

터널구조물의 유지관리시스템 개발

A Development for Maintenance System of Tunnel Structure

공성석* 김동욱** 구자갑*** 이송****
Kong, Sung-Suk Kim, Dong-Wook Ku, Ja-Kap Lee, Song

ABSTRACT

The execution with respect to tunnel structure has been carried out more important than maintenance until present time. There is a lot of interests on the maintenance of institution that is used by the nation, because of the recent miserable accidents. Consequently there need an organizational and efficient system. This paper has presented the sort, source and part of damage of tunnel structures etc. and then performed to analyze about the special quality of tunnel structure through input detailed safety assessment report data as well as fulfilment statical analysis. In conclusion, the paper's intention is presenting the maintenance system base on those.

1. 서론

90년대 들어 각종 건설관련 사업의 표준화 및 정보화 작업이 주로 설계, 시공 및 건설관련 현황을 중심으로 활발하게 추진되고 있으며, 최근에 들어서 교량, 도로 등의 구조물 유지관리와 관련된 작업이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 표준화와 정보화 체계를 통하여 유지관리와 관련된 각종 통계 자료가 축적되고 있으며 효율적인 유지관리에 사용되고 있다.

그러나, 터널구조물은 지하공간의 개발수단으로 그 역할이 증대되고 있음에도 불구하고, 구조물의 유지관리와 관련된 데이터베이스 프로그램 개발실적이 거의 없는 실정이다.

본 논문에서는 터널구조물 진단자료의 적절한 분류기준을 제시하고 기준에 따른 진단자료를 분류하여 코드체계를 마련하였다.

진단자료를 DB 프로그램을 이용하여 DB화 구축을 우선적으로 실시한 후, 유지관리 시스템을 개발하였다. 터널 구조물 16개소에 대한 정밀안전진단자료를 입력하여 터널 구조물의 위치 및 구조물 상태 등급, 준공년도 등의 분포 현황을 제시하였다.

터널 구조물에 대한 상세한 통계 자료를 활용하기 위하여 진단구간 및 진단부제에 따른 손상종류 및 손상정도, 진단시험방법 및 결과, 보수보강방법 등으로 진단자료를 상세하게 분류하여 각종 통계현황을 제시하였다.

이러한 통계 자료를 바탕으로 터널 구조물의 유지관리 측면에서의 진단 특성에 대한 전반적인 고찰을 실시하였다. 전반적인 터널구조물의 특성파악을 통해 터널의 유지관리 특성에 대한 체계적인 분석을 실시하여 저비용·고효율의 유지관리가 가능하도록 하였다.

* 서울시청 시설계획과장, 정회원

** 서울시립대학교 대학원, 정회원

*** 한경대학교 교수, 정회원

**** 서울시립대학교 교수, 정회원

2. 터널구조물의 유지관리

터널구조물의 유지관리를 위해 실시하는 시설물점검 및 진단의 목적은 시설물의 현상태를 판단하여, 상태평가 및 안전성평가의 기본자료를 제공하며, 시설물상태와 노후화 정도에 대한 지속적인 기록의 제공, 그리고 보수 및 성능회복작업의 우선순위를 결정하기 위함이다.

점검은 크게 정기점검, 정밀점검, 긴급점검, 초기점검으로 분류할 수 있으며, 안전진단은 정밀안전진단으로 분류한다. 정기점검은 손상을 조기에 발견할 목적으로 담당자가 실시하는 점검으로 터널을 도보로 순찰하거나 대차를 이용하여 육안 또는 망치 등의 점검기구로 결합요인을 점검한다.

육안조사는 경험있는 기술자의 기술과 경험을 토대로 양호, 불량상태를 판정하지만 정도가 떨어지고 주관적인 경향이 강한 조사이므로 반드시 반복조사를 원칙으로 하며 의심나는 곳은 석필 또는 스프레이 등으로 표기해 두고 차후 세밀하게 조사하여야 한다. 터널의 정기점검은 통상적으로 반기별 1회 이상 실시하여야 한다.

정밀점검은 일정한 주기로 계획된 정기적 점검으로서 시설물의 현 상태를 정확히 판단하고 최초 또는 이전에 기록된 상태로부터의 변화를 확인하며 구조물이 현재의 사용요건을 계속 만족시키고 있는지 확인하기 위해 필요한 면밀한 육안검사와 간단한 측정기구에 의한 측정으로 이루어진다. 또한 점검은 2년에 1회 이상 실시하여야 한다. 터널 구조물의 경우 편도압이나 침하, 지질상태에 의한 터널 구조물의 결합 상태를 고려하여야 하며 콘크리트의 풍화나 철근 부식 등 시간경과와 함께 발생할 수 있는 재료의 열화에 기인한 변상 여부를 관찰, 분석해야 한다.

긴급점검은 크게 손상점검과 특별점검 이 두 가지로 구분할 수 있다. 손상점검은 비계획적인 점검으로서 재해나 사고에 의해 비롯된 구조적 손상을 평가하는 것이다. 점검자는 점검대상 범위의 긴급한 사용제한이나 사용금지의 필요성이 있는지의 판단과 보수를 수행하는데 있어 필요한 작업량의 정도를 신속하게 결정할 수 있어야 하며 하중제한, 통행제한 등 사용제한 여부를 결정할 수 있도록 현장에서의 판단 능력이 요구된다.

특별점검은 관리주체가 판단하여 행하는 정밀점검 수준의 점검이다. 이 점검은 기초 침하 또는 세굴과 같은 결합이 의심되는 경우나 하중제한, 통행제한 중인 시설물의 지속적인 사용여부를 판단하기 위한 점검으로서 점검시기는 결합의 심각성을 고려하여 결정한다.

초기점검은 시설물관리대장에 기록되는 최초로 실시되는 점검을 말한다. 신설 시설물의 경우는 준공 후 6월 이내에 시행토록 한다. 또한 구조형태가 변화되었을 때에도 초기점검이 필요하다. 초기점검의 목표는 특별법에서 요구하는 시설물관리대장 및 평가자료 그리고 관리주체가 수집하는 관련자료를 얻기 위함이며, 구조물 상태의 판단 및 구조물의 문제점 또는 문제 가능성이 있는 구조부위를 확인하고 기록하는 것이다.

정밀안전진단은 완공 후 10년이 경과된 1종 시설물에 대하여 5년에 1회 이상 실시하도록 의무화 되어 있으나, 시설물의 재해예방 및 안전성 확보 등을 위하여 필요하다고 인정하는 경우에 실시한다.

손상 터널에 대하여 실시하는 정밀안전진단은 손상의 정도나 진행성을 파악하여 적절한 보수·보강 대책을 위해 실시되며, 정밀한 시험과 측정을 실시하고, 조사 결과는 상호 연관관계를 파악하기 쉽게 종합하여 정리하여 분석하여야 한다.

정밀안전진단은 안전점검을 실시한 결과, 시설물의 재해예방 및 안전성 확보와 보수·보강공법 제시를 전제로 손상원인을 규명하며, 보수·보강공법 선정을 위한 정보를 얻기 위하여 시설물을 부분적으로 파괴하는 시험도 포함해 콘크리트재료의 열화정도, 배면지반의 상태 등을 정량적으로 구하는 것을 주로 한다. 기초자료 조사 및 검토, 해석방법 및 결과분석, 설계도면 검토 등의 사전조사를 실시하여야 한다. 판정기준을 살펴보면, 국내에서 사용되고 있는 것은 A, B, C, D, E의 5등급으로 구분하여 판정하는 방법이다. 일반적으로 E 등급은 긴급한 보수 및 보강이 요구되는 상태로 볼 수 있으며, C등급은 E등급 보수 후 바로 보수가 요구되는 상태로 판단할 수 있다.

3. 안전진단자료 및 구조물 분류체계

3.1 구조물의 분류체계

터널구조물을 정밀안전진단보고서상에서의 분류방법에 따라 터널의 종방향으로 구간분류를 실시하였다. 또한 터널구조물의 단면에 따라 천단부, 벽체부, 바닥부, 인도부 등으로 진단부재의 분류를 실시하였다. 진단구간과 진단부재로 분류한 분류항목에 각각의 해당코드를 부여함에 따라 진단자료의 분류, 관리 및 분석의 효율성을 높였다. 아래의 표 1과 표 2에서는 각각의 분류체계를 정리하여 제시하고 있다.

표 1. 터널진단단면의 분류 및 코드화

부재 코드	내 용	기 호
E T	입 구 부	Entrance
O L	출 구 부	Outlet
L W	좌측벽체	Left Wall
R W	우측벽체	Right Wall
C R	천 단 부	Crown
B O	바 닥 부	Bottom
L A	좌아치부	Left Arch
R A	우아치부	Right Arch
T U	터널 전체	Tunnel
L P	좌측 인도부	Light Pedestrian
R P	우측 인도부	Right Pedestrian

표 2. 터널진단구간의 분류 및 코드화

터 널 구간코드	터널 시점	터널 종점	구분	터 널 구간코드	터널 시점	터널 종점	구분
Ktc021S020	0	20	상행	Ktc021S001	0.0	20	하행
Ktc021S021	20	40	상행	Ktc021S002	20	40	하행
Ktc021S022	40	60	상행	Ktc021S003	40	60	하행
Ktc021S023	60	80	상행	Ktc021S004	60	80	하행
.
.
Ktc021S034	280	300	상행	Ktc021S015	280	300	하행
Ktc021S035	300	320	상행	Ktc021S016	300	320	하행
Ktc021S036	320	340	상행	Ktc021S017	320	340	하행
				Ktc021S018	340	360	하행
				Ktc021S019	360	380	하행

3.2 안전진단자료 분류체계

정밀안전진단보고서에서 작성한 진단구간과 진단부재를 대상으로 조사한 손상종류, 손상원인, 안전진단시험, 보수보강공법 등의 자료의 DB화를 구성하기 위하여 체계적으로 분류할 수 있는 기준을 제시하고 그에 따른 코드를 지정함으로써 진단자료의 입력, 검색, 분석에 효율을 극대화 하였다.

3.2.1 손상종류의 분류 및 코드화

손상종류를 대분류를 실시한 후 각각의 대분류 손상에 대한 소분류를 실시하였다. 아래의 표 3 과 표 4는 손상종류의 대분류 및 균열에 대한 소분류와 그에 따른 코드를 지정한 것이다.

표 3. 손상종류의 대분류 및 코드화

손 상 종류코드	대분류 손상종류
DT01	균 열
DT02	누 수
.	.
.	.
DT09	단차 / 이격
DT10	단 면 변형
DT11	기 타 손 상

표 4. 손상종류의 소분류 및 코드화

손 상 종류코드	소분류 손상종류
DT01001	횡 방 향
DT01002	종 방 향
.	.
.	.
DT01009	사 방 향
DT01010	조 인 트
DT01011	미 세

3.2.2 진단시험종류의 분류 및 코드화

진단시험종류도 손상종류의 분류와 마찬가지로 대분류, 소분류를 실시한 후 각각의 진단시험에 따른 코드를 부여하였으며 아래의 표 5와 6은 진단시험의 대분류와 일축압축강도 시험의 소분류와 그에 따른 코드를 나타낸 것이다.

표 5. 진단시험의 대분류 및 코드화

대분류 진단시험	대분류 코드
내공 변위 시험	NDT01
변형율측정시험	NDT02
염분 측정 시험	NDT03
일축압축강도시험	NDT04
중 성 화 시험	NDT05
진동측정시험	NDT06
.	.
.	.
.	.
철근탐사시험	NDT08
초 음 파 시험	NDT09
G P R 시험	NDT10

표 6. 진단시험의 소분류 및 코드화

소분류 진단시험	시험평가기준	진단코드번호
현장공시체 강 도 법	측정강도값	NDT04001
초음파법	일본건축학회식	NDT04002
초음파법	일본 콘크리트학회식	NDT04003
초음파법	소판의부 외 추정식	NDT04004
초음파법	Pyszniak 추정식	NDT04005
.	.	.
.	.	.
반발경도법	일본건축학회식	NDT04017
반발경도법	반발경도곡선	NDT04018
반발경도법	스위스연방재료시험소 공식	NDT04019
반발경도법	한국구조물진단학회식	NDT04020

3.2.3 보수보강공법의 분류 및 코드화

보수보강공법에 대한 분류는 손상종류 분류와 같은 방법으로 분류하였다. 보수보강공법의 코드화는 보수보강의 원인을 제공한 손상의 종류를 기준으로 대분류를 하였으며, 그 원인에 따른 각각의 보수보강공법을 분류하여 코드화를 실시하였다. 보수보강의 원인에 대한 분류는 외관조사를 통해서 얻은 손상원인과 각종 시험을 통한 시험결과 및 수치해석을 통한 결과에서 보수보강을 필요로 하는 모든 원인을 기준으로 하여 분류하였다. 아래의 표 6과 표 7은 보수보강공법의 원인과 종류에 따른 분류 및 코드화를 보여주고 있다.

표 7. 보수보강공법의 원인 분류 및 코드화

보수보강의 원인	코드화
균 열	RR01
누 수	RR02
누수 / 동해	RR03
박리 / 박락	RR04
백태 / 백화	RR05
.	.
.	.
아스팔트균열	RR12
앵커볼트설치불량	RR13

표 8. 보수보강공법의 분류 및 코드화

보수보강공법	코드화
수지계 주입공법	RR01001
시멘트계 주입공법	RR01002
팽창성 무수축모르타르 주입공법	RR01003
침투성 방수제 도포공법	RR01004
퍼티공법	RR01005
.	.
.	.
전면 표면처리공법	RR01007
프 리 스톨 레 스	RR01008

4. 유지관리 시스템 개발

4.1 유지관리 시스템의 개요

진단자료의 DB화를 구축하기 위해서, 현재 가장 많이 사용하고 있는 관계형 데이터베이스 응용 프로그램인 Microsoft SQL Sever 2000과 사용자의 편의성 및 사용성을 고려하여 Visual Basic을 사용하여 유지관리 시스템을 개발하였다. 아래의 그림 1과 2는 유지관리 시스템의 구성도와 터널 구조물의 기본정보 입력 및 검색창을 나타낸 것이다.

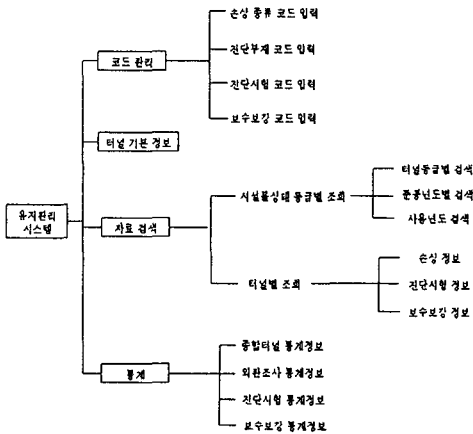


그림 1. 유지관리 시스템의 구성도

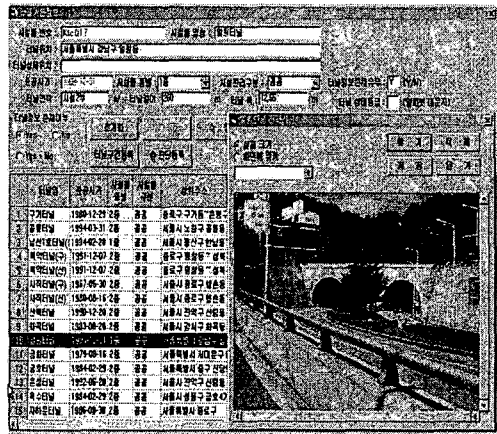


그림 2. 터널의 기본정보 입력 및 검색

4.2 유지관리 시스템의 결과검색

유지관리 시스템은 구성도에서 보여준 것과 같이 입력 터널구조물의 전체적인 검색과 개별 터널을 검색할 수 있다. 전체결과는 터널의 등급, 준공년도, 사용년도 등을 검색할 수 있으며, 개별 터널의 검색을 통해서서는 외관조사결과, 진단시험정보, 보수보강공법에 대한 결과를 검색하여 전체적인 터널 구조물의 자료를 산출하여 효율적인 유지관리가 이루어지도록 하였다.

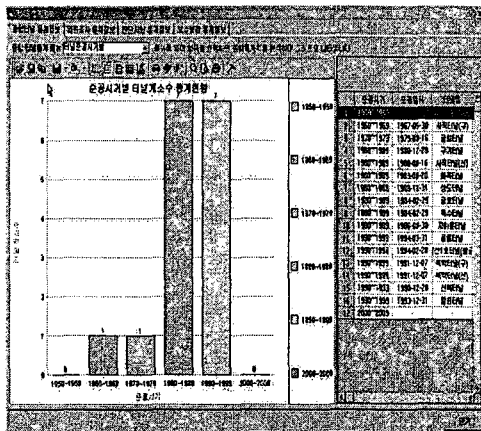


그림 3. 전체 터널의 검색(준공년도별)

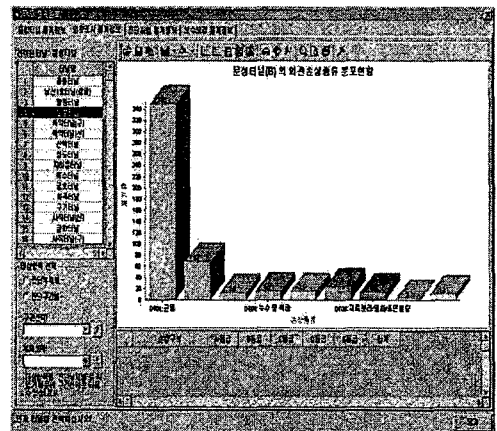


그림 4. 개별터널의 검색(손상종류 및 빈도별)

5. 결 론

본 논문에서는 16개소의 터널구조물에 대한 안전진단자료를 토대로 DB화를 구축하여 유지관리 시스템을 개발하였다. 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 터널구조물의 상태등급 A가 준공일자가 10~20년 지난 것보다 준공일자가 20년 이상 지난 것에서 1개소 증가하는 것으로 나타났다. 이는 지속적인 유지관리의 중요성을 보여주는 것으로써, 지속적인 유지관리 기술의 축적의 결과로 보인다.
2. 콘크리트 균열은 천단부에서 가장 많이 분포하는 것으로 나타났으며, 이는 시공상의 특징을 반영하는 것으로 설계 및 시공단계에서부터 지속적인 관리가 필요한 것으로 나타났다.
3. 안전진단시험의 경우, 구조물의 상태등급에 상관없이 일축압축강도시험과 GPR시험이 가장 많이 적용된 것으로 나타났다. 외관조사의 결과를 적절히 판단하여, 해당 터널 구조물에 적합한 진단시험을 판단하여 적용할 필요가 있다고 판단된다.
4. 균열에 대해서는 손상정도에 상관없이 일률적인 보수보강공법을 적용하는 것으로 나타났다. 균열의 손상정도가 A인 경우에는 보수보강보다는 지속적인 관찰이 필요하나, 다른 등급과 마찬가지로 유사한 보수보강공법을 적용하는 것으로 나타났다. 개개 손상의 손상등급에 맞는 보수보강공법의 적용이 필요한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이송, 구자갑, 심민보 (2000년), “철도터널의 유지관리 DB 프로그램 개발 및 특성”, 한국철도학회 논문지, Vol 3, No 3
2. 장승국(2000), “진단자료 DB화에 의한 터널의 유지관리 연구”, 석사학위논문, 서울시립대학교
3. 시설안전기술공단(1996), “터널 보수·보강기술 편람”
4. 양재성, 황희수, 홍선호(1999), “철도터널 유지관리 시스템 구축”, 철도기술정보, 제19호, pp 69-73