# 터널스캐닝 시스템을 이용한 외관조사 품질개선에 관한 연구

# A Study of Quality Improvement of the Exterior Inspection Using Tunnel Scanning System

지기환* 정재민** 홍사장*** 김수연****
Jee, Kee-Hwan Chung, Jae-Min Hong, Su-Jang Kim, Su-Un

ABSTRACT

Recently, the tunnel structures are increasing. And the tunnels are to be large diameter tunnel and long. Therefore, inspection, repair, and maintenance of tunnels are an extremely important part of infrastructure management, with particular technical and safety considerations arising from the very nature of underground construction. To inspect surface state of tunnels, concrete structures, it must generally use method of conventional visual inspection, but this method is very not objective. To measure the width, length, position, direction of a crack, it is very difficult, when the tunnel is long span and high rise. Thus, to make up for this demerits, in this paper is proposed the Tunnel Scannig System that we can check conditions of the tunnel structures quickly, detect the detailed data objectively, count automatically the width of a crack by the original software and follow the trend of long term changes in the condition of a tunnel.

## 1. 서 론

이제 우리나라도 세계 5번째로 고속철도 시대를 여는등 사회기반시설물들이 증가하고 있다. 특히 전국토의 70%정도가 산악지대로 터널의 수량은 급격하게 증가되고 있는 추세이다. 정부고속철도의 경우 2010년 완공시 총연장 412km중 터널이 46%(189km) 비중을 차지하게 된다. 따라서 터널의 안전을 주기적인 점검 및 진단을 통해 철저히 실시하여야 하고, 그 결과의 품질에 있어 정밀성과 신뢰성 및 신속성이 요구된다.

그렇지만 현재 터널내부 외관조사 방법에 있어서 기존 육안에 의한 외관조사 방법으로는 이러한 품질을 확보할 수가 없는 것이 현실이다.

따라서 국내외에서 이러한 문제점을 개선하기 위해 터널외관 자동조사 시스템(일명 "터널스캐닝 시스템")을 이용한 실태와 이 시스템을 통한 촬영영상물에 의한 외관조사 품질의 적정성과 활용성에 대해 조사 분석하고 고속철도 터널에 적용 방안을 제시하고자 한다.

* (주)케이엘티엔 기술연구소 소장
** 한국철도시설공단 품질경영처 부장
*** (주)케이엘티엔 대표이사
**** (주)케이엘티엔 기술연구소 연구원

## 2. 터널스캐닝 시스템 이용실태

### 2.1 터널스캐닝 시스템의 정의

터널라이닝 구조물 표면에 박생한 균열, 누수, 백태, 재료분리, 철근노출, 박리, 박락, 보수 및 보강등 손상과 관련한 상태를 광학, 레이저등의 기술로 기존의 육안 조사에서는 불가능한 신속하고 정확하게 상태를 파악할 수 있는 첨단기술의 스캐닝 장비를 통해 터널라이닝 표면에 대해 외관조사 스캐닝을 실시하고 확득된 자료는 일련의 과정을 통해 정해진 형식의 외관조사망도, 손상물량으로 변환하여 손상의 진행여부등을 분석할 수 있도록 다양한 출력 매체로 자료를 제공할 수 있는 시스템을 터널스캐닝 시스템이라고 정의한다.

### 2.2 터널스캐닝 시스템의 필요성

터널스캐닝 시스템은 기존 육안조사 방식의 한계를 극복하려는 의도에서 선진외국에서는 일찍이 그 기술을 개발하여 적용해 오고 있는 시스템으로 기존 육안조사 방식과의 비교를 통해 터널스캐닝 시스템의 필요성을 제시하면 다음과 같다.

도표 1. 기존 육안조사 방식과의 비교(철도터널 조사경우)

| 항 목 | 기존 육안조사 방식 | 터널스캐닝 시스템 방식(CCD카메라방식) |
|---|---|---|
| 현장조사시간 | 10km 단선터널기준으로 50일이상<br>(숙련도나 정확성, 현장여건에 따라 차이가 있슴) | 10km 단선터널기준으로 1시간 |
| 현장조사방법 | -접근 가능한 부위 : 사다리, 도보, 고소차등의 장비로 필요한 측정기구로 조사<br>-접근 불가능한 부위 : 최대한 근접해서 점검자 경험등 주관적 판단으로 조사<br>-현장점검자의 체력, 집중력, 판심도에 따라 조사결과가 상이함 | -터널표면에 촬영장치를 접근시키지 않고 5~10km/hr 정도의 속도로 진행하면서 터널 전표면의 손상 및 비손상 상태를 모두 촬영하기 때문에 객관적으로 조사(터널표면 칼라영상을 기록) |
| 손상상태 데이터 기록 및 수집방법 | 야장에 사람이 수동으로 직접기입(추후 사무실에서 CAD도면작업 새로해야함) | 디지털방식으로 저장매체에 자동기록(수치적으로 변환 가능) |
| 데이터 품질(정확성 및 신뢰성) | -조사 및 기록의 오류, 누락등 현장조사시 의업오차(누락시 재조사해야함)<br>-수동으로 CAD작업시 내업오차<br>-손상물량, 외관조사망도 오차 많이 내재<br>-주관적인 판단이 많음 | -조사 및 기록의 오류, 누락이 거의 없슴<br>-저장된 영상의 조회가 수시로 가능하여 누락시 재조사 필요없슴)<br>-균열폭, 길이, 위치, 방향을 자동으로 수치화함<br>-수치적으로 자동변환이 가능하여 손상물량의 오차가 거의 없슴<br>-외관조사망도가 객관적으로 작성 |
| 데이터의 분석 | -조사 및 기록의 오류나 누락이 내재되어 있어 상태평가 자체에 신뢰성이 떨어짐<br>-데이타 축적의 의미가 없으며 손상의 진행여부를 판단하는 것이 거의 어려움<br>-사전예방차원의 유지관리가 미흡 | -조사 및 기록의 오류나 누락이 거의 없어 상태평가의 신뢰성이 큼<br>-데이타 축적이 가능하여 경년변화등 손상의 진행여부를 판단할 수 있슴<br>-사전예방차원의 유지관리에 적합 |

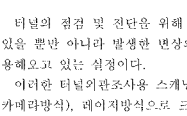
도표 1에 기술된 내용을 분석해 보면 수많은 터널을 사용하는 시민에게 안전한 터널을 제공하고자 한다면 또한 사전에 터널의 안전사고를 감지하고 방지하기 위해서는 기존 육안에 의존한 외관조사방법에서 탈피하고 객관적이며, 정확한 신뢰성 있는 터널의 손상자료를 검출하고 제공할 수 있는 첨단기술이 접목된 터널스캐닝 시스템의 필요성과 국내터널에 적용해야하는 이유는 분명하게 파악할 수가 있다.

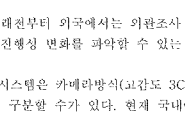
또한 효율적인 터널 안전진단을 위해서는 1차적으로 외관조사를 조사하여 라이닝 표면의 균열, 누수, 박리, 박락 등의 손상을 통해 터널의 상태를 대부분 평가하고 이를 토대로 2차적으로 정밀조사(GPR조사, 초음파조사, 구조해석 등)를 실시하여 최종적으로 터널의 상태를 평가하게 된다. 이렇게 터널에 있어 외관조사는 아주 중요한 사항인 만큼 국외 선진국가에서는 첨단 외관조사 전용장비인 터널스캐닝 시스템을 통해 효율적이고 과학적인 점검 및 진단 등의 유지관리를 수행하고 있어 국내에서도 이러한 선진외국의 유지관리기법에 대한 필요성이 절절 고조되고 있는 것이 현실이다.

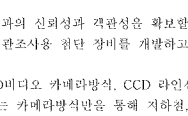
### 2.3 터널스캐닝 시스템의 기술동향

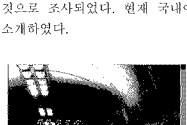
터널의 점검 및 진단을 위해 오래전부터 외국에서는 외관조사 결과의 신뢰성과 객관성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 발생한 변상의 진행성 변화를 파악할 수 있는 외관조사용 첨단 장비를 개발하고 사용해오고 있는 실정이다.

이러한 터널외관조사용 스캐닝 시스템은 카메라방식(고감도 3CCD비디오 카메라방식, CCD 라인센서 카메라방식), 레이저방식으로 크게 구분할 수가 있다. 현재 국내에는 카메라방식만을 통해 지하철, 도로, 철도터널에 적용된 사례가 2003년부터 지금까지 총8건이상이 터널스캐닝 시스템을 통해 수행된 것으로 조사되었다. 현재 국내에 적용된 카메라방식 터널스캐닝 시스템의 현장촬영 장면을 그림 1에 소개하였다.


금화터널(도로,2003.4)


분당선터널(지하철,2003.9)


노량제2터널(철도,2003.10)



공동터널(도로,2004.8)

매봉터널(도로,2004.8)

과천터널(지하철, 2004.8)

그림 1. 국내 적용된 터널스캐닝 시스템 현장 촬영장면(디지털카메라 방식)

이처럼 국내에도 터널스캐닝 시스템을 이용한 외관조사의 시작이 도래하였고, 점점 그 필요성은 증대될 것으로 예측된다. 또한 고화질의 고성능 칼라 비디오카메라등 영상기술의 비약적인 발전이 가속

화되고 있어 국내에서는 카메라방식을 통한 터널 외관조사의 수요는 점점 많아지고 독자적인 H/W, S/W의 기술개발을 통해 그 정밀성과 활용성이 발전될 것으로 판단된다. 카메라방식이 국내에 이처럼 터널 외관조사분야로 확대 적용되고 있는 이유는 기본적인 카메라는 국내외제품을 사용하지만 나머지 촬영장치나 화상처리 S/W기술은 국내 독자기술을 통해 충분히 개발이 가능하고 개량이 쉽기 때문인 것으로 판단된다.

다음은 카메라방식과 레이저방식중 대표적인 터널스캐닝 시스템들의 기본적인 특징을 도표 2로 나타내었다.

도표 2. 대표적인 터널스캐닝 시스템 비교표

| 방식 | 고감도 디지털 비디오 카메라 | 레이저 | 라인 센서 카메라 |
|---|---|---|---|
| Data 획득방식 | 3CCD(3 Charge Coupled Device) | 레이저광 | High Sensitive Line Camera |
| 탐사 속도 | 5-50km/hr<br>균열폭 정밀도에 따라 조정 가능 | 5km/hr로 등속유지 | 5-15km/hr로 등속유지 |
| 균열 분해능 | 5 10km/hr: 0.1mm<br>10-30km/hr: 0.3mm<br>30-50km/hr: 0.5mm | 1mm | 5km/hr : 0.5mm<br>15km/hr : 1.0mm |
| 조명 | 조명장치 필요<br>낮에도 촬영가능 | 터널내 소등필요<br>태양광 등에 영향 큼 | 조명장치 필요<br>낮에도 촬영가능 |
| Data의 보존방법 | 일반 비디오테이프,<br>CD-ROM, MO, DVD | 자기 테이프 | 하드 디스크, 비디오테이프,<br>DVD |
| 색상 | 칼라화상 | 흑백화상 | 흑백 화상 |
| 주요 실적 | 국외:<br>-東京都교통국<br>-일본도로공단<br>-JR九州외<br><br>국내: 총8건<br>-금화터널(도로터널),<br>-분당-수서간 지하철터널<br>-임원, 매봉, 궁동, 작동 터널(도로터널)<br>-과천터널(지하철터널) | 국외:<br>-일본도로터널 Main 150km<br>-철도터널 3건(JR東日本)<br>-프랑스, 독일 지하철<br><br>국내:<br>-실적없음 | 국외:<br>-JR東海<br><br>국내: 총1건<br>-부산지하철터널(수행중) |
| 기타 | -각종 형태의 터널외에 교량, 도로포장, 사이로, 원자력, 댐, 수로터널등 각종 구조물에 적용 용이<br>-국내업체가 벤치마킹하여 국내기술로 소화흡수한 상태로 기존 시스템을 개선한 새로운 제품으로 Upgrade 및 개발중 | -굴곡 심한 먼에도 대응가능<br>-숙련된 기술자 필요<br>-완제품 도입은 가능하나 국내 독자 기술개발에는 어려움이 있음 | -국내업체가 시제품 개발함<br>-도로터널 및 각종구조물에 적용 어려움 |

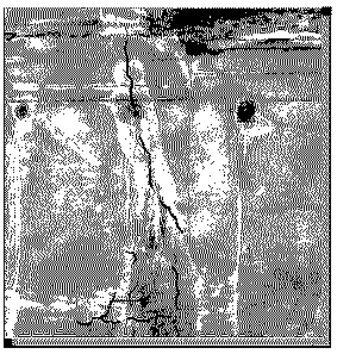
### 3. 품질의 적정성과 활용성

터널스캐닝 시스템을 이용하여 외관조사를 실시하게 되면 선명한 칼라 원화상을 얻을 수 있고, 균열폭별로 자동색상처리가 가능하고, 자동으로 손상물량 집계표 산출을 할 수 있고, Autocad 파일형식의

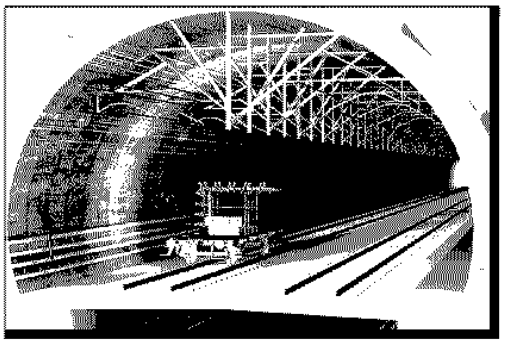
외관조사망도로 변환이 가능함을 파악할 수가 있었다. 또한 주기적인 점검 및 진단시 손상의 진행성을 추적할 수가 있음을 알 수가 있었다. 그림3은 그 예들을 도시하였다.

특히 국내 터널에 있어 점검 및 진단시 적용하는 터널의 변상 및 손상별 상태등급기준(균열 0.1mm 부터)에 적합한 시스템의 적용이 필요함을 알 수가 있었다. 터널스캐닝 시스템을 이용할 경우 외관조사의 품질은 기존 육안조사방법과 비교하여 객관적이면서 신뢰할 수 있는 정도로 향상시킬 수가 있음을 확인하였다.

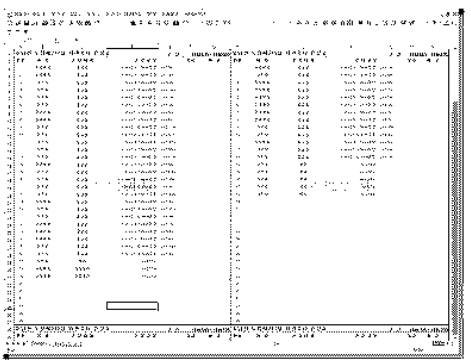
<원화상 전개도>



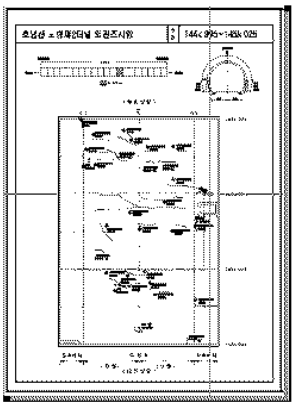
<균열폭 자동 색상표시도>



<고속철도 터널스캐닝 장면>



<손상물량표>



<외관조사CAD망도>

그림 2. 디지털카메라 방식 터널스캐닝 시스템을 통한 결과물 예

## 4. 고속철도터널에 적용방안

국내 도로, 철도, 지하철등에 고감도 디지털 카메라 방식을 이용하여 적용 가능함이 입증되었고 고속철도의 경우에도 큰 문제없이 적용 가능할 것으로 판단된다. 또한 고속철도 단면의 경우 단면높이가 9m이상인 대단면이고 전기공급을 위한 장치의 높이가 3.5m이상으로 안전진단시 터널단면에 접근하여 균열의 폭, 길이등 손상의 정도를 밀착 접근해서 조사하는 것은 아주 어려우므로 터널스캐닝 시스템을 적용하는 것이 효율적인 외관조사가 될 수가 있다.

특히 고속철도의 경우 현장조사 가능시간이 노반시설물과 관련한 공사등으로 인해 현저하게 적으므로 터널스캐닝 시스템을 통해 이를 극복할 수가 있어 외관조사의 정확성과 신속한 결과 도출로 터널의 위험과 그 원인을 사전에 분명하게 밝혀낼 수가 있어 예방적 차원의 유지관리가 가능할 수가 있게된다.

고속철도의 경우 터널내 구조물이나 노반시설물의 사소한 문제로 인해 안전운행에 큰 지장을 초래할 수가 있어 터널스캐닝 시스템을 통해 정밀한 조사가 가능하기 때문에 유지관리 차원에서 점검 및 진단 주기와는 별도의 빈번한 주기로 정확한 환영자료를 축적하여 점검 및 진단시 이를 제공하여 품질을 극대화시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

또한 D/B로 축적된 칼라 영상자료는 향후 3차원영상으로 표현이 가능하기 때문에 터널상태 통합관리 시스템 구축시 기본적인 멀티미디어 자료로 사용이 가능하다.

따라서, 고속철도에 있어서 신속하고 정확한 터널의 손상을 검출할 수 있고 향후 노반시설물 전반에 걸친 통합관리 시스템 구축시 기초적인 자료로 사용가능한 시스템에 대해 적극적으로 그 적용성을 검토할 필요가 있다.

### 참고문헌


1. 건설교통부, 시설안전기술공단, "터널유지관리매뉴얼", 2001. 6.
2. 한국도로공사, 시설안전기술공단, 대우건설 기술연구소, "터널관리 국내외 실태조사 및 유지관리 효율화방안 연구", 2001. 12
3. 한국건설기술연구원, (제)한국건설품질관리연구원, "터널의 안전진단 체계정립 및 균열자동측정 시스템 개발(I)", 1989. 9
4. 오혁화, 신용석, 이종우, 박남서, 김영근, "터널 구조물의 상태평가 기준에 관한 연구", 논문집, 터널기술, (사)한국터널공학회, Vol.3, No.4, pp.35-55
5. 기전연구사, "PC 화상처리", 1995. 4
6. 정기혁, 도서출판 세운, "화상처리 시스템의 기초와 설계 제작", 1986. 11. 5
7. 편집부, 도서출판 세운, "화상처리 회로기술의 모든 것", 1997. 1