

USN 기반 붕괴 안전 평가 시스템 개발

이석철*, 유권상*, 나호준**, 남승훈**
 *한국표준과학연구원 재료측정표준센터
 **공주대학교 그린홈에너지기술연구소
 e-mail:sclee05@kriss.re.kr

Development of Safety Estimation System for Prevention of Destruction based on USN

Seok-Cheol Lee*, Kwon-Sang Ryu*, Ho-Jun Na**, Seung-Hoon Nahm*
 *Center for Material Measurement, Korea Research Institute of Standards Science
 **Green Home Energy Technology Research Center, Kongju National University

요 약

본 논문은 붕괴 안전을 위한 USN 기반의 안전 계측 시스템에 관한 내용을 수록하고 있다. 붕괴 안전 계측 시스템은 인적 재난의 유형 중 시공 단계에서의 붕괴 안전과 재난 발생을 억제화 하는 목적으로 실시간 계측 장치와 USN의 결합, 실시간 계측 데이터의 정보화, 전송 및 취합된 데이터로부터 붕괴 표준 안전 지수를 도출하는 방법 등으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 각 단계별 시스템의 구성요소의 설계와 구현 방법 및 결과의 내용을 중심으로 붕괴 안전 계측을 위한 방법을 제시하고 있으며, 최종적으로는 계측 데이터에 대한 실제 안전지수에 대한 결과 도출로 방재 의사 결정을 지원할 수 있는 의사결정지원시스템의 구현을 목표로 설계하였다.

1. 서론

신축 구조물 및 노후 시설의 붕괴 사고는 국지적인 특성이 있으나, 한 번 발생하면 연쇄·복합적인 재난(가스누출, 수도관파열, 주변건물 붕괴 등)으로 확대되는 경향이 있다. 또한 현재의 재난관리의 프로세스는 점차 발생 후 복구 및 복원 중심에서 방재 대상물의 지속적인 진단과 감시를 통한 재난 및 위험 요인을 미연에 제거하는 예방/대비 중심의 기술로 발전하고 있다. 이를 위해서는 유비쿼터스 센서 네트워크(USN:Ubiquitous Sensor Network)를 기반으로 실시간형태의 대상물의 감지와 무선 통신에 의한 데이터 전송체계를 이용하여 사고 발생의 징후를 감지할 필요가 있다. 본 논문에서는 이러한 현재 시공 중인 공사장과 노후 구조물을 대상으로하는 USN 기반의 안전성 평가를 수행하는 시스템 개발 내용을 기술한다. 공사장 안전 계측 시스템은 시설물의 특성에 따른 위험 감지를 위한 센서 네트워크 구축과 운용, 미들웨어에 의한 데이터 가공, 이에 따른 표준 안전지수 도출을 통해 안전지표를 공지하는 세 가지의 부분 시스템 모듈로 구성되어 있다.

+ 교신저자 : 남승훈(한국표준과학연구원 재료측정표준센터, 책임연구원 : TEL:042-868-5383, e-mail : shnahm@kriss.re.kr)

※ 이 논문은 2008년도 정부(소방방재청)의 재원으로 안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2008-00624)

2. 관련 연구

2.1 붕괴 안전 계측

붕괴 안전 계측은 주로 지반 및 구조물 관리에 이용되는 계측기 및 센서를 중심으로 계측항목에 따라 주변지반, 구조물, 지하수위 및 간극수압, 흙막이 벽체, Strut, Earth Anchor, Wale등의 지보재 계측으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 구조물 계측에 적용할 수 있는 광섬유를 이용한 Tiltmeter, Crack Gauge, Strain Gauge, 처짐계 등의 물리량을 조사한다.

<표 1> 구조물 붕괴 안전 계측을 위한 물리량

구분	계측항목	측정사항	계측기
주변지반 및 구조물 관리	주변지반의 변위계측	배면지반의 변형	Strain Gauge Inclinometer Extensometer
	구조물의 변위계측	침하, 균열, 경사, 처짐, 이동, 변형	Tiltmeter Crack Gauge Strain Gauge 처짐계
지하수위 관리	지하수위 및 간극수압계측	지하수위 및 간극수압의 변동	Water Level Meter Piezometer
흙막이 구조물의 관리	흙막이 벽체의 계측	토압, 수압, 휨, 변형	Soil Pressure Meter Piezometer Strain Gauge Inclinometer
	Strut, Earth Anchor, Wale등의 지보재 계측	축력, 변형, 국부파손	Load Cell Strain Gauge

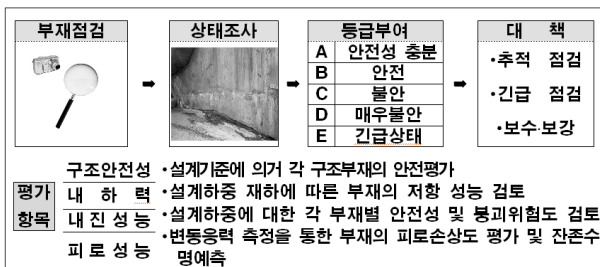
2.2 붕괴 징후 감지 파라미터

붕괴유발부재(Fracture Critical Member, FCM)는 구조물을 구성하는 여러부재 중 한 부재가 파괴되는 경우에 구조물의 전체적인 붕괴를 가져올 수 있는 부재를 말한다. 이러한 붕괴유발부재는 설계 단계에서부터 제작 및 유지관리에 이르기까지 특별한 고려를 해야 하는 붕괴조절계획(Fracture Control Plan)에 대한 규정을 만들 필요가 있는데 붕괴조절계획(fracture control plan)은 붕괴유발부재의 재료, 제작, 용접, 검사 및 시험 등에 대한 요건을 규정하는 것으로 안전성이 확보된 구조물의 설계, 시공 및 유지관리 등에 필수적인 사항이다. 일반적으로 노후된 구조물에서 붕괴유발부재가 손상되는 주원인은 반복하중 작용에 의하여 균열이 발생하는 "피로균열"이다. 일반적으로 피로균열은 응력이 집중하는 부위에서 발생한다. 이러한 응력의 집중은 용접결함, 용접상세에 따라 다양하게 나타난다. 다음 과정은 붕괴유발 부재 및 붕괴 파라미터 결정의 방법이다.

- I. 붕괴를 유발시킬 수 있는 부재 및 붕괴 파라미터의 결정
- II. 붕괴유발부재나 부재요소의 제작 요건 검토
- III. 붕괴유발부재 및 부재요소에 대한 재료 인성치의 결정
- IV. 허용피로응력범위계산에 따른 임계치의 결정

2.3 붕괴 안전도 평가 방법

일반적인 안전점검의 평가과정은 (그림 1)과 같으며 이때 얻어진 등급은 지반 및 공사장을 위한 구조물의 현재 상태를 반영한 것이다. 따라서 대상구조물이 정해지면 현재의 내하등급을 활용하여 붕괴를 유발할 수 있는 파라미터를 도출하고 이 각각의 물리량의 임계치를 설정한다.



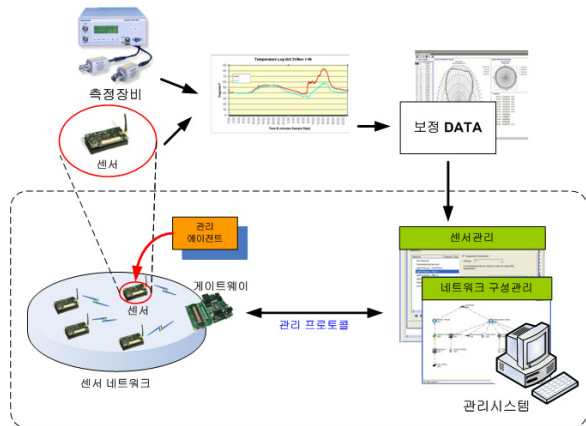
(그림 1) 붕괴 안전도 평가 방법

3. 시스템 설계 및 구현

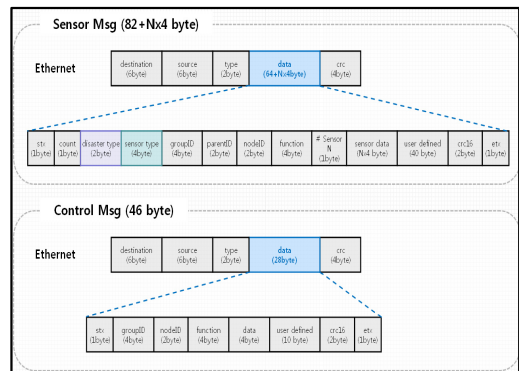
3.1 붕괴 안전을 위한 시스템 구성

붕괴안전을 위하여 (그림 2)와 같은 형태의 시스템을 구성하고. 붕괴를 위한 계측센서로 구조물 계측에 적용할 수 있는 Tiltmeter, Crack Gauge, Strain Gauge, LVDT (처짐계) 센서를 MOTE에 부착한후 센서 네트워크를 구축하였다. 구축한 센서는 (그림 3)과 같은 센서 노드 메시지 구조를 정의하여 센서간의 통신과 미들웨어에서 DB와 연동할 수 있도록 하였다. 이 메시지 포맷은 계측기에서 물리량 조사를 통해 붕괴 징후를 나타내는 파라미터 값을

앞서 소개한 붕괴 감지 프로세스에 의해 도출하고 구조물이 붕괴에 이르는 파라미터 값을 각 센서에서 계측된 센서 데이터를 일정한 데이터포맷으로 규격화시켜 송신하게 된다.



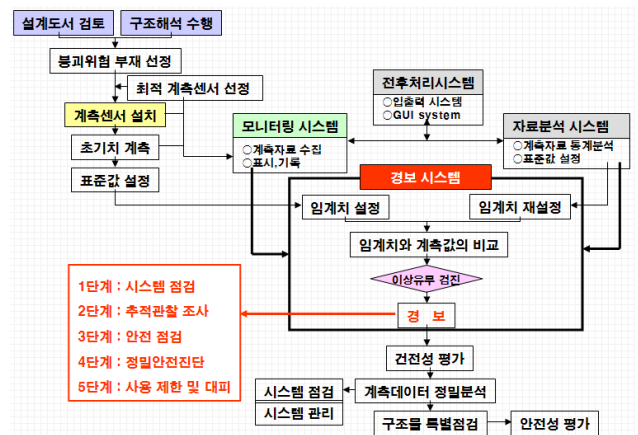
(그림 2) 전체 시스템 구성도



(그림 3) 메시지 패킷 구조

3.2 붕괴 안전 평가 시스템 흐름도

붕괴 안전 계측을 위한 안전 평가 시스템의 흐름은 (그림 4)와 같으며, 지반 및 구조물의 설계도서와 구조해석을 바탕으로 산출된 붕괴 예상 후보지점을 중심으로 해당 물리량에 적합한 최적 계측 센서를 선정한다. 그 후, 모니터링 시스템에서는 센서 네트워크에서 전송된 계측자료를 표시, 기록하며, 자료 분석 시스템에 의해 계측자료의 통계 분석과 표준 값을 설정한다.



(그림 4) 붕괴안전평가시스템의 흐름도

일반적으로 USN기반의 모니터링 시스템에서는 이상 유무 판단을 위해 경보시스템을 구현하는데, 본 논문에서의 경보시스템에서는 <표 2>와 같은 임계치 판단 기준을 통해 계측센서로부터 얻어진 신호를 물리량으로 환산한 값을 이용하여 현재 구조물의 상태를 파악하고 계측데이터의 추세가 정상적인지의 여부를 판단하게 된다. 그리고 임계치는 구조물의 안정성과 관리자의 판단 기준을 고려하여 안전, 주의, 경고의 3단계로 설정 되나 관리목적에 따라 단계의 가감이 가능하다.

<표 2> 임계치 판단 과정 및 기준

판단 과정	I 대상구조물에 대한 구조해석을 통하여 구조물 거동특성을 파악	
	II 센서 및 계측기기를 설치하고 계측된 계측 값을 통한 초기계측데이터와의 차이 및 추세파악	
	III 구조 해석치와의 비교를 통하여 설정	
임계 치 평가	기준	평가
	하한 주의 값 < 계측 값 < 상한 주의값	안전
	하한 경고값 < 계측값 < 하한 주의값	주의
	상한 주의값 < 계측값 < 상한 경고값	경고
계측값 > 상한 경고값		
	계측값 < 하한 경고값	

참고문헌

[1] Hong-Nan Li, Dong-Sheng Li, Gang-Bing Song, "Review Article: Recent Applications of Fiber Optic Sensors to Health Monitoring in Civil Engineering", Engineering Structures, Vol. 26, pp. 1647~1657, 2004.

[2] Park, S., Ahmad, S., Yun, C.-B., and Roh, Y., "Multiple Crack Detection of Concrete Structures Using Impedance-based Structural Health Monitoring Techniques", Experimental Mechanics, Vol. 46, pp. 609~618., 2006.

[3] Park, S., Yun, C.-B., and Inman, D. J., "Wireless structural health monitoring using an active sensing node", International Journal of Steel Structures, Vol. 6, No. 5, pp. 361~368. 2006.

[4] Park, S., Lee, J.J., Yun, C.B., Inman, D.J., "Electro-mechanical impedance-based wireless structural health monitoring Using PCA-data compression and k-means clustering algorithms" Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. 19, pp. 509~520, 2008.

[5] Zimmerman, A.T, Shiraishi, M., Swartz, R.A. and Lynch, J.P. "Automated Modal Parameter Estimation by Parallel Processing within Wireless Monitoring Systems," Journal of Infrastructure Systems, Vol. 14, No.1, pp. 102~113, 2008.

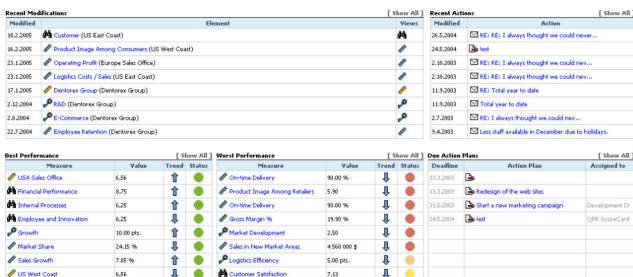
[6] 이석철, 김창수, 정신일, 황현숙, 정수환, 김명호, "USN 기반의 지하철 환경상태 모니터링 시스템 구현," 한국 멀티미디어학회 춘계 학술대회 발표집, 2005.

[7] 이기욱, 성창규, "유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 상황 정보 모니터링 시스템 구현," 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제11권, 제5호, 2006.

[8] 김영덕, 강원석, 안진웅, "지하철 역사에서 실시간 안전 모니터링을 위한 비컨 기반의 무선 센서 네트워크 설계 및 구현," 한국철도학회 논문집, 제11권, 제4호, pp. 364~370, 2008.

3.3 붕괴 안전 지표 레포팅 도구 개발

붕괴 안전지표 표현 도구는 관리자에게 안전지표를 보다 이해하기 쉽고, 다양한 표현방식으로 볼 수 있는 화면을 제공한다. 본 개발에서 기술하는 표준 안전 지표는 붕괴 원인별 위험도 등에 대한 안전지표 표시, 안전지표가 가장 낮은 순서를 보여 관리자가 즉시 조치하도록 하는 기능, 센서 설치 장소별로 안전지표의 현황을 기간별로 조회하는 기능, 마지막으로 안전 지표의 변화추이를 알아보기 쉽도록 이전 임의 기간의 지표값과 비교하여 지표값의 상승하락에 대한 시각적으로 표시하는 기능을 가지고 있다. (그림 5)는 대시보드에 의한 붕괴상황을 모니터링 하고, 대시보드에 표현한 그림이다.



(그림 5) 대시보드에 의한 붕괴 안전지표 레포팅

4. 결론

본 논문에서는 붕괴 징후를 실시간으로 감지하고, 안전 지수를 통한 붕괴 징후 예측을 통해 붕괴 안전성을 평