

철도 터널 유지관리 데이터베이스 시스템 개발

Development of Tunnel Management Database System for Korea National Railways

황희수* 홍선호** 박지원*** 양재성****
Hwang, Hee-Soo Hong, Seon-Ho Park, Ji-Won Yang, Jae-Seung

ABSTRACT

This paper describes the development of the database system for tunnel management of Korea National Railways. In order to make the system both target independent and accessible by KNR network or modem, authors developed the system as a web-based application using java language and IBM DB2 database. The system includes the searching, reporting, graphical representation and statistical functions for tunnel data, maintenance records and checking records. Later, the system will be extended to include the process for tunnel state rating and maintenance priority decision-making.

1. 서 론

철도 관리 대상 시설물의 증가 및 그에 따른 보선 업무의 증가는 시설물의 관리, 분석 및 평가 업무를 체계화하여 유지관리에 소요되는 인적/물적 자원의 효과적 사용과 예산의 적절한 분배를 위한 의사결정을 지원할 수 있는 시스템의 필요성을 절실히 요구하고 있다. 본 연구는 철도 터널에 대한 유지관리 업무를 기술 및 경영적 측면에서 보다 합리적이고 효율적인 방법으로 수행할 수 있는 유지관리 시스템을 개발하기 위한 1단계 연구로 1) 철도 터널 관리 실태 조사 및 분석, 2) 시설물 유지관리 현황 조사 및 분석, 3) 철도 터널 자료 관리 방안 조사 및 분석에 기초하여 터널 관리 카드, 유지보수 기록 및 점검기록을 관리할 수 있는 터널 유지관리 데이터베이스 시스템 개발을 목적으로 한다.

기존의 전산시스템에서는 각각의 애플리케이션을 운용하기 위한 시스템의 가격이 결코 적지 않고, 신기술의 도입이 다른 분야보다 빨라 시스템의 교체주기도 점점 짧아져 유지 비용이 엄청나게 늘어나고 있는 실정이다. 최근에 국내외 여러 기업에서는 클라이언트 시스템의 유지보수 비용, 새로운 시스템 도입에 따르는 비용 등을 최소화하기 위해서 웹 환경하에서 자바를 클라이언트 애플리케이션 개발 도구로 선택하는 경향이 늘어나고 있다. 또한 현재 철도 시설물 전체를 관리할 수 있는 전산 시스템 개발이 초기 단계에 있어 하드웨어적인 시스템 사양 및 운영체제 등이 결정되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 이같은 상황을 고려하여 하드웨어 및 운영체제에 독립적이고 인터넷 환경하에서 동작할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 웹 환경하의 자바 애플리케이션을 개발 도구로 채택하였다. 본 연구개발 내용에는 데이터베이스 시스템 설계를 위한 요구분석, 데이터베이스 설계 및 샘플 데이터베이스 구축, 도면 정보 조작 기능, 데이터 속성 정보의 조회, 수정, 입력 및 이력관리 기능의 구현을 포함한다. 추후, 1단계 연구 결과를 바탕으로 데이터베이스 내용의 조회 및 보고 기능 등을 수정/보완하고 터널 점검기록에 기초해서 상태 관정을 할 수 있고 점검 및 유지보수의 우선 순위를 결정하는데 도움을 줄 수 있는 의사결정 지원 기능을 추가 하므로써 본 연구를 실질적인 터널 유지관리 시스템으로 발전시키고자 한다.

* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단 시스템개발팀 선임연구원, 정희원

** 한국철도기술연구원 시설연구부 안전진단사업팀 주임연구원 홍선호, 정희원

*** 타프시스템 공공사업부 차장 박지원

**** 한국철도기술연구원 시설연구부 제도토목팀 책임연구원 양재성, 정희원

2. 터널관리 업무분석

본 절에서는 데이터베이스 시스템 설계 요구사항을 결정하기 위해 철도청의 터널 유지관리 업무를 요약 정리한다. 철도 지방청별로 관리하고 있는 터널 현황이 아래 표1에 보여진다.

표 1. 지방청별 철도 터널 관리 현황

번호	지방청	단선	복선	계	비고 ():복선개소수	
1	서울	서 울	10	4	14	경의:5(1),일산:3(3),교외:6
		수 원	3	9	12	경부:1,안산:4(4),과천:4(4),분당:1(1),수인
		청량리	12	-	12	:1,남부화물:1
		원 주	44	-	44	경춘:12
		소계	69	13	82	중앙:44
2	대전	천 안	3	-	3	장항:3
		대 전	24	7	31	경부:22(2),호남:9(5)
		김 천	19	1	20	경부:15(1),문경:2,가은:2
		청 주	7	5	12	충북:12(5)
		소계	53	13	66	
3	부산	대 구	5	2	7	경부:7(2)
		부 산	11	2	13	경부:10(2),동해:2,가야:1
		경 주	18	-	18	동해:8,온산:2,중앙:8
		마 산	28	-	28	경전:26,진해:1,진삼:1
		소계	62	4	66	
4	순천	익 산	-	2	2	호남:2(2)
		광 주	5	5	10	호남:9(5),경전:1
		남 원	7	-	7	전라:7
		순 천	29	1	30	전라:3,경전:13,여천:3,광양제철:11(1)
		소계	41	8	49	
5	영주	제 천	72	1	73	충북:1(1),태백:38,정선:17,중앙:13,합백:2,
		영 주	54	-	54	정양:1,청원:1
		안 동	21	-	21	중앙:10,경북:4,영동:40
		동 해	49	-	49	중앙:21
		소계	196	1	197	태백:10,영동:33,삼척:5,목호항:1
합계		421	39	460		

표1의 460개 터널 관리 업무는 크게 다음과 같은 5가지로 구분된다.

- 행정업무: 업무 현황 보고, 정기(점검 및 진단)계획 수립, 정밀 안전 진단(정밀 점검)계획 수립, 긴급 점검 계획 수립, 유지관리 및 보수 보장 예산 산정 자료 보고
- 현장점검: 일상 점검(년4회), 정기 점검(터널 2년1회-2/4분기), 현장 조사, 상태 평가, 구조물 변상 보고, 설계자료 현장 조사
- 용역관리: 용역 설계(기간 및 범위 선정) 및 발주, 용역 현장 감독 업무, 보고자료 검토, 진단 결과 검토
- 안전조치: 차량의 대형화 진화에 의한 단면 부족 우려시 건축한계 파악, 재해 예방 관련 업무 및 안전 조치 업무, 점검 및 진단후 시설물의 사용 제한 등 안전 조치
- 외부기관(국회, 건설교통부 등) 요청 자료 제공

이상의 5가지 업무 분류에 기초해서 단계별 유지관리 시스템이 갖추어야 할 업무 내용을 정리하면 아래 그림1과 같다. 1단계는 당해년도 연구로 유지관리 데이터베이스 시스템 개발 내용이고 2단계는 실질적인 유지관리 시스템으로 발전하기 위해 추가적으로 필요한 연구내용을 표시한다. 단계별 개발 내용이 철도 터널 관리 업무에 활용될 수 있는 업무 범위를 표2에 정리하였다. 유지관리 시스템을 위해 기본적으로 데이터베이스화 되어야 할 부분은 터널카드 내용, 유지보수 기록, 점검기록(일상, 정기점검)이고 터널카드 부분은 세부 내용으로 기본항목, 선로정보, 시공정보와 도

면정보를 포함한다. 또한 유지관리 시스템은 이들 정보를 검색하고 그 결과를 보고서로 작성할 수 있는 관리 기능을 갖고 있으며 변상 전개도에 기초한 벡터 데이터를 관리할 수 있어야 한다(참고 그림2).

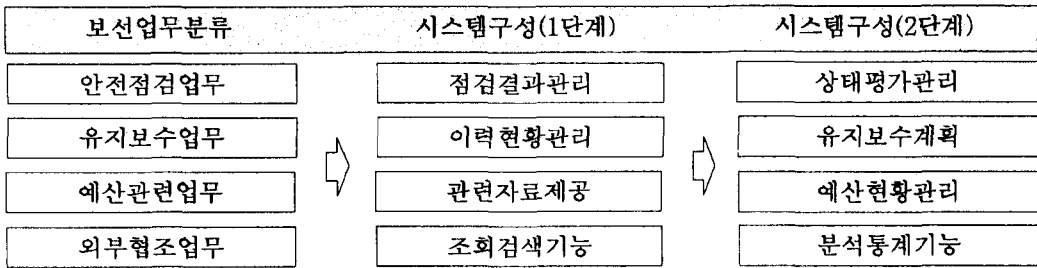


그림1. 개발 시스템의 단계별 유지관리 업무

표 2. 철도 터널 유지관리 시스템의 활용 업무

종류	활용 범위	비고
1 일반 관리	현황자료 관리 (터널대장, 점검기록부, 보수보강기록)	1단계
	일상점검(년4회), 정기점검(년1회-2사분기), 긴급점검 업무수행시 참고자료	"
	정밀 안전 진단서 관리 주체 및 시행업체 진단 수행 참고자료	"
2 특별 관리	차량 대형화에 의한 단면부족 우려시 건축한계 파악자료	2단계
	재해발생시 동일유형 검색등을 통한 시설물간 연관성 여부 조사 자료	"
	점검 및 진단후 시설물 사용제한 등 안전조치 기초자료	"
3 경영 및 예산 계획 수립	안전진단 및 보수보강 용역발주시 설계기초자료	"
	유지관리 예산산정 기준자료	"
	보수보강 예산산정 기준자료	"
	정기(점검 및 진단)계획 수립시 기초자료	"
	보수보강계획서 작성 기초자료	"

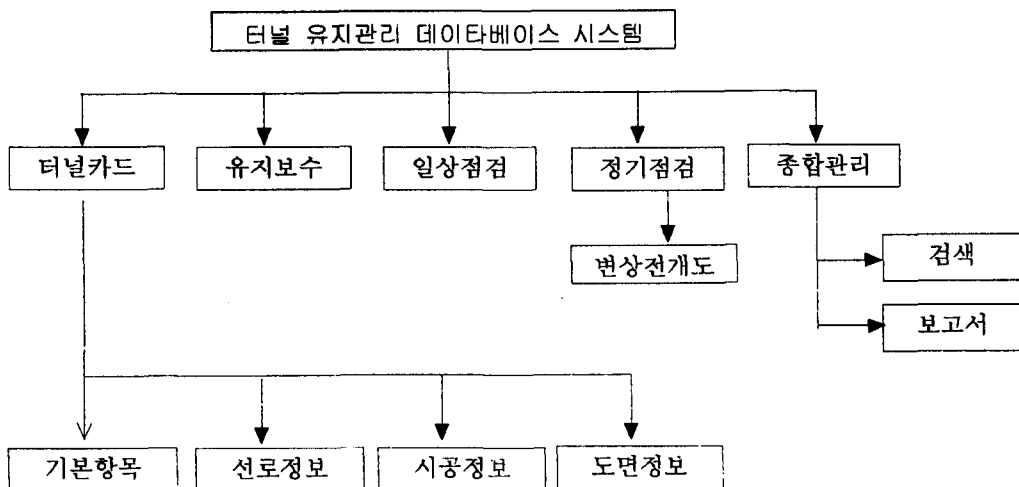


그림 2. 터널 유지관리 데이터베이스 시스템

철도 터널관리 시스템이 예방적 차원의 터널 점검, 유지보수 및 예산편성 계획수립을 지원할 수 있기 위해서는 점검 및 유지보수 대상 터널의 우선 순위를 결정할 수 있어야 하는데, 그 결정은 현재 터널의 상태 등급에 의존할 수 밖에 없다. 따라서 철도 터널상태 등급평가를 위한 객관적 산정 방안을 도입할 필요가 있으며 그 방안의 하나로 시설물 안전관리에 관한 특별법에 제정된 상태등급 산정 방법을 체계화시켜 이를 2단계 유지관리 시스템 개발에 적용하여야 한다. 이와 관련하여 본 연구에서는 1) 기존 안전점검 및 진단자료를 수집, 분석하고 2) 철도 터널 상태평가(일상 점검 내용의 정량적 평가, 안전진단 자료 상태 등급 평가를 정량화, 현장 확인 및 검토, 피드백 정보)방안을 제안하며 이를 토대로 유지관리 시스템에 적용 및 운용 방안을 제시한다. 2단계 연구에서는 1) 주변환경(지반, 지하수 등) 조건 및 구조적 이상 유무에 따른 상태등급 조정방안 제시, 2) 상태등급 평가식 제안 및 조정과 3) 필요하다면 상태등급 판정용 전문가 시스템을 개발한다. 표 3에 국내의 철도 시설물의 상태평가 사례를 요약하였으며 표4에는 국내 터널의 변상 현상별 상태 등급 산정 기준과 표5에 시설물 유지관리 지침에 의한 상태 등급 산정 규정이 보여진다.

표 3. 국내의 철도 시설물 상태 평가 사례

	내 용	비 고
국내 철도터널 평가 사례1	구간별 외관조사, 강도평가, 라이닝 품질평가, 지반탐사 → 구조해석 → 취합후 특급기술자 경험의거 종합판단	시설안전기술 공단의 다수
국내 철도터널 평가 사례2	구간별 외관조사(균열, 누수, 파손) 및 구조적결함현상 파악 → 구간별 등급 정량화, 가중평균(TSR) 산정 → 구간별 상태등급 제시	제이엘 건설연구소
일본 철도터널	변상현상 및 환경조건조사 → 변상원인별 추정 → 평가 → 상세 검사항목 제시 → 건전도 판정 (Tunnel Inspection and Maintenance Expert System-1)	철도총합 기술연구소
일본 철도교량	부재, 위치, 변상종류, 변상범위, 진행성에 따른 가중치로 각항목별 등급부여 → 취합(부재상태별 판정사례 제시)	

표 4. 국내 터널의 변상 현상별 상태 등급 산정 기준

항목/등급	A	B	C	D	E
균열폭	0.1mm 미만	0.1-0.2mm미만	0.2-0.3mm미만	0.3-0.7mm미만	0.7mm이상
누 수	없음	흔적있음	균열사이누수조 급	균열사이 누수많음	균열사이로 물이 계속떨어짐
파 손	없음	없음	경미한 파손 (10×10cm미만)	파손 (10×10cm -30×30cm)	파손이 극심하여 즉시보수요망 (30×30cm이상)
박 리	없음	0.5mm미만	0.5-1.0mm미만	1.0-25mm미만	25mm이상
박 락	없음	깊이25mm미만 직경150mm미만 (소형박락)		깊이25mm이상 직경150mm이상 (대형박락)	

표 5. 국내 터널의 시설물 유지관리 지침에 의한 분류(특급기술자의 경험적 판정)

상태등급	상 태
A	문제점이 없는 최상의 상태
B	경미한 손상의 양호한 상태
C	보조부재에 손상이 있는 보통의 상태
D	주요부재에 진전된 노후화(강재의 피로균열, 콘크리트의 전단균열, 침하 등)로 긴급한 보수 보강이 필요한 상태, 사용제한여부를 판단
E	주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용금지하고 개축이 필요한 상태

3. 시스템 개발

3.1 개발 방향

기존의 전산 시스템에서는 각각의 애플리케이션을 운용하기 위한 시스템의 가격이 결코 적지 않고, 신기술의 도입이 다른 분야보다 빨라 시스템의 교체 주기도 점점 짧아져 유지보수 비용이 엄청나게 늘어나고 있는 실정이다. 최근에는 클라이언트 시스템의 유지보수 비용, 새로운 시스템 도입에 따르는 비용 등을 최소화하기 위해서 웹 환경하에서 자바를 클라이언트 애플리케이션 개발 도구로 선택하는 경향이 늘어나고 있다. 또한 현재 철도 시설물 전체를 관리할 수 있는 전산 시스템 개발이 초기 단계에 있어 하드웨어적인 시스템 사양 및 운영체제 등이 결정되지 않은 상태이다. 본 연구에서는 이같은 상황을 고려하여 하드웨어 및 운영체제에 독립적이고 인터넷 환경하에서 동작할 수 있는 시스템을 개발하기 위해 웹 환경하의 자바 애플리케이션을 개발 도구로 채택하였다.

3.2 개발 절차

철도 터널 유지관리 데이터베이스 시스템은 그림3에 보여진 절차를 거쳐 개발된다. 시스템 요구 분석을 통해 해결할 문제를 기술하고 이에 대한 해결책을 추정한다. 개발팀을 구성(단계1에 참여한 인원, 시스템 개발자, 사용자 등)하고 기존 시스템 평가 및 개발 시스템의 기본 사양을 규정하고 잠재적 사용자의 의견을 반영한다. 데이터베이스 설계는 데이터베이스 구조와 응용 프로그램 설계, 데이터베이스의 논리/물리 구조 설계, 데이터베이스내의 레코드간의 관계 표현을 위한 데이터 구조도 생성을 포함한다. 레코드간의 관계를 찾아내기 위해 응용 프로그램의 설계가 동시에 진행되어야 한다. 데이터 구조도에 나타나는 각 레코드의 형식과 제약조건은 데이터 규약 사전에 정의된다. 데이터베이스 구현은 데이터베이스 스키마의 정의 및 점파일, 응용 프로그램 작성, 시험용 데이터베이스의 구현, 시험용 데이터베이스를 사용하여 응용 프로그램의 시험(단위시험 및 통합시험), 데이터베이스 및 응용 프로그램의 수정 및 변경, 개발된 시스템의 성능평가, 사용자를 위한 매뉴얼 작성, 사용자 교육 등을 포함한다.

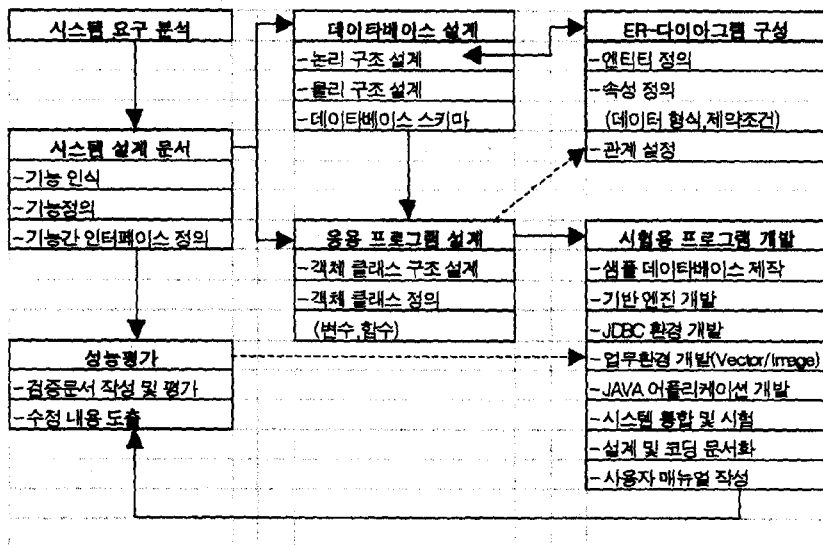


그림 3. 철도 터널 유지관리 데이터베이스 시스템 개발 절차

3.3 데이터베이스 항목

터널관리 대장에 기초해서 다음의 3가지 기록을 관계형 표의 형태로 데이터베이스에 구축한다.

1) 터널카드 항목

고유번호, 터널명, 선별, 역구간, 위치(터널 카드내의 데이터 외에 추가로 기점 및 종점에 대한 마일포스트), 위도 및 경도, 행정(기점쪽, 종점쪽), 선로(단복선, 구배, 직곡선, 레일종별), 종별, 형식, 공법, 대피소, 대형대피소, 변압기굴, 인버트, 배수형식, 시공자, 준공년월일, 마이

크로 필름번호, 연장, 평면도, 종단면도, 말굽형/반원형, 통계처리 및 조화를 위한 도면 치수, 관찰 보선 사무소, 관할청, 터널 입출구 사진

2) 유지보수 기록 항목

공사번호, 공사기간(착수일, 준공일), 공사비(단위:천원), 시공자, 변상상태, 보수내용, 기사

3) 점검 기록 항목

일상 점검(점검 부위점검 항목점검일자, 점검자, 점검 내용)

- 터널 측벽(좌우): 균열, 누수, 백화, 박리, 박락, 합몰, 철근 부식 여부(표면)
- 터널 천정: 균열, 누수, 백화, 박리, 박락, 합몰, 철근 부식 여부(표면), 조명 상태,
- 터널 바닥: 배수시설, 노면 상태(침하, 균열 등)
- 터널 입구, 출구: 균열, 누수, 백화, 박리, 박락, 합몰, 철근 부식 여부(표면), 부등침하
- 터널 비탈면

정기 점검(점검 부위점검 항목점검일자, 점검자, 점검 내용)

- 터널 측벽(좌우): 균열(균열 폭, 길이, 깊이, 균열의 진전 여부), 누수, 백화, 박리, 박락, 합몰, 철근 부식 여부(표면), 콘크리트 강도(표면 타격법)
- 터널 천정: 균열(균열 폭, 길이, 깊이, 균열의 진전 여부), 누수, 백화, 박리, 박락, 합몰, 철근 부식 여부(표면), 조명 상태, 농도, 콘크리트 강도(표면타격법)
- 터널 바닥: 배수시설, 노면 상태(침하, 균열 등), 교통 소통 상태 및 안전사항, 용수
- 터널 입구, 출구: 균열(균열 폭, 길이, 깊이, 균열의 진전 여부), 누수, 백화, 박리, 박락, 합몰, 철근 부식 여부(표면), 부등침하, 배수처리, 콘크리트 강도(표면타격법)

- 터널 비탈면: 사면의 변형 유무

변상 내용은 변상 전개도 작성시 기록 방법(참고 그림4)을 아이콘화하여 터널의 전개도의 변상 위치에 변상 내용에 해당하는 아이콘을 표시한다(참고 그림5의 차)).

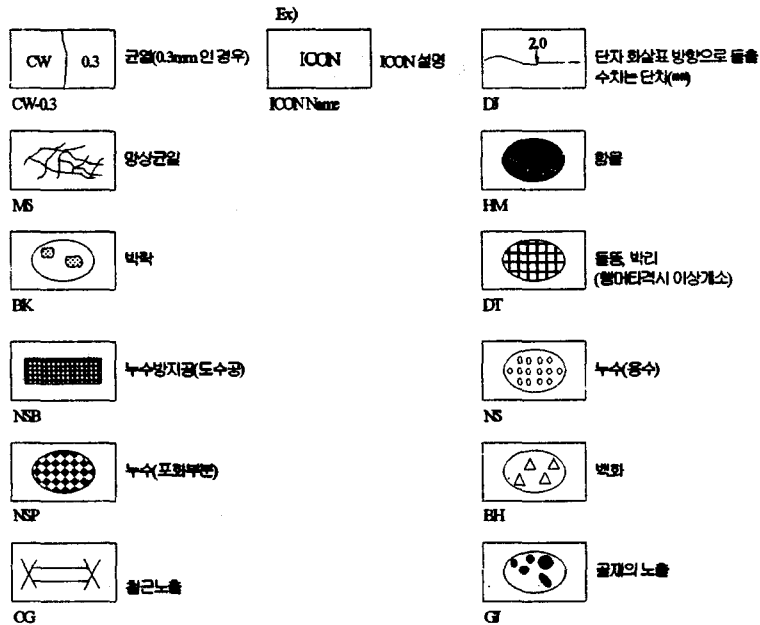


그림 4. 변상 표시 항목

4. 데이터베이스 프로그램

이 프로그램은 초기화면에서 터널카드, 유지보수, 일상점검, 정기점검과 종합검색 기능을 선택하여 다음과 같은 기능을 수행할 수 있다(참고 그림5).

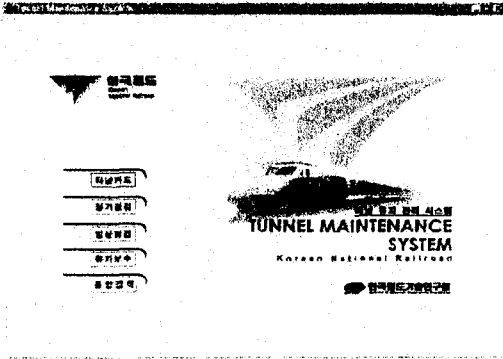
터널카드: 터널 기본항목, 선로/터널 크기, 시공/대피소, 도면/터널 사진의 입력 검색, 저장, 삭제

유지보수: 터널 유지보수 카드의 검색/입력/저장/삭제

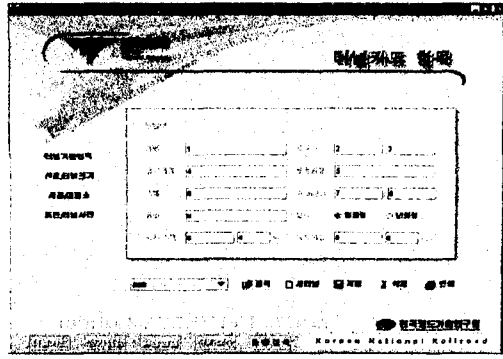
일상점검: 터널 일상점검 카드의 검색/입력/저장/삭제

정기점검: 터널 정기점검 카드의 검색/입력/저장/삭제

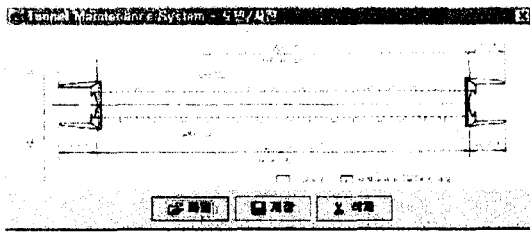
종합검색: 지점된 검색과 질의문을 사용한 검색



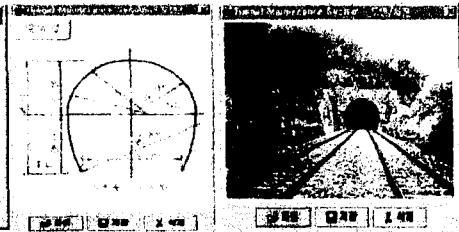
(가) 초기화면



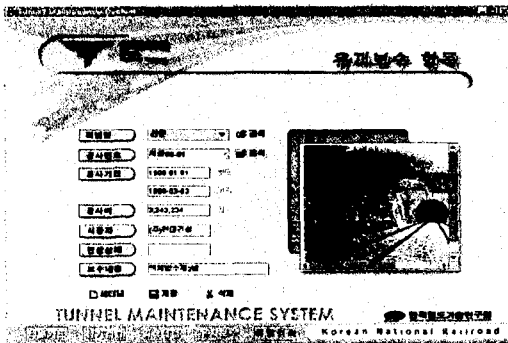
(나) 터널카드 화면



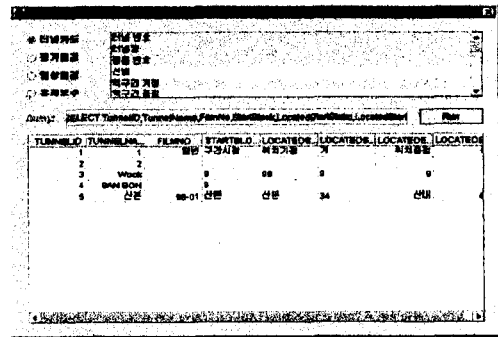
(다) 횡단면도



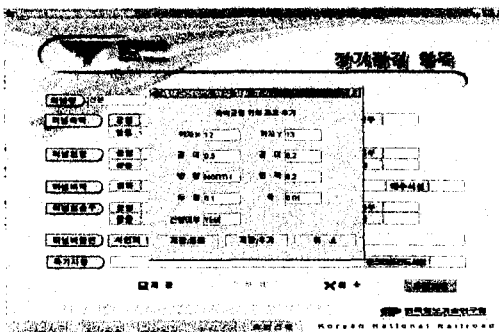
(라) 터널 입구 형태 (마) 터널입출구 사진



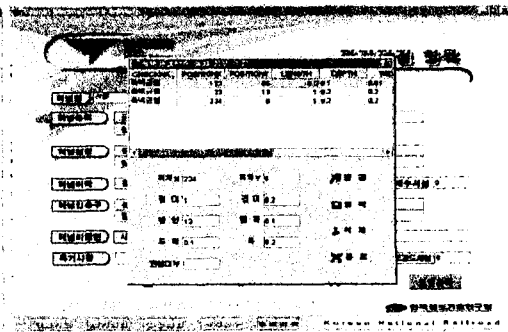
(바) 유지보수 화면



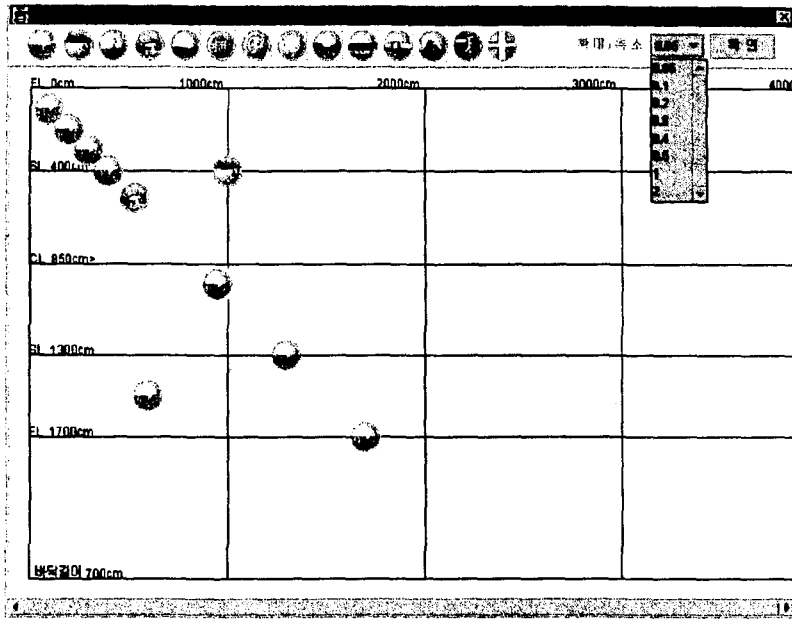
(사) 검색 화면



(아) 정기점검 화면



(자) 세부 점검 내용 및 위치 정보



(자) 변상표시 아이콘을 이용한 변상 전개도
 그림 5. 프로그램 화면

5. 결론

본 연구는 철도 터널 유지관리 시스템을 개발하기 위한 1단계 연구로 1) 철도 터널 관리 실태 조사 및 분석, 2) 시설물 유지관리 현황 조사 및 분석, 3) 철도 터널 자료 관리 방안 조사 및 분석에 기초하여 터널 관리 카드, 유지보수 기록 및 점검기록을 관리할 수 있는 터널 유지관리 데이터베이스 시스템을 개발하였다. 실제 사용 환경에서의 적용성 검토 과정에서 발견된 일부 미비점(가상 상황별 검색 기능, 입력 도면의 속성 정보 데이터베이스 방안, 검색된 결과를 원하는 양식으로 출력할 수 있는 보고서 작성 기능 등)을 보완하고 2단계 연구를 통해 터널 점검 상태 판정과 유지보수 우선 순위를 결정할 수 있는 의사결정 지원 기능을 추가한다면 실질적인 터널 유지관리 시스템으로 발전할 수 있을 것이고 이를 위한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

1. 安全點檢 및 情密安全診斷 細部指針(터널편). 1996.3 건설교통부, 시설안전기술공단
2. 鐵道施設物 安全에 關한 維持管理 業務便覽, 1998.1 철도청 시설국
3. 地形空間情報論, 1994.8. 유복모
4. 變狀터널의 보강공법에 관한 연구, 1998.5 한국철도기술연구원
5. 터널보수·보강매뉴얼 1990.10. 日 社團法人 鐵道總合技術研究所
6. Tunnel Management, Operation and Maintenance, 1996.6 Organised and Sponsored by Independent Technical Conferences LTD