께 임도노선을 기준으로, 임도를 이용한 작업 가능범위를 가지적으로 또는 통계적으로 분석할 수 있으므로, 각 작업에 대한 모델링이 가능할 것으로 사료된다.

이 시스템에서 사용하고 있는 Map Objects Components 응용기술은 GIS분야에서 주류를 이루고 있는 선진기술로서, 범용적인 computer language 내에서 특정 format의 GIS 데이터를 관리할 수 있게 됨으로서 차후 국내 임업관련 기관 및 부서 내에서 개발된 공간 DB를 활용하는데, 중요한 역할을 할 것으로 기대되며, 나아가, 시스템의 확장이 매우 용이하게 이루어질 수 있게 된다.

2. 시스템의 개선을 위한 제언

현재, 개발된 임도붕괴위험도 예측시스템은 0.8 version으로서 계산에 필요한 인자만 입력하면 임도 붕괴위험도 예측적중율이 양호한 것으로 나타나, 그 붕괴예측기능은 충분히 발휘되는 것으로 판단된다. 그러나, 현실적으로 임도붕괴 위험도가 판정된 이후의 대처방안 즉, 붕괴위험도를 저감시킬 수 있는 가장 합리적인 방안을 선택하여 임도를 안정적으로 관리할 수 있는 시스템의 개발이 필요할 것으로 사료된다. 이를 위해서는 임도의 각종 복구 혹은 보완공법과 관련된 자료들의 DB를 구축하고, 현재의 지형조건 등을 판단하여 현 조건에서 가장 합리적인 복구 혹은 예방공법을 자동적으로 채택할 수 있는 전문가 시스템과 알고리즘의 개발이 필요할 것이다. 기존의 임도개설 공사에서는 적산과정이 전산화되어 있지 않기 때문에 경제적인 측면을 고려하여 적산프로그램을 개발할 필요가 있다고 판단된다.

또한 이 시스템에서 개발된 DB의 운용과정은 비교적 용이하나, DB의 자유로운 활용이 가능하도록 DB파일 자체의 백업과 자동갱신, 그리고 DB내에서 컬럼의 자유로운 수정, 보완을 쉽게 할 수 있도록 갱신할 필요성이 있다.

현재 이 시스템에서는 Access파일은 소프트웨어가 없어도 활용이 가능하지만 CAD는 OLE Container만 제공하였다. 이 시스템의 활용능력을 높이기 위해서는 시스템내에서 다른 소프트웨어(CAD, GIS)의 지원없이도 기본적인 dwg, dxf 파일 편집 기능 등을 부여하고, 시스템내에서 생성된 레이어를 GIS의 호환데이터(dbf, shp 등)로 저장할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 姜渭平, 村井宏, 大村實, 馬鎬燮. 1986. 數量化(Ⅱ)類에 의한 山沙汰斜面的 危險度 判別. 韓國林學會誌 75 : 32-37.
- 姜渭平. 1981. 1979年 8月 集中豪雨에 의한 鎭海地區의 山沙汰에 關한 研究. 韓林誌 52 : 72-78.
- 경북대학교. 1998. 산림자원정보 DATABASE 구축에 관한 연구. 농림부
- 기상청. 1996. '95 기상연보. 244pp.
- 기상청. 1997. '96 기상연보. 242pp.
- 기상청. 1998. '97 기상연보. 244pp.
- 기상청. 1999. '98 기상연보. 296pp.
- 기상청. 2000. '99 기상연보. 248pp.
- 김경남·전근우·차두송. 1955. 지리정보시스템을 이용한 강원대학교 연습림의 삼림자원 정보시스템 구축(Ⅰ). 강원대 연습림연구보고 15 : 64-72.
- 金鍾閏, 李海周, 李鳳洙, 吳世元. 1990. 數量化에 의한 林道 被害原因 分析. 林業試驗場研究報告 41 : 36-62.

- 金鍾閔, 車斗松, 金瓚會. 1992. 數值地形圖를 利用한 最適林道網 編成 方法. 林研研報 44 : 120-132.
- 류재구. 1999. 한글 Visual Basic 6.0 Using Bible, 영진출판사.
- 馬相圭. 1979. 山沙汰發生地와 被害危險地의 環境學的 解析과 豫防對策 -平昌地區를 中心으로-. 韓林誌 45 : 11-25.
- 馬相圭. 1987. 山岳地林道の 路肩 斜面崩壞와 側溝浸蝕에 關한 研究. 韓國林學會誌 76(2) : 161-168.
- 麻鎬燮. 1994. 山地斜面的 崩壞危險度 豫測모델의 開發 및 實用化 方案. 韓國林學會誌 83(2) : 175-190.
- 산림청. 1997. 제4차 산림기본계획. 93-114.
- 禹保命, 任慶彬, 李壽煜. 1978. 安養地域에 있어서 豪雨에 依한 山沙汰發生에 關한 實態調査와 豫防對策에 關한 研究. 韓林誌 39 : 1-34.
- 禹保命, 全起成, 崔炯太, 鄭道鉉. 1995. 山沙汰地の 植生 回復過程에 關한 基礎的 研究 -龍仁·華城郡地域을 對象으로-. 韓林誌 84(1) : 31-40.
- 禹保命. 1972. 山地의 Mass Soil Movement 現像의 몇 가지 特性. 韓國林學會誌 15 : 49-60.

- 禹保命. 1977. 식생이 비탈면 안정에 미치는 영향. 韓國林學會誌 35 : 47-55.
- 이광원 · 김기원 · 차두송. 1993. 산림생산기반조성과 임도 및 임업기계화. 농촌경제연구원연구보고. 296pp.
- 이을재. 1999. 한글 Visual Basic 6.0, 해지원.
- 임업연수원. 1997. 임도(신규)반 -'97교육교재-. 임업연수원. 622pp.
- 全權雨, 吳在萬. 1993. 林道斜面的 土砂流出과 植生侵入에 關한 研究(Ⅱ) - 土斜面的 木本植物侵入을 中心으로-. 韓國林學會誌 82(4) : 354-365.
- 전근우 · 김경남 · 차두송. 1995. 항공사진에 의한 하상변동에 관한 연구(Ⅱ). 한국임학회지 84(3) : 369-376.
- 鄭道鉉. 1995. 新設林道の 初期浸蝕量에 關한 研究. 韓林誌 84(3) : 319-332.
- 池炳潤. 2000. 林道斜面的 崩壞診斷 및 小徑材 抑止工法에 關한 研究. 江原大學校 博士學位論文. 201pp.
- 車斗松, 金鍾閔, 鄭道鉉. 1995. 山岳地形에 適合한 適正路網整備에 關한 研究. 山林科學論文集. 52 : 176-185.
- 車斗松, 曹丘鉉. 1994. 機械化集材作業을 위한 路網整備에 關한 研究(Ⅱ). 韓

林誌 83(3) : 299-310.

車斗松, 池炳潤, 吳宰憲. 2000. Fuzzy理論을 利用한 林道斜面的 崩壞可能性 評價(I) -變成岩地域의 盛土斜面을 中心으로-. 韓國林學會誌 89(1) : 33-40.

車斗松, 池炳潤. 1999. 數量化Ⅱ類에 의한 林道 盛土斜面的 崩壞要因 評價 및 豫測. 韓國林學會誌 88(2) : 168-169.

車斗松, 全權雨, 金鍾閏. 1991. 山岳林의 林道開設에 關한 研究 - 路線選定의 評價 -. 江原大演研報 第11號 : 37-42.

차두송 · 조구현. 1994. 기계화집재작업을 위한 노망정비에 관한 연구. 강원대연습림연구보고 14 : 26-38.

차두송 · 조구현 · 지병윤. 1993. 기계화집재작업을 위한 노망의 정비. 강원대삼림과학연보(9) : 57-66.

崔敬, 金泰助. 1982. 山沙汰 發生原因에 關한 研究. 林業試驗場研究報告 29 : 7-31.

崔敬, 朴勝杰. 1983. 山沙汰 發生豫知에 關한 研究-多變量 解析法에 依한-. 林業試驗場研究報告 30 : 109-129.

崔敬. 1986. 韓國의 山沙汰 發生原因과 豫知에 關한 研究. 江原大學校 博士

學位論文. 45pp.

최경. 1999. 임도사면에서의 붕괴발생 원인과 방지대책. 산림 405 : 50-53.

최석근, 이현직, 조재호. 1997. 수치지도제작. 형설출판사.

韓國建設技術研究所. 1989. 斜面の 安全診斷 및 保護工法. 建設研
89-GE-111. 331pp.

함현철역. 1994. Nathan & Ori Gurewich, Teach Yourself Visual Basic 3.0,
인포북.

岡 信彦, 風間秀彦, 芥川眞知, 小田匡寛 . 1993. 地質の異なる斜面での降雨に
起因した表層崩壊の地域特性. 土木學會論文集 481 : 11-20.

江頭進治, 中 庸充, 内田 修. 1996. 斜面崩壊に伴う災害危険度の評價法に關す
る研究. 砂防學會誌 vol 49(3) : 11-19.

綱木亮介, 吉松弘行, 大浦二朗. 1990. ファジィ 理論による地震時の斜面崩壊の
豫測. 地すべり 27(3) : 19-25.

關 裕吉. 1980. 盛土斜面の崩壊. 第十五回治山林道研究發表論文集 : 45-48.

久保村圭助, 武井昌博. 1971. 水量化法による切取のり面の安全度解析. 土木學
會論文報告書 194 : 141-150.

菊地政泰, 黄井正美. 1973. 林道の法面崩壊に関する研究(1). 第八回林道研究会発表論文集: 91-98.

菊地正泰. 1974. 林道の切取法面の安全度解析. 日本林学会大会講演集 85 : 318-320.

近藤恵市, 神谷信宏. 1995. 赤石山地南部における林道災害危険個所の要因分析. 森林利用学会誌 10(3) : 205-212.

近藤恵市. 1994. 溪流横断部における林道災害の研究. 静岡大学農学部演習林報告 18 : 45-75.

吉村哲彦, 神崎康一, 沼田邦彦, 鈴木保志. 1992. 森林路網計画のための崩壊危険地の予測に関する研究. 103回 日本林学会大会発表論文集 : 617-619.

吉村哲彦, 神崎康一. 1995. 破碎帯急傾斜地における崩壊危険度を用いた高密度路網計画法(I)-地形図による崩壊危険度の判定-. 日本林学会誌 77(1) : 1-8.

吉村哲彦, 赤羽 元, 宮崎裕之, 神崎康一. 1996. Fuzzy積分による林道のり面の崩壊危険度判定法. 森林利用学会誌 11(3) : 165-172.

吉村哲彦, 赤羽 元, 神崎康一. 1995. Fuzzy理論を用いた林道のり面の崩壊危険度判定法. 森林利用学会誌 10(3) : 195-204.

- 木林成行, 小島尙人. 1998. 自然シラス斜面の地盤特性を考慮した斜面崩壊危険評価法の一提案. 土木學會論文集 609(VI-41) : 123-136.
- 木村和弘, 千野敦義, 酒井信一. 1972. 林道の關する研究Ⅲ 一盛土工法の關する研究 (第一報). 信州大學農學部演習林報告 9 : 71-97.
- 杉山和一, 後藤惠之輔, 吉住龍也, 棚橋田彦. 1990. 數量化理論による地すべりの危険度評價法の一試案. 土木學會論文集 424 : 69-74.
- 森田紘一, 中尾博美. 1974. 切取法面の崩壊(Ⅲ)-宮崎縣内14路線-. 九州大學農學部演習林集報 25 : 15-73.
- 上飯坂 實. 1953. 林道の破壊防止に關する研究. 岩手大學農學部報告 1 : 255-260.
- 西 邦正, 古川浩平, 小川 健, 中川浩二. 1992. Fuzzy理論に基づく供用中切土のり面の崩壊要因評價と岩種特性. 土木學會論文集 457 : 151-154.
- 西 邦正, 古川浩平, 小川健, 中川浩二. 1993. 豪雨時における切土のり面の崩壊誘引評價と崩壊・未崩壊の判定について. 土木學會論文集 480 : 127-136.
- 西 邦正, 古川浩平, 中川浩二. 1992. Fuzzy理論を用いたのり面の崩壊要因および崩壊可能性の評價について. 土木學會論文集 445 : 109-118.

- 西邦正, 古川浩平, 小川健, 中川浩二. 1992. Fuzzy理論を用いたのり面崩壊要因および崩壊可能性の評価について. 土木學會論文集 445 : 109-118.
- 西邦正, 古川浩平, 小川健, 中川浩二. 1993. 豪雨時における切土のり面の崩壊誘引評価と崩壊・未崩壊の判定について. 土木學會論文集 480 : 127-136.
- 石川芳治, 前田昭浩, 草野慎一. 1996. 山岳道路の土石流發生危険度判定手法. 砂防學會誌 49(1) : 31-37.
- 小橋燈治. 1974. 斜面の崩壊危険度分類の問題點. 地すべり 10(3) : 8-14.
- 奥園誠之. 斜面防災100のポイント. 鹿島出版會. 173pp
- 笠博義, 小島尙人, 木林成行, 黒台昌弘 .1992. 異なった斜面崩壊のタイプに対する斜面崩壊豫測システムの適用性の研究. 土木學會論文集 444 : 11-20.
- 井良澤道也, 平松晋也, 遠藤治郎. 1997. 表層崩壊發生豫測モデルの土砂生産豫防対策施設配置計劃への適用性に関する研究. 砂防學會誌 49(5) : 26-35.
- 竹田泰雄. 1972. 山地崩壊の推移による崩壊危険地帯予知に関する研究. 日本林學會誌 54(4) : 126-134.

中尾博美, 森田紘一. 1972. 切取法面の崩壊(Ⅰ). 日本林學會大會講演集 83 : 416-418.

中尾博美, 森田紘一. 1973. 切取法面の崩壊(Ⅱ)-福岡縣内路線-. 日本林學會九州支部研究論文集 26 : 237-238.

村上幸利, 五味貞夫, 土倉 泰. 1992. 數量化分析結果に基づいた採點法による剝落型落石斜面の危険度判定. 土木學會論文集 444 : 147-152.

塚本次郎. 1991. 仁淀川下流域の台風災害における山腹小崩壊地点と非崩壊地点の判別. 日本林學會誌 73(3) : 161-171.

土質工學會編. 土砂災害の予知と對策. 土質工學會. 357pp

八木則男, 矢田部龍, 木夏明潔. 1990. 降雨時の斜面崩壊に對する限界降雨量. 土木學會論文集 418 : 65-73.

脇本和昌, 田中 豊. 1982. 多變量統計解析法. 現代數學社. 113pp.

Bethlahmy, N. 1967. Effect of Exposure and Logging on Runoff and Erosion. U.S Forest Service Research Note INT-61 : 1-7.

Borga, M., G. Dalla Fontana, D. Da Ros and L. Marchi. 1998. Shallow landslide hazard assessment using a physically based model and digital elevation data. Environmental Geology 35(2-3) : 81-88.

Brunsdon, D. and D. B. Prior. 1984. Slope Stability. John Wiley & Sons, New York. 620pp.

Chuang, P. H. 1995. Use of Fuzzy Sets for Evaluating Shear Strength of Soil. Computer and Geotechnics 17 : 425-446.

Cook, M. J. and J. G. King. 1983. Construction cost and erosion control effectiveness of filter windrows on fill slope. USDA For. Ser. Research Note INT-335. 5pp.

ESRI, Building Applications with MapObjects.

ESRI, MapObjects, Programmer's Reference.

ESRI, Using ArcView GIS.

ESRI, Using Avenue.

Grabisch, M. 1996. The application of fuzzy integral in multicriteria decision making. European Journal of Operational Research 89 : 445-456.

Hougaard, J. L. and H. Keiding. 1996. Representation of preferences on fuzzy measures by a fuzzy integral. Mathematical Social Sciences

31 : 1-17.

Patric, J.H. 1976. Soil erosion in the eastern forest. J. For. : 671-677.

Swift, Jr., L.W. 1984. Gravel and grass surfacing reduces soil loss from mountain roads. For. Sci. 30 : 657-670

LaHusen, R. G. 1984. Characteristics of Management-Related Debris Flows, Northern California. Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability : 139-145.

Lark, R. M. and H. C. Bolam. 1997. Uncertainty in prediction and interpretation of spatially variable data on soil. Geoderma 77 : 263-282.

Alpassa, M.I. 1991. Landslide debris movement and its effects on slope and river channel in mountainous watershed. Hokkaido Univ., Research bulletins of the collage experiment forest vol 48 : 375-418

Cook, M.J. and J.G.King. 1983. Construction cost and erosion control effectiveness of filter windrows on fill slope. USDA For. Ser. Research Note INT-335. 5pp

M.P.Amaranthus, R.M.Rice, N. R. Barr. and R.R.Ziemer. 1985. Logging and forest roads related to increased debris slides in southwestern

oregon. J. of For. : 229-233

Marichal, J. L. 1998. On sugeno integral as an aggregation function. Proceeding of the 6th European Congress on Intelligent Techniques & Soft Computing, Vol 1 : 540-544.

Mats, M. D., I. Bogardi and A. Bardossy. 1997. Fuzzy logic and risk-based interpretation. Geoderma 77 : 299-315.

O'Loughlin, C. L. 1984. Effectiveness of Introduced Forest Vegetation for Protection against Landslide and Erosion in New Zealand's Steeplands. Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability : 275-280.

Rice, R. M., N. H. Pillsbury and K. W. Schmidt. 1985. A risk analysis approach for using discriminant function to manage logging-related landslides on granitic terrain. For. Sci. 31 : 772-784.

Schroeder, W. L and G. W. Brown. 1984. Debris Torrents, Precipitation, and Road in Two Coastal Oregon Watershed. Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability : 117-122.

Swift, Jr., L. W. 1984. Gravel and grass surfacing reduces soil loss from mountain roads. For. Sci. 30 : 657-670.

Megahan, W.F. and W.J.Kidd. 1972. Effects of logging and logging roads on erosion and sediment deposition from steep terrain. J. of For 70 : 136-141

Megahan, W.F. 1974. Deep-rooted plants for erosion control on granitic road fills in the Idaho Batholith. USDA For. Ser. Research Paper INT-161. 18pp

Yoshinori, T. and K. Osamu. 1984. Vegetative influences on debris slide occurrences on steep slope in japan. Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability : 63-72.

부 록

임도의 붕괴위험도 예측 전문가 시스템 사용설명서

본 프로그램과 사용설명서는 Copyleft 운동에 동참하는 의미에서 누구나 사용할 수 있습니다. 보다 많은 임도관리 업무 담당자에 의해 사용되기를 바랍니다.

추후 프로그램의 개선을 위해 예고 없이 변경된 사항이 생김으로써 본 설명서와 프로그램 사용법간에 서로 일치하지 않는 부분이 있을 수 있음을 이해해 주시기 바랍니다.

목 차

권장 시스템사양

프로그램 설치방법

1. 임도붕괴 예측 전문가 시스템 시작

- 1) ArcView가 없을 경우
- 2) ArcView GIS가 있는 경우,
- 3) 임도현황 보기

2. 임도 붕괴 위험도 sample 파일 열기

3. 임도붕괴 위험도 계산

4. 메뉴바를 이용한 작업

5. 데이터 DB 맞보기

6. CAD 도면 맞보기

7. GIS 도면 맞보기

권장 시스템 사양

임도 붕괴 위험도 예측 프로그램을 설치하려면 다음 조건을 만족하는 시스템을 구성하여야 한다.

권장 시스템 환경

운영체제	windows 95/98, NT4.0 이상 (Microsoft 사의 한글 windows 95, 98을 기본 시스템으로 하며, NT일 경우 service pack 3이 필요하고, windows 2000일 경우 pro 이상이 가능함)
권장시스템 환경	Pentium 100 Mhz CPU 이상 :Pentium 급 이상의 IBM 호환 PC(PentiumIII 권장)
메모리	최소 8MB, 32MB 이상권장, 윈도우 NT 이상일 경우 64MB 이상 권장
하드디스크 공간	기본설치 30MB :작업 데이터를 고려할 경우 5MB 이상의 HDD가 필요
기타	CD-ROM VGA 프린터 스캐너 디지털타이저

프로그램 설치방법

1. windows를 시작한다.
2. 컴퓨터의 CD-ROM 드라이브에 임도붕괴 위험도 예측 시스템의 배포한 CD를 넣는다.
3. Windows의 탐색기를 이용하여 CD-ROM드라이브를 액세스하여, Setup.exe파일을 실행시킨다.
4. 마우스를 이용하여 아이콘을 선택하면 설치를 위한 다이얼로그가 나타난다.
5. 아이콘을 선택하거나 확인단추를 누르면 설치프로그램이 시작된다.
6. 차례대로 화면에 나타나는 지시사항에 따라서 설치를 진행·종료한다.

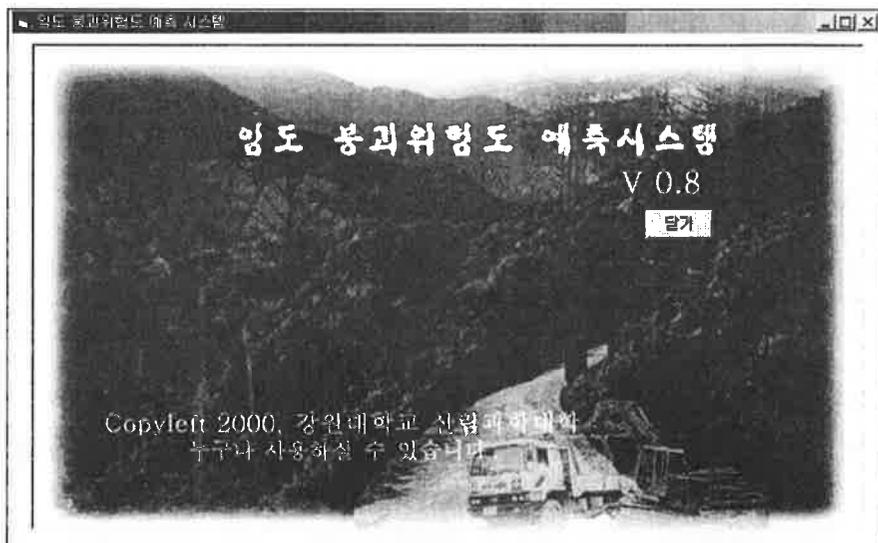
*windows 98에서는 일부 dll 파일에 대한 overwrite 경고 메시지가 있을 수 있습니다. 항상 "Yes"를 선택하시기 바랍니다.

프로그램이 모두 설치된 후, 설치된 디렉토리의 "sample.mdb"파일의 읽기 속성을 해제하시기 바랍니다.

1. 임도붕괴 예측 전문가 시스템 시작

(1) ArcView가 없을 경우

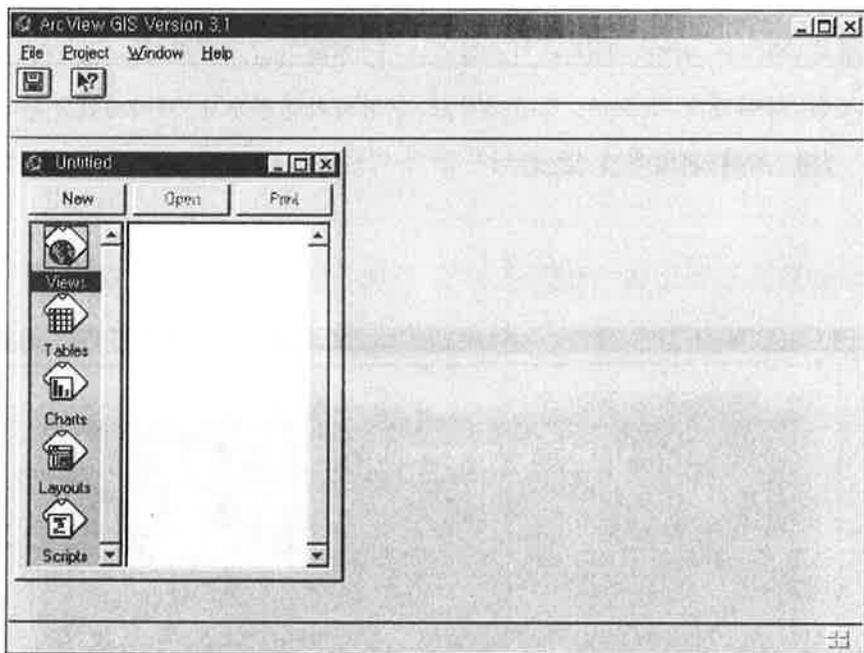
ArcView GIS가 없을 경우 산림자원정보 시스템을 구축할 수 없으나, GIS tool 구입비에 대한 추가 지출없이 임도붕괴 위험도를 예측할 수 있다. 실행방법은 “시작” - “임도붕괴 위험도 예측 시스템”을 선택하면 아래와 같은 초기실행 화면이 나타난다. 초기실행화면은 이 시스템의 기능이 붕괴 위험도 예측을 위한 전문가 시스템으로서, 현재 version은 0.8이고, Copyleft 운동에 참여하고 있으며, 강원대학교 산림과학대학에서 제작되었음을 알리고 있다. 아래 화면에서 닫기 버튼을 클릭하면 다음의 메인화면으로 이동한다.



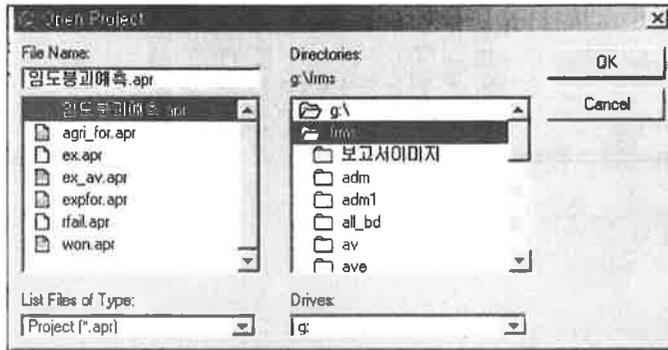
(2) ArcView GIS가 있는 경우

현장 실무자에 의해 customizing 된 시스템을 구축하거나, 본 연구에서 구축한 산림자원정보 시스템의 DDE(Dynamic Data Exchange)기능을 사용하여 임도봉피 위험도 예측 프로그램을 실행할 수 있다.

먼저, “시작” - “프로그램” - “ArcView3.1” - “ArcView3.1실행”의 순으로 선택하면, 아래와 같은 ArcView project 화면이 나타난다.



초기 ArcView project 화면은 새로운 project 생성을 위한 메뉴와 기존의 프로젝트 열기를 위한 메뉴가 있으며, 기존의 프로젝트 열기를 위한 메뉴를 선택하면 아래와 같은 화면이 나타난다.



해당 프로젝트(*.apr)을 선택하면, 이 시스템에서는 아래와 같은 아이콘 바가 나타난다.



아이콘 바에는 좌측에서부터, 저장하기, 산림자원정보, 임도관리, 임도붕괴 예측, excel 호출, access 호출의 기능을 갖는 Avenue script가 assign 되어 있어, DDE 기능이 발휘된다. 여기에서 임도붕괴 예측 아이콘을 선택하면, 외부 프로그램인 임도 붕괴 위험도 예측 프로그램이 실행되어 아래와 같은 임도붕괴 예측 프로그램의 메인 화면이 나타난다.

(3) 임대현황 보기

메인화면의 시작과 함께 임대붕괴 위험을 예측하고자 하는 해당 임대노선의 개설시의 각종 자료를 보기 위해서는 아래와 같이 메인화면에서 “임도시설현황보기”를 클릭한다. “임도시설현황보기”는 파일 열기에서 *.mdb 파일이 열린 다음 메인화면에 활성화되어 나타난다.

임대 붕괴위험도 예측 시스템

파일명 G:\Wprogram files\W임도\Wsample
체인 번호 104 임대시설현황보기

“임도시설현황보기” 아이콘이 클릭되면 해당 임대노선의 일반사항, 시설사항, 설계 및 시공자 현황에 관한 자료가 담긴 윈도우가 나타난다. “임도시설현황보기”에 담긴 내용은 임대개설시의 일반적인 현황으로서, 주관기관, 임도의 시점과 종점, 임도의 소유구분, 시공년도, 임대규격, 시설거리, 유효노폭, 임대개설에 따른 수혜면적, 임대밀도, 시공 소요금액, 각종 임대 시설물 현황 및 설계·시공자에 관한 자료가 있다.

“임도시설현황보기”의 이러한 정보는 해당임도에 대한 일반적인 정보로서 임대관리를 위해 기본적으로 파악되어야 할 내용이다. 임대붕괴 위험도 예측 프로그램에서는 “임도시설현황보기” 기능을 프로그램에 부여함으로써 해당 임대관리 업무 담당자가 교체되었더라도 매우 용이하게 임대현황을 살필 수 있도록 하였다.

임도시설 현황

일반사항

소 관
 위 치
 중 점

임도종류 시공년도

임도규격

시설거리 공사비 계
 유효노폭 국고
 수해면적 지방비
 임도밀도 자부담

시설물현황

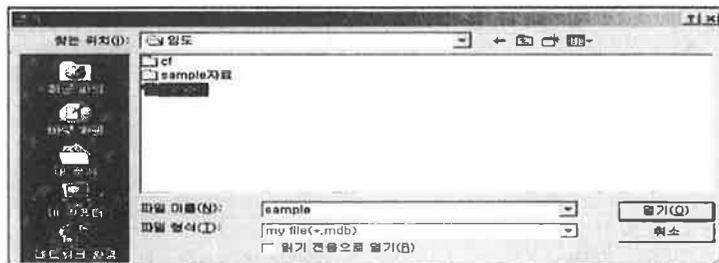
종 류	홀관	BOX교	세철교	석축	옹벽	교량	포장
개소수	<input type="text" value="19"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
수 량	<input type="text" value="176m"/>	<input type="text" value="7m"/>	<input type="text" value="m"/>	<input type="text" value="40m"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="m"/>

설계 및 시공자 현황

설계자
 시공자

2. 임도 붕괴 위험도 sample 파일 열기

메인 화면에서 좌측하단의 “파일열기”를 선택하면 아래와 같이 *.mdb파일을 선택할 수 있는 화면이 나타난다.

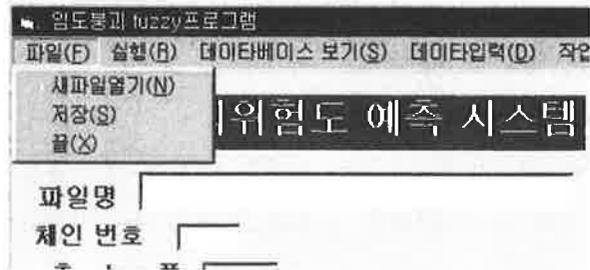


여기에서 분석하고자 하는 지역 또는 임도노선 명을 갖는 *.mdb 파일을 선택하면, ArcView shape 파일로 작성된 공간 DB 자료 파일들이 들어있는 디렉토리도 함께 access 된다.

이용자가 새로운 지역의 *.mdb 파일을 작성할 경우에는, mdb파일이 존재하는 디렉토리에 “*+자료”라는 이름의 폴더를 만들어주어야 한다. 예를 들어 봉화.mdb파일을 만들었을 경우, 봉화.mdb파일이 있는 디렉토리에 “봉화자료”라는 이름의 폴더를 만들고, 그안에 공간 DB파일들을 삽입하는 준비과정이 필요하다. 이때 필요한 공간 DB파일들은 최소 4가지가 필요하다. 즉 주곡선과 계곡선, 관리경계, 임도의 4가지 파일이다. ArcView에서 공간 DB 파일을 만들면 DB파일은 각각 .dbf, .shp, .shx, .sbn, .sbx의 5가지 파일이 자동적으로 생성되는데, 이 중에서 dbf와 shp의 두종류만 있으면 시스템 구동이 된다. sample 데이터에는 이외에 노체와 체인파일이 사용되고 있으나, 이는 준비가 되어 있지 않아도 시스템 구동에는 영향을 미치지 않는다.

이러한 기본적인 공간 DB파일명(주곡선, 계곡선, 관리경계, 임도)은 이용자의 유지관리의 용이성을 위하여 한글로 코딩을 하였기 때문에 영문이나 다른 이름으로 입력될 경우에는 프로그램이 인식을 할 수 없기 때문에 반드시 정해진 이름으로 저장되어야 한다. 기타 이용자가 필요로 하다고 판단해서 만든 다른 이름으로 입력된 공간 DB파일은 후술한 레이어관리에서 불러오거나 삭제할 수 있다.

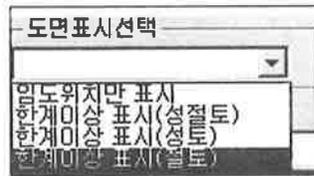
한편 이 기능은 메인 화면의 좌측상단에 위치한 “파일(F)”를 실행하여도 동일한 화면상에서 희망하는 *.mdb 파일을 열 수 있으며, 메인화면의 파일 열기 pulldown menu는 아래의 그림과 같다.



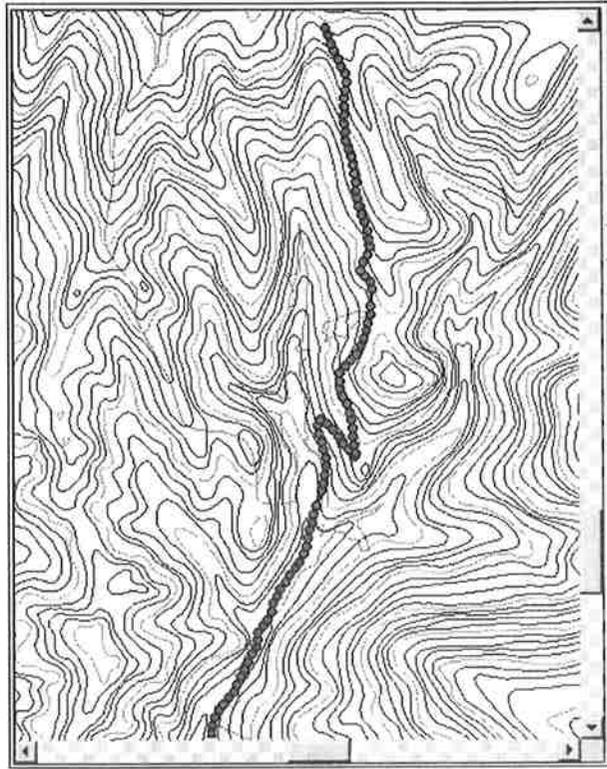
이상과 같이 하면 아래와 같은 메인화면이 나타난다. 메인화면의 구성은 입업 전반에 걸쳐 지리정보 시스템에 대한 기초지식이 초보단계이기 때문에, 이와같은 공간자료 및 속성자료 기반의 붕괴 위험도 예측 시스템에 익숙하지 않을 것으로 예상되어, 화면을 좌측의 속성정보 표시화면과 우측의 공간정보 표시화면으로 구성하고, 화면 상단과 하단에 프로그램 운용에 필요한 메뉴가 위치하도록 프로그램 GUI(Graphic User Interface)를 설계함으로써 직관적인 프로그램 운용이 가능하도록 하였다.

3. 임도붕괴 위험도 계산

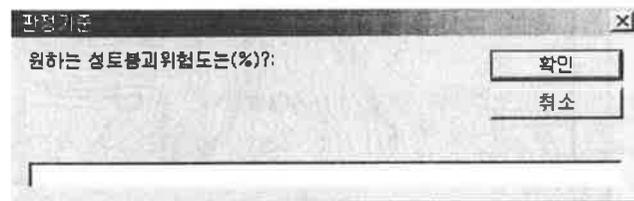
열려진 *.mdb 파일에 대한 임도붕괴 위험도를 계산하고, 화면에 나타내는 방법은 모두 4가지가 있으며, 선택을 위한 옵션은 아래 “도면표시 선택”과 같다. 옵션의 구성은 “임도위치만 표시”, “한계이상 표시(성·절토)”, “한계이상 표시(성토)”, “한계이상 표시(절토)”이며, 이와 같은 메뉴 구성은 임도붕괴가 성토사면과 절토사면에서의 붕괴 발생률에 확연한 차이가 있기 때문이다.

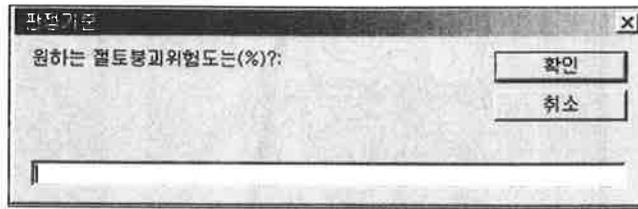


“임도위치만 표시”을 선택할 경우, ArcView에서 생성된 shape format의 임도노선이 화면에 나타나고, 임도 붕괴 위험도 예측을 위해 임도구조 인자를 조사한 각 지점(chain)이 녹색의 원 심볼로 나타난다. 이 프로그램에서는 위의 4가지 옵션 선택에 따라 각각 다른 심볼로 chain을 표시함으로써 사용자가 쉽게 선택한 옵션을 이해할 수 있도록하였다. 또한 임도노선이 통과되고 있는 지역의 등고선은 기본도(1/25,000 또는 1/5,000)내의 적정확대율을 기준으로 하여 화면 표시의 간결함을 위해 주곡선과 계곡선이 나타나도록 하였다. 아래 그림에서는 임도노선을 중심으로 확대되었으므로, 주곡선과 계곡선이 함께 표시되었고, 이러한 등고선의 표시는 임도관리 업무담당자로 하여금 임도노선 통과지의 지형 기복상태를 육안으로 판독하는데, 도움을 줄 수 있다.

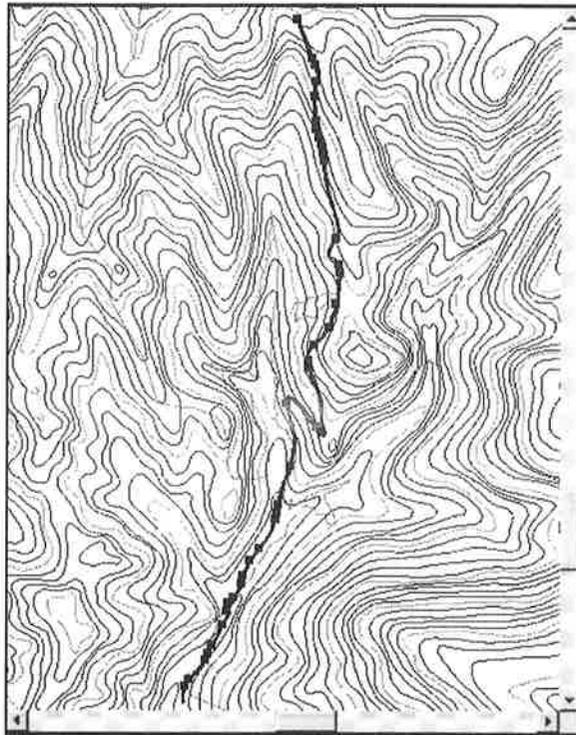


“한계이상 표시(절·성토)”을 선택할 경우 아래와 같이 절토와 성토의 판정기준을 묻는 다이얼로그가 나타난다.

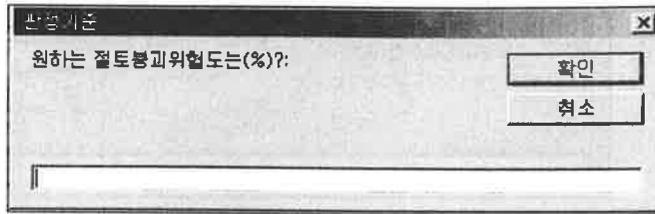




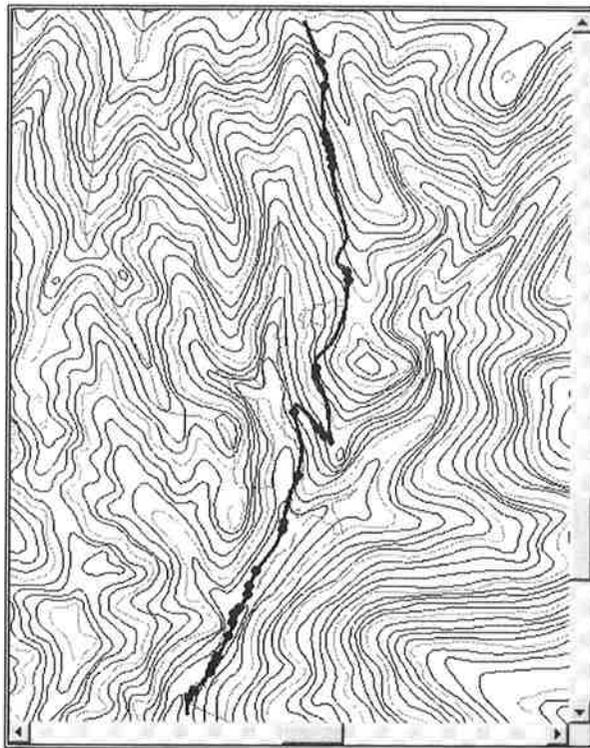
각 임도노선별로, 규정된 판정기준 값을 입력하면, shape format의 임도노선을 따라 붉은색의 사각형 심볼이 표시된다.



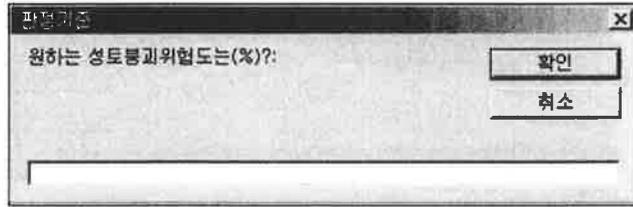
“한계이상 표시(절토)”을 선택할 경우, 아래와 같이 판정기준을 묻는 다이얼로그가 나타난다.



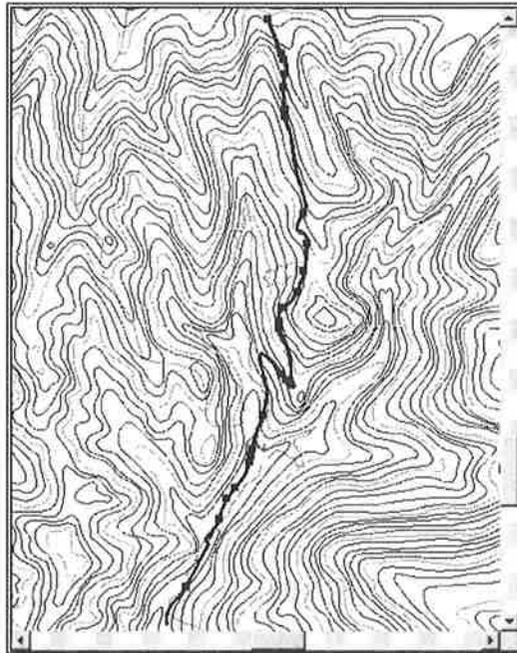
각 입도노선별로, 규정된 판정기준 값을 입력하면, shape format의 입도노선을 따라 붉은색의 사각형 심볼이 표시된다.



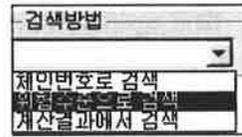
“한계이상 표시(성토)”을 선택할 경우, 아래와 같이 판정기준을 묻는 다이얼로그가 나타난다.



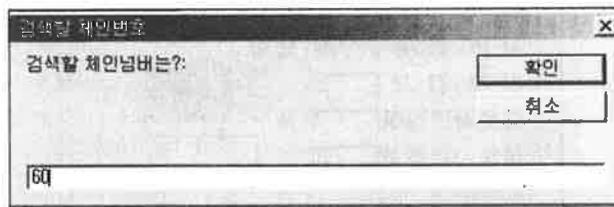
각 임도노선별로, 규정된 판정기준 값을 입력하면, shape format의 임도노선을 따라 붉은색의 원형 심볼이 표시된다.



“검색”을 선택하면, 3가지의 검색방법을 pull-down 형식으로 표시한다. 표시된 검색방법은 아래그림과 같이, “체인번호로 검색”, “위험수준으로 검색”, “계산결과에서 검색”가 있다.



“체인번호로 검색”을 선택하면, 아래와 같이 검색할 체인번호를 묻는 다이얼로그가 나타난다.



다이얼로그에 검색을 희망하는 체인번호를 입력하면, 아래와 같은 메인화면의 우측, 속성값 표시 부분에 해당 체인(또는 조사지점)의 절·성토 사면의 특성과 절·성토 사면의 붕괴 위험도가 나타난다. 화면의 구성은 해당 체인번호, 노폭, 중단물매, 사면중단면형, 사면피복율, 성토사면길이, 성토사면 경사, 임도위치, 토질, 사면방위, 산지경사, 절토사면길이, 절토사면경사에 대한 임도구조 인자별 값을 볼 수 있고, 붕괴 위험도 예측에 따른 결과 값으로서 “성토사면 붕괴 위험도”와 “절토사면 붕괴 위험도”가 나타난다. 예측된 붕괴 위험도 값은 “파일열기”에서 열린 *.mdb 파일에 return value로서 기록되어 지며, 이 값은 MS Access 나 ArcView를 이용하여 편집 및 재분석이 가능하다.

체인 번호	60	
총 노 폭	6.3 m	
종 단 물 때	0	성토 사면 붕괴 위험도
사면 종단면형	직선	
사면 피복율	85 %	0.58
성토사면길이	15 m	
성토사면경사	37	보강공법 선행참고
임 도 위 치	사면	
토 질	면암	
사 면 방 위	동 방향	절토 사면 붕괴 위험도
산 지 경 사	39	
절토사면길이	9 m	
절토사면경사	70	0.54
전체	104	지역중
성토사면 붕괴위험도	%이상	개소
절토사면 붕괴위험도	50 %이상	29 개소 27.884 %

“위험수준으로 검색”을 선택하면, 아래와 같이 위험수준을 묻는 다이얼로그가 나타난다.

검색기준 X

검색을 원하는 붕괴위험도는(%)?:

50

다이얼로그에 검색을 희망하는 체인번호를 입력하면, 아래와 같은 메인화면의 우측, 속성값 표시 부분에 해당 체인(또는 조사지점)의 절·성토 사면의 특성과 절·성토 사면의 붕괴 위험도가 나타난다. 또한 희망 검색 값에 따라 연속적으로 다음 체인을 선택할 수 있도록 “다음”이라는 pop-up 윈도우가 나타난다. 계속해서 검색하고 싶으면 마우스로 “다음” 윈도우의 확인을 누른다.

체인 번호	23	
총 노 폭	5.3 m	
종 단 물 때	6.74886	성토 사면 붕괴위험도
사면종단면형	활합	
사면 피복율	80 %	0.58
성토사면길이	9 m	roadsheet
성토사면경사	41	다음
임 도 위 치	사면	확인
토 질	일반토사	
사 면 방 위	서 방향	
산 지 경 사	36	절토 사면 붕괴위험도
절토사면길이	14 m	
절토사면경사	49	
전체	104	지역중
성토사면 붕괴위험도	%이상	개소
절토사면 붕괴위험도	50 %이상	23 개소 27.884 %

“계산결과에서 검색”을 선택하면, 계산결과에 따라 각 체인별로, “성토지”, “절토지”, “선형”에 의한 질의를 할 수 있도록 하는 아래와 같은 윈도우가 나타난다.

체인 번호	102	
총 노 폭	6.3 m	
종 단 물 때	6.74886	성토 사면 붕괴위험도
사면종단면형	직선	
사면 피복율	75 %	0.58
성토사면길이	9 m	계산결과 성토지
성토사면경사	41	성토
임 도 위 치	계곡	보강공법 선형종교
토 질	호박흙	절토지
사 면 방 위	남 방향	절토
산 지 경 사	32	선형보기
절토사면길이	7 m	선형
절토사면경사	36	결과닫기
전체	104	지역중
성토사면 붕괴위험도	%이상	개소
절토사면 붕괴위험도	50 %이상	23 개소 27.884 %

“성토지”를 선택할 경우 아래와 같이 해당 체인에 대한 성토사면의 붕괴 위험도 및 임도구조인자에 대한 정보가 나타난다.

체인 번호	76	
총 노 폭	3.7 m	
종 단 물 량	5.24077	성토 사면 붕괴 위험도
사면종단면형	직선	
사면 피복율	40 %	0.74
성토사면길이	9 m	
성토사면경사	42	
임 도 위 치	능선	보강공법 선정참고
토 질	연암	
사 면 방 위	복동	방향
산 지 경 사	37	절토 사면 붕괴 위험도
절토사면길이	5 m	
절토사면경사	60	0.46
전체	104 지역중	
성토사면 붕괴위험도	%이상	개수 %
절토사면 붕괴위험도	50 %이상	29 개수 27.884 %

“절토지”를 선택할 경우 아래와 같이 해당 체인에 대한 절토사면의 붕괴 위험도 및 임도구조인자에 대한 정보가 나타난다.

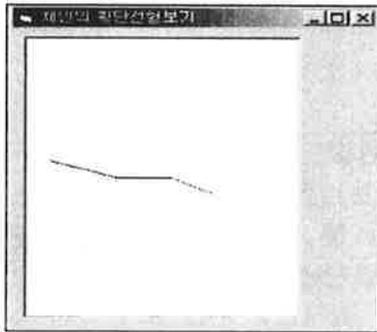
체인 번호	21	
총 노 폭	5 m	
종 단 물 량	6.99268	성토 사면 붕괴 위험도
사면종단면형	절형	
사면 피복율	20 %	0.54
성토사면길이	5 m	
성토사면경사	47	
임 도 위 치	능선	보강공법 선정참고
토 질	연암	
사 면 방 위	복사	방향
산 지 경 사	42	절토 사면 붕괴 위험도
절토사면길이	6 m	
절토사면경사	66	0.51
전체	104 지역중	
성토사면 붕괴위험도	%이상	개수 %
절토사면 붕괴위험도	50 %이상	29 개수 27.884 %

“선형”을 선택할 경우 아래와 같이 해당 체인에 대한 절토사면의 붕괴 위험도 및 임도구조인자에 대한 정보가 나타난다.

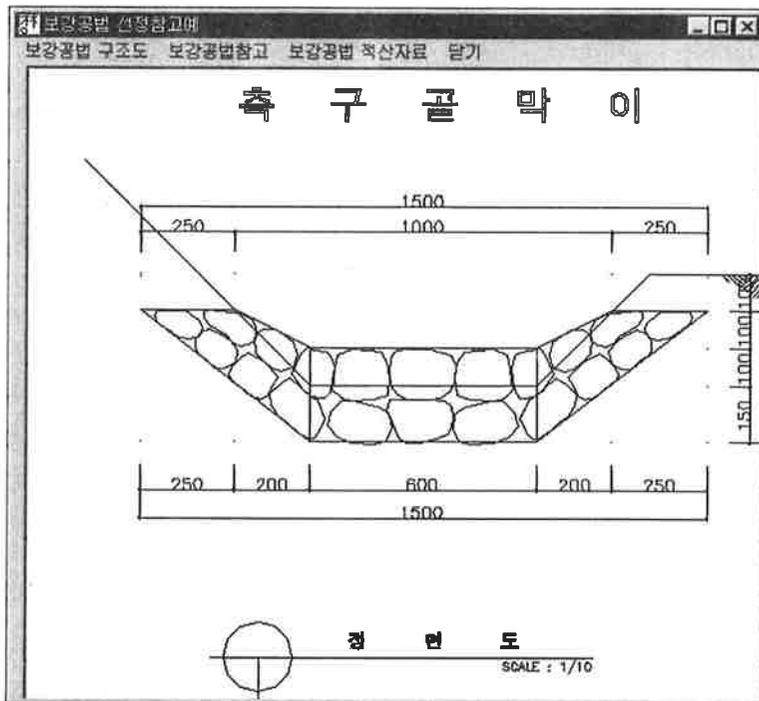
체인 번호	21	
총 노 폭	5 m	
종 단 물 매	6,99268	성토 사면 붕괴 위험도
사면 종 단 면 형	절형	
사면 피복율	20 %	0.54
성토 사면 길이	5 m	
성토 사면 경사	47	보강 공법 선택 참고
임 도 위 치	능선	
토 질	면암	
사 면 방 위	북서	방향
산 지 경 사	42	절 토 사면 붕괴 위험도
절 토 사면 길이	8 m	
절 토 사면 경사	66	0.51
전체	104	지역 중
성토 사면 붕괴 위험도	% 이상	개소
절 토 사면 붕괴 위험도	50 % 이상	29 개소
		27.884 %

계산 결과
성토지
21
↓
절토지
21
↓
선형 보기
4
5
6
7
8
9
10
11
↓

선형보기에서 임의의 체인을 선택하면 왼쪽 메인 화면에서는 체인의 절·성토 특성과 붕괴 위험도가 나타나고 부가적으로 아래와 같은 pop-up 윈도우가 나타나서 해당 체인의 횡단 선형 형상을 가시적으로 나타낸다. 이 횡단 선형 정보는 실질적인 임도사면의 물매와 길이를 표시함으로써 임도관리 업무 담당자가 붕괴 위험도에 따른 가시적 참조 자료를 확보할 수 있도록 한다.



메인화면의 왼쪽 속성화면에서, “보강공법 선정참고”는 임도사면 특성별 주요 공법에 대한 예시 사례를 참고할 수 있는 메뉴로서 “보강공법 선정참고” label를 클릭하면 아래와 같은 화면이 나타난다.



메뉴 구성은 “보강공법 구조도”, “보강공법 참고”, “보강공법” 적산자료”, “단기”로 구성되어 있어 차후 보강공법 DB가 구축될 경우 매우 용이하게 각 임도사면 특성에 적합한 공법 구조도를 시스템상에서 확인하고, 소요 예산을 편성하기 위한 적산정보를 검색할 수 있다.

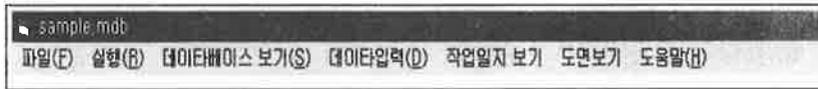
※ 현재의 개발상황은 각 보강공법 구조도를 DB로 구축하기 위해, 임도사면별 보강공법 선정의 기준개발, 보강공법 구조도 작성, 보강공법 적산 방법개발을 진행 중이므로 일부 보강공법 구조도만 참고할 수 있다.

“지우기”를 선택하면, 메인화면의 속성값 표시 부분 및 파일일기 부분의 내용 들이 지워지면서, 새로운 임도노선을 위한 *.mdb파일을 읽을 수 있다.

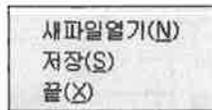
파일명	[]			
체인 번호	[]			
총 노 목	[]	m		
종 단 물 때	[]	성토 사면 붕괴위험도		
사면종단면형	[]			
사면 피복율	[]	% []		
성토사면길이	[]	m		
성토사면경사	[]	보강공법 선택참고		
임 도 위 지	[]			
토 질	[]			
사 면 방 위	[]	방향		
산 지 경 사	[]	절토 사면 붕괴위험도		
절토사면길이	[]	m		
절토사면경사	[]	[]		
전체	[]	지역중		
성토사면 붕괴위험도	[]	절토사면 붕괴위험도		
%이상	[]	개소	%	
	[]	%이상	개소	%

4. 메뉴바를 이용한 작업

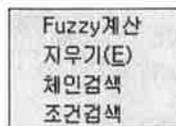
임도붕괴 위험도 예측 프로그램은 메인 화면 하단의 command box를 이용한 작업과 함께, 작업환경에 익숙하지 않은 사용자를 위하여 아래와 같은 메뉴바를 갖고 있다.

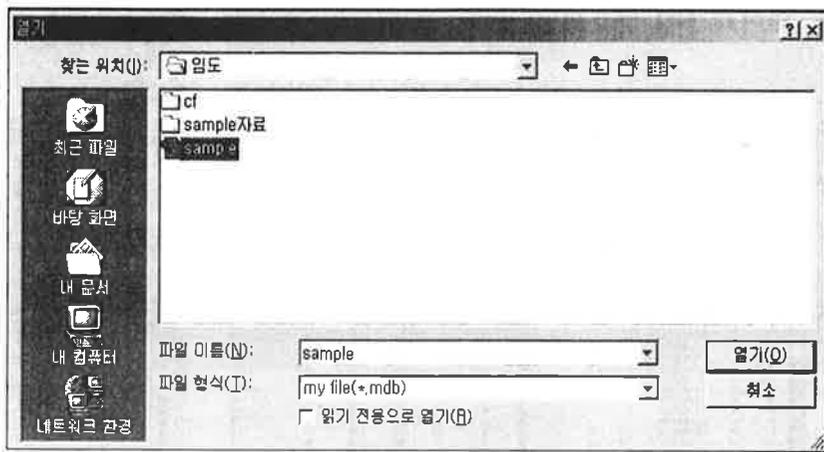


메뉴바의 메뉴 항목은 “파일”, “실행”, “데이터베이스보기”, “데이터입력”, “작업일지”, “도면보기”, “도움말”로 구성되어 있으며, “파일” 메뉴는 “파일열기”와 동일한 기능으로서 아래와 같은 pull-down 메뉴가 나타난다.

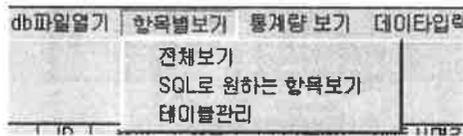


새 파일 열기를 선택하면, “파일열기”와 같이 임도노선의 *.mdb파일을 열 수 있다. “실행”은 “Fuzzy 계산”, “지우기”, “체인검색”, “조건검색”으로 구성되어 있으며, “위험도 계산” 및 “검색” 과 동일한 기능을 한다. pull-down 메뉴 화면은 아래와 같다.





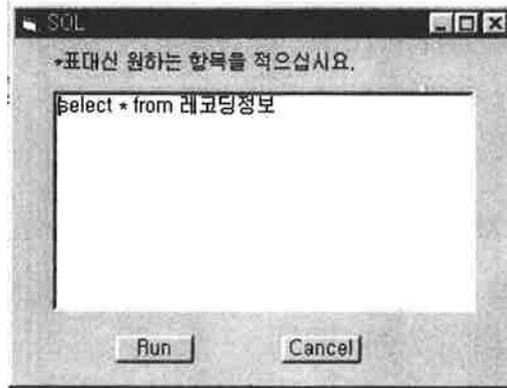
항목별 보기는 아래 그림과 같이 3개의 풀다운 메뉴로 구성된다.



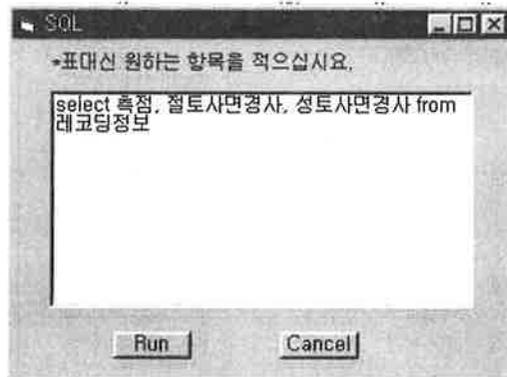
이중에서 전체보기는 데이터베이스 파일 전체의 내용을 보여준다. SQL로 원하는 항목보기는 SQL언어를 이용하여, 이용자가 원하는 항목을 볼 수 있도록 한다. SQL은 Structure Query Language의 약어로서 데이터베이스에 들어있는 데이터중에서 사용자가 원하는 특정한 데이터를 여러 가지 방식으로 재구성하고 정리하기 위한 데이터베이스 전용언어이다.

그러나 이 언어는 데이터베이스에 익숙한 일부 사용자만이 사용하기 때문에 익숙하지 않은 사람들은 이용하기 어려운 단점이 있다. 일반적으로 SQL은 다음과 같은 기본 구조를 가진다.

명령(문) [대상(레코드, 필드)] from [테이블 혹은 질의 이름] [조건설정 명령]



여기에서 *표대신 축점과 절토사면 경사, 성토사면경사만을 보고 싶다면 아래와 같이 입력한 후 Run을 선택하면 된다.

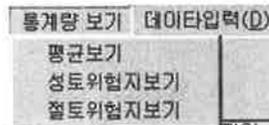


위 그림을 실행시킨 결과는 아래그림과 같다. 기타의 항목도 조건별로 선택하여 나타나게 할 수 있다.

그러나 이러한 SQL이 익숙하지 않은 이용자를 위해서 항목별 보기옆에 통계량 보기라는 풀다운 메뉴를 삽입하였다.

측점	절토사면경사	성토사면경사
1	65	37
2	60	39
3	55	40
4	60	35
5	55	35
6	30	35
7	70	45
8	60	37
9	70	45
10	48	40
11	48	34
12	58	39
13	68	40
14	62	39
15	62	39
16	65	38
17	38	33
18	64	46
19	52	35
20	41	40

통계량 보기에서 나타나는 메뉴는 아래 그림과 같이 평균보기, 성토위협지보기, 절토위협지보기의 3항목만으로 구성된다.



이중에서 평균보기를 선택하면 절토와 성토의 길이와 경사의 평균치, 그리고 성토지와 절토지의 위험도 평균치를 볼 수 있다.

항목별 평균치					
절토길이평균	절토사면경사평균	성토길이평균	성토사면경사평균	성토평균위험도	절토평균위험도
1 6.97115384615385	53.5	7.08461538461539	38.1394230769231	0.4	0.403269230769231

성토위협지보기와 절토위협지보기에서는 이용자가 입력하는 위험도 이상의 데이터만을 보여준다.

검색기준

검색을 원하는 붕괴위험도(%)?:

확인

취소

즉 조건에 해당되는 데이터만 모든 항목을 보여준다. 성토위험지보기에서 붕괴위험도 60%를 입력했을 경우 아래와 같이 9개 체인의 데이터가 나타난다.

성토지중 위험지

ID	속성	속도속	중단번호	절토사면길이	절토사면공사	임도위치	경보기표준	사면방위	산지경사	산지피복률	절토사면
1	18	18	5.19435104	13	54	1	5	20	38	10	
2	29	29	5.94917477	9	47	3	4	70	42	30	
3	31	31	6.3	12.5	49	3	1	145	38	35	
4	48	48	5.4.92830412	11	54	1	4	53	10	10	
5	59	59	4.7.60302905	8.8	61	3	4	305	20	80	
6	62	62	9.2.40324536	3.5	50	2	1	24	42	40	
7	71	71	8.9.92830412	8.2	54	3	1	13	10	55	
8	76	76	3.7.92830412	5.3	60	3	4	48	37	40	
9	97	97	4.9.19435104	8.8	59	3	4	102	40	60	

절토위험지보기에서 55%를 입력한 경우는 아래 그림과 같이 나타난다.

절토지중 위험지

ID	속성	속도속	중단번호	절토사면길이	절토사면공사	임도위치	경보기표준	사면방위	산지경사	산지피복률
1	30	30	9.3.43282176	9	54	3	1	40	38	65
2	35	35	8.3.92830412	9.9	53	1	1	350	37	50
3	94	94	5.3.19435104	9.7	52	3	1	188	40	75

메인 메뉴의 “데이터입력” 항목을 선택하면 다음과 같은 자료입력 화면이 나타난다. 이 화면에는 임도구조 인자 뿐만 아니라, 붕괴 위험도 예측에 따른 절·성토 사면의 붕괴 위험도가 각 chain 별로 기록되어 나타난다. 또한 각 chain의 X, Y TM 좌표계가 기록되어 나타남으로서 현장에서 이 좌표값을 이용하여 해당 chain으로 이동할 수 있고, 위치값에 대한 수정이 가능하다.

“데이터 입력”을 누르면 아래와 같은 창이 나타나며, “추가”, “업데이트”, “삭제”, “수정”, “닫기”의 메뉴를 이용하여 각 체인의 임도구조 인자 값을 추가 및 수정을 할 수 있다.

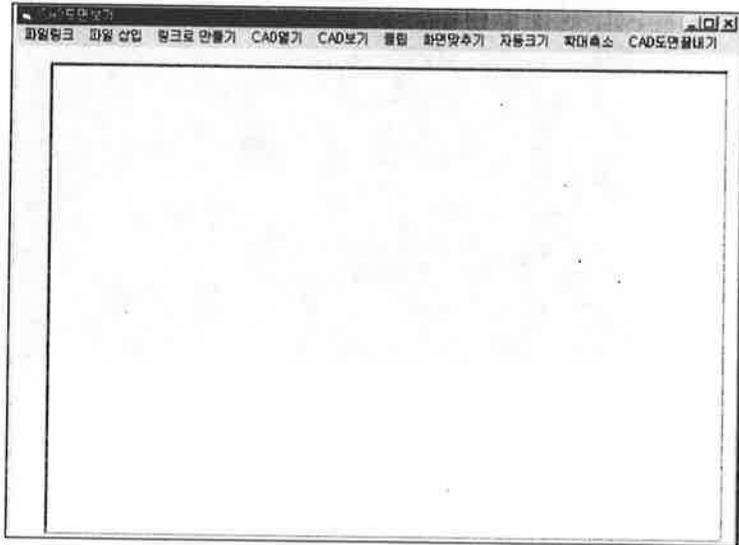
The screenshot shows a software window titled with a standard Windows icon. At the top, there are five menu buttons: "추가" (Add), "업데이트" (Update), "삭제" (Delete), "수정" (Modify), and "닫기" (Close). Below the menus is a navigation bar with navigation arrows and a "record:1" indicator, followed by a "move to" field. The main area contains a table with two columns: parameter names in Korean and their corresponding numerical values.

ID	1
축점(NO)	1
출노폭(m)	4.9
중단률미(%)	1.74550649282176
철토사면길이(m)	9
철토사면경사(도)	65
임도위치	1
겉보기토질	2
사면방위(도)	145
산지경사(도)	47
산지피복률(%)	5
성토사면길이(m)	8
성토사면경사(도)	37
사면중단면형	1
성토붕괴위험도	.41
철토붕괴위험도	.38
필단률미(%)	12.2784560902905
x	271570
y	475058
구간거리	0
누가거리	0

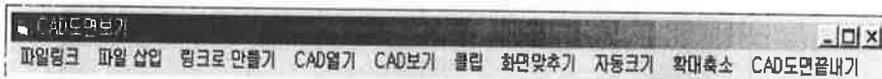
“작업일지” 보기 메뉴는 각 노선별 임도붕괴 예방 및 복구 사업의 연혁을 표시한다.

6. CAD 도면보기

“도면보기”는 “CAD 도면보기”와 “GIS 도면보기”로 구성되어 있으며, “CAD 도면보기”를 선택할 경우 아래와 같은 윈도우가 나타난다.



“CAD 도면보기”의 메뉴 구성은 “파일링크”, “파일삽입”, “링크로 만들기”, “CAD 열기”, “CAD보기”, “클립”, “도면맞추기”, “자동크기”, “확대축소”, “CAD도면끝내기”로 구성되어 있다.

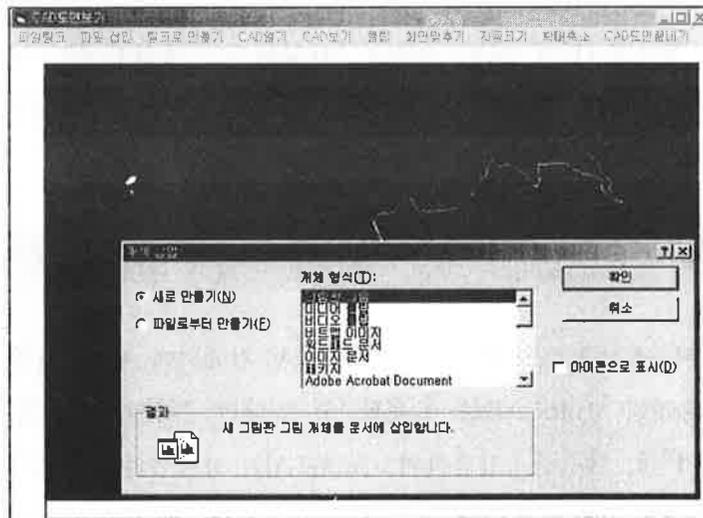


임도붕괴 예측 프로그램이 설치된 동일한 컴퓨터에 AutoCAD가 설치되어 있고, 사용자가 AutoCAD를 사용할 수 있다면, “파일링크”, “CAD 열기”, “CAD보기”의 메뉴를 사용하여 AutoCAD 상에서의 DWG 또는 DXF format의 임도설계도 및 임도노망 자료를 편집할 수 있다.

”파일삽입“을 선택할 경우 아래와 같은 화면을 사용하여, 임도설계도 및 임도노망 자료의 적합성을 확인 할 수 있다.



”링크로 만들기“을 선택할 경우 아래와 같은 화면을 사용하여, 임도설계도 및 임도노망 자료로 외부 프로그램에 삽입할 자료로 만들 수 있다.



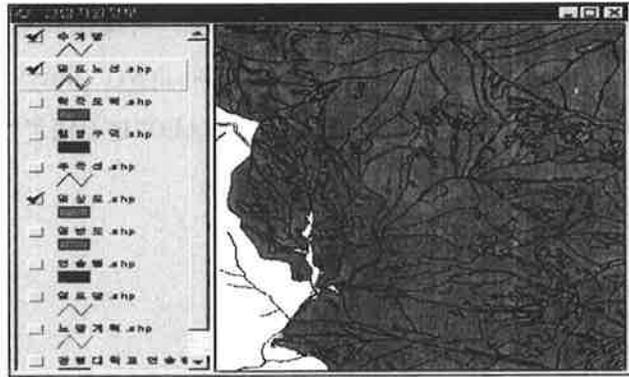
이외의 “클립”, “도면맞추기”, “자동크기”, “확대축소”, “CAD도면끝내기”의 메뉴는 “CAD 도면보기” 메뉴상에서의 DWG 자료의 관리 메뉴로서 확대, 축소, roaming기능을 갖고 있으며, “CAD도면끝내기”를 이용하여 작업을 끝내고 메인 화면으로 돌아 갈 수 있다.

7. GIS 도면 맞보기

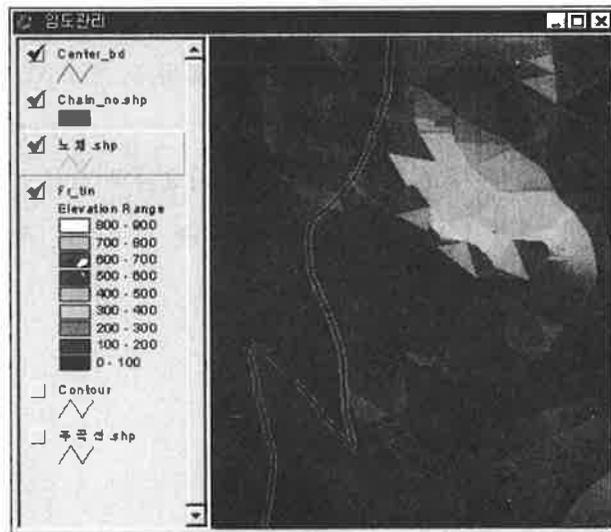
“GIS도면보기” 메뉴는 임도붕괴 예측 전문가 시스템 시작에서 ArcView3.1이 있는 경우 사용할 수 있는 메뉴로서, 선택할 경우 background로서 실행되던, ArcView가 foreground로 실행되며, 해당 임도노선이 위치한 각종 공간 및 속성자료의 생성, 추가, 편집, 수정의 작업을 수행할 수 있다.

아래화면은 ArcView GIS에서 구현한 “산림자원정보” 윈도우로서, 해당 임도노선이 위치한 지역의 지형, 지물에 관련된 공간자료는 물론이고, 산림자원을 관리하기 위해 필요한 임상도, 임·소반도, 임도도, 토양도 등의 자료가 함께 관리 되고 있음을 나타내고 있다.

각 주제도의 추가와 삭제는 ArcView 사용자환경(메뉴)를 사용하여 매우 용이하게 작업할 수 있으며, 더욱이, Table 윈도우를 사용할 경우, 새로운 속성값의 추가와 편집이 가능하다.



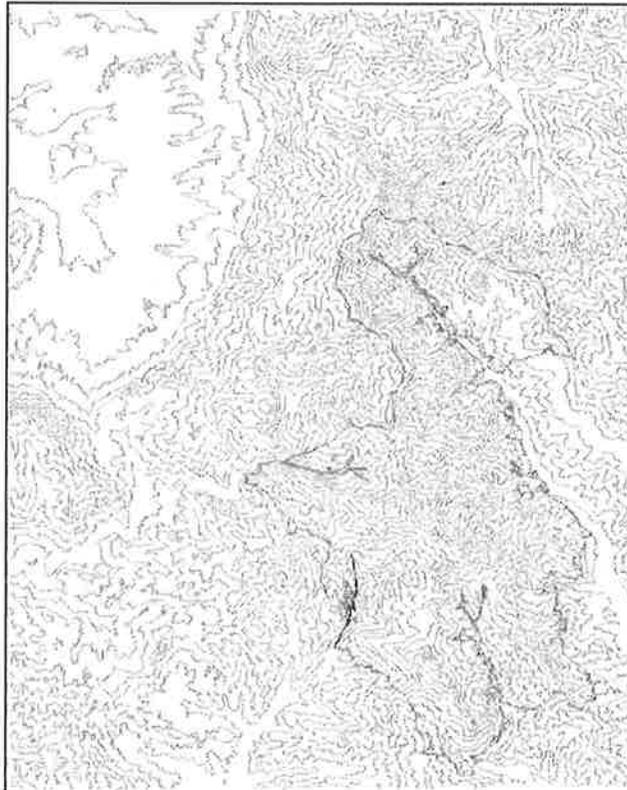
아래의 그림은 ArcView GIS로 구현한 “임도관리” 윈도우로서 해당 임도 노선의 통과위치를 TIN(Triangulated Irregular Network) 모델상에서 확인 가능하도록 하였다. 또한 각 체인을 하나의 객체로 인식할 수 있는 shape format으로 관리함으로써 추가적인 임도구조 자료의 편집이 가능하도록 하였다.



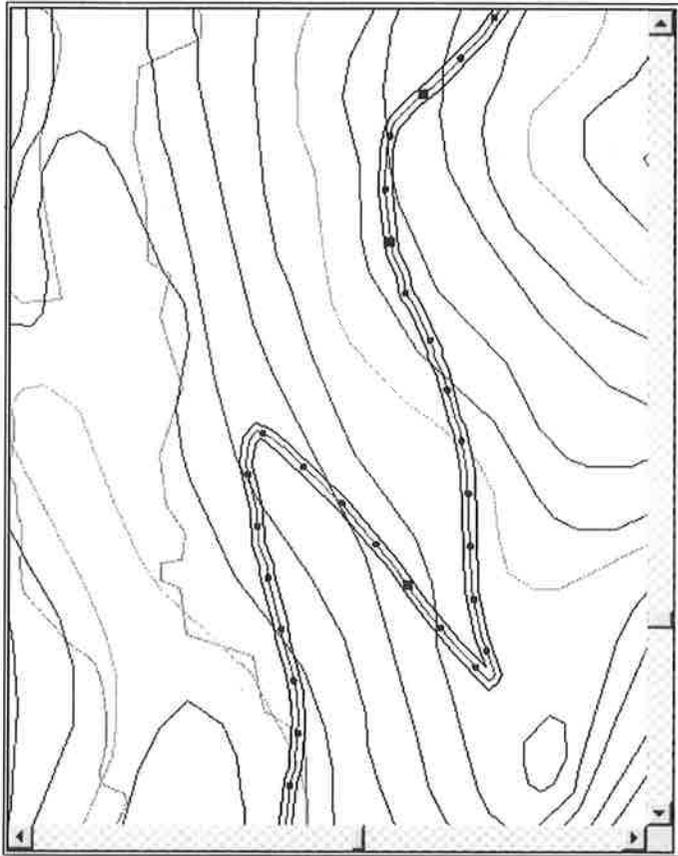
8. 프로그램의 화면관리

프로그램의 화면관리부분에서는 “확대”, “축소”, “이동”, “점찍기”, “선그리기”, “글자넣기”, “객체확인”, “사진보기”, “체인체크”의 9가지 작업을 선택할 수 있다. 이부분은 Option Button으로 구성되어 있어 화면위에서의 마우스의 동일한 조작에도 선택된 한가지 작업만을 할 수 있도록 구성하였다.

“확대”, “축소”는 메뉴화면의 도면보기 부분에 나타난 임도 등의 각 레이어를 아래 화면과 같이 확대하거나 축소할 수 있다.



확대는 마우스로 지정한 사각형의 범위를 기준으로 확대가 수행되고, 좌우, 상하의 범위중 보다 큰 값을 기준으로 확대된다. 한편 전체도면의 30% 이상이 선택되어 있는 경우에는 주곡선은 감춰지고, 계곡선만이 나타나도록 되어있다.

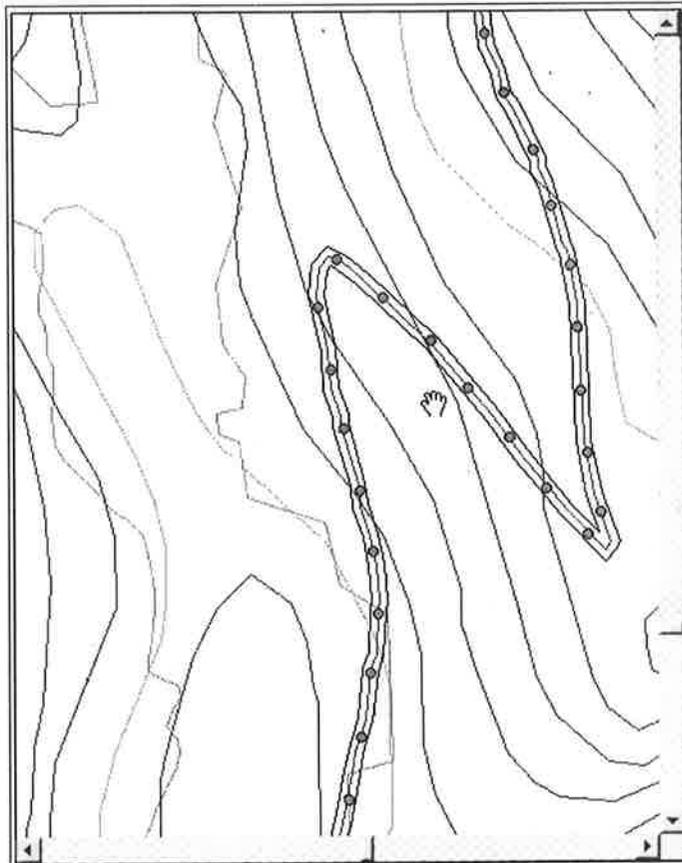


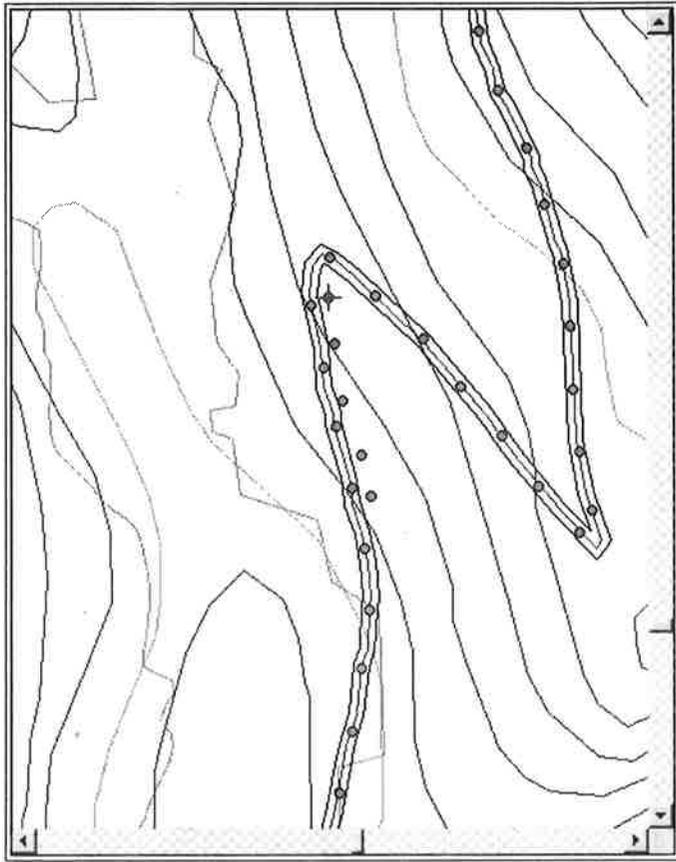
“축소”는 마우스가 클릭된 지점을 중심으로 화면범위가 넓어지면서 나타난다.

“이동”은 메뉴화면의 레이어를 아래 화면과 같이 roaming 기능을 이용하여 좌,우, 상,하로 이동하여 필요한 부분을 검색할 수 있다.

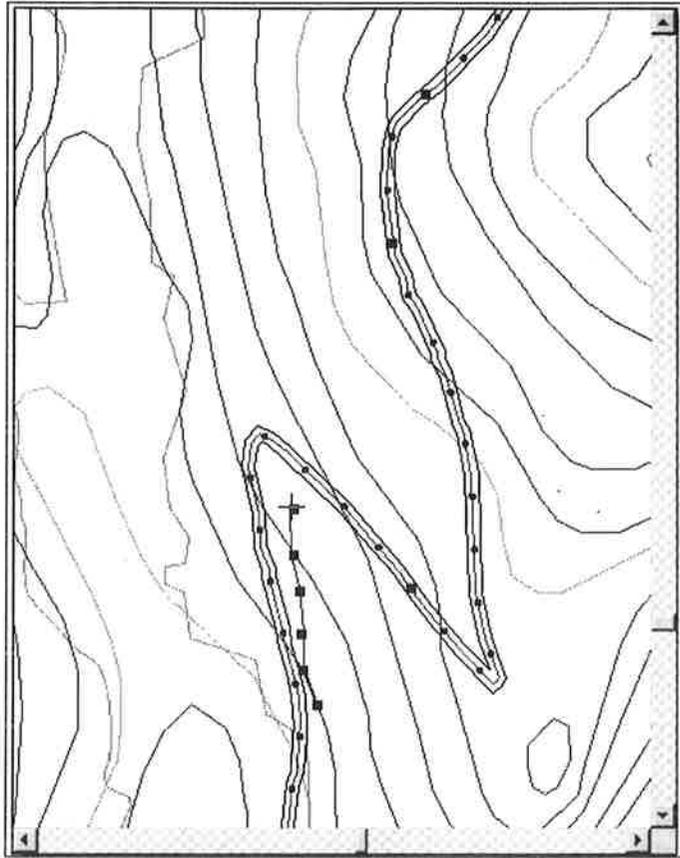
여기에서 확대는 +가 적혀진 확대경 , 축소는 -가 그려진 확대경  이
동은 손바닥모양  의 마우스 포인트로 나타난다.

“점찍기”는 메뉴화면에 나타난 각 레이어의 정보를 기초로 하여 임의의 지점을 표시하거나 새로운 임도노선을 입력하기 위해 체인의 위치를 지정·검색할 수 있다. 사용방법은 “화면관리” 부분에서 “점찍기”를 선택한 화면 상에서 필요한 지점을 표시하면 각 지점에 아래와 같이 해당 “위험도 계산”의 심볼과 동일하게 표시된다.

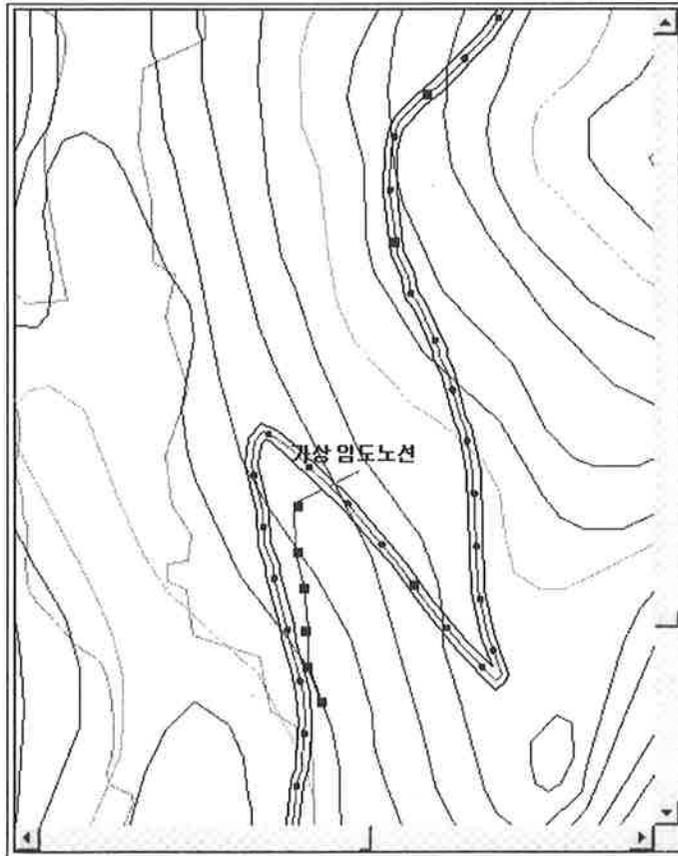
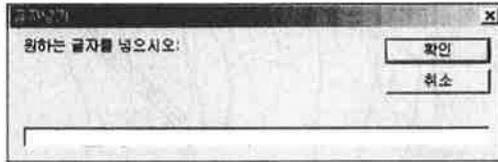




“선그리기”는 메뉴화면에 나타난 각 레이어의 정보를 기초로 하여 임의의 지점을 선으로 연결하여 새로운 임도노선을 입력하기 할 수 있다. 사용 방법은 “화면관리” 부분에서 “선그리기”를 선택한 화면상에서 필요한 지점을 라인으로 연결하고 끝맞치기는 더블 클릭을 하면 아래와 같이 짙은 색깔로 변화면 새로운 임도노선이 표시된다.

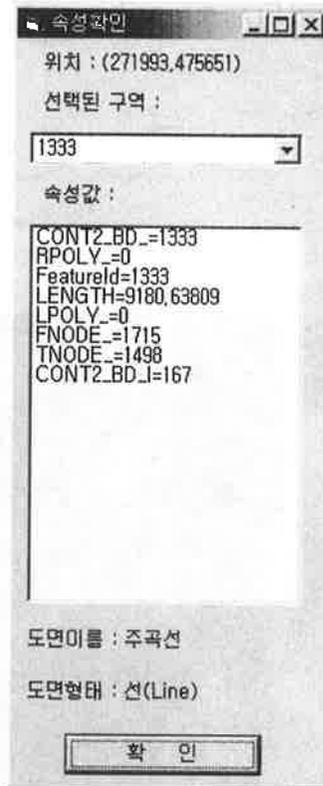


“글자넣기”는 메뉴화면에 나타난 각 레이어의 정보를 기초로 하여 새로운 text를 기입함으로서, 새로이 입력하거나 또는 문자 심볼 기입이 필요한 지점에 대한 정보를 기록할 수 있다. 사용방법은 “화면관리” 부분에서 “글자넣기”를 선택하면, 아래와 같은 다이얼로그가 나타난다.



“객체확인”은 메인화면에 나타난 각 레이어의 features를 하나의 객체로 인식하여 각 객체가 갖고 있는 속성정보를 나타낸다. 사용법은 “화면관리”

- “객체 확인”- 객체선택을 한다. 아래는 메인화면에서 주곡선의 일부에 대한 “객체 확인”으로서, 각 속성을 보이고 있다.



”사진보기“는 메인화면에 나타난 입도노선의 각 체인에 대한 현장 현황 사진을 확인할 수 있는 것으로서, 최근 활발하게 보급되고 있는 디지털 카메라를 사용하여 DB를 준비해 놓았을 경우, 입도노선의 체인을 마우스로 선택하면 아래와 같은 현장실태 화면이 나타난다.

sample.mdb

파일(F) 실행(S) 데이터베이스 보기(S) 데이터링크(D) 작업영지 보기 도면보기 도움말(H)

임도 붕괴위험도 예측 시스템

파일명 G:\program files\윈도\Wsample.mdb
 제인 번호 사진지우기

도청
 노선
 노제
 주공선
 임도
 관리경계

시리아대저장
 레이어관리
 지도종류

화면관리
 확대
 축소
 이동
 정렬기
 선그리기
 글자 넣기
 객체확인
 사인포기
 제인체크

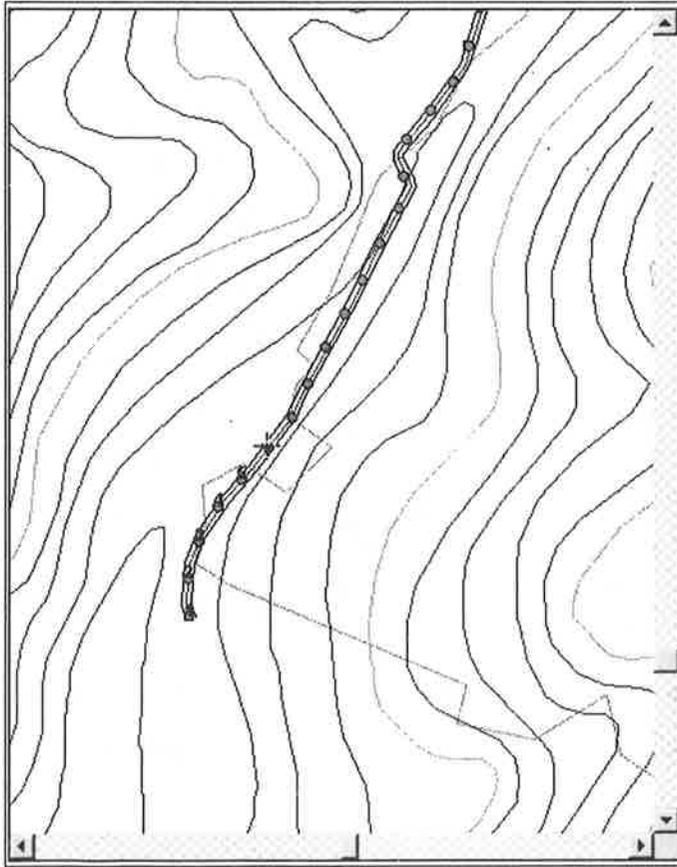
도면지움보기

좌표 : 271805.92 | 좌표 : 475077.64

파일영기 | 위험도계산 | 검색 | 지우기 | 끝(exit)

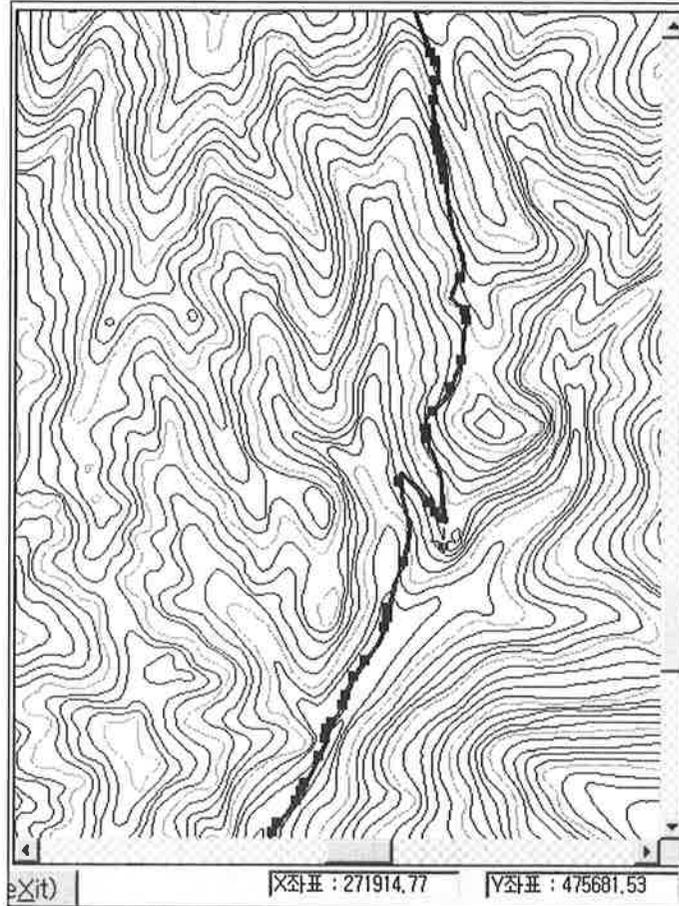
화면에 나타난 사진을 지우거나 다른 체인의 현장실태 사진을 확인하기 위해서는 “사진단기”를 선택하면 된다.

”체인체크“는 메인화면에 나타난 임도노선의 각 체인에 대한 임도구조 인자를 체인별로 확인하고자 할 때, 사용하는 것으로서 메인화면의 왼쪽 속성값 보기 창을 통하여 확인할 수 있다. 아래 윈도우에서 보이는 것과 같이 마우스로 각 체인을 클릭했을 때 각 체인의 넘버를 확인 할 수 있다.



마우스의 현재 위치를 확인하기 위해서는 아래그림과 같이 메인화면의 공

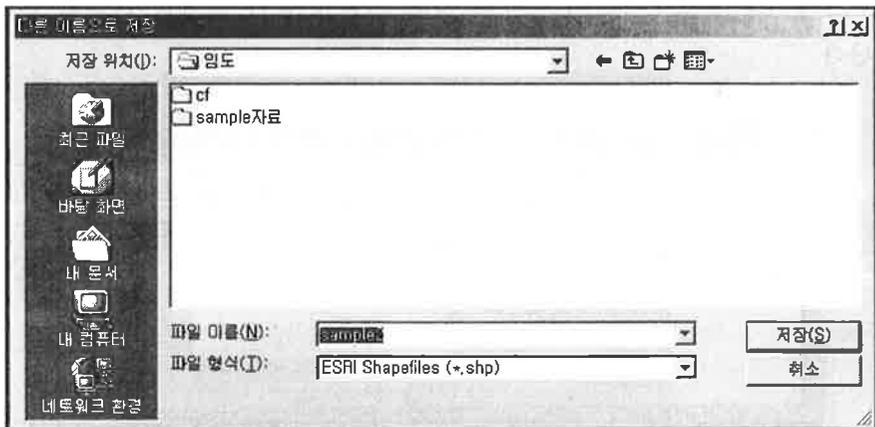
간정보 검색창의 하단에 위치한 X, Y 좌표 표시 창을 이용하면 된다.



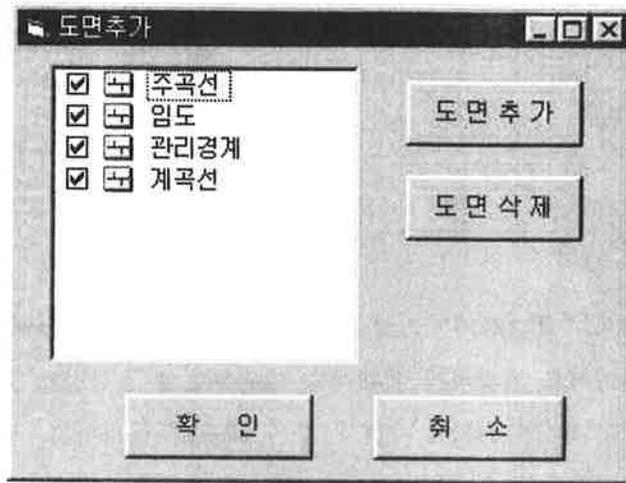
메인화면의 공간정보 검색창에 나타난 공간위치를 확인하는 방법으로는 아래 그림과 같이 메인화면의 우측하단에 “도면전체 보기”를 선택한다.



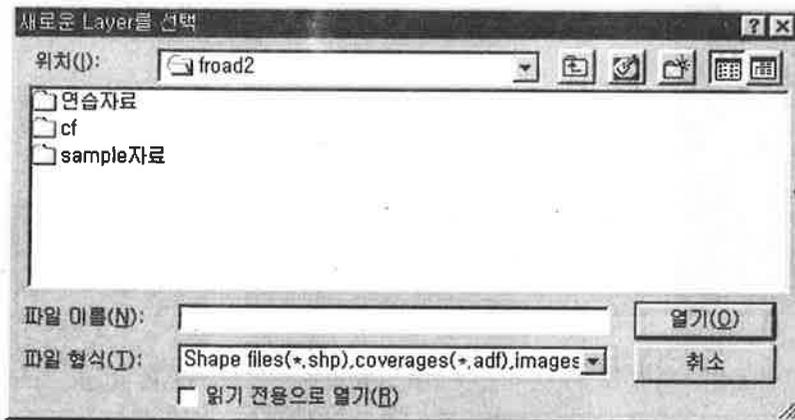
“점찍기”와 “선그리기” 기능을 이용하여 새로운 features를 갖는 데이터를 다른 레이어로 저장하기 위해서는 메인화면의 공간정보 표시 화면의 “새 레이어 저장”을 선택하면, 아래와 같은 화면이 나타나고, 적당한 레이어명을 입력하고 저장할 수 있다.



“레이어관리” 메뉴는 메인화면에 ArcView에서 만들어진 shape format의 레이어를 추가하거나 삭제할 수 있다.



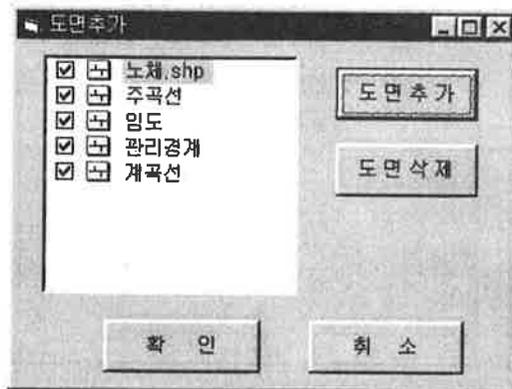
여기에서 도면추가를 선택하면 아래 그림과 같이 선택레이어 화면이 나타난다.



이중에서 원하는 폴더안의 원하는 파일을 선택하면



아래와 같이 해당파일의 레이어가 생성되고 도면에는 해당 파일의 .shp이 나타나게 된다.



도면 삭제의 경우도 유사한 과정을 거쳐 선택된 레이어가 삭제되고, 해당 레이어가 도면에서 삭제된다.