

GIS를 이용한 철도 연변 낙석, 산사태 정보시스템 개발

이 사로¹⁾, 송 원경²⁾, 박 종휘³⁾

¹⁾한국지질자원연구원 국가지질자원정보센터

²⁾한국지질자원연구원 탐사개발연구부

³⁾(주) 유니온테크 부설 지리정보연구소

초 록

본 연구에서는 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 철도 연변 낙석, 산사태 관련 공간정보를 검색 및 출력 등 관리할 수 있는 정보시스템을 개발하였다. 이를 위해 전국 철도 노선 중 낙석 및 산사태 발생 가능성이 높은 경춘선, 영동선, 중앙선, 태백선, 정선선의 2.5km 혹은 5km 반경 지역에 대해 철도 관련 정보, 각종 지도 관련 정보, 지형분석 정보, 수문기상 정보, 현장 조사된 낙석 관련 정보 등 각종 공간 데이터베이스를 구축하였다. 그리고 구축된 공간 데이터베이스를 관리하는 철도 연변 낙석, 산사태 정보시스템을 개발하였다. 본 정보시스템은 보기환경, 테이블환경, 차트환경, 레이아웃환경, 프로젝트환경 등 5개로 구성되어 있다. 본 정보시스템의 기능은 구축된 공간 데이터베이스를 입력, 검색, 출력 뿐 아니라 자료 변환, 자료 및 범례 편집, 라벨 생성, 화면 확대, 축소, 지도 작성, 그림 편집, 문자 DB 관리, 차트작성, 도움말 등 다양하다. 본 정보시스템은 ArcView의 스크립트 언어인 Avenue를 이용하여 개발되었고 풀다운 메뉴 및 아이콘 방식을 채택하여 사용자가 사용하기 쉽게 개발되었다. 구축된 공간 데이터베이스와 개발된 정보시스템은 낙석 및 산사태 관리 및 분석을 위한 기본 자료 및 도구로 사용될 수 있다.

1. 서론

철도연변 절·성토 사면은 자연환경에 노출되어 있어 강우 등에 의한 지하수위 상승, 과잉간극 수압발생, 풍화의 진행, 열차 운행상의 진동, 설계 당시와는 다른 환경조건 등에 의한 낙석 및 산사태의 우려가 상존하고 있으며 철도 운행상의 장애요소가 되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 철로 주변의 낙석·산사태 분석을 위한 각종 정보를 데이터베이스화하여 향후 낙석, 산사태 분석을 위한 기초기반 자료로 활용할 수 있도록 하였다. 즉 낙석 및 산사태에 따른 재해를 미연에 방지함으로써 철도시설 물을 적절히 방호하기 위해 철도 연변 사면을 대상으로 위험도 판정 및 평가, 예측을 위한 제반 자료를 수집 및 조사하고 이를 GIS(Geographical Information System)를 이용하여 낙석 및 산사태 위험도 판정 연구에 필요한 기초기반 자료를 공간 데이터베이스로 설계 및 구축하였다. 그리고 이렇게 구축된 공간 데이터베이스를 입력, 검색, 출력 등 관리를 할 수 있는 철도 연변 낙석, 산사태 정보시스템을 개발하였다.

구축된 공간 데이터베이스는 철도 연변을 대상으로 중앙선, 태백선, 영동선, 경춘선 정선선 등 5개 노선에 대해 철도 관련 자료, 각종 지도 자료, 지형 분석 자료, 수문기상 자료, 낙석 조사 자료 등이다.

구축된 철도 관련 자료는 노선, 역 및 철도 시설물이며, 지도 자료는 지형도, 지질도, 토양도, 임상도, 토지이용도, 위성영상 등이다. 구축된 지형분석 데이터베이스는 고도분포도, 경사도, 경사방향도, 곡률도, 음영기복도 등이며 수문기상자료는 측후소 위치, 측후소별 일별 수량, 최고 기온, 최저 기온, 평균 기온, 확률강우량도, 가능최대수량도 등이며 낙석 자료는 현장 조사된 낙석 자료이다. 이러한 자료들은 낙석 및 산사태 분석에 필요한 기초기반자료들로서 국내외 연구에서 많이 활용되는 자료들이다(이사로, 2000, 1998, Baeja, and Corominas, 1996, Carrara et al. 1995, Chung et al, 1995, Guzzetti et al., 1999, Larsen and Torres-Sanchez, 1998).

그리고 이렇게 구축된 낙석 및 산사태 공간데이터베이스를 입력, 출력 및 검색 등을 할 수 있는 정보시스템을 개발하였다. 개발된 산사태 정보시스템은 GIS 프로그램인 ArcView 환경에서 ArcView 3.1에 포함된 언어인 Avenue를 이용하여 개발되었다. 이러한 정보시스템은 보기환경, 테이블환경, 차트환경, 레이아웃환경, 프로젝트환경 등 5개로 구성되어 있으며, 기능은 구축된 공간 데이터베이스를 입력, 검색, 출력 뿐 아니라 자료 변환, 자료 및 범례 편집, 라벨 생성, 화면 확대, 축소, 지도 작성, 그림 편집, 문자 DB 관리, 차트작성, 도움말 등 다양하다. 또한 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 Window 환경에서 그래픽 사용자 인터페이스 방식을 채택하여 풀다운 메뉴 및 아이콘으로 구성되어 있다. 본 철도 연변 낙석, 산사태 정보시스템의 설치 및 운영하기 위한 환경은 하드웨어는 Pentium 급 이상의 PC, OS는 Windows95/98 혹은 Windows NT, 필요한 프로그램은 ESRI사의 ArcView이다. 이러한 Avenue를 이용하면 사용자가 필요한 기능을 쉽게 수행할 수 있도록 변경할 수 있고, 새로운 기능을 생성하고 특정 업무에 맞는 활용 프로그램을 개발할 수 있다.

2. 공간 데이터베이스 설계 및 구축방법

데이터베이스 설계는 데이터베이스가 어떻게 정의되고, 어떻게 배열, 분석 및 평가되는가를 결정하는 과정이다. 즉 데이터베이스에 종합적이고 이론적인 틀과 구성을 제공하는 것이다. GIS를 위해 설계된 공간 데이터베이스는 공간(위치)과 속성(주제) 두 가지 형의 자료를 포함해야 하고 이러한 공간 및 속성 자료는 다른 자료구조를 갖는다. 본 사업에서는 설계 및 구축은 GIS 프로그램인 ARC/INFO 및 ArcView를 이용하였으며, ARC/INFO 및 ArcView의 자료 구조는 점, 선, 면으로 분류되어 각각의 그림정보에 데이터베이스 표가 연결되어 있다. 공간 데이터베이스 구축 대상 지역은 경춘선, 태백선, 정선선, 영동선, 중앙선에 대해 철도노선에 대해 반경 2.5km, 5km까지의 영역을 공간 데이터베이스로 구축하였다. 좌표계의 경우 우리나라에서 널리 사용되는 UTM (Universal Transverse Mercator) 도법과 Bessel 타원체를 사용하였다. 그리고, 구축 대상 자료 종류는 철도 연변의 낙석, 산사태 분석에 필요한 각종 자료들을 중심을 선정하였고, 구축 영역은 선로에서 2.5Km와 5Km로 다르게 한 이유는 자료의 양 및 산사태 분석에서 필요한 자료의 범위를 같이 고려하여 설정하였기 때문이다. 즉 지질, 토양, 임상의 경우는 선로 양쪽으로 2.5km씩 총 5km의 영역을 설정하였는데 이 거리면 지질, 토양, 임상 등이 자료가 충분히 산사태 분석에 이용될 수 있기 때문이다. 그리고 지형 및 기상과 관련된 경우 산사태 분석을 위해 광역적으로 해석할 필요가 있어 선로 양쪽 5km씩 총 10km의 영역을 설정하였다. 구축된 자료 종류, 형태, 원자료의 축척 혹은 해상도, 자료원 및 구축범위는 Table 1과 같다.

본 연구에서는 각종 자료를 공간 데이터베이스로 구축을 하기위해 먼저 종이지도, 수치자료 및 보고서 등을 수집하고, 만약 수치 자료가 없으면 원시자료의 종류 및 상태에 따라 디지털라이징 혹은 스캐닝, 벡터라이징을 통해 자료를 입력하였는데 이러한 방법은 입력 효율에 따라 결정되었다. 또한 수치지도가 CAD 자료 혹은 GIS 자료로 되어 있는 경우도 많아 이런 경우 ArcView Shape 파일 형태

로 변환 혹은 직접 사용하였다. 이러한 과정을 거쳐 입력된 자료는 그림 각 요소들의 관계를 형성시켜 주는 위상관계 형성, 잘못 입력된 그림 자료를 수정하는 편집, 지도를 실 좌표계와 맞추는 투영 및 변환, 지도에 있는 속성 값 입력, 지도를 합치는 지도 결합 순으로 공간 데이터베이스로 구축되었고, 마지막으로 검증작업을 하였다.

Table 1. Data layer of study area.

Classification	Sub-classification		Type	Scale or Resolution	Source	Area
Rail	Line		Line Shape	1:5,000	Topographic map	
	Facility		Line Shape	1:5,000	Topographic map	
	Station		Point Shape	1:5,000	Topographic map	
	Boundary	2.5km	Polygon Shape	1:50,000	Buffering from rail line	2.5km
		5km	Polygon Shape	1:50,000	Buffering from rail line	2.5km
Map	Topographic map (1:50,000)		Line Shape	1:50,000	Topographic map	5km
	Topographic map (1:5,000)		Line Shape	1:5,000	Topographic map	
	Geological map		Polygon Shape	1:50,000	Geological map	2.5km
	Forest map		Polygon Shape	1:25,000	Forest map	2.5km
	Soil map		Polygon Shape	1:50,000	Soil map	2.5km
	Satellite Image	JERS	BIL	18m x 18m	JERS	5km
		IRS	BIL	5m x 5m	IRS	5km
Land-use map		GRID	30m x 30m	TM	5km	
Topographic analysis	DEM (Altitude)		GRID	30m x 30m	Topographic map	5km
	Slope		GRID	30m x 30m	DEM	5km
	Aspect		GRID	30m x 30m	DEM	5km
	Curvature		GRID	30m x 30m	DEM	5km
	Hillshade image		BIL	30m x 30m	DEM	5km
Meterological data	Station location		Point Shape		Report	5km
	Meterological data		DBF		Report	5km
	Probability precipitation		BIL	100m x 100m	Probability precipitation map	5km
	Probabliy maximum precipitation		BIL	100m x 100m	Probabliy maximum precipitation map	5km
Rockfall	Rockfall		Line Shape	1:5,000	Survey	
	Photograph		TIF		Survey	

3. 공간 데이터베이스 구축 내역

본 연구지역인 경춘선, 중앙선, 태백선, 정선선, 영동선 등 5개 노선 주변지역에 대하여 지형도, 지질도, 임상도, 토양도, 토지이용도, 위성영상, 수문기상 자료, 사면 현장 조사 자료 등 낙석, 산사태와 관련된 요인들을 공간 데이터베이스로 구축하였다(한국전산원, 2000). 각 노선은 여러 장의 도면을 노선별로 합쳐 하나의 공간 데이터베이스로 구축하였다.

철도 데이터베이스는 철도 관련 시설물에 대한 공간 데이터베이스로 선로, 기타 철도 관련 시설, 역 등을 포함한다. 이러한 철도 데이터베이스 중 선로 및 기타 철도 관련 시설은 1:5,000 및 1:50,000 수치 지형도를 GIS 자료로 변환 및 편집 처리하여 구축하였는데 1:5,000의 경우 자료의 부족으로 노선을 지나는 도엽만을 공간 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 노선 경계를 정하기 위한 경계 데이터베이스는 철도선로에서 양쪽으로 각각 2.5km 혹은 5km떨어진 곳을 경계선으로 만들어 구축하였다.

지도 데이터베이스에는 지형도, 지질도, 토양도, 임상도, 위성영상, 토지이용도 등 각종 도면 및 위성 영상 등이 있다. 지형도 데이터베이스는 국립지리원의 1:5,000 및 1:50,000 수치 지형도를 GIS 자료로 변환 및 편집 처리하여 구축되었다. 지형 데이터베이스는 축척이 1:50,000인 경우 공간 데이터베이스는 도로, 행정 경계, 수계, 등고선 등의 자료층으로, 축척이 1:5,000인 경우의 공간 데이터베이스는 도로, 수계, 등고, 행정 경계, 시설물, 건물 등의 자료층으로 구성되어 있다. 1:5,000 수치지형도의 경우 자료의 부족으로 노선을 지나는 도엽만을 공간 데이터베이스로 구축되었다. 지질도는 암상의 종류, 단층 등의 정보를 가지고 있으며 지질도 데이터베이스를 편집 처리하여 공간 데이터베이스로 구축되었다. 토양도는 토질, 모재, 배수, 유효토심, 지형 등의 정보를 가지고 있으며 토양도 데이터베이스를 편집 처리하여 공간 데이터베이스로 구축되었다. 토양도의 토질은 토양 입자 크기에 의해 분류된 것이며, 모재는 토양이 어떤 암상으로부터 형성되었는가를, 배수는 물의 얼마나 잘 배수되는가를, 유효토심은 토양의 유효 두께를, 지형은 토양이 분포한 지역의 지형을 각각 나타낸다(농촌진흥청 식물안전연구소, 1971). 임상도는 임상, 경급, 영급, 밀도 등의 산림정보를 가지며, 임상도 데이터베이스를 편집 처리하여 공간 데이터베이스로 구축되었다. 임상도의 임상구분은 산림 면적 비율 및 나무의 종류를 나타내고, 경급은 나무의 흉고 직경을, 영급은 나무의 수령을, 밀도는 나무의 점유 비율을 각각 나타낸다(임업연구원, 1998). 위성영상 데이터베이스에는 JERS 및 IRS 위성영상자료가 있으며 기하학적 보정 등 영상 처리를 통해 구축되었다. JERS 영상은 18m × 18m의 해상도를 가지는 3 밴드 다중 채널 영상이며, IRS 영상은 5m × 5m의 해상도를 가지는 단일 밴드 영상이다. 이러한 위성영상은 낙석, 산사태와 직접적인 관계는 없으나 지질구조 파악 및 현황 파악을 위해 구축되었다. 토지이용 공간 데이터베이스는 위성영상인 LANDSAT 영상을 기하학적 보정 및 분류 등 영상 처리를 통해 구축되었다. 지형도 데이터베이스 중 등고선 및 수준점, 삼각점 등 고도를 표시하는 항목만을 추출하여 이를 변환하여 DEM(Digital Elevation Model)을 만든 후, 이 DEM을 이용하여 고도분포, 경사, 경사방향, 곡률, 음영기복 데이터베이스 등을 추출하여 구축되었다. 고도분포도는 DEM을 이용하여 생성되었으며 각 격자당 고도값을 나타낸다. 경사도에서는 생성된 DEM을 이용하여 각 격자당 경사값이 계산되었고, 격자 당 경사 값의 단위는 도로 되어있다. 경사방향도에서는 생성된 DEM을 이용하여 각 격자당 경사의 방향이 계산되었고, 이렇게 생성된 격자 당 경사방향 값의 단위는 도로 되어있다. 곡률분포도에서는 생성된 DEM을 이용하여 각 격자당 지형의 오목 혹은 볼록한지를 정량적으로 나타내는 곡률값이 계산되었다. 음영기복도에서는 생성된 DEM을 이용하여 빛의 위치에 의해서 생성되는 음영을 이미지화 하였다.

수문기상 데이터베이스에서 측후소위치, 수문기상자료, 최대확률강우량도, 가능최대수량도 등을 공간 데이터베이스로 구축하였다. 수문기상자료는 1986년부터 1998년까지의 일별 강수량, 최고 기온,

최저 기온, 평균 기온 등을 기상청의 기상관측소별로 데이터베이스로 구축하였다. 확률강우량도는 재현기간 및 강우지속시간 당 확률적으로 내릴 수 있는 최대 강우량을 나타낸 것이고, 가능최대강수량도는 이론적으로 특정 시간 동안에 특성 배수계에 대해 물리적으로 가능한 최대 강수량을 나타낸다(건설교통부, 1988). 이러한 자료는 등고선을 먼저 입력하고 등고선의 값을 보간하여 만들었다.

낙석 데이터베이스는 낙석 이력이 있거나 위험하다고 판단되는 28개소에 대해 조사위치, 사면 제원, 사면소단, 암반상황, 사면굴착방법, 낙석방지대책 및 사면보호공, 보수 및 개축 이력, 용수 현황, 배수공 및 배수로 현황, 불연속면 상황 등 현장 조사된 각종 자료를 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 현장 가판정 결과를 근거로 아주안정, 안정, 보통, 불안정, 아주 불안정 5단계로 나누어 낙석 위험 평가를 하고, 현장사진도 데이터베이스로 구축하였다.

4. 정보시스템 구조

본 정보시스템은 보기환경, 테이블환경, 차트환경, 레이아웃환경, 프로젝트환경 등 크게 5개의 환경으로 구성되어 있으며 각각 주메뉴, 하부메뉴 및 아이콘으로 구성되어 있다. 본 시스템은 주로 보기 환경에서 운영되어진다. 이러한 보기환경의 전체구성은 Fig. 1과 같이 '자료관리', '노선선택', '철도DB', '지도DB', '지형분석', '수문DB', '낙석DB', '편집', '보기', '자료층', '그림', '창', '도움말' 등 총 13개의 풀다운 메뉴 및 27개의 아이콘으로 구성되어 있다. 전체 구성은 DB 검색 및 이와 관련된 각종 작업은 하는 하부 메뉴로 구성된다. 즉 DB 검색은, '철도DB', '지도DB', '지형분석', '수문DB', '낙석DB' 하부메뉴에서, 기타 작업은 '자료관리', '노선선택', '편집', '보기', '자료층', '그림', '창', '도움말' 하부메뉴에서 하게 된다.

그리고 공간 데이터베이스 구성은 Fig. 2과 같이 노선선택 후 각종 공간 데이터베이스를 검색 및 출력할 수 있도록 구성되어 있다. 구성은 크게 철도 데이터베이스, 지도 데이터베이스, 지형분석, 수문 데이터베이스, 낙석 데이터베이스로 구성되어 있다.

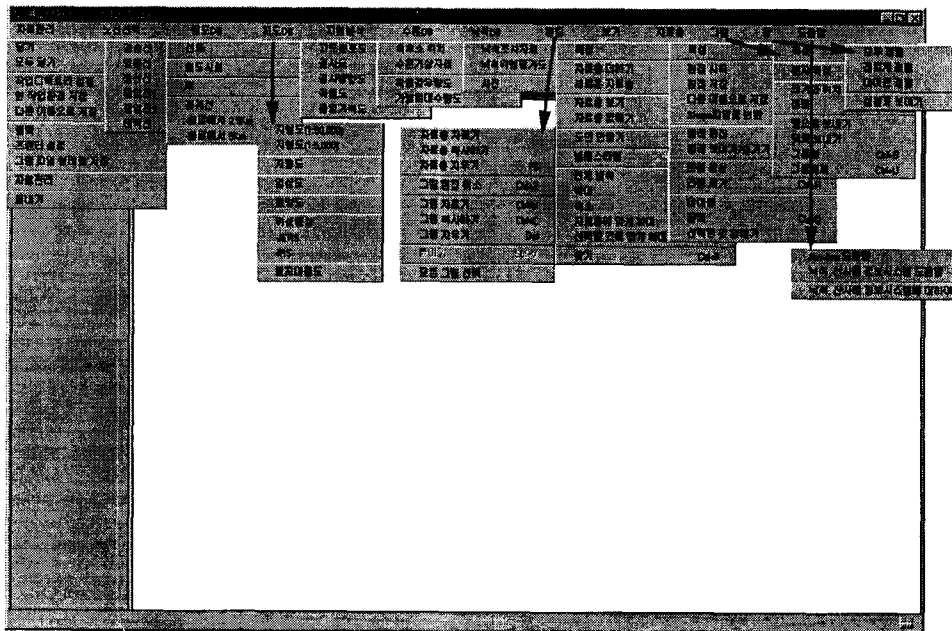


Fig. 1. Main menu of railroad rockfall and landslide information system.

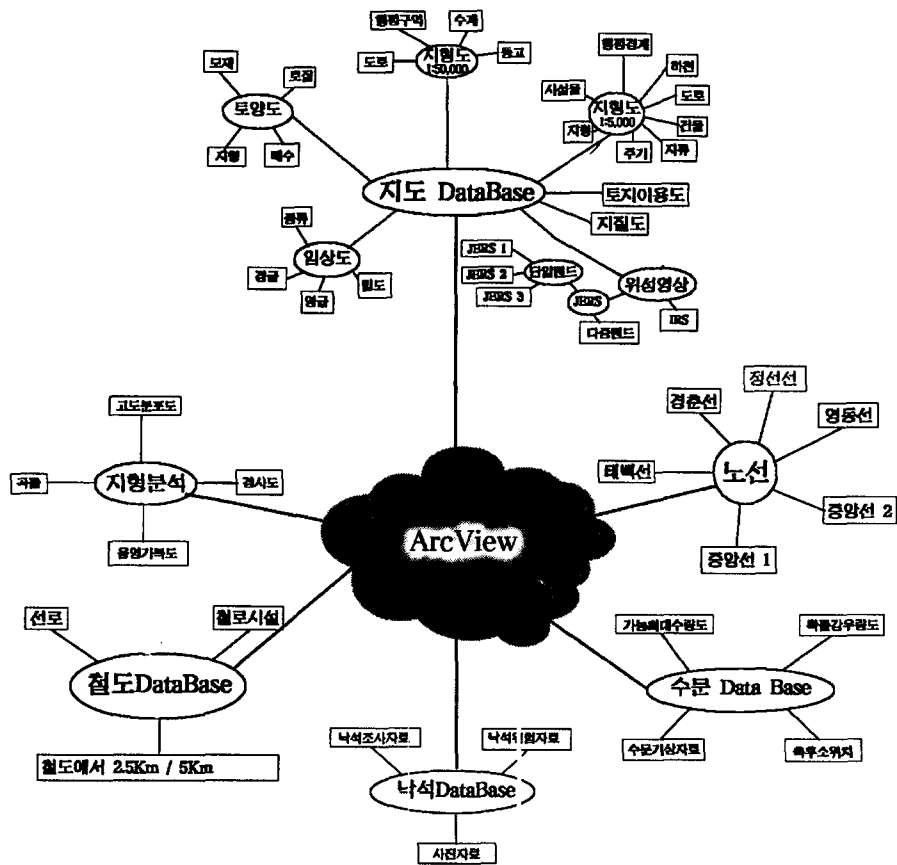


Fig. 2. Composition of rockfall and landslide information system.

5. 정보시스템 기능

본 연구에서 개발된 철도 연변 낙석, 산사태 정보시스템의 주요 작업은 보기환경에서 대부분 이루어진다. 먼저 자료관리 하부메뉴에서 작업디렉토리 설정을 하여 데이터베이스가 들어있는 디렉토리를 정한 후 노선선택 하부메뉴에서 검색하기 원하는 노선을 선택한다. 그리고 철도DB, 지도DB, 지형분석, 수문DB, 낙석DB 등의 메뉴에서 원하는 항목을 선택하는 화면에 도시하면 된다.

Fig. 3은 태백선을 선택한 후 철도DB에서 노선, 역 및 경계선(2.5km와 5km)을 화면에 도시하고 지도DB에서 1:5,000 지형도 중 원하는 자료층을 선택하는 디어러로그 박스가 화면에 도시된 경우이다. 이러한 지도DB 하부메뉴에서는 지형도, 지질도, 토양도, 입상도, 위성영상, 토지이용도 등 낙석 및 산사태 분석에 필요한 각종 공간 정보를 검색할 수 있도록 화면에 출력하는 기능을 하며, Fig. 4는 태백선의 JERS 위성영상을 화면에 도시한 것이다. 본 시스템에서는 JERS 위성영상은 단일밴드 및 다중밴드로 표시할 수 있으며, IRS 영상도 도시할 수 있다. 이러한 위성 영상은 지반 안정성 평가를 위한 지질구조 파악 및 현황 파악에 이용된다. 지형분석 하부메뉴는 '고도분포도', '경사도', '경사방향도', '곡률', '음영기복도' 등으로 구성되어 있고, Fig. 5는 태백선의 고도분포도를 도시한 경우이다.

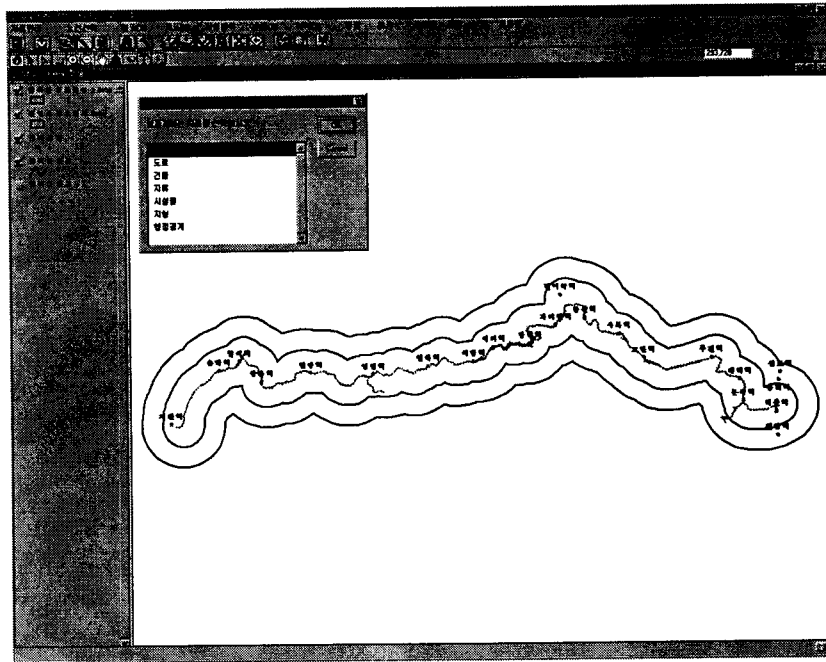


Fig. 3. Railroad, station and boundary with topographic map(1:5,000) selection box.

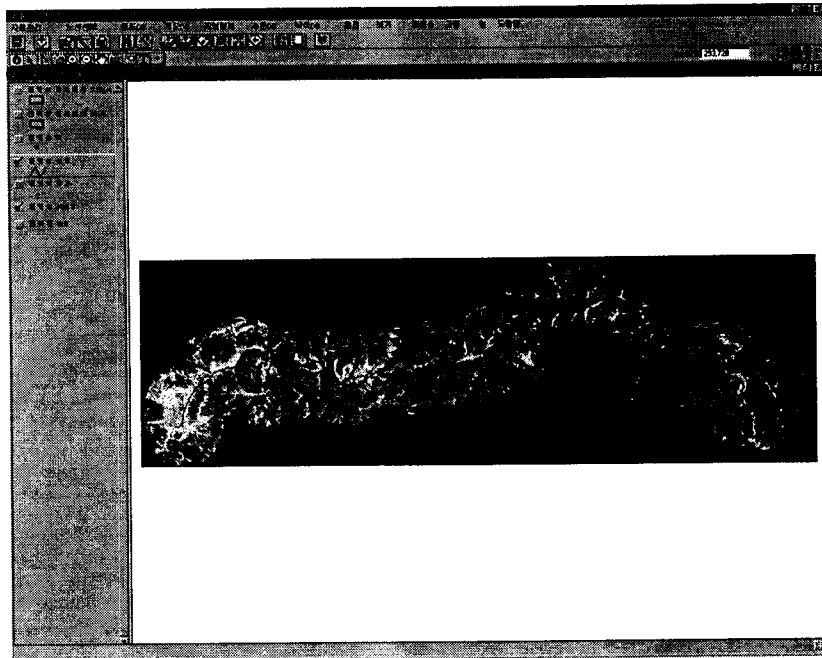


Fig. 4. JERS satellite image with railroad

이러한 지형 분석 도면은 낙석, 산사태 분석에 기초자료로 필요하다. 수문DB의 하부메뉴는 '측후소 위치', '수문기상자료', '확률강우량도', '가능최대수량도' 등으로 구성되어 있으며 Fig. 6은 재현기간 50년, 지속시간 30분인 경우의 확률강우량도를 도시한 경우이다. 이러한 수문DB는 우리나라에서 발생하는 낙석 및 산사태에 가장 중요한 외적 요인인 강우 요인을 검색하는데 사용된다.

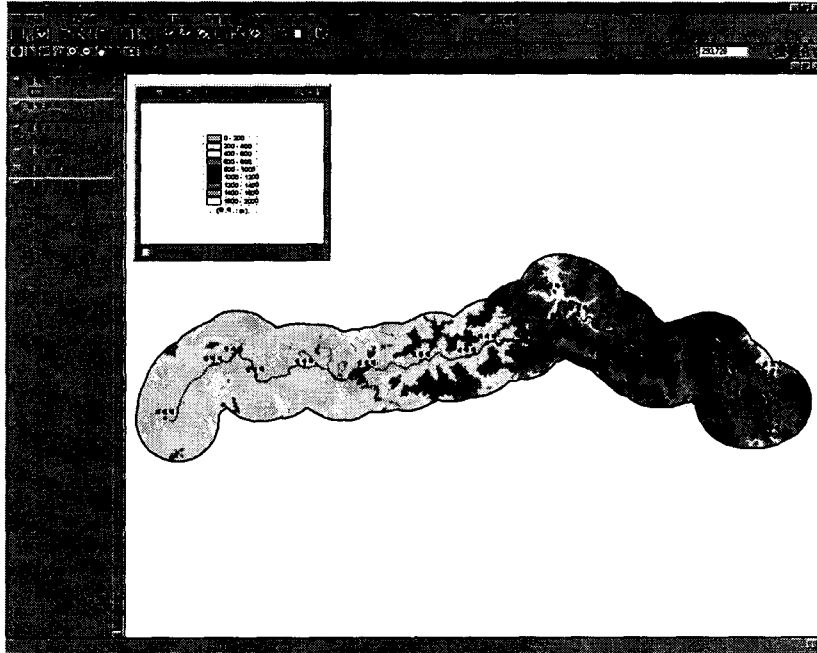


Fig. 5. Altitude map with railroad.

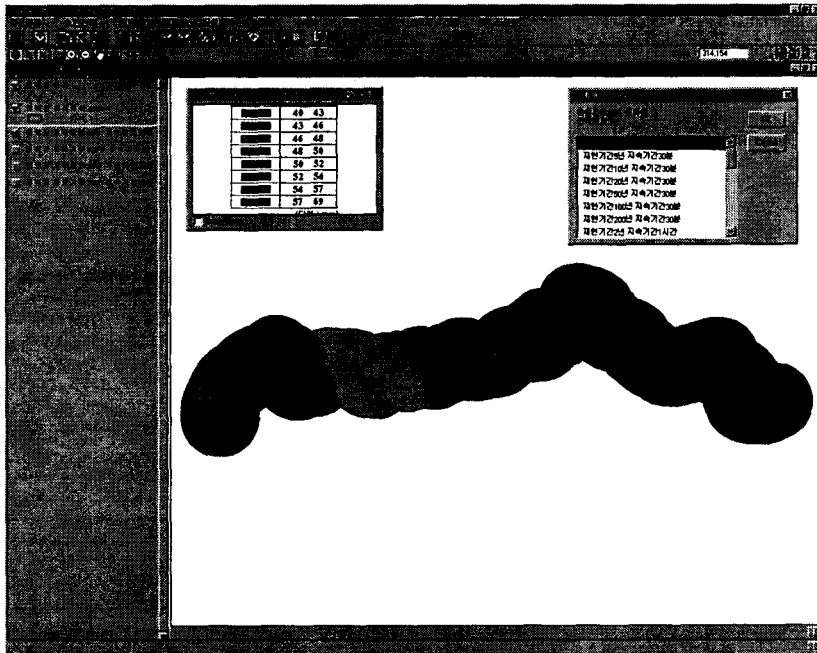


Fig. 6. Probability precipitation with railroad.

낙석DB 하부메뉴는 '낙석조사자료', '낙석위험평가도', '사진' 등으로 구성되어 있고 Fig. 7은 태백선의 증산-사북간 노선 지역의 낙석 위험 현장 가판정 결과를 도면으로 보여주고, 이를 검색한 결과 및 사진을 화면에 도시한 경우이다. 이러한 현장 조사자료는 낙석 위험도 평가 및 정밀조사 우선 순위선정에 활용된다. 편집 하부메뉴는 속성 자료의 편집과 관련된 기능을 수행하며, 보기 하부메뉴는 화면에 자료층 추가 및 제거와 같이 화면과 관련된 기능을 수행한다. 자료층 하부메뉴는 편집 시작, 편집한 것을 저장, 질의, 라벨 생성, 질의 등 자료층과 관련된 기능을 수행하며, 그림 하부메뉴는 화면

에 새로운 그림 및 기존의 데이터베이스를 추가하거나 편집할 수 있는 기능을 수행한다. 창 하부메뉴는 화면에 있는 창들을 정리해 주는 기능을 하며, 도움말 메뉴는 본 정보시스템에 대한 각종 도움말을 제공한다. 아이콘은 총 27개 아이콘으로 구성되며 풀다운 메뉴에서 제공하는 기능 중 자주 사용되는 기능 및 화면 축소, 확대, 이동 등 화면 처리 기능들을 중심으로 구성된다.

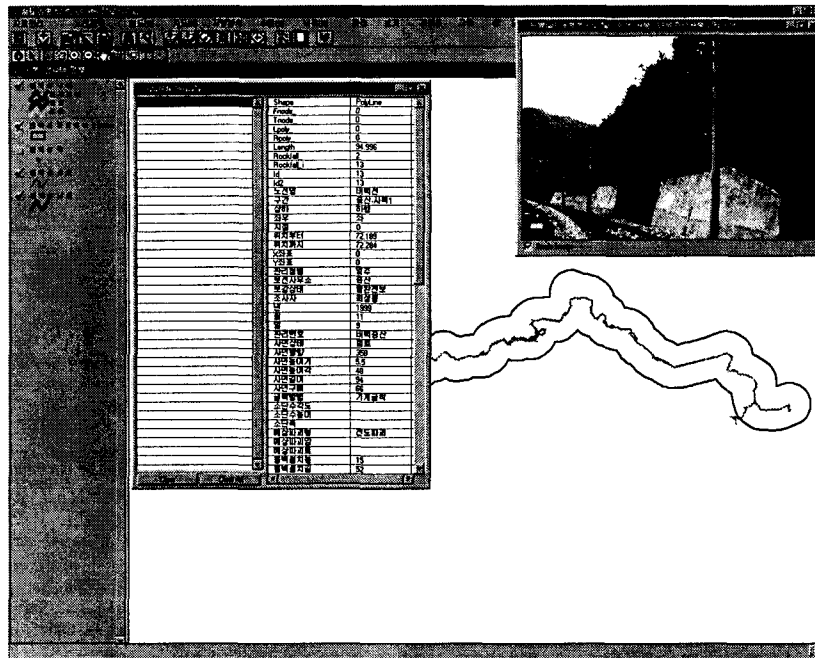


Fig. 7. Rockfall hazard assessment with survey data and photograph.

6. 결론

본 연구에서는 영동선, 태백선, 중앙선, 정선선, 경춘선 등 5개 노선에 대해 수치지형도(1:5,000), 수치지형도(1:50,000), 토양도, 지질도, 임상도, JERS 및 IRS 위성영상 자료, 토지이용도, 고도분포도, 경사도, 경사방향도, 경사곡률도, 음영기복도, 수문자료위치도, 확률강우자료, 사면조사위치도 등을 공간 데이터베이스로 구축하였다. 그리고 이러한 공간 데이터베이스를 입력, 검색, 출력 등 활용할 수 있는 철도 연변 낙석, 산사태 정보 시스템을 개발하였다. 이러한 공간 데이터베이스는 낙석 및 산사태 분석에 필요한 기초 자료로서 향후 낙석, 산사태 위험도 평가 및 예측에 기본 자료로서 필요하다.

본 연구에서 개발된 정보시스템은 보기환경, 테이블환경, 차트환경, 레이아웃환경, 프로젝트환경 등 크게 5개의 환경으로 구성되어 있으며 각각 주메뉴, 하부메뉴 및 아이콘으로 구성되어 있다. 주메뉴 혹은 보기 메뉴는 '자료관리', '노선선택', '철도DB', '지도DB', '지형분석', '수문DB', '낙석DB', '편집', '보기', '자료충', '그림', '창', '도움말' 총 27개의 풀다운 메뉴 및 아이콘 메뉴로 구성되어 있다.

본 연구에서 철로 주변의 낙석, 산사태 분석을 위한 각종 공간 정보를 공간 데이터베이스화하여 공간 데이터베이스로 구축함으로써, 향후 철도 주변 낙석, 산사태 분석을 위한 기초자료로 활용할 수 있게 하였다. 즉 본 연구의 결과는 철도 연변 재해 우려 감소에 대한 방호 설비 구축을 위한 우선 순위 선정 등 체계적인 계획 수립 및 효율적 예산배정 기초 연구 및 철도 재해 방지를 통한 열차 운행상의 안전성 확보 등에 필요한 방재시스템 구축의 데이터베이스로 활용될 수 있다.

사 사

본 연구는 정보통신부에서 시행한 정보화기반조성사업의 결과물이다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 한국확률강우량도 및 한국가능최대강수량도, 1988.
2. 농업진흥청 식물안전연구소, 1971, 개략토양도
3. 이사로, 2000, 지리정보시스템(GIS)을 이용한 산사태 취약성 분석 기법 개발 및 적용 연구, 박사학위 논문, 연세대학교, 163p.
4. 임업연구원, 1998, 산림자원조사보고서, 139-163.
5. 한국전산원, 2000, 철도역세권 토지이용 및 선로연변 낙석, 산사태 위험분석 DB 구축, 91p.
6. Baeza, C. and Corominas, J., 1996, "Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques", Proceedings of the seventh international symposium on landslides, 147-152.
7. Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995, GIS Technology in mapping landslide hazard, in Geographical Information systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, 135-175.
8. Chung, C. F., Fabbri, A. G., and Van Westen, C. J., 1995, Multivariate Regression Analysis for Landslide Hazard Zonation, in Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publishers, 107-133.
9. Guzzetti, F., Carrarra, A. Cardinali, M. Reichenbach,, P., 1999, Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.
10. Lee, S. R.(1998), "Analysis of Landslide Susceptibility in Korea using Geographic Information System", Proceedings of International Symposium on Application of Remote Sensing and Geographic Information System to Disaster Reduction, 141-147.
11. Larsen, M., Torres-Sanchez, A., 1998, The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico, Geomorphology, 24, 309-331.