

# 철도터널의 유지관리 DB 프로그램 개발 및 특성

## Characteristics and Development of Database Program for Maintenance and Management of Railway Tunnel

이송<sup>1</sup>, 구자갑<sup>2</sup>, 심민보<sup>3</sup>

Song Lee, Ja-Kap Koo, Min-Bo Shim

**Key words** : Maintenance and management(유지관리), Inspection data(진단자료) Standard classification system(표준분류체계)

### Abstract

Recently, many kinds of research have been actively developing for a standardization and information to the field of design, construction, supervision, maintenance and management on facilities. The establishment of standard classification system on tunnel facilities and inspection data is most important among the things to have a efficiently maintenance and management.

This paper suggests standard classification system on tunnel facilities and inspection data, and, on the basis of that, code work with standard classification system and input work was practised. The purpose of this paper is to suggest a kind of statistics data and investigate a characteristics of inspection using statistic data on railway tunnel.

### 1. 서 론

최근 들어 활발히 진행중인 건설관련 사업의 표준화 및 정보화 작업은 주로 설계, 시공 및 건설관련 현황을 중심으로 추진되고 있다. 그러나, 시설물의 유지관리에 대한 데이터베이스 구축작업은 타 분야에 비하여 뒤떨어진 편이다.

시설물의 효율적인 유지관리를 위해서는 설계 도서 및 관리대장, 시공자료 등이 통합적으로 운영되어야 하여야 하며, 시설물 유지관리와 관련하여 가장 기본이 되는 시설물 및 진단자료에 대한 표준분류체계가 확립되어야 한다. 외국의

경우 일반적으로 구조물 설계 단계부터 유지관리까지의 모든 공정이 코드집이나 매뉴얼에 기재되어 있어 시공중이나 유지관리상에 어떠한 문제점이 발생하였을 시에는 신속한 정밀대조를 통해 원인규명 및 보완작업에 대한 지시를 내리는 방법으로 건설안전관리를 추구하고 있다.[1] 국내 터널 시설물의 유지관리 시스템과 관련된 연구는 철도터널의 노후도를 고려한 안전진단시스템[2]과 철도터널 유지관리시스템 구축[3] 등이 있다. 전자에서는 터널의 노후도를 효과적으로 고려한 안전진단시스템을 소개하고, 이를 적용한 안전진단결과와 노후화된 철도터널의 유지관리 방향을 제시하였다. 후자에서는 철도터널의 각종 대장관리 및 현황관리자료에 대하여 관리대상 적합항목을 선정하여 DB를 구축하였으며, 상태

<sup>1</sup> 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

<sup>2</sup> 정회원, 한성대학교 토목공학과 교수

<sup>3</sup> 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 대학원

평가를 위한 기초 자료, 즉 균열, 어긋남, 박리 및 박락, 누수 등에 대한 분석과 알고리즘 연구를 통하여 DB 구축을 실시하였다.

시설물의 Life Cycle 동안 과학적인 유지관리를 위하여 진단자료의 DB화는 필수적이며, 이러한 작업의 결과는 통계 및 분석자료로 제공된다.

본 논문에서는 터널 시설물의 진단부재 및 진단자료의 분류체계를 제시하고, 이를 토대로 하여 코드화 작업을 실시하여 진단 자료 DB 프로그램을 개발하였다. 본 논문은 31개의 터널 시설물의 진단자료를 입력하였으며, 입력한 자료에 대한 각종 통계를 제시하고, 이를 통한 터널의 진단 특성을 고찰하는 것을 목적으로 하고 있다. 터널 전체와 시설물 상태 등급에 따른 손상종류, 보수보강방법 등의 분포현황을 제시하고, 진단부재, 손상종류, 손상정도, 보수보강방법 등의 관계를 통한 각종 통계 현황을 제시하여 터널 시설물의 진단 특성을 고찰하였다.

## 2. 유지관리 내용 및 분류체계 구축

### 2.1 터널의 유지관리 내용

터널은 설계나 시공중의 오류로 인한 구조적 불안정 요인을 갖기도 하나, 여러 부대시설 및 보강재 등의 재료적 결함, 시설물의 노후에 의해서 여러 가지 종류의 손상을 보이게 된다. 가장 보편적으로 나타나는 손상의 종류는 Table 1과 같다. 각각의 손상 종류에 대한 원인을 이해함으로써 손상의 방지 및 보수, 보강에 필요한 유지관리 사항을 체계적으로 확립할 수 있다.[4, 5]

손상 터널에 대하여 실시하는 각종 비파괴시험과 안정성 검토는 손상 정도 등을 파악하여 적절한 보강대책을 취하기 위해 실시된다. 정밀한 시험과 측정, 지반해석 등을 병행하여야 하며, 조사 결과는 상호 연관관계를 파악하기 쉽게 종합하여 정리하여 분석하여야 한다.

**Table 1 Kind and origin of damage for railway tunnel**

구분	내용
균열	균열의 형태나 규모, 패턴 등을 관찰함으로써 하중작용방향이나 진행상황, 변상의 원인 등을 손쉽게 추정할 수 있다.
라이닝 이상	라이닝은 터널이 노후됨에 따라 균열이나 누수 등의 이상을 야기시킬 수 있다.
배면 공동	배면공동은 공동유무를 조사하여 터널의 안전이 유지될 수 있도록 하여야 한다.
백화	백화는 안정성 및 사용성에 영향을 크게 미친다.
동해	콘크리트 구조물이 외부에 노출되어 있는 경우, 동해는 구조물 내구성을 크게 좌우하며, 라이닝의 열화를 촉진시킬 수 있다.
누수	누수는 사용성 및 부가적인 문제를 야기하는 주원인이 된다.
열화	터널내의 구성재료가 열화되면 터널내력 및 사용성, 안전성 등이 크게 저하된다.
진동/소음	진동 및 소음은 그 정도에 따라 터널에 안정에 영향을 줄 수 있다.
지압변화	시공 후 소성압, 편압, 지반이완에 따른 연직압, 수압의 발생과 지반침하에 따른 침하 등으로 인한 지압 변화로 단면 변형 및 안정에 큰 영향을 줄 수 있다.
근접시공 영향	시공 후 근접시공에 의한 터널의 손상은 터널주변의 응력 평형을 급격히 떨어뜨릴 수 있다.
케도이상	케도틀림(방향, 고저)과 케도재료의 부식은 열차운행에 큰 영향을 준다.

터널의 안전성을 유지하기 위해서는 발생한 손상에 대해 즉각적인 대책 또는 조치를 취하는 것이 필요하다. 터널은 다른 시설물들과 달리 조치를 행함에 있어 접근 공간이나 교통량 등의 제약이 많기 때문에 변형상황, 시공조건 등을 종합적으로 검토한 후 손상대책을 수립하여 시공하여야 한다. 또한, 터널에 작용하는 외력이나 라이닝 안쪽의 지반과 지보상태 등에 대한 정확하게 알기 어려우므로 지표나 라이닝변상에 나타나는 징후를 근거로 하여 경험적인 판단을 한 다음 손상조치 공법을 선정해야 한다.[6]

### 2.2 진단자료 구성체계 및 진단부재 분류

진단자료 DB화를 위해 본 논문에서 구축한 진단자료의 구성요소 및 체계는 Fig. 1과 같다.

정밀안전진단은 1차 조사인 외관조사, 2차 조사인 진단시험과 안전성 평가 등을 실시하며, 이를 토대로 하여 각 부재에 대한 보수보강방법을 제시한다. 또한, 각 진단부재에 대한 종합 의견으로 시설물 상태 등급을 결정한다. 따라서, 효율적인 진단자료의 DB화를 위하여 Fig. 1에서 제시된 항목을 코드화하고, DB를 구축하여야 한다. 각 항목에 대한 코드화 작업은 Table 1과 같은 참고자료를 토대로 하여 실시하였다.

외관조사를 통하여 각 점검 및 진단부재의 손상 정도를 파악할 수 있으며, 보수보강방법을 제시하기 전에 외관조사와 점검 및 진단시험, 안전성 평가 등을 통한 부재등급을 결정할 수 있다.

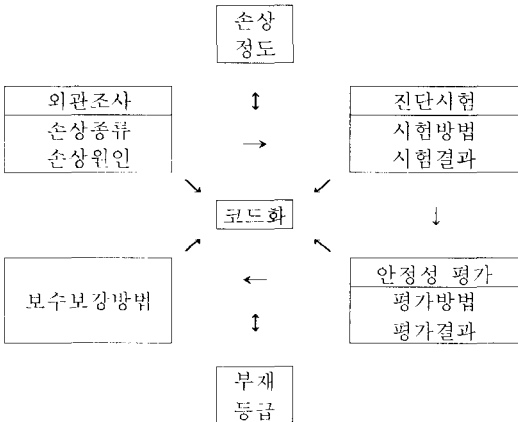


Fig. 1 Composition system of inspection data

Table 2 Classification system of inspection section

코드	내용	기호
ET	입구부	Entrance
OL	출구부	Outlet
LW	좌측벽부	Left wall
RW	우측벽부	Right wall
CR	천단부	Crown
BO	바닥부	Bottom
LA	좌아치부	Left arch
RA	우아치부	Right arch
TU	터널 전체	Tunnel

정밀안전진단 내용은 일반적으로 진단부재 및 station으로 구분되어 표현된다. 효율적인 진단자료 관리와 분석을 위해서 Table 2와 같이 터널 시설물에 대한 진단부재 분류체계를 마련하였으며, 이는 코드화 항목에 대한 기본적인 분류체계로 활용된다.

2.3 코드화 작업

외관조사, 진단시험, 안정성평가, 그리고 보수보강방법에 대한 코드화는 진단부재 분류체계를 바탕으로 하여 각각 표 3~표 6과 같다. 각 코드화는 일련번호로 진행된다.

Table 3. Code for Kind and origin of damage

진단부재 분류체계	손상종류		손상원인	
	분류 체계	코드	분류 체계	코드
ET	K (Kind)	ET-K-001	O (Origin)	ET-O-001
OL		OL-K-001		OL-O-001
LW		LW-K-001		LW-O-001
RW		RW-K-001		RW-O-001
CR		CR-K-001		CR-O-001
BO		BO-K-001		BO-O-001
LA		LA-K-001		LA-O-001
RA		RA-K-001		RA-O-001

Table 4. Code for non-destructive test

진단시험 분류체계	진단시험 방법 및 결과			
	분류 체계	방법 코드	분류 체계	결과 코드
FA (Facility)	T (Test)	FA-T-001	TR (Result)	FA-TR-001

Table 5. Code for Stability Estimation

안정성 평가 분류체계	안정성평가 방법 및 결과			
	분류 체계	방법 코드	분류 체계	결과 코드
TU (Tunnel)	S (Stability estimation)	TU-S-001	SR (Result)	TU-SR-001

외관조사의 손상종류 및 원인은 진단부재에 따라 달라지는 특성을 지니고 있으며, 보수보강 방법도 진단부재에 따라 달라지는 특성을 지니고 있어 진단부재 분류체계에 따른 코드화 작업을 실시하였다. 반면 진단시험 및 안정성 평가는 시설물 전체에 대한 코드화 작업을 실시하였다.

**Table 6. Code for repair and reinforcement**

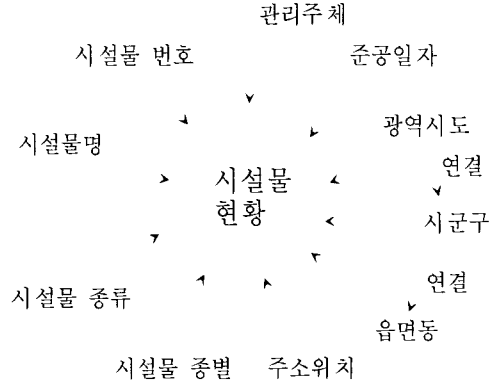
진단부재 분류체계	보수보강방법	
	분류체계	코드
ET	R (Rerair & Reinforcement)	ET-R-001
OL		OL-R-001
LW		LW-R-001
RW		RW-R-001
CR		CR-R-001
BO		BO-R-001
LA		LA-R-001
RA		RA-R-001

### 3. 데이터베이스 구축

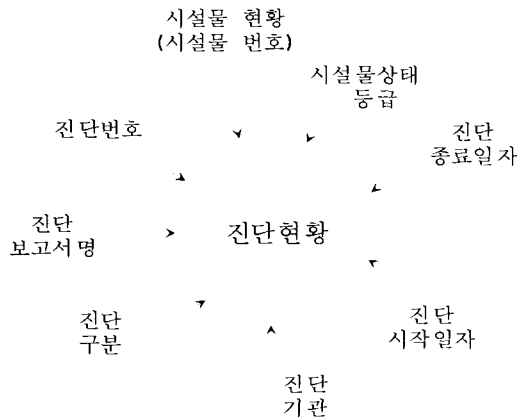
#### 3.1 프로그램 구성

진단자료 DB 프로그램은 시설물 현황, 진단 현황, 진단 내용 등 세 부분으로 구성되어 있다.

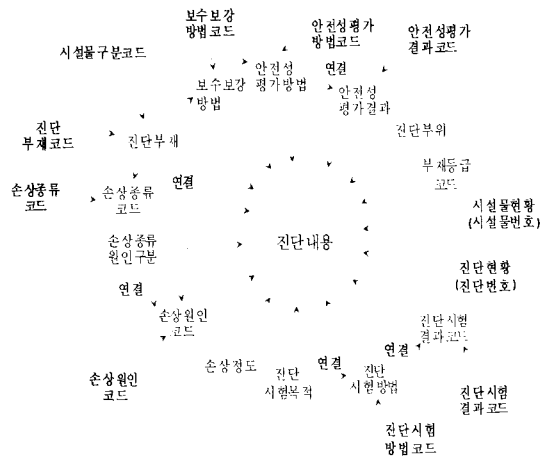
시설물 현황은 시설물 번호, 시설물명 등 총 11개의 테이블로 구성되어 있다. 시설물 현황 및 제원 중 가장 기본이 되는 내용을 필드로 구성하였다. 진단 현황은 점검진단번호, 보고서명 등 진단내용을 제외한 총 8개의 테이블로 구성되어 있으며, 시설물번호는 시설물 현황의 시설물번호와 연결되어 있다. 이는 진단현황 테이블이 시설물현황 테이블에 종속되어 연결되어 있음을 의미한다. 또한, 진단내용은 점검진단부재, 손상종류, 손상원인 등 총 17개 테이블로 구성되어 있으며, 이 중 시설물번호와 점검진단번호는 각각 시설물 현황의 시설물번호, 진단현황의 점검진단번호와 연결되어 있다. 이는 한 시설물에 대한 진단 현황과 한 진단 현황에 대한 진단 내용은 여러 번 있을 수 있기 때문이다.



**Fig. 2 present condition of facilities**



**Fig. 3 present condition of inspection**



**Fig. 4 Content of inspection**

### 3.2 프로그램 목록

진단자료 DB 프로그램의 목록은 크게 검색, 입력 및 수정, 출력으로 구성되어 있다.

Table 7 List of program

구분	목록 내용
검색	코드현황
	진단내용 조건검색
	진단내용 복합검색
입력/수정	코드현황
	진단내용
출력	코드현황
	진단내용
	진단내용 통계

진단현황에 대한 검색은 시설물명, 진단부재, 손상종류 및 원인, 진단시험 방법 및 결과, 안정성평가 방법 및 결과, 보수보강방법 등에 대하여 조건 검색을 할 수 있다. 또한, 시설물상태등급, 진단부재, 손상종류 및 원인, 손상정도, 진단시험 방법 및 결과, 안정성평가 방법 및 결과, 보수보강방법 등에 대한 복합 검색도 할 수 있다. 진단내용에 대한 출력 및 통계는 시설물명과 진단부재에 따라 할 수 있도록 하였다.

### 3.3 개발환경 및 진단자료입력

진단자료 DB화 개발 프로그램은 현재 가장 많이 사용되고 있는 관계형 데이터베이스 응용 프로그램으로 개발하였으며, 이는 데스크톱 사용자가 효율적으로 데이터베이스 시스템을 작성하고 처리하기 위해 사용할 수 있는 프로그램이다. 시설물 현황관리, 이력관리, 설계도서 등 각종 데이터베이스 프로그램과의 연계하여 활용할 수 있으며, 통계분석 및 조건검색이 용이하여 시설물 점검 및 진단 운영자 중심의 업무환경을 구현할 수 있다.

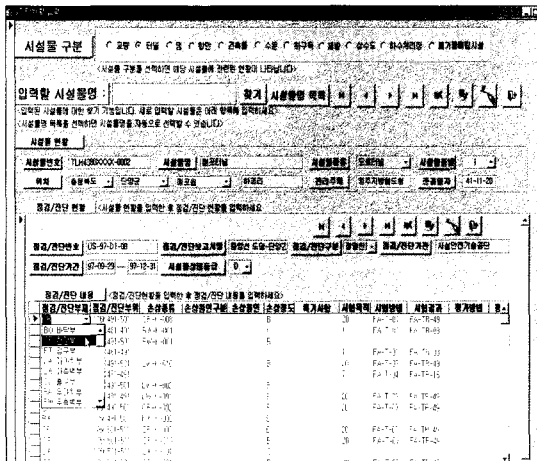


Fig. 6 Screen of data input

## 4. 터널 시설물의 진단 특성

### 4.1 진단 현황

입력된 터널 시설물은 총 31개이며, 자료 입력은 진단보고서에서 구분된 진단부재 및 station 별로 실시하였다.

1종 시설물이 약 3/4를 차지하는 것으로 나타났으며, 사용년도 분포 현황을 보면 사용기간이 10년이 안 된 시설물이 약 23% 분포하고, 20년이 안 된 시설물은 전체의 42%로 분포하였다. 시설물 상태등급은 약 77%가 C등급으로 나타났으며, D등급은 약 19%, B등급은 약 4%로 분포하는 것으로 나타났다. 시설물 상태 등급이 D등급인 경우 즉각 차량 등의 통행을 금지하고, 응급조치를 취해야 하는 상태이다.

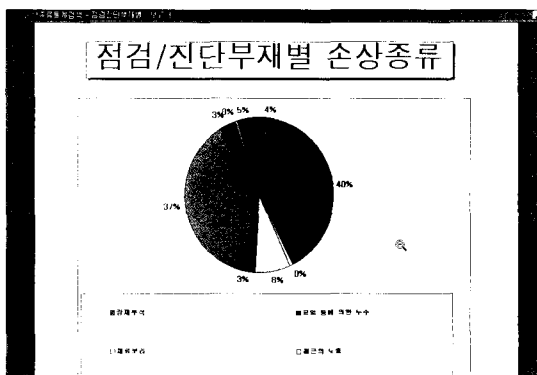


Fig. 7 Screen of Statistics output

4.2 외관조사 특성

입력된 손상종류는 총 6155개이며, Fig. 8은 손상종류 전체에 대한 분포 현황을 나타낸 것이다. 손상종류 중 콘크리트 균열이 총 40.9%로 가장 많은 분포를 나타냈으며, 균열 등에 의한 누수가 21.1%, 박리 또는 박락이 11.5%, 백태 또는 백화가 10.7%로 나타났다. 손상종류 상위 4개가 전체의 약 85%를 차지하는 것으로 나타났다.

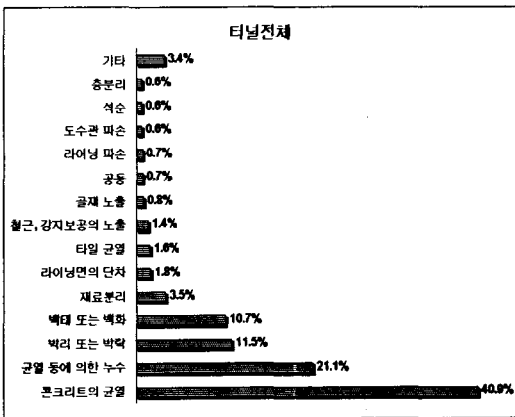


Fig. 8 Distribution of kind of damage

Table. 8 Distribution of kind of damage with state gradation of facilities

등급	종류	균열	누수	박리 / 박락	백태 / 백화	비고
B		40.2	3.0	49.6	0.2	
C		43.2	23.2	8.2	11.3	
D		17.7	13.8	20.1	13.3	강제부식(6.3) 단면손실(5.8) 재료/충분리 (13.8)

Table 8은 시설물 상태 등급에 따른 손상종류 분포를 나타낸 것이다. 시설물 상태 등급 B인 경우 403개의 손상종류 중 균열, 박리 및 박락이 약 90%를 차지하는 것으로 나타났다. 또한, 누수, 백태 및 백화는 시설물 상태 등급 C, D의 분포와 달리 적게 분포하는 것으로 나타났다.

시설물 상태 등급 C인 경우 균열, 누수, 백태 및 백화, 박리 및 박락의 순으로 분포하는 경향

을 나타내었으며, 상위 4개의 분포율은 85.9%이다. B, D 등급과 달리 누수가 차지하는 비율이 높은 것으로 나타났다. 시설물 상태 등급 D인 경우 총 413개의 손상종류 중 상위 4개가 약 65%를 차지하는 것으로 나타나 시설물 상태 등급이 C 등급인 경우보다 훨씬 낮은 것으로 나타났으며, 그 외 단면손실과 강제부식, 재료 또는 충분리 등의 손상종류가 약 26%로 시설물 상태 등급 추정시 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

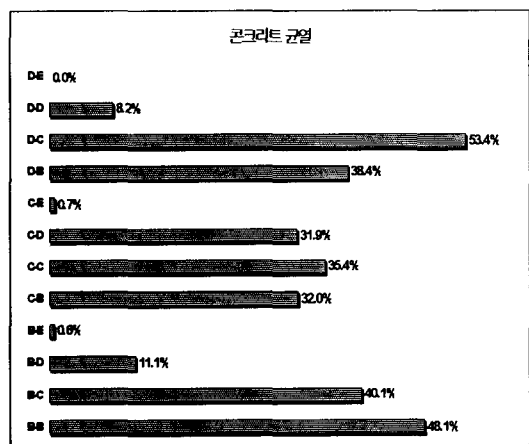


Fig. 9 Distribution of state gradation and degree of damage for crack

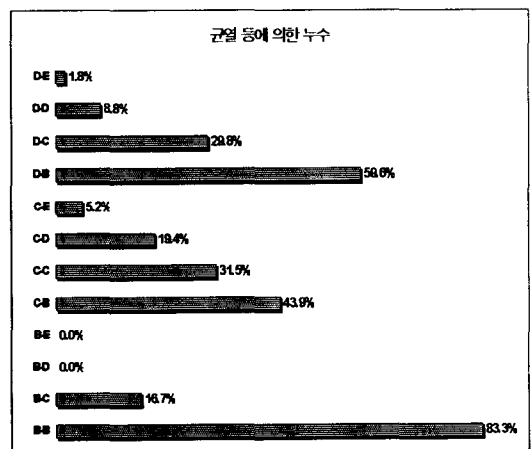


Fig. 10 Distribution of state gradation and degree of damage for leakage

Fig. 9와 Fig. 10은 균열과 누수에 대한 시설물 상태 등급과 손상정도 분포현황을 나타낸 것이다. B-C는 시설물 상태 등급 B의 손상정도 C를 의미한다. 시설물 상태 등급 B, C에서는 대응하는 손상정도가 많이 분포하는 것으로 나타난 반면 상태 등급 D에서는 손상정도 C가 D보다 높은 것으로 나타났다. 시설물 상태 등급 D의 균열과 누수에 대한 분포수는 각각 73개, 57개이며, 균열과 누수의 전체 분포수는 2,525개, 1,297개로 통계의 정확도가 떨어지지만, 외관조사의 상태등급은 시설물 상태 등급이 낮아질수록 큰 영향을 주지 않음을 의미한다고 할 수 있다.

Table 9는 손상종류별 진단부재 분포 현황을 나타낸 것이다. 균열은 천단부에서 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며, 아치부보다 측벽부에 2배 가량 더 많이 분포하는 것으로 나타났다. 누수는 측벽부와 천단부에서 비슷하게 분포하며, 바닥부에서 약 6% 분포하는 것으로 나타났다.

Table 9. Distribution of inspection section with kind of damage

정도 종류	CR	LA	RA	LW	RW	비고
콘크리트 균열	42.7	10.0	9.5	18.4	18.3	
균열 등에 의한 누수	23.6	13.9	13.8	18.9	23.3	바닥부 (6.2)
바리/박락	23.7	7.5	7.0	30.8	31.1	
백태/백화	31.6	18.1	18.3	16.6	15.5	

### 4.3 진단시험 특성

Table 10과 Table 11은 각각 시설물 상태 등급에 따른 진단시험목적의 분포와 결과를 나타낸 것이다. 시설물 상태 등급 B인 경우 타 등급에 비하여 라이닝 및 배면 공동탐사가 많이 사용되는 것으로 나타났다. 진단시험결과는 해당 항목에 따라 다른 특성을 보였다. GPR 지반탐사결과 공동이 존재하는 경우는 시설물 상태 등급에 관계없이 일정한 것으로 나타났으며, 라이닝 두께를 확보하지 않은 경우는 시설물 상태 등급이 낮을수록 비율이 커지는 경향을 보였다. 설계강

도 이하인 경우는 C 등급에서 많이 분포하는 것으로 나타났으며, 단면변위가 보통이거나 심한 경우는 시설물 상태 등급 B등급에서는 없는 것으로 나타났다.

Table 10. Distribution of aim of non-destructive test with gradation of facilities

목적 등급	라이닝/배면 공동탐사	콘크리트 압축강도	단면변위 측정
B	71.2	25.7	0.9
C	53.5	29.7	5.7
D	53.2	29.2	10.7
전체	54.7	29.3	5.5

Table 11. Distribution of result of non-destructive test with gradation of facilities

목적 등급	라이닝/배면 공동탐사		콘크리트 압축강도	단면변위 측정
	공동 존재	라이닝두께 미확보	설계강도 이하	변위 보통이상
B	100	32.4	3.4	0.0
C	99.6	43.1	18.4	56.8
D	95.2	63.1	5.9	56.0
전체	99.4	42.3	14.5	55.4

### 4.4 보수보강방법 특성

Fig. 11은 입력된 자료의 보수보강방법 분포 현황을 나타낸 것이다.

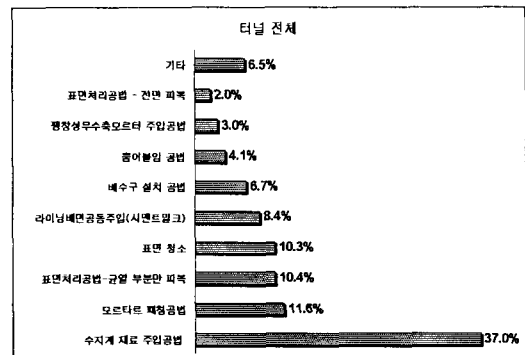


Fig. 11 Distribution of repair and reinforcement

수지계 재료 주입공법이 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며, 모르타르 패칭공법, 균열부분만 처리하는 표면처리공법, 표면 청소가 거의 같은 분포를 나타내었다.

Table 12는 시설물 상태 등급에 따른 보수보강방법 분포를 나타낸 것이다. 시설물 상태 등급이 B인 경우 수지계 재료 주입공법 약 78%로 사용하는 것으로 나타났다. C, D등급인 경우 각각 수지계 재료주입공법, 모르타르 패칭공법이 많이 사용되는 것으로 나타났다.

**Table 12. Distribution of repair and reinforcement with gradation of facilities**

방법 등급	수지계 재료 주입	모르 타르 패칭	표면처 리(균열 부위만)	표면 청소	라이닝 및 배면공동주입 (시멘트밀크)
B	77.7	3.4	17.9	0.3	0.8
C	34.8	10.0	11.2	11.7	9.6
D	7.2	48.5	10.2	-	7.2

**Table 13. Distribution of degree of damage for crack**

방법 \ 정도	B	C	D	E
수지계재료 주입공법	19.1	35.8	44.1	1.0
표면처리공법 (균열부분)	-	78.6	20.4	1.0
표면처리공법 (전체 피복)	32.7	53.5	13.9	-

**Table 14. Distribution of degree of damage for leakage**

방법 \ 정도	B	C	D	E
라이닝 및 배면 공동 주입공법 (시멘트밀크)	62.7	27.5	9.0	0.8
배수구처리공법	10.1	62.1	27.8	-
팽창성무수축 모르타르주입공법	37.0	20.1	33.8	9.1

Table 13과 Table 14는 균열과 누수의 보수보강방법에 대한 손상정도 분포현황을 나타낸 것

이다. 균열에 대하여 수지계 재료 주입공법과 균열 부분만 피복하는 피복처리공법은 각각 손상정도 D 등급과 C 등급에서 사용되는 것으로 나타났다. 누수에 대한 시멘트 밀크에 의한 라이닝 및 배면공동 주입공법의 경우 B 등급에서 가장 많이 사용되며, 배수구 처리공법의 경우 C 등급에서 많이 사용되는 것으로 나타났다.

**5. 결 론**

본 논문에서는 터널 시설물의 진단부재 및 진단자료의 분류체계를 제시하고, 이를 토대로 코드화 작업을 실시하였으며, 진단자료 DB 프로그램을 개발하여 31개의 터널 시설물의 진단 자료를 입력하였다. 또한, 입력내용의 통계 분석을 통하여 외관조사 및 진단시험, 보수강방법에 대한 특성을 살펴보았으며, 특히 DB화를 통하여 균열과 누수에 대한 손상정도와 시설물 상태등급에 대한 세밀한 분석 등을 실시하였다.

입력된 진단자료는 터널 시설물의 유지관리와 관련된 통계 자료 축적 및 활용이 가능할 뿐만 아니라 입력된 정보를 재가공하여 사용자의 의도대로 획득할 수 있다. 향후, 정밀안전진단자료에 대한 꾸준한 DB화를 통하여 통계 자료를 축적하고, 설계 및 시공, 유지관리시 효율적으로 활용하여야 할 것이다.

**참고문헌**

1. 이송, 심민보(2000), "터널의 진단자료 DB화에 의한 유지관리 연구", 한국철도학회 춘계 학술발표회, pp 503-510
2. 허백녕, 김연태, 한상철(1999), "철도터널의 노후도를 고려한 안전진단 시스템", 대한토목학회 학술발표회, 제 2권, pp 333-336
3. 양재성, 황희수, 홍선호(1999), "철도터널 유지관리 시스템 구축", 철도기술정보, 제 19호, pp 69-73
4. 건설교통부, 시설안전기술공단(1996), "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(터널)"
5. 건설교통부(1997), "시설물 유지관리 지침 - 터널"
6. 시설안전기술공단(1996), "터널보수·보강기술편람"