

도시철도 정거장의 종합 건전성 감시시스템 개발방향

Introduction of the Intelligent Health Surveillance System for Urban Transit Station

신정열* 안태기** 박기준*** 김진호** 이우동***
Shin, Jeong Ryol Ahn, Tae Ki Park, Kee Jun Kim, Jin Ho Lee, Woo Dong

ABSTRACT

Urban transit or subway stations generally service for a long period of several decades. And, the urban transit or subway is public transportation which lots of people takes every day. During the service time, they are inevitably damaged from environmental corrosion, material aging, fatigue, and the coupling effects with long-term loads and extreme loads. The included damage accumulates and performance degenerates due to the above factors. They would inevitably reduce the resisting capacity of station against the disaster; even they result in collapse with the structural failure under extreme loads. And, if disaster such as earthquake, fire, etc. happens, it causes huge property damage and threatens the human lives. Because of these above reasons, the intelligent health surveillance system should be researched and developed for ensuring the safety of station. In this paper, the research plans of the intelligent health surveillance system of urban transit station are presented. And also, the development or establishment directions of this system are suggested.

1. 서 론

도시철도는 매일 수많은 사람들이 이용하는 대표적인 대중교통수단이며, 도시철도 정거장 구조물은 일반적으로 증·개축을 제외하고는 건설 초기 원형 모습 그대로 수십 년 동안 승객들에게 서비스되는 지역이다. 하지만, 상당기간동안 외부 환경요인과 건축물의 노후화 및 장기간의 외부 하중 등으로 인하여 결함이 발생하게 되고, 이의 누적으로 인하여 정거장 본래의 구조적 성능이 쉽게 저하된다. 또한, 지진, 화재 등의 재난 발생 시 건물의 붕괴 등으로 큰 인명, 재산 피해를 야기할 수도 있다. 그러므로, 도시철도 정거장 구조물의 건전성은 열차의 주행 안전성 못지않게 이용 승객의 안전을 위한 매우 중요한 요소이다. 이에, 도시철도 정거장 구조물 자체의 안전성 뿐만 아니라 이용승객의 안전을 보장하기 위하여 지능적인 건전성 감시시스템의 도입이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

* 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원, 도시교통기술개발센터, 선임연구원
E-mail : jrshin@krri.re.kr

TEL : (031)460-5716 FAX : (031)460-5749

** 한국철도기술연구원, 선임연구원

*** 한국철도기술연구원, 책임연구원

최근 일이십년동안 구조물의 건전성 감시와 관련된 센서기술 등 스마트 기술에 대한 연구가 지속적으로 수행되어져 오고 있다. 이 기술은 구조물의 결함이나 이상을 스스로 감지하여 유지보수작업자에게 알려줌으로써 작업자가 결함에 대하여 적절하게 조치할 수 있도록 하는 지능적인 기술의 일종이다. 지금까지 일반 고층 건물이나 교량, 터널, 사면 등의 토목 구조물에 적용되기 시작하면서 이에 대한 기술 연구가 빠르게 발전되고 있다.

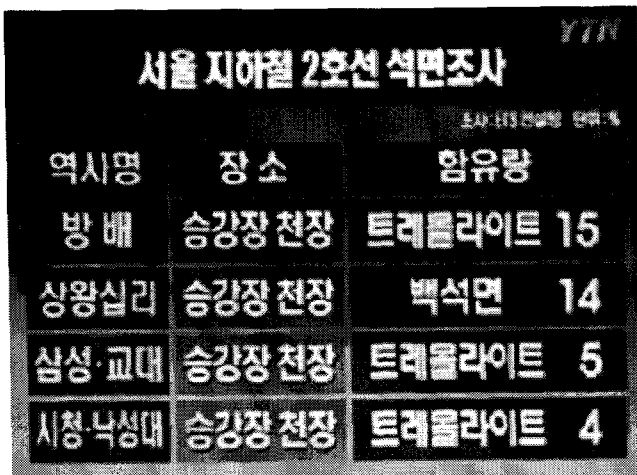
본 연구를 통하여 도시철도 정거장의 지능적인 종합 건전성 감시시스템을 개발하고자 한다. 일반적으로 구조적 건전성을 일컫는 건전성의 의미를 이용승객의 사용 건전성까지 확대, 고려하고자 한다. 본 논문에서는 종합 건전성 감시시스템의 개발 방향 및 개발 계획에 대하여 설명하였다.

2. 정거장 사고 사례 및 문제점

국내 도시철도 정거장 대부분은 지진에 대비한 내진 설계가 거의 이루어지지 않아 대형지진이 발생할 경우 상당한 위험 상태에 노출되어 있다. 소형지진이 오더라도 정거장 구조물이 안전하지 판단할 수 있는 장치나 시스템 역시 구축되어 있지 않은 실정이다. 서울시 지하철의 경우 전체 구간 중 내진 설계를 이 0.76%에 불과하였으며, 광주 지하철을 제외하고는 내진 설계가 극히 미진하거나 전혀 내진 설계가 되어 있지 않다. 굳이 지진뿐만 아니라, 장기간에 걸친 열차 통과시의 진동과 정거장 외부에서의 진동 등으로 구조물이 손상받을 수도 있으므로, 정거장의 주요 부재에 대한 구조 건전성을 모니터링하고 평가할 수 있는 시스템이 필요한 실정이다.

한편, 최근 이슈 사안으로, 건축자재로 많이 사용되는 석면과 지하 화강암 층에서 많이 발생하는 라돈이라는 방사능 기체가 승객에게 암을 유발케 하는 위험을 가지고 있는데, 일부 정거장에서 기준치 이상으로 검출되는 것으로 조사되고 있다. 또한, 환기가 제대로 이루어지지 않아 일부 정거장내 미세먼지 농도가 기준치 이상으로 조사되고 있다.

또한, 대구지하철참사와 같은 방화에 의한 화재로 수백명의 사상자가 발생하였을 뿐만 아니라, 종로3가역의 무빙워크설비의 고장, 역사 설비 과열 등으로 정거장 내에서 화재 및 연기로 승객이 긴급대피하는 등 이에 대한 감시도 필요한 실정이다. 1995년도에 도쿄 지하철 정거장에서 발생한 사린 독가스 테러 사례에 비추어 볼 때, 어느 때보다도 테러 위협을 받고 있는 현 시점에서 테러에 대비한 실시간 감시도 이루어져야 할 것이다.



서울 지하철 2호선 석면조사

역시명	장소	함유량
방배	승강장 천장	트레올라이트 15
상왕십리	승강장 천장	백석면 14
심성교대	승강장 천장	트레올라이트 5
시청·낙성대	승강장 천장	트레올라이트 4

그림 1. 지하철 정거장 석면 함유량(출처:YTN)



평균라돈 농도 (Bq/L)

4호선 남태령역	4.3
5호선 광화문역	4.2
동대문운동장역	4.1
종로3가역	4.1
7호선 노원역	4.3

1998~2004년, 보건환경연구원

그림 2. 지하철 정거장 라돈 농도(출처:MBC)

3. 감시 대상 항목

도시철도 정거장 상부에서의 버스, 승용차 등의 통행에 따른 동적 하중과 지진 등에서의 진동은 정거장 구조물의 구조적인 결함을 야기할 수 있다. 도시철도 정거장의 경우 기둥, 천장, 벽, 보 등의 핵심 부재가 심각하게 손상 받을 수 있다. 이것은 구조물의 안전을 보장하지 못할 뿐만 아니라 승객의 안전을 위협하는 것이다.

최근에는 세계적으로 공공 시설물이 테러의 위협에 노출되어 있다. 도시철도 정거장은 매일 수많은 승객이 이용하기 때문에 예외가 될 수 없으며 오히려 타겟 대상이 될 수 있다. 그러므로, 독가스 혹은 생화학가스 및 화재 등에 대한 실시간 감시가 필요하다.

추가적으로, 지하수로부터 발생하는 라돈과 건축자재에서 발생하는 석면과 같은 발암 물질도 모니터링되어야 한다. 금년도 발표에 따르면, 10개가 넘는 서울 지하철 정거장에서 노출 기준을 초과한 바 있다. 또한, 승강장 미세먼지 역시 승객의 건강을 위협하는 이슈 사항이다.

아래 표 1에 도시철도 정거장의 구조적인 건전성 감시 대상 항목과 이용 승객의 사용 건전성 대상 항목을 간단히 정리하였다.

4. 감시시스템 구축 방향

도시철도 정거장의 신뢰성과 성능을 유지하기 위하여 정거장 구조물의 건전도 정도에 대한 정확한 정보를 실시간으로 획득하는 것은 필수적이다. 일반적으로, 구조물의 건전도에 대한 정보는 정례화된 인력 검사와 분석에 의해 획득되므로, 구조물의 파괴가 발생되기 직전의 아주 위험 순간의 정보를 적시에 제공하지 못한다.

표 1. 도시철도 정거장 건전성 감시 대상 항목

	항 목	위 치
구조 건전성	벽체 균열 및 손상	승강장 대합실 출입구
	천장 균열 및 손상	
	바닥 균열 및 손상	
	기둥 균열 및 손상	승강장 대합실
	보 균열 및 손상	
사용 건전성	화재 및 연기	승강장 대합실
	미세 먼지	
	라돈	
	석면	
	독가스	
	생화학 가스	

이러한 이유로, 능동적이고 지능적인 건전도 감시시스템이 도시철도 정거장의 안전을 보장하는 확실한 기술이며, 구조물 손상 추적 및 재난 특성 등에 대한 연구를 위한 주요한 접근 기술이다. 여기에서, 지능적이란 말은 의사결정체계가 개입된다는 것을 의미한다.

지능적인 구조물 건전도 감시시스템은 믿을만한 자동적인 방법으로 구조물에서의 결함 부위를 찾아내고 결함 범위 및 결함량 등을 측정할 수 있다. 이 감시시스템은 스마트 센서와 데이터 처리, 결함 및 손상 확인 및 위치 확인, 건전도 평가 및 안전도 측정 등을 모두 총괄하는 시스템이다. 여기에서, 센서는 온도, 변위, 압력, 동적 하중 및 응답, 외부 환경 요인에 대한 다양한 정보 및 물리량을 감지하고 측정하는데 사용된다. 일반적으로, 센서는 모니터링과 진단, 상태 감시, 성능 평가 및 개선, 결함과 손상에 대한 제어작동 유도, 데이터를 수집하는 등 다양한 경우에 사용된다.

한편, 이제는 저비용, 저전력 소요, 쉬운 설치, 무선, 소규모 크기라는 특성을 갖는 유비쿼터스 센싱 기술에 대한 새로운 연구개발이 진행되어야 한다. 유비쿼터스 감지를 위해서 몇가지 가능한 기술이 개발되어야 하거나 한단계 더 발전시켜 나가야 한다. 이러한 기술에는 데이터를 유용한 정보로 바꿔줄 수 있는 저비용 전달장치 및 자기 상황인식 센서 기술과 고성능 저비용 컴퓨팅 및 저비용 무선 통신 기술, 주변 환경으로 부터의 전력 생산으로 최소 전력 의존 및 파워 공급 기술이 해당될 수 있다.

추가적으로, 감시시스템에서 센서 신호의 전송 라인은 센서와 시스템의 신뢰성에 영향을 주는 중요 요소이다. 이러한 시스템은 작고, 저전력 소비의 내장형 장치가 널리 사용되며 기존 시설물에 의존되지 않는다. 그러므로, 무선통신네트워크이 중요한 연구 분야인 것이다.

유비쿼터스 센서 네트워크를 갖춘 감시시스템을 개발하는 최종 목적은 도시철도 정거장의 주요 취약 부위를 실시간으로 감시하고 자가진단을 통하여 정거장의 건전도를 확인 혹은 제고시키는 데 있다. 즉, 구조물의 건전도 감시를 위해, 구조물의 취약 부위를 감시하는 센서와 화재, 미세먼지, 독가스 등을 감지하는 환경 센서를 정거장 내 승강장 및 대합실 등에 설치한다. 이러한 센서로부터의 감지된 신호들이 무선방식으로 서버에 실시간으로 전송이 되며, 유지보수작업자는 서버에 접속함으로써 시간, 장소에 구애받음 없이 실시간으로 신호를 모니터링하고 이상 유무를 정시에 정확히 감지하려 적절하게 대처할 수 있게 됨으로써 이용 승객의 안전을 제고할 수 있다.

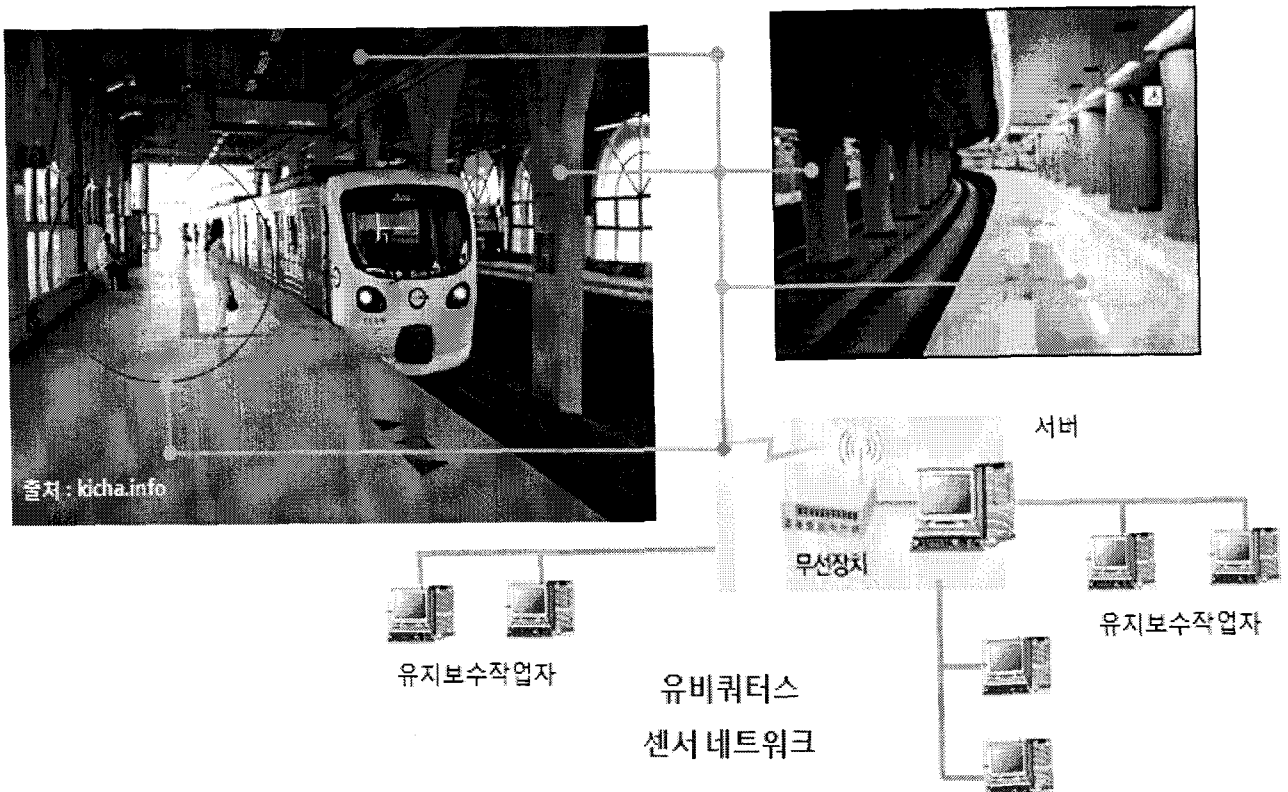


그림 3. 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템을 도입한 도시철도 정거장 건전도 감시시스템

5. 감시시스템 개발 계획

본 연구는 2007년 7월에 시작되었으며 향후 5년간 지속될 예정이다. 이 시스템의 연구계획은 다음 표 4에 간략히 요약하였다.

1차년도 연구를 통하여, 정거장 감시 대상 항목과 대상 변수를 선정할 계획이며, 감시 항목에 적합한 센서를 결정할 계획이다. 아울러, 본 감시시스템 개발 및 현장 설치·검증 연구를 공동으로 추진할 협동 연구기관 선정도 이루어질 계획이다.

2차년도 연구에서는 건전성 평가방법을 개발할 계획이며, 감시시스템 기본 설계를 수행할 예정이다. 또한, 감시시스템 시범 구축, 운영을 위한 시범 역사를 선정할 계획이다.

3차년도 연구에서는 감시시스템 평가방법을 최종 정립하고, 향후 유지보수작업자가 개발된 평가방법을 활용하여 정거장의 건전도를 한눈에 확인가능하도록 건전도 진단 프로그램 개발에 착수할 계획이다. 또한, 감시시스템 상세 설계를 수행하고 시범역사에 시스템을 설치할 계획이며, 일부 센서에 대하여 시범역사에서 성능 시험을 수행할 예정이다.

4차년도 연구에서는 건전도 진단 프로그램 개발 및 시범운영을 완료할 계획이며, 각종 감시시스템 장치에 대한 성능시험을 시작으로 감시시스템 시범운영을 시작할 계획이다.

최종 5차년도 연구에서 성능시험 및 시범운영 결과를 토대로 미비한 점을 보완하여 최종 감시시스템 시범운영을 완수하고, 상용화할 계획이다.



그림 4. 도시철도 정거장 감시시스템 5개년 개발 계획

6. 결론

본 논문에서는 도시철도 정거장에서 주요 사고 사례 및 문제점을 조사하였고, 이를 토대로 향후 5년간에 걸쳐 개발될 도시철도 정거장의 종합 건전성 감시시스템에 대한 개발 방향과 개발 계획에 대하여 기술하였다. 정거장의 실시간 건전도 감시 및 평가를 위하여 유비쿼터스 개념의 센서 네트워크 시스템을 제안하였다. 한편, 정거장내 건전도 감시 대상 항목 선정시에는 정거장의 균열 및 붕괴와 관련된 구조물의 건전도 뿐만 아니라 화재, 미세먼지, 생화학가스 등의 이용 승객에게 닥칠지 모르는 재난 발생시의 안전을 고려한 사용 건전도를 고려할 계획이다.

본 도시철도 정거장 감시시스템이 성공적으로 완료한 후, 국내 전체 도시철도 운영기관에 확대 적용할 계획에 있으며, 본 시스템의 구축과 관련된 지침을 시설물 안전기준에 반영하여 정거장을 이용하는 승객의 안전을 제고할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Jinping Ou, "State-of-the Art and State-of-the Practice of SHM in the Mainland of China," proceedings of the second international seminar on advanced smart materials and smart structures technology, 2005
2. Shin J. R.(2007), "Introduction of the Smart Health-monitoring & Self-diagnosis System with the Ubiquitous Sensor Network for Subway Station", a treatise of the 7th China-Korea-Japan Railway Seminar, p.33~p.39