

지하구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 규정 분석 연구

우종태

정회원, 경북대학교 건설환경디자인학과 교수

A study on the regulation of durability standard of underground structures monitoring sensors

Jong-Tae Woo

Professor, Dept. of Construction and Environmental Design, Kyungbuk University

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

Abstract

The purpose of this study is to research the regulation of durability standard of underground structures monitoring sensors. The durability criteria for construction monitoring sensors of domestic construction companies, the standard years of contents such as buildings on the income tax implementation regulations, and the standards of the Public Procurement Service for construction monitoring and construction machinery were analyzed. The durability criterion on products such as the inclination meter and the strain gauge, which are purchased from the Public Procurement Service prior to installation on the underground structure, is 8 to 10 years. It is considered that the monitoring sensor installed in the paperboard and the concrete structure at the time of construction will have considerably shortened service life rather than the useful life of the product itself due to various adverse factors such as groundwater influence and compaction.

Keywords: Underground structures monitoring sensor, Period of durability, Service life, Strain gauge

초 록

본 논문은 지하구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 규정 분석 연구로 국내 건설공사 발주기관의 건설 계측센서에 대한 내구연한 기준을 조사 분석하고, 법인세 시행규칙에서 건축물 등의 기준 내용연수 및 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준을 분석하였다. 지하구조물에 설치되기 전 조달청에서 물품 자체로 구매하는 경사계와 변형률계 등의 내구연한 기준은 8년에서 10년을 제시하고 있으나, 건설공사 시 원 지반 및 콘크리트 구조물 내에 설치된 계측센서는 지하수 영향 및 다짐 등 여러 가지 불리한

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
20(1)73-81(2018)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2018.20.1.073>

eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

Received November 28, 2017

Revised December 21, 2017

Accepted January 2, 2018



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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2018, Korean Tunnelling and Underground Space Association

요인으로 물품 자체의 내용연수보다는 상당 기간 단축될 것으로 판단된다.

주요어: 지하구조물 계측센서, 내구연한, 내용연수, 변형률계

1. 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.

유지관리계측은 완공된 구조물에 대하여 공용 중에 지속적으로 구조물의 안전성 확인과 최적의 유지관리가 되도록 객관적이고 연속적인 공학적 판단자료를 제공하여 효율적이고 경제적인 구조물 유지관리에 기여하는 것을 목적으로 수행되고 있다(Woo and Lee, 2012).

건설계측에서 센서(Sensor) 또는 게이지(Gauge)란 대상의 상태에 관한 측정량을 신호로 변화하는 계의 최초의 요소로서 계측기기(Measurement hardware)에 포함되며, 계측기기는 재료의 감지소자에 의해 물리적 에너지를 전기 또는 빛 에너지로 변환하여 자료의 정보처리가 되도록 하는 센서 및 게이지 등을 총괄하는 용어를 말하며, 계측시스템은 계측 자료 획득시스템과 계측자료 전송시스템을 포함하여 계측에 필요한 모든 장치 및 운용시스템을 말한다(Woo and Lee, 2014).

본 연구의 계측센서는 건설 구조물에 일반적으로 사용하고 있는 응력 및 변형 역학 센서인 스트레인게이지 센서, 진동형식 센서, 광섬유 센서 등이며, 계측항목 대상 구조물은 주로 지하구조물(개착터널, 굴착터널 등)에 설치되는 토압계, 간극수압계, 콘크리트응력계, 철근응력계, 세그먼트응력계, 광섬유 센서 등이다.

2000년도 이전까지 건설 계측센서에 대한 무상보증기간은 전기 및 전자제품의 관리규정과 같이 1년을 유효기간으로 하고 있으나, 현재는 전기전자분야의 기술수준 향상으로 무상보증기간도 장기화되는 추세이다. 이 기간 중에 발생하는 계측센서 자체의 결함사항에 대해서는 무상으로 교환 또는 보수해주는 기간을 의미하며, 계측센서의 내구연한이 1년이라는 의미는 아니다.

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 계측센서는 일반 가전제품과 달리 열악한 현장조건에 정밀 계측기기가 설치되므로 센서의 충격 및 단선 등으로 부분적인 내구성 저하 또는 일부 계기에 손망실이 발생할 수 있다. 그러므로 매립식 계측기의 경우 손망실율을 감안하여 계측분석에 문제가 없도록 충분한 수량으로 계측 계획을 수립해야 한다(Woo, 2013).

계측센서의 내구연한은 내구연한 동안의 정상 작동율인 생존율-손망실율로 표현되며, 이는 계측센서의 성능과 내구성, 설치기술자의 기술정도, 철근배근, 거푸집설치, 콘크리트타설, 거푸집 제거 등의 후속공정에 대한 철저한 관리여부, 유지관리 기술수준과 투자비에 따라 큰 차이를 보이고 있다(Nam, 2000).

본 논문은 지하구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 규정 분석 연구로 국내 건설공사 발주 기관의 건설계측센서에 대한 내구연한 기준을 조사 분석하고, 법인제 시행규칙에서 건축물 등의 기준 내용연수 및 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준을 분석하여 합리적인 건설 계측센서의 내구연한 기준 설정으로 건설 계측기술 향상에 기여하고자 한다.

2. 건설 계측센서의 내구연한 기준 분석

2.1 특수교량 및 고속철도 구조물의 기준

건설 계측센서의 내구연한 기준은 1997년 한국도로공사에서 특수교량의 계측시스템 구축과 시공방법 개발연구에 의하면 매립식 계측기기의 경우는 반영구적으로 30년, 부착식 및 노출형 계측기기인 경우 10년, 계측시스템은 3년의 내구연한이 보증되도록 연구된바 있으며(Korea Expressway Corporation, 1997), 1999년 한국고속철도건설공단의 경부고속철도 시험선구간 안전계측설비 구축기준에서는 계측시스템의 내구연한인 무상보증기간을 최종설치 준공일로부터 최소 3년으로 적용한 사례가 있다(Korea Train Express, 1999).

2.2 서울지하철 구조물의 기준

2002년 2월 서울특별시 지하철건설본부에서 서울지하철 6,7호선 유지관리 계측시스템 설치 및 분석 용역 시 유지관리 계측시스템의 무상보증기간을 최종설치 준공일로부터 최소 5년으로 적용한 예가 있고, 2002년 9월 서울지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서(안)의 변형률계 센서의 내구 연한은 3년 이상, 장기계측의 경우 통상적으로 2~10년 정도는 정상적인 기능을 유지해야 하는 것으로 제시된바 있다(Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation, 2002).

1995년 유지관리 계측기기에 대한 무상하자보증기간은 서울지하철 5호선 여의도와 마포간 한강하저터널의 경우 토목구조물에 준해 하자담보책임기간을 10년으로 적용하였으나, 유지관리 기간 중 계측기기의 손망실에

대해 계측기기 설치업체와 토목구조물 시공업체 및 유지관리계측 측정 업체 간의 의견 차이로 분쟁이 발생되었고 특히 외부충격으로 인한 손상실인 경우 책임한계가 불분명한 경우가 많이 발생되었다(Woo, 2006).

2008년 터널표준시방서 개정 시 준공 후 계측시스템의 하자보수기간은 공동주택 관리령(대통령령 제18044호 제16조 사업주체의 하자보수 별표7)에서 국내공동주택 전자장치들의 하자보수 기간 2년 이후에도 정상적으로 작동할 수 있도록 터널 관리주체가 계측시스템을 유지보수 하도록 되어 있다(Woo, 2017).

2010년 건설계측 및 계측업의 현황분석과 발전방안 연구(Woo, 2010)에서는 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 하자보수기간내 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. 하자보수 기간내에 발생하는 모든 하자에 대해서는 계측기 및 자동화 계측시스템을 구축한 업체 또는 기관에서 동일 위치에 재설치 또는 표면 노출형 계측기로 재설치 하여야 한다.

2017년 건설계측의 이론과 실무의 지하 건설시설물편(Woo and Lee, 2017) 터널의 유지관리 계측 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 건설계측기기를 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 판단된다.
2. 하자담보책임기간동안 필요한 예비품과 고장수리부품, 소모품, 고장수리비용은 계측시스템 설치자 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.

3. 건설 구조물의 하자담보책임기간과 내용연수 기준 분석

3.1 건설 구조물의 하자담보책임기간 기준 분석

일반적으로 건설공사에서 하자담보의 의의와 하자담보책임기간의 내용은 다음과 같다.

3.1.1 의의

건설공사의 하자란 공사목적물이 설계서에 정한대로 시공되지 아니함으로써 목적물의 사용가치 또는 교환가치를 감소시키는 품질·성능상의 결함을 말한다. 수급인은 완공일로부터 일정기간내에 발생한 하자를 보수할 책임을 지며, 이 책임은 공사도급계약의 유사성에 기인한 법적책임이다.

3.1.2 하자담보책임기간

수급인은 발주자에 대하여 도급받은 건설공사의 다음 목적물인 경우에는 완공일로부터 다음 기간의 범위내에서 공사의 종류별로 대통령령이 정하는 기간내 발생한 하자에 대하여 담보책임을 진다(법 제28조제1항, 개정 2015.8.11).

1. 건설공사의 목적물이 벽돌쌓기식구조, 철근콘크리트구조, 철골구조, 철골철근콘크리트구조, 그 밖에 이와 유사한 구조로 된 것인 경우: 건설공사의 완공일과 목적물의 관리·사용을 개시한 날 중에서 먼저 도래한 날로부터 10년
2. 제1호 이외의 구조로 된 것인 경우: 건설공사 완공일과 목적물의 관리·사용을 개시한 날 중에서 먼저 도래한 날로부터 5년
3. 2 이상의 공종이 복합된 공사의 하자담보책임기간은 하자책임을 구분할 수 없는 경우를 제외하고는 각각의 세부공종별 하자담보책임기간으로 한다(영 제30조 별표 4 참조, 2016.02.11).

건설산업기본법시행령 제30조 관련 건설공사의 종류별 하자담보책임기간(개정 2016.02.11.)에서 댐 구조물은 본체 및 여수로 부분은 10년, 그 외 부분은 5년이며, 터널 구조물은 터널(지하철을 포함)의 철근콘크리트 또는 철골구조부는 10년, 그 외의 공종은 5년이다.

따라서 건설 구조물의 하자담보책임기간 기준을 분석한 결과 건설 계측센서 설치 및 관리비가 대부분 토목공사비 내역에 포함되어 있고, 변형률계 등의 일부 계측센서가 철근콘크리트 구조물 내에 매립되어 설치된다고 하여 계약상 목적 구조물과 동일하게 하자담보책임기간을 10년으로 규정하는 것은 불합리하므로 계측센서의 내구연한에 대한 합리적인 연구와 적용이 필요한 것으로 판단된다.

3.2 건설 구조물 및 건설 계측센서의 내용연수 기준 분석

건설 구조물의 내구성(耐久性, Durability)은 안전한 상태에서 본래의 기능을 오래토록 발휘하는 능력을 의미하며, 이는 구조물이 설계조건하에서 시간경과에 따른 열화가 적고, 소요의 사용기간 중 요구되는 성능의 수준으로 지속시킬 수 있는 성질을 말한다(Ji and Woo, 2017).

건설 구조물의 내용연수(耐用年數, Period of durability, service life)는 토목용어사전에서 구조물이 사용에 견디는 연수로 기계적 내용연수, 물리적 내용연수와 사회적 내용연수, 경제적 내용연수의 개념으로 나누어 고려하며, 고정자산의 평가 또는 상각의 평가 시에 사용한다.

부동산용어사전에서 기능내용연수(機能耐用年數)는 건물이 기능을 유지하면서 버틸 수 있는 내구연한을 말하며, 법정내용연수(法定耐用年數)는 고정자산이 경제적으로 사용될 수 있는 연한을 법률로 정한 것을 말한다(Bang, 2011). 고정내용연수를 객관적으로 정확히 책정하여 기간손익 계산을 한다는 것은 불가능한 것이며, 2016년 개정된 법인세 시행규칙 제 15조의 건축물 등의 기준 내용연수 및 내용연수 범위는 Table 1과 같다.

Table 1. Standard period of durability such as building and period of durability range

Division	Standard period of durability (Min.~Max.)	Structure or asset name
1	5 Year (4~6 year)	Vehicles and ports, tool, instrument, and fixings
2	12 Year (9~15 year)	Ships and aircraft
3	20 Year (15~25 year)	Concrete and block structure, soil and wooden structure
4	40 Year (30~50 year)	Reinforced structure, steel structure

Table 1에서 계측기기에 해당되는 공구 및 기구의 기준 내용연수는 5년으로 최소 4년에서 최대 6년이며, 콘크리트 구조물의 기준 내용연수는 20년, 철근콘크리트 구조물의 기준 내용연수는 40년으로 규정하고 있다.

한편, 건설기계에서 경제적 내용연수는 경제적 내용시간을 연간 표준가동시간으로 나눈 값을 말한다.

$$\text{경제적 내용연수} = \text{경제적 내용시간} / \text{연간 표준가동시간}$$

1. 경제적 내용시간은 잔존율이 취득가격의 10%가 되고, 경제적인 사용이 가능하다고 인정되는 운전시간을 말하며, 장비의 종류와 규격에 따라 다르지만 굴착기인 경우는 일반적으로 10,000시간 정도이다.
2. 잔존율은 경제적인 내용시간이 끝날 때의 기계 잔존가치의 취득가격에 대한 비율을 말하며, 0.1로 한다. 잔존가치 = 취득가격 × 0.1이다.
3. 연간 표준가동시간은 기계가 연간 운전되는데 가장 표준이라고 인정되는 시간을 말하며, 장비의 종류와 규격에 따라 다르지만 굴착기인 경우는 일반적으로 2,000시간 정도이다.
4. 경제적 내용연수 = 경제적 내용시간 / 연간 표준가동시간 = 10,000시간 / 2,000시간 = 5년이다.

따라서 건설공사 기계경비 산출 시 굴착 장비인 유압식 백호의 경우 경제적 내용연수는 5년으로 손료계수를 산정하고 있다(Woo et al., 2012).

한편, 물품관리법 제 16조의2 규정에 의한 2016년 조달청고시 제 2016-40호의 내용연수 고시현황에서 건설계측 및 건설기계의 물품관리 내용연수 기준은 Table 2와 같다.

Table 2. Standard period of durability for the management of goods for construction monitoring and machinery

Standard period of durability	Goods name
4 year	Cellphone, portable phones, tablet computers
5 year	Monitors for railway, desktop computers
6 year	Modem, computer server, notebook computer
7 year	Channel converter, communication service monitor
8 year	Inclinometer, level sensor and transmitter, seismograph, optical transceiver, excavator, dump truck, cargo truck
9 year	Accelerometer, three-dimensional measuring machine, pressure transmitter, general passenger car, mini bus
10 year	Strain gauge, load cell, speedometer, pressure regulator

Table 2는 건설공사 구조물에 설치되기 전 물품 자체의 구매에 따른 내용연수를 규정한 것으로 건설 계측센서인 경사계와 레벨센서 및 트랜스미터는 8년, 가속도계와 3차원측정기는 9년, 스트레인게이지와 로드셀은 10년이 물품관리 내용연수의 기준이다.

따라서 건설공사 시 원 지반 및 콘크리트 구조물 내에 설치되는 계측센서는 지하수 영향 및 다짐 등 여러 가지 불리한 요인으로 물품관리 내용연수보다는 상당기간 단축될 것으로 판단된다.

또한, Table 2에서 건설기계인 굴착기의 물품관리 내용연수 기준은 8년이나, 건설기계의 경제적 내용연수 산정에서는 5년으로 물품관리 내용연수와는 3년의 차이가 있다.

따라서, 지하구조물 계측센서의 적정 내구연한 기준은 5년에서 8년이 합리적인 것으로 판단되며, 추후 국내외 지하구조물에 적용된 각종 계측센서의 신뢰성 비교를 통한 실제적인 내구연한 분석과 유지관리계측 센서의 경과 연수에 대한 손망실율 등을 종합 검토한 분석적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문은 지하구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 규정 분석 연구로 국내 건설공사 발주기관의 건설 계측센서에 대한 내구연한 기준을 조사 분석하고, 법인제 시행규칙에서 건축물 등의 기준 내용연수 및 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준을 분석한 연구결과는 다음과 같다.

1. 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 정도 일 것으로 판단된다.
2. 건설 구조물의 하자담보책임기간 기준을 분석한 결과 건설 계측센서 설치 및 관리비가 대부분 토목공사비 내역에 포함되어 있고, 변형률계 등의 일부 계측센서가 철근콘크리트 구조물 내에 매립되어 설치된다고 하여 계약상 목적 구조물과 동일하게 하자담보책임기간을 10년으로 규정하는 것은 불합리하므로 계측센서의 내구연한에 대한 합리적인 연구와 적용이 필요한 것으로 판단된다.
3. 법인제 시행규칙에서 건축물 등의 기준 내용연수 및 내용연수 범위에서 계측기기에 해당되는 공구 및 기구의 기준 내용연수는 5년이며, 최소 4년에서 최대 6년으로 규정되어 있다.
4. 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준은 구조물에 설치되기 전 물품 자체의 구매에 따른 내용연수를 규정한 것으로 건설 계측센서인 경사계와 레벨센서 및 트랜스미터는 8년, 가속도계와 3차원측정기는 9년, 스트레인게이지와 로드셀은 10년이나, 건설공사 시 원 지반 및 콘크리트 구조물 내에 설치되는 계측센서는 지하수 영향 및 다짐 등 여러 가지 불리한 요인으로 물품 자체의 내용연수보다는 상당히 단축될 것으로 판단된다.
5. 따라서, 지하구조물 계측센서의 적정 내구연한 기준은 5년에서 8년이 합리적인 것으로 판단되며, 추후 국내외 지하구조물에 적용된 각종 계측센서의 신뢰성 비교를 통한 실제적인 내구연한 분석과 유지관리계측 센서의 경과연수에 대한 손망실율 등을 종합 검토한 분석적 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2017년 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. Bang, K.S. (2011), Real estate terms dictionary, Buyonsa, Seoul, pp. 315-316.
2. Ji, H.S., Woo, J.T. (2017), Reinforced concrete, Yeamonsa, Paju, pp. 261-263.
3. Korea Expressway Corporation (1997), Study on construction method of special bridge monitoring system, pp. 55-60.
4. Korea Train Express (1999). Criteria for establishing the safety measuring equipment for the Gyeongbu high speed rail test line, pp. 30-33.
5. 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.

6. Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters (2015), Improvement plan of Seoul subway monitoring management, pp. 70-80.
7. Seoul Metropolitan Rapid Transit Corporation (2002), Seoul subway maintenance monitoring, pp. 234-236.
8. Woo, J.T. (2006), Theory and practice of tunnel monitoring, Goomi, pp. 480-482.
9. Woo, J.T. (2010), "A study of the present state analysis and development plans about construction monitoring and monitoring industry", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 30, No. 2D, pp. 163-169.
10. 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.
11. Woo, J.T. (2017), "Theoretical study on the durability standard of construction monitoring sensors", Proceedings of the Korean Geotechnical Society Fall Conference, Vol. 2, No. 1, pp.168-169.
12. 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.
13. Woo, J.T., Lee, R.C. (2014), Theory and practice of construction monitoring-ground construction facilities, CIR, Seoul, pp. 34-36.
14. Woo, J.T., Lee, R.C. (2017), Theory and practice of construction monitoring-underground construction facilities, CIR, Seoul, pp. 92-94.
15. Woo, J.T., Park, J.H., Ji, H.S. (2012), The latest construction estimation, Kimoon dang, Seoul, pp. 72-73.