



디지털 영상처리 기술을 활용한 콘크리트 시설물 외관 스캐닝 조사 방법

The External Scanning Inspection Method of Concrete Structures Using Digital Image Processing Technology

지기환 Jee, Kee Hwan
(주)케이엠티엘
기술연구소 연구소장

윤영민 Yoon, Young Min
(주)케이엠티엘
기술연구소 책임연구원

윤태국 Yoon, Tae Gook
한국시설안전공단
기술본부 부장

추진호 Choo, Jin Ho
한국시설안전공단
도시철도실 차장

1. 머리말

최근 잇따라 발생한 대형재난사고 소식에 그 어느 때보다 안전에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 이와 더불어 시설물의 안전관리에 대한 국민적 관심도 커지고 있다. 국내의 사회기반시설물은 그 수가 지난 수십년간 급속히 증가하여 포화 상태에 이르렀으며, 이미 많은 부분에서 노후화가 진행되고 있어 제대로 된 안전관리가 절실하다.

국내의 시설물 안전관리는 시설물 안전관리에 관한 특별법(이하 시특법)에서 정한 주기나 수준에 의해 점검 및 진단이 이루어지고 있다¹⁾. 그 중 정밀점검과 정밀안전진단시에 이루어지는 여러 항목중 1차적으로 실시하는 외관조사는 중요한 검사항목중 하나로 분류되고 있지만 아직까지 대부분 육안에 의존하여 수행하고 있는 것이 현실이다. 육안에 의한 조사는 한정된 조사시간과 점검자 주관에 의존하기 때문에 손상의 누락이나 오류의 발생여지가 어쩔 수 없이 발생하게 되며, 이로 인해 정밀성과 객관성이 떨어질 수밖에 없다. 따라서 일본, 유럽 등의 선진국에서는 오래전부터 첨단 장비를 이용한 외관조사를 도입하여 널리 시행하고 있으며, 국내에서도 한국표준과학연구원, (주)케이엠티엘, (주)엠오아이 등에서 개발한 콘크리트 시설물 외관 스캐닝 기술을 활용한 조사가 2003년 처음 서울 금화터널을 시작으로 현재 점차 확대 적용하여 스캐닝 연장거리로 600 km 이상이 실시되었다. 본고에서는 해외에서 개발된 외관조사 자동화기술들을 살펴보고 국내의 구조물 외관 스캐닝 기술을 간략히 소개해 보고자 한다.

2. 해외 시설물 외관 스캐닝 기술

해외의 구조물 외관조사 자동화기술은 이미 오래전부터 개발이 시작되어 다양한 기술들이 개발 및 적용되었으며, 특히 일본의 경우 여러 기관에서 관련 기술에 대한 개발이 이루어졌다. 하지만 그 용도가 터널에 국한되어 있어 기술의 확장이 용이하지 않은 한계를 갖고 있다. 일본 및 기타 선진국의 기술은 크게 레이저 방식과 CCD 라인센서 카메라 방식으로 나눌 수 있으며, 각 기술의 내용은 다음과 같다.

2.1 레이저 방식

레이저 방식을 이용한 계측시스템으로는 일본의 Tunnel Catcher, 스위스의 TS360 및 프랑스의 ATLAS-70 등

이 있다. 레이저빔을 가늘게 만들어 폴리진 스캐너 등을 이용하여 계측대상물에 고속으로 주사하고 반사되는 광선의 양을 고속 광센서로 검출한다. 검출된 정보는 디지털신호로 변환하여 고속데이터 레코더 등으로 기록한다. 그러나 레이저 빔을 이용한 방식의 균열 검출 시스템은 반드시 정속주행을 해야 하기 때문에 급경사가 아닌 정속주행이 가능한 철도 등의 터널 구조물에 국한되어 있을 뿐만 아니라 레이저 빔의 간섭률이 높은 관계로 인하여 오차율에 한계를 극복하지 못하고 있는 실정이다(사진 1).

2.2 CCD 라인센서 카메라 방식

CCD 라인센서 카메라 방식을 이용한 시스템으로는 일본 영단 지하철의 Tunnel Inspection System, 일본 JR동해의 Tunnelas 등이 있다. CCD 라인센서 카메라를 이용하여 영상을 취득하는 방식으로 투영장치, 화상기록장치, 조명장치 등으로 구성되어 있다. 그러나 CCD 라인센서 카메라를 이용한 방식의 균열 검출 시스템은 레이저 방식과 동일하게 정속주행을 해야 하기 때문에 그 사용범위가 한정될 수밖에 없다(사진 2).

일본의 경우 초기에는 레이저를 이용한 시스템을 사용하여 유지관리를 하였으나 활용도 및 정밀도에 있어서 여러 가지 문제점이 노출되어 현재 고화질 비디오카메라를 이용한 시스템으로 연구 개발하고 있는 추세이다.

유럽에서는 가시광선 영역에서 얻는 화상 이외에도 터널 내공형상 및 적외선 열화상 정보도 기록되는 시스템이 개발되어 현장에서 활용되고 있으나 구조물 외관조사에 적용하기에는 적외선 열화상 정보 처리 시스템의 해상도 등의 한계로 인하여 부적합한 면이 존재한다.



(a) Tunnel Inspection System, Japan



(b) Tunnelas, Japan

사진 2. CCD 라인센서 카메라 방식을 이용한 기술

3. 국내 시설물 외관 스캐닝 기술(고감도 3CCD 디지털 비디오카메라 방식)

국내에서 개발한 시설물 외관 스캐닝 기술은 해외의 Line Type의 방식에서 벗어나 Area Type의 방식을 적용하였다. 여러대의 고감도 CCD 카메라를 이용하여 이동(5~10 km/hr)하면서 구조물 표면을 촬영하고 각종 영상처리기법들을 통해 구조물의 손상상태를 검출하는 기술이다. 이 스캐닝 기술은 기존 육안조사와 대



(a) Tunnel Catcher, Japan



(b) TS360, Switzerland



(c) Atlas-70, France

사진 1. 레이저 방식을 이용한 기술

비하여 수백배 빠른 속도로 외관조사 작업이 가능하고 디지털방식이므로 통합관리시스템(경년변화 및 생애주기)을 구축하여 데이터베이스를 통한 집중 관리가 가능하다. 이러한 구조물 표면 스캐닝 기술은 크게 영상 획득기술, 영상처리기술, 균열 mapping 기술의 3가지 핵심기술로 구성된다²⁾.

3.1 영상획득기술

영상획득기술은 여러대의 고감도 CCD 비디오카메라(최대 16대)를 하나의 지그에 장착하여 5~10 km/hr 내외로 주행하면서 왜곡과 진동영향이 최소화되도록 구조물 표면을 촬영하는 기술이다. 최적조건일 경우 0.1mm의 균열폭까지 추출이 가능한 정밀한 영상을 획득할 수 있는 기술로, 카메라의 왜곡과 주행시 진동영향을 최소화시키는 것이 기술의 핵심이라 할 수 있다(사진 3).

3.2 영상처리기술

여러대의 카메라로 획득한 동영상을 왜곡보정을 거쳐 정지영상으로 변환한 후 하나의 정지영상으로 접합

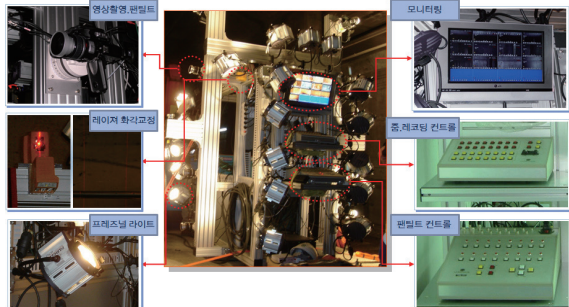


사진 3. 고감도 3CCD 디지털 비디오카메라 방식 시스템 구성도(TMS-100)

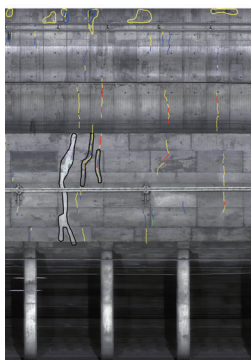


그림 1. 영상처리 이미지

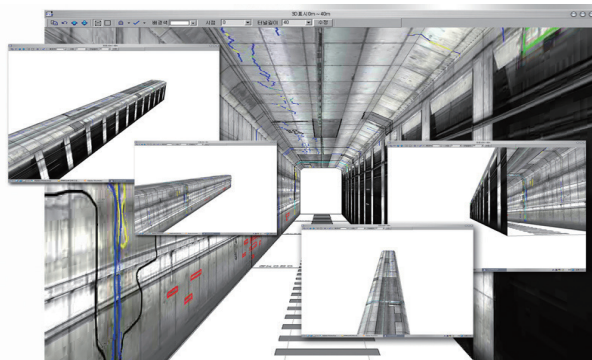


그림 2. 영상이미지 mapping

하고, 이를 디지털 영상처리기술을 이용하여 균열, 박리, 누수, 백태 등의 주요 변상들을 찾아 그 정도를 측정하여 필요한 형식의 데이터로 출력하는 것이 영상처리기술의 흐름이다.

영상처리기술에 있어서 핵심은 현장에서 취득한 대용량의 영상데이터를 고속으로 접합하는 기술, 정지영상에서 균열을 추출하는 기술, 균열을 수치화 하는 기술, 균열을 도면화 하는 기술, 도면화된 각 변상들을 엑셀로 수치화 시키는 기술이다. 각각의 처리 단계별로 적합한 소프트웨어가 필요하며, 영상처리시스템을 구성하기 위해 영상 merging, 영상 편집, 영상 왜곡 보정처리, 변상 정보 인식 및 측정, 데이터 출력과 같은 상세핵심기술이 개발되었다.

3.3 균열 mapping 기술

앞서 영상획득기술과 영상처리기술을 통해 얻어진 구조물의 균열, 누수, 백태, 박락 등의 변상정보를 정량적으로 조사하여 데이터베이스를 구축하고, 2차원, 3차원으로 상태변화 이력을 입력, 조회할 수 있는 기술이다. 특히 균열의 진행여부를 판단하는데 있어 이러한 균열 매핑기술을 통해 이전 진단결과의 균열과 현재 진단결과의 균열을 오버랩시켜 상호 비교하는 것이 가능하다. <그림 1, 2>에서 구조물의 균열 등 변상정보를 한 눈에 파악할 수 있도록 mapping한 상태를 볼 수 있다.

4. 해외 기술과 국내 기술의 비교

해외에서 개발한 레이저 방식, CCD 라인센서 카메라 방식의 스캐닝시스템과 국내의 고감도 3CCD 디지털 비디오카메라 방식의 스캐닝시스템의 성능과 특징을 비교하여 다음 <표 1>과 같이 나타내었다.

<표 1>로부터 알 수 있듯이 3CCD 디지털 비디오카메라 방식이 정밀도와 검사 속도 면에서 가

표 1. 검출방식별 성능비교표

구분	레이저 방식	CCD 라인센서 카메라 방식	고감도 3CCD 디지털 비디오카메라 방식
검출방식	레이저 광	High Sensitive Line Camera	3CCD(3Charge Coupled Device)
검사 속도	5 km/hr	5 ~ 15 km/hr	5 ~ 50 km/hr 균열폭 정밀도에 따라 조정 가능
균열 분해능	1.0 mm	5 km/hr : 0.5 mm 15 km/hr : 1.0 mm	5 ~ 10 km/hr : 0.1 mm 10 ~ 30 km/hr : 0.3 mm 30 ~ 50 km/hr : 0.5 mm
조명	소등필요 태양광 등에 영향	조명기구 필요	조명기구 필요
색상	흑백화상	흑백화상	칼라화상
기타특징	굴곡이 심한 면에도 대응가능 스캐닝 각도 160°	-	각종 형태의 터널 외에 각 구조물에 적용 용이

장 우수한 성능을 구현함을 알 수 있으며, 무엇보다 타 방식의 검사시스템은 검사대상시설이 터널에 제한되어 있는 반면 3CCD 디지털 비디오카메라 방식은 터널 외의 구조물에도 적용이 가능하다는 점에서 큰 장점이 있다. 실제로 국내에서 다양한 시설물을 대상으로 스캐닝 조사가 이루어지고 있으며, 특히 도로터널 및 철도터널은 물론 교량의 교각, 모노레일, 댐 여수로 및 도수터널, LNG 탱크 등 다양한 시설물에 적용하고 있다.

5. 맺음말

시설물의 외관조사를 자동화하는 기술은 시설물 유지 관리에 대한 중요성을 먼저 인식한 해외선진국에서 부터 시작되었지만 국내에서 개발된 스캐닝 기술은 정밀도와 운전속도, 준비시간 등의 면에서 해외기술과 견주어도 뒤쳐지지 않는 수준을 확보하였다. 그러나 아무리 우수한 기술이라도 활용되지 않으면 도태될 수밖에 없다. 보다 많은 구조물과 다양한 영역에서 기술의 적용이 확대 되고 이로 인해 기술의 개선과 추가 개발 등이 활발히 이루어질 수 있도록 진단항목 지정 등 적극적인 제도개선이 이루어지기를 기대한다. □

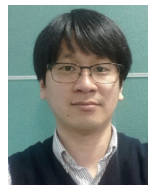
담당 편집위원 : 김진국(포스코) kim.jinkook@posco.com

참고문헌

1. 시설물 안전관리에 관한 특별법, 2014.
2. 지기환, 고감도 CCD카메라 스캐닝 장치를 이용한 대면 장대 터널 균열진행 검출 및 균열상태 mapping 기술 개발, 최종보고서, 산업자원부, 2006.



지기환 연구소장은 국민대학교에서 구조공학 석사학위를 취득하였고, 충남대학교에서 박사과정을 수료하였다. 국민대학교 구조안전연구소와 인프라구조안전연구소를 거쳐 2001년부터 현재까지 (주)케이엠티엘 기술연구소 소장으로 재직하면서 시설물의 진단 및 유지관리에 영상분야 융합기술 개발과 연구에 전념하고 있다.
kmtljee@naver.com



윤영민 책임연구원은 수원대학교에서 구조공학 석사학위를 취득하였고, 현재 (주)케이엠티엘 기술연구소 연구개발팀장으로 재직하고 있다. 시설물 유지관리 신기술개발과 모바일을 이용한 시공관리 융합기술개발 업무를 수행하고 있다.
ymyoon@kmtl.co.kr



윤태국 부장은 서울시립대학교에서 터널 스캐너를 이용한 터널 유지관리시스템 개발에 관한 연구로 박사학위를 취득하였고, 1997년부터 현재까지 한국시설안전공단에서 시설물의 안전 및 과학적 유지관리 체계 구축에 필요한 선진화기술 연구개발을 수행해 오고 있다.
yoon7647@kistec.or.kr



추진호 차장은 중앙대학교에서 지반동역학 석사학위를 취득하였고, 고려대학교에서 박사과정을 수료하였다. 현재 한국시설안전공단 도시철도실에 재직하고 있으며, 서울메트로 등 터널분야 정밀안전진단 업무를 수행하고 있다.
jinhochoo@naver.com