

건설 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안 연구

A Study on the Cause and Improvement Plans of Construction Monitoring Sensors Decline in Durability

우종태*

Jong-Tae Woo*

Professor, Department of Construction and Environmental Design, Kyungbuk University, Namyangju, Republic of Korea

*Corresponding author: Jong-Tae Woo, jtwoo@kbu.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to contribute to improvement of measurement management level of construction structure and technology development of monitoring sensor by presenting the detailed causes and improvement plans of construction monitoring sensor's decline in durability. **Method:** The causes and improvement plans of the durability degradation of the construction monitoring sensor were divided into the construction field and the electric, electronic field. The detailed status was reviewed. **Results:** In the field of construction, approval and inspection, inspection and testing, verification and calibration, and minimization of loss and damage ratio were reviewed. In the field of electric and electronics, sensor package and sealing, disconnection of stress concentration area, damage caused by lightning and corrosion were reviewed. **Conclusion:** It is expected that the durability of monitoring sensors applied to the construction site will become longer than the present status based on the study that analyzed causes and improvement plans of construction monitoring sensor's decline in durability in the field of construction and electric, electronic devices.

Keywords: construction monitoring sensor, period of durability construction field, electric and electronic field, loss and damage ratio

요약

연구목적: 본 연구는 건설 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안을 상세히 제시하여 건설구조물의 계측관리 수준향상과 계측센서의 기술발전에 기여하고자 한다. **연구방법:** 건설 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안에 대하여 건설분야와 전기전자분야로 구분하여 상세한 현황을 조사하고 검토를 실시하였다. **연구결과:** 건설분야는 승인 및 검수, 검사 및 시험, 검정 및 교정, 손망실을 최소화 방안 등을 조사 검토하였고, 전기전자분야는 센서패키지 및 실링, 응력집중부위 단선, 낙뢰 및 부식에 의한 손상 등을 조사 검토하였다. **결론:** 건설분야와 전기전자분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안을 토대로 건설현장에 적용되는 계측센서의 내구연한이 현재보다 연장될 것으로 기대된다.

핵심용어: 건설 계측센서, 내구연한, 건설분야, 전기전자분야, 손망실을

Received | 14 November, 2018

Revised | 20 November, 2018

Accepted | 7 February, 2019

OPEN ACCESS



This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

일반적으로 건설공사에서의 계측은 공사계측과 유지관리계측으로 구분하고 있다.

공사계측은 주로 설계의 불확정성 요소 등을 보완하고 설계의 타당성을 규명함으로써 시공의 안전성을 확인하고 경제성을 확보할 목적으로 수행된다(Woo, 2017). 유지관리계측은 완공된 구조물에 대하여 공용 중에 지속적으로 구조물의 안전성 확인과 최적의 유지관리가 되도록 객관적이고 연속적인 공학적 판단자료를 제공하여 효율적이고 경제적인 구조물 유지 관리에 기여하는 것을 목적으로 수행 되고 있다(Woo and Lee, 2012).

건설계측에서 센서(Sensor) 또는 게이지(Gauge)란 대상의 상태에 관한 측정량을 신호로 변화하는 계의 최초의 요소로서 계측기에 포함되며, 계측기(Measurement hardware)는 재료의 감지소자에 의해 물리적 에너지를 전기 또는 빛 에너지로 변환하여 자료의 정보처리가 되도록 하는 센서 및 게이지 등을 총괄하는 용어를 말하며, 계측시스템은 계측자료 획득 시스템과 계측자료 전송시스템을 포함하여 계측에 필요한 모든 장치 및 운용시스템을 말한다(Woo and Lee, 2008).

건설 계측센서는 일반 가전제품과 달리 콘크리트 구조물 내나 토사 및 암반속 등 지하수위 아래 열악한 현장조건에 정밀 계측센서가 설치되므로 센서의 충격 및 단선 등으로 부분적인 내구성 저하 또는 일부 계기에 고장이 발생할 수 있다. 그러므로 매립식 계측기의 경우 고장률을 감안하여 계측분석에 문제가 없도록 충분한 수량으로 계측 계획을 수립해야 한다(Woo, 2013).

내구연한(耐久年限, Period of durability) 용어의 정의는 토목용어사전에는 없으나, 국어사전은 원래의 상태대로 사용할 수 있는 기간(Life cycle, Lifetime), 농촌진흥청의 농업용어사전은 건물이나 가구 따위의 쓸 수 있는 연한으로 물리적·구조적인 연한(Persisting period)을 의미하며, 한국해양학회의 해양과학용어사전은 목재나 부재 또는 구조물을 사용할 수 있는 연한(Endurance period)으로 정의되어 있다.

내용연수(耐用年數, Period of durability, service life) 용어의 정의는 토목용어사전은 기계나 구조물이 사용에 견디는 연수, 기계적 내용연수, 물리적 내용연수와 사회적 내용연수, 경제적 내용연수의 개념으로 나누어 고려한다. 건축용어사전은 건축물이 갖는 수명의 총칭으로 구조적 내용연수, 물리적 내용연수와 사회적 내용연수, 경제적 내용연수 등의 개념으로 나뉜다.

앞의 용어 정의에서 내구연한은 내용연수와 거의 같은 개념으로 이해되며, 토목용어사전을 중심으로 건설 계측센서의 내구연한을 정의하면 구조물에 설치된 계측센서가 본래의 기능을 유지할 수 있는 기간으로 간단히 정의할 수 있으며, 실험용으로 실내에 설치되거나, 설치되지 않고 제품으로서의 계측센서 내구연한과는 차이가 많을 것으로 판단된다.

건설 계측센서의 내구연한은 내구연한 동안의 정상 작동률인 생존율·고장률로 표현되며, 이는 계측센서의 성능과 내구성, 설치기술자의 기술수준 및 각종 후속공정에 대한 철저한 관리여부, 유지관리 기술수준과 투자비에 따라 큰 차이를 보이고 있다(Nam, 2000).

본 논문은 건설 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안에 관한 연구로 도심지 지하철 흠막이공사 및 터널공사와 하천 및 댐 구조물 등의 건설분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안을 검토하였으며, 건설분야 계측센서의 내구연한 저하원인에 대해 전기전자분야에서 계측센서의 단기적 및 장기적인 내구연한 저하원인 및 개선방안을 제시하여 건설구조물의 계측관리 수준향상과 계측센서의 기술발전에 기여하고자 한다.

건설 계측센서의 내구연한 검토

건설 계측센서의 내구연한에 대한 규정을 제시한 기관은 서울특별시 지하철건설본부이며, 국내 모든 발주기관에서도 이 규정을 준용하고 있으나, 계측항목별 내구연한에 대한 기준은 미비한 실정이다.

2002년 2월 서울특별시 지하철건설본부에서 서울지하철6,7호선 유지관리 계측시스템 설치 및 분석 용역시 유지관리 계측시스템의 무상보증기간을 최종설치 준공일로부터 최소 5년으로 적용한 예가 있고, 2002년 9월 서울지하철9호선 사공계측 관리 표준시방서(안)의 변형율계 센서의 내구연한은 3년 이상, 장기계측의 경우 통상적으로 2~10년 정도는 정상적인 기능을 유지해야 하는 것으로 제시된바 있다(Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation, 2002).

2008년 터널표준시방서 개정시 준공 후 계측시스템의 하자보수기간은 공동주택 관리령(대통령령 제18044호 제16조 사업주체의 하자보수 별표7)에서 국내공동주택 전자장치들의 하자보수기간 2년 이후에도 정상적으로 작동할 수 있도록 터널 관리주체가 계측시스템을 유지보수 하도록 되어 있다(Woo, 2018a).

2010년 건설계측 및 계측업의 현황분석과 발전방안 연구에서는 계측센서를 포함한 계측시스템의 무상하자보증기간은 최종 설치준공일로부터 최소 3년 이상을 제시하였다.

2015년 서울특별시 도시기반시설본부에서 서울지하철 계측관리요령 개선(안)을 검토하면서 계측기기의 내구연한에 대해 최소 준공 후 3년 이상으로 계측기 자체의 하자보수기간 내 망실될 경우 설치업체에서 재설치하는 하자보수기간을 제시하였으며, 하자보수 기간 및 책임범위는 다음과 같다(Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters, 2015).

- 1) 시공 중 계측기의 하자보수기간은 설치 후 3년 이내, 유지관리 계측기의 하자보수기간은 준공 후 최소 3년 이내로 관리하도록 한다.
- 2) 하자보수기간 내에 발생하는 모든 하자에 대해서는 계측기 및 자동화 계측시스템을 구축한 업체 또는 기관에서 동일 위치에 재설치 또는 표면 노출형 계측기로 재설치하여야 한다.

2017년 건설계측의 이론과 실무의 지하 건설시설물편 터널의 유지관리계측 실무시방서에서 터널의 유지관리를 위한 계측기기는 최소 5년 이상의 내구성이 보장되어야 하며, 설치 및 유지관리가 용이하고 계측목적에 맞는 계측범위와 정밀도를 가져야 하며, 기기 특성에 대한 사전 검증을 실시하여야 하는 방안을 제시하였다.

따라서 앞에서 검토된 내용을 종합하여 건설 계측센서를 포함한 계측시스템의 내구연한은 다음과 같이 결정하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

- 1) 계측시스템의 내구연한은 최소 3년 이상으로 하며, 이 기간을 최종 설치 준공일로부터 가산하면 장기 계속공사인 경우 차수별 공사 준공기간이 약 2~4년이 소요되므로 최종 내구연한은 5~7년 정도로 되어야 할 것으로 판단된다.
- 2) 하자담보책임기간동안 필요한 예비품과 고장수리부품, 소모품, 고장수리비용은 계측시스템 설치차 부담으로 하며, 이 기간 중 수리가 불가능한 물품의 경우 유지관리기관의 승인을 얻어 동등이상의 제품으로 교체하여야 한다.
- 3) 계측시스템의 보수기간 중에는 대체 장비를 사용하여 계측시스템 운영에 지장이 없도록 해야 한다.
- 4) 하자담보책임기간 만료 후라도 유지관리기관의 고장 수리요청이 있을 경우 계측기기의 유지보수에 적극 협조해야 한다.

건설분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안 연구

건설분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인 검토

일반적인 건설 계측센서의 내구연한 저하원인 검토내용으로 건설 계측센서의 정상작동률은 생존율-고장률(손망실율)로 표현할 수 있으며, 이는 설치되는 계측센서의 성능과 내구성, 설치기술자의 기술수준, 흠막이 및 터널 공사의 경우 토공 굴착, 방수공사, 철근배근, 거푸집설치, 콘크리트타설, 거푸집제거 등의 후속공사에 대한 관리수준 등에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 건설분야에서 일반적인 계측센서의 주요 내구연한 저하원인은 계측센서의 성능불량, 설치시 오류 및 보호불량, 계측대상 구조물의 과도한 변형 및 응력발생, 작업자나 시공장비의 부주의에 의한 계측센서 및 연결 케이블의 손상, 고의적인 파손, 기술적 한계로 인한 원인 불명확 등이 있다. 건설 계측센서의 내구연한 저하 원인 중 계측기기의 성능불량, 설치시 오류 및 보호 불량, 작업자나 시공장비의 부주의에 의한 계측센서 및 연결 케이블의 손상 등이 확인된 경우에는 비교적 책임소재가 명확하나, 현장관리자가 파손되는 순간을 직접 목격하지 못하였거나, 예상치 못한 과도한 변형 및 응력발생으로 계측 불능상태가 된 경우에는 책임소재가 명확하지 않아 계측센서의 재설치 비용 부담문제로 분쟁이 발생하거나 심지어는 인위적인 계측데이터를 만드는 일이 발생할 수도 있다. 또한 건설 계측센서가 최초 설치시 정상적으로 작동 되다가 분명한 이유 없이 계측값이 이상치를 나타내거나 불안정한 경우에는 더욱 분쟁의 대상이 될 수 있다.

대부분의 건설 계측센서는 일반 가전제품과 달리 콘크리트 구조물 내나 토사 및 암반속 등 지하수위 아래 열악한 현장조건에 정밀 계측센서가 설치되므로 조건이 양호한 실내에서와 달리 내구수명이 단축될 뿐만 아니라 기술의 한계로 인하여 현실적으로 많은 고장이 발생하고 있다(Korea Water Resources Corporation, 2006).

따라서 공사 수행기간 또는 유지 관리기간 동안 정상적인 계측관리가 가능하도록 고장률(손망실율) 또는 여유분(Redundancy)을 산정하여 건설공사 표준품셈에서 재료에 대한 할증률 개념으로 활용이 된다면 건설계측으로 인한 이해당사자 사이의 분쟁이 상당부분 해소되고 원활한 계측관리가 수행될 수 있다(Woo, 2018b).

건설 계측 및 계측업의 현황 분석과 발전 방안 연구(Woo, 2010)에서 설문조사로 분석한 건설 계측센서 초기 인수 시 검정 실시 여부, 건설 계측센서에 대한 검정 주기, 건설 계측센서에 대한 검정 수행기관, 건설 계측센서 검·교정 대행기관에 대한 분석 결과는 Figs. 1~4와 같다.

건설 계측센서 초기 인수시 검정(Calibration) 실시여부는 Fig. 1과 같이 37%만 검정을 실시하고 63%는 검정을 실시하지 않는 것으로 조사되었다. 건설 계측센서는 정확한 측정을 위해 사용 전에 검정을 받고 사용 중에는 기계오차에 대하여 주기적인 교정이 필수적이거나, 대부분의 국내 계측기기는 계량 및 측정에 관한 법률 시행규칙(검정의 생략 등) 내용 중 새로 개발된 계량기로서 그에 대한 검정 설비가 구비되어 있지 않은 계량기이거나, 검정에 특수한 설비를 필요로 하는 계량기에 해당되어 검교정 대상도 아니며, 국가표준 및 검인증 기준이 없어 국가공인기관에서의 검교정이 어려운 실정이며, 이로 인해 계측업체에서 자체적인 기준에 의해 검교정을 실시하고 있으나 설문조사 내용과 같이 63%는 검정을 실시하지 않는 것으로 조사되어 이에 대한 개선책이 필요한 것으로 판단된다.

건설 계측센서에 대한 검정 주기는 Fig. 2와 같이 1년 미만인 18%, 1년에서 2년이 64%, 2년에서 3년이 18%로 조사되었다.

건설 계측센서에 대한 검정 수행기관은 Fig. 3과 같이 외부 검정기관이 39%, 계측기 제조사 29%, 기타 21%, 계측기 설치업체에서 자체실시가 11%로 조사되었다.

건설 계측센서 검·교정 대행기관은 Fig. 4와 같이 국가공인기관이 44%, 계측사별 등록신청 및 인허가 38%, ISO인증 13%로 조사되었다.

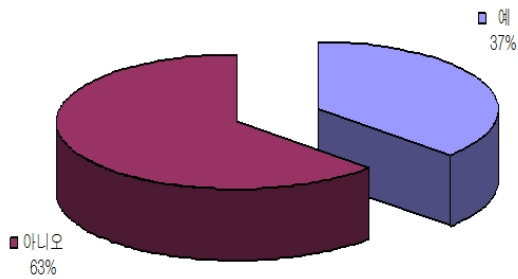


Fig. 1. The calibration of monitoring sensor in the early acquisition

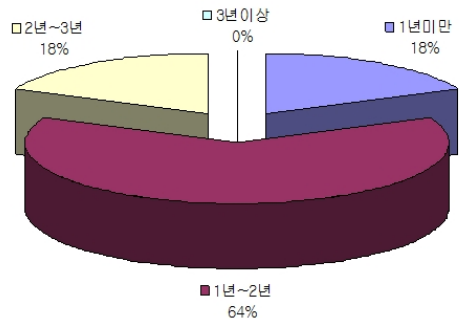


Fig. 2. The calibration period of monitoring sensor

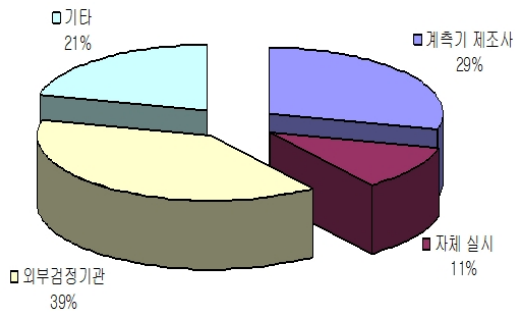


Fig. 3. The calibration testing institution of monitoring sensor

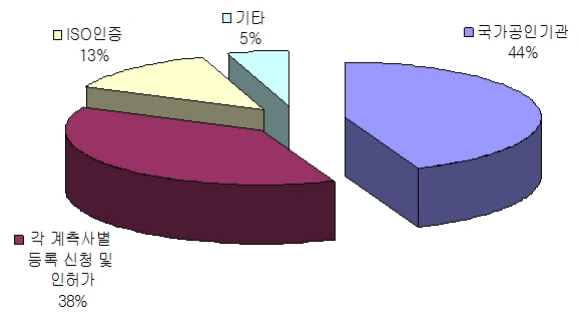


Fig. 4. The calibration & inspection agency of monitoring sensor

건설분야에서 계측센서의 내구연한 개선방안

1) 일반적인 건설 계측센서의 개선방안

- (1) 계측기종의 선정은 계측기의 현장적용성, 정확성, 정밀도, 내구연한 등을 종합적으로 고려해야 하며, 특히 매립식 계측센서인 경우 충분한 내구연한이 보장되어야 하므로 유사 현장조건에 기 적용한 실적이 있는 계측기종을 선정하는 것이 바람직하다.
- (2) 적절한 유지관리 계측을 수행하기 위해서는 장기적인 계측센서의 고장율을 고려하여 완전 방수형 진동현식 및 기계식 계측센서를 병용 설치하는 것이 바람직하며, 장기간의 정상적인 계측센서 유지를 위하여 온도, 습도, 진동, 먼지 등에 대한 내구성을 고려한 계측센서 선정 및 유지관리가 용이한 자동화 계측시스템으로 구성되어야 한다.
- (3) 현재의 터널 등 지반 계측항목은 주로 콘크리트라이닝의 변형여부 위주의 계측이므로 앞으로는 변형과 원지반의 외압변화를 동시에 측정하여 터널내부 또는 외부의 환경조건과 하중조건에 따른 응력분배의 변화와 지보기능을 검증하는 실제적 연구가 필요하다.
- (4) 일반적으로 계측센서는 계측목적에 부합되는 기능과 정도를 갖는 것으로 선정하는 것이 중요하며, 계측센서는 복잡한 것보다는 간단한 것, 전기식보다는 기계식, 가동부분이 많은 것보다는 적은 것이 유리하다.
- (5) 계측센서 자체에 이상이 있으면 측정과 결과분석을 아무리 잘해도 정확한 결과를 얻을 수 없으므로 기기의 보정과 유지관리가 중요하다.
- (6) 계측센서 일부의 손망실로 전체 계측센서가 무용지물이 되지 않도록 기기의 이상과 고장을 항상 고려하여 중요한 위치에는 필요한 계측센서의 수량 외에 항상 여유분(Redundancy)이 설치되도록 하여야 한다.

2) 건설 계측센서 선정시 개선방안

- (1) 계측센서의 정도, 계측범위 및 신뢰도가 계측목적에 부합하여야 한다.
- (2) 대상 터널 길이가 긴 경우는 가능한 자동화 계측을 고려하여 계획한다.
- (3) 장기계측이 가능하도록 내구성이 좋은 계측센서를 선정한다.
- (4) 온도, 습도 등의 제반영향 인자에 대해 자체 보정이 되거나 보정이 간단한 장비를 선정한다.
- (5) 측정치에 대한 계산과정이나 분석절차가 간단하고 중앙통제방식 적용이 가능한 시스템으로 계획한다.
- (6) 측정치의 자체검증이 가능하여야 한다.
- (7) 계측센서와 터미널간의 연결관 또는 케이블이 물리적 화학적 작용에 충분히 견딜 수 있어야 한다.
- (8) 지상부 터미널의 기후변화나 물리적 피해에 견딜 수 있어야 한다.

3) 건설 계측센서의 승인 및 검수

- (1) 건설 계측시스템 설치자는 계측시스템 상세 설치 계획서와 함께 사용될 계측센서, 계측장비 및 부속자재 등이 계측의 목적에 부합되도록 다음 사항을 포함하여 제출하고 승인을 얻어야 한다.
 - ① 작동 이론: 계측기기의 목적, 계측기기의 기본 측정 원리, 기본적인 계측원리를 설명하기 위한 도해 및 도면, 시스템의 측정 범위, 설치 요령
 - ② 설치 순서: 계측기의 설치 순서에 대한 상세 설명 자료, 설치시 유의 사항
 - ③ 작동 및 측정 순서: 측정 준비 및 측정 개시를 위한 세부적인 순서, 사용자 및 장비에 관련된 주의사항, 계측 설치 후 초 기치를 얻는 방법 및 순서, 초기치 이후의 계측치를 얻는 순서, 측정치에 대한 원인 및 영향 분석에 사용될 수 있는 사항
 - ④ 보수 및 유지관리: 계측기기 및 시스템의 유지관리에 관한 일반 및 세부사항, 필요시 건전지 교체시기에 관한 사항, 유지관리시 현장 점검사항, 소모품을 포함한 예비 부품의 목록, 무상보수관련 대표자의 성명, 주소, 전화번호 등, 계측기기 보정 시기 및 방법
 - ⑤ 계측시스템 운영요원에 관한 교육
 - ⑥ 부품별 교체 시기
- (2) 계측시스템 검수를 위하여 다음 사항을 서류로 제출하여야 한다.
 - ① 제작자 증명원
 - ② 공급자 증명원
 - ③ 제작자의 품질증명서
 - ④ 검교정 성과서(시험성적서): 공인인증기관(예: KOLAS 인증기관)으로부터 검교정을 실시한 제조사의 측정 장비를 활용하여 검교정을 실시한 성적서(Calibration sheet)로 대체
 - ⑤ 사용자 설명서 및 유지관리 매뉴얼
 - ⑥ 부속품 리스트
 - ⑦ 계측기에 대한 시험성적서는 검교정 장비에 의한 결과를 제출하여야 하며, 필요시 계측기 표본을 추출하여 공인 인증 기관(예, 한국산업기술시험원 등)에 의뢰하여 성적서 제출

4) 건설 계측센서의 검사 및 시험

(1) 건설 계측시스템에 사용되는 계측센서, 계측장비, 부속자재 등은 계측담당 건설사업관리기술자의 검사 및 시험을 거쳐야 한다.

① 현장에서 인도시 규격 및 성능 검사

② 현장에서 조립완성 후 시험운영 실시 및 계측시험의 정확도 입증 시험

(2) 현재 계측기기에 대한 검사 및 시험은 주로 제조회사 자체 검사 및 시험으로 이루어지고 있으므로 자체 검사시 정밀도, 정확도, 내구성을 위주로 검사 및 시험을 실시하여야 한다. 그리고 계측기기의 시험 및 검사에 대한 체크리스트 원본은 각 계측기기와 함께 제출하여야 한다.

(3) 건설 계측시스템 설치자는 계측시스템 운영 중에 수행될 정기적인 검교정 방법, 순서 및 주기 등에 관한 사항을 제출하여야 하며, 필요시 각 계측기기의 기종별 검교정 시연을 실시하여야 한다. 또한 계측시스템 운영 중 유지관리 기관의 요청이 있을 때는 계측시스템 설치자는 직접 검교정을 수행하여야 한다. 단, 검교정에 필요한 비용은 운영주체에서 부담하여야 한다.

5) 건설 계측센서의 검정과 교정

건설 계측센서는 정확한 측정을 위해 사용 전에는 반드시 검정을 받고, 사용 중에는 기계오차에 대비하여 주기적인 교정을 받아야 한다. 계측센서에 대한 검교정 항목은 정밀도, 정확도, 내구성 등을 위주로 시험을 실시하여야 한다.

6) 매립식 계측센서의 개선방안

(1) 계측센서 제작사의 검정표를 입수하여 사전에 상수값 및 초기값을 파악한다.

(2) 정확도, 정밀도, 내구성 위주의 검정과 교정실시 및 계측전문기술자에 의한 계측기 설치를 의무화한다.

(3) 최초 설치 후 수차례 반복 측정으로 정확한 초기치를 확정하여야 한다.

(4) 계측기별 접지(Earth end) 또는 차폐(Shielding)를 실시하여야 한다.

(5) 계측센서는 정확한 측정을 위해 사용 전에 검정을 받고 사용 중에는 기계오차에 대하여 주기적인 교정을 받아야 한다.

7) 건설 계측센서의 손망실을 최소화 방안

(1) 설계단계

① 계측 공사비 절감을 위한 저사양의 계측기 반영 금지

② 내구성능이 뛰어난 반영구적인 광섬유센서 방식 적용 검토

③ 표면 부착식 계측기는 청소 등에 의한 손망실 가능성이 있어 설치를 최소화하도록 계획

④ 계측기 손망실에 대비하여 여유 계측기 수량을 반영

(2) 시공단계

① 계측기 현장 반입시 공인인증기관 성적서 증빙 및 검수항목 강화

② 계측기 손망실을 대비한 여유센서 추가 설치

- ③ 시공 중 철저한 케이블 및 계측기 보호를 통한 위험요소 최소화
- ④ 표면 부착식 센서 설치시 보호커버 시공 필수적용

(3) 운영단계

- ① 일정한 점검 주기를 통한 계측기 및 시스템 상태 점검 실시
- ② 점검 결과에 따른 보완 조치사항을 즉각 시행
- ③ 전문가 자문결과 반영을 통한 정상적인 계측기의 신뢰성 제고
- ④ 운영 중 시설관리담당자와 계측사 담당자간의 유기적인 업무 협조

(4) 하자보수 기간 및 책임 범위

- ① 시공중 계측기의 하자보수 기간은 설치 후 3년 이내, 유지관리 계측기의 하자보수기간은 준공 후 최소 3년 이내로 관리 하도록 한다.
- ② 하자보수 기간내에서 발생하는 모든 하자에 대해서는 계측기 및 자동화 계측시스템을 구축한 업체에서 동일 위치에 재설치 또는 표면 노출형 계측기로 재설치하여야 한다.

8) 건설 계측업체의 개선방안

- (1) 현재의 계측분야는 건설기술진흥법, 건설산업기본법, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법, 엔지니어링기술진흥법 등 관련 법규에 건설계측전문업의 설립요건이나 자격기준이 없어 누구나 회사를 설립하여 영업활동을 할 수 있다. 그러므로 무분별한 영세업체 난립으로 저가의 하도급이 성행하고 이로 인한 불량계측기 설치 및 계측 무자격자에 의한 계측관리로 형식적인 계측이 수행되어 부실 계측이 우려되고 있다. 계측업무는 특수한 전문분야로 계측에 대한 전반적인 이해나 경험 없이는 계측센서의 설치, 관리, 데이터 처리, 분석 및 평가, 사후관리 등을 할 수 없기 때문에 계측기술자의 경험이 매우 중요하다.
- (2) 따라서 관계법규를 개정하여 일정수준의 기술인원, 자본금, 사무실, 계측장비를 갖춘 업체가 계측 전문업 또는 계측관리 전문업으로 등록하여 영업활동을 할 수 있도록 하는 법제화가 조속 시행되어야 한다.
- (3) 현재의 계측업체 선정은 시공자가 본사 기준이나 현장 자체 평가기준으로 선정하고 있으나 주로 계약금액이 가장 낮은 계측업체가 선정되는 경우가 많다. 이로 인해 계측업체와 시공사간에는 종속관계가 형성되어 실질적인 계측업무 보다는 형식적인 계측관리가 되고 있는 실정이다.
- (4) 외국에서는 계측을 담당하는 업체의 위치가 준 감독기관으로 감리단과 시공사보다는 상위에서 시공의 안전성을 위협 받는 상황 발생시 시공자에게 직접 공사중단 명령도 내릴 수 있는 독립적인 권한을 받아 독자적인 업무를 수행할 수 있는 체제로 운영되고 있다.
- (5) 계측업무는 특성상 계측기 설치나 측정 및 유지관리 시 시공사의 지원과 협조가 필수적이므로 시공사의 도움 없이는 원활한 계측업무 수행이 불가능하며, 계측관리를 통해 설계의 변경 또는 기술자문 등으로 공사비에 영향을 미치므로 현재와 같이 시공사에 종속이 되는 체제에서는 독자적이고 내실 있는 계측관리가 어렵다고 판단된다.
- (6) 따라서 건설사업관리용역에 계측용역을 포함하여 발주하는 방안과 발주처에서 계측업체를 직접 선정하여 계측관리 하는 방안을 검토하여 효과적인 계측관리가 되도록 발주방법의 개선이 필요하다.

전기전자분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안 연구

전기전자분야에서 계측센서의 단기적 내구연한 저하원인 및 개선방안

1) 설치 중 취급 부주의

설치를 담당하는 기술자의 숙련도에 따라서 차이가 있으나, 전자식 계측센서의 경우 설치 및 고정과 도선 연결, 도선의 고정 등이 계측기의 수명을 좌우하는 중요한 요소가 되며, 특히 설치 위치 선정에 있어서 시공 상 누수나 습기가 많은 현장에 설치되는 경우 도선의 고정이 미숙하여 계측기에 물리적 힘이 가해지는 상황이 된다면 계측기가 쉽게 고장이 날 수 있다.

2) 센서 패키지 및 실링 불량

대부분의 계측센서는 제품의 종류나 품질 차이에 의해 고장이 날 확률 편차가 크며, 특히 실링이 잘 되지 않아 수분이 스며 들 수 있는 경우나 부식이 잘 되는 재질을 사용했을 경우에는 부식에 의해 기준 수명에 비해 짧은 시간 내에 고장이 날 확률이 커지게 된다.

3) 응력 집중부위 단선

계측센서 설치시 응력이 집중되는 부위가 발생하지 않도록 하여야 하며, 응력 집중부위가 발생하면 그 응력에 의해서 파괴가 일어날 수 있지만 응력이 걸리는 부위에 응력부식이 발생할 수도 있어서 특히 주의해야 한다. 진동현식 계측센서의 경우는 압축을 측정하기 위해 진동현에 프리스트레인을 주게 되는데 응력에 의한 부식이 발생할 수 있으므로 수명 예측 시 이를 감안하여야 한다(KWRC and Kim, 2008).

4) 낙뢰에 의한 손상

낙뢰에 의하여 한꺼번에 많은 전류가 흐를 경우 저항이 큰 납땜부위나 전극 접촉부위에서 많은 열이 발생하여 계측 센서에 단락이 발생하게 된다. 이 낙뢰의 확률을 줄이기 위하여 근처의 높은 부위에 피뢰침을 설치하고 낙뢰 시 전류를 다른 쪽으로 흐를 수 있도록 보호회로를 설치할 필요가 있다.

5) 부식에 의한 센서의 손상

부식에 의한 손상은 다른 원인에 비해 장기간 사용 후에 나타나게 되는데 계측센서는 광섬유센서를 제외하고는 대부분이 금속재질로 만들어 납땜에 의하여 구리로 된 도선으로 연결되거나, 금속이 아니더라도 전자의 이동을 위해 금속으로 된 전극을 형성하고 구리도선을 납땜하여 연결하는 구조로 되어 있다. 이와 같이 서로 다른 종류의 금속의 접합은 쉽게 부식이 되는 경향이 있으며, 특히 전해질 또는 수분이 있을 경우 전지를 형성하여 더 쉽게 부식이 된다.

댐 구조물 주변은 실내와 달리 주변에 수분이 많고 직사광선에 의해 온도차이가 심하며, 토양으로부터 각종 이온이 쉽게 수분에 용해될 수 있는 조건을 가지고 있어 다른 현장에 비해 부식되기 좋은 조건에 있다.

전기전자분야에서 계측센서의 장기적 내구연한 저하원인 및 개선방안

금속에서의 부식은 표면의 원자가 그 결정격자에서 이탈하여 환경성분과 화학반응하는 것이다. 그러므로 금속이 부식하기 위해서는 결정격자에서 원자가 이탈하여야 하고 원자가 이탈되기 위해 그 결합력인 가전자를 먼저 탈출 시켜야 하는데 이 전자의 탈출의 구동력을 부여하기 위해서 전위차가 존재하게 된다. 따라서 부식이 일어나게 되면 전위차가 발생하고 이에 따라 전지가 형성되어 전류가 흐르게 되는데 이를 부식 전류라 한다. 부식은 항상 전지의 형성과 관계가 있으며, 특히 두 개 이

상의 금속이 접촉되는 경우 쉽게 전지가 형성되어 부식이 촉진되게 된다. 부식의 진행속도는 전지의 형성 및 그 성능과 밀접한 관계가 있으며, 전지의 형성이 쉬운 환경이 될수록 부식의 속도가 빠르게 된다.

1) 농담전지(濃淡電池, Concentration cell)의 형성

철의 표면에 일단 녹이 형성이 되면 녹과 수분 그리고 공기 중 통기차에 의하여 농담전지가 형성이 된다. 따라서 처음에 녹이 슬 때까지는 어느 정도 시간이 필요하다가 일단 녹이 슬기 시작하면 부식이 가속되어 계측기기의 기능저하가 발생하게 된다. 이 통기차 전지는 많은 양의 수분이 존재하고 그 수분에 토양으로부터 용해된 전해질이 존재할 때는 더욱 가속화되어 수분의 하부에 있는 부분에서 철이 이온상태가 되어 용출이 되고 빠른 시간 내에 센서의 기능이 저하되게 된다. 이런 상황은 흠속에 매립되어 있는 계측센서에서 쉽게 나타날 수 있는데 수분의 함량변화와 흠의 성분에 따른 전해질의 용출 등에 따라 통기차 전지의 기전력 발생의 변화가 생기고 금속으로 된 계측기기의 부식 속도가 영향을 받게 된다.

2) 간극부식 및 공식의 발생과 성장

철의 표면에는 보통 산화피막이 형성되어 있고 이 피막은 부식을 방지하는 역할을 한다. 그러나 산화피막의 개재물이나 석출물이 있는 부위에서 부식이 일어나기 시작하고 산화피막 밑의 작은 틈으로 부식되어 들어가기 시작하는데 이를 간극부식이라 한다. 이후 국부적으로 빠르게 부식이 진행이 되어 특정부분이 깊이 파이게 되는데 이를 공식이라고 한다. 이러한 공식은 할로젠이나 할로젠을 함유하는 음이온에 의해서 일어나는 것으로 알려져 있다. 이러한 공식이 일어나면 계측센서의 강성이 달라지고 변형의 양상이 달라져 측정치가 이상거동을 하게 된다.

3) 응력부식

금속에 응력이 존재하면 결정격자를 변형시켜서 원자가 가지고 있는 자유에너지를 크게 하므로 응력을 받고 있는 금속은 응력을 받고 있지 않은 금속보다 전위가 낮아진다. 따라서 응력을 받는 부위와 받지 않는 부위에서 전위차가 발생하고 이는 부식전지와 유사한 역할을 하여 부식을 촉진시킨다. 특히 진동현식 계측센서의 경우는 압축을 측정하기 위해 진동현에 프리스트레인을 가할 수밖에 없는데 응력에 의한 부식이 발생할 수 있으므로 수명 예측시 이를 감안하여야 한다.

결론

본 논문은 건설 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안에 관한 연구로 도심지 지하철 흠막이공사 및 터널공사와 하천 및 댐 구조물 등의 건설분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인 및 개선방안을 검토하였으며, 건설분야 계측센서의 내구연한 저하원인에 대해 전기전자분야에서 계측센서의 단기적 및 장기적인 내구연한 저하원인 및 개선방안을 검토하여 제시한 연구결과는 다음과 같다.

1. 내구연한은 내용연수와 거의 같은 개념이며, 토목용어사전을 중심으로 건설 계측센서의 내구연한을 정의하면 구조물에 설치된 계측센서가 본래의 기능을 유지할 수 있는 기간으로 정의할 수 있으며, 실험용으로 실내에 설치되거나, 설치되지 않고 제품으로서의 계측센서 내구연한과는 차이가 많을 것으로 판단된다.
2. 발주기관별 건설 계측센서의 내구연한 기준을 분석한 결과 계측센서를 포함한 계측시스템의 내구연한은 최소 3년 이상으로 하며, 이 기간을 최종 설치 준공일로부터 가산하면 장기 계속공사인 경우 차수별 공사 준공기간이 약 2~4년이 소요되므로 최종 내구연한은 5~7년 정도는 되어야 할 것으로 판단된다.
3. 하자담보책임기간동안 필요한 예비품과 고장수리부품, 소모품, 고장수리비용은 계측시스템 설치자 부담으로 하며, 이 기간 중 수리가 불가능한 물품의 경우 유지관리기관의 승인을 얻어 동등이상의 제품으로 교체하여야 한다.

4. 건설분야에서 계측센서의 내구연한 저하원인과 관련된 설문조사 내용 중 건설 계측센서 초기 인수 시 검정실시 여부, 건설 계측센서에 대한 검정 주기, 건설 계측센서에 대한 검정 수행기관, 건설 계측센서 검·교정 대행기관에 대한 분석 결과를 바탕으로 개선방안으로 계측센서 선정 시, 승인 및 검수, 검사 및 시험, 검정 및 교정, 계측업체의 개선 등의 방안을 상세히 제시하였다.
5. 전기전자분야에서 건설 계측센서의 단기적인 내구연한 저하원인 및 개선방안은 설치 중 취급부주의, 센서패키지 및 실링불량, 응력집중부위 단선, 낙뢰에 의한 손상, 부식에 의한 센서의 손상을 제시하였으며, 장기적인 내구연한 저하원인 및 개선방안은 농담전지의 형성, 간극부식 및 공식의 발생과 성장, 응력부식을 상세히 제시하였다.

Acknowledgement

이 논문은 2018년 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 이공학 개인기초연구(기본)지원사업(과제번호 2017R1D1A1B03028842)으로 “건설 및 터널 계측센서의 최적 내구연한 연구”의 일부 내용이며, 이에 감사를 드립니다.

References

- [1] Korea Water Resources Corporation (2006), A study on the improvement of instrumentation programs for fill dams, pp. 245-252.
- [2] Korea Water Resources Corporation (KWRC) and Kim, K.S. (2008), Improving the durability and training methods of dam instrumentation, pp. 25-40.
- [3] Nam, S.S. (2000). “Case studies on the damage ratio of monitoring sensor.” Proceedings of the Korean Geotechnical Society Spring Conference at Information Technical Committee, Vol. 1, No. 1, pp. 5-10.
- [4] Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters (2015). Improvement plan of Seoul subway monitoring management, pp. 70-80.
- [5] Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation (2002). Seoul subway maintenance monitoring, pp. 234-236.
- [6] Woo, J.T. (2010), “A study of the present state analysis and development plans about construction monitoring and monitoring industry.” Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 30, No. 2D, pp.163-169.
- [7] Woo, J.T. (2013), “A study on estimation of the total loss and damage ratio of maintenance monitoring sensor of subway tunnel.” Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 15, No. 1, pp. 25-31.
- [8] Woo, J.T. (2017). “A study on behavior of the earth retaining structure by field measurement and numerical analysis.” Journal of Korea Society of Disaster Information, Vol. 13, No. 3, pp. 286-295.
- [9] Woo, J.T. (2018a). “A study on the regulation of durability standard of underground structures monitoring sensors.” Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 20, No. 1, pp. 73-81.
- [10] Woo, J.T. (2018b). “A study on the loss and damage ratio of railroad tunnel maintenance monitoring sensor.” Journal of Korea Society of Disaster Information, Vol. 14, No. 3, pp. 262-270.
- [11] Woo, J.T., Lee, K.I. (2012). “A study on establishment of measurement and analysis frequency of maintenance monitoring in tunnel.” Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 14, No. 2, pp. 117-129.
- [12] Woo, J.T., Lee, R.C. (2008). Construction monitoring engineering, Goomi Publishing Co., pp. 15-25.