

지반구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 분석적 연구

An Analytical Study on the Durability Standard of Ground Structures Monitoring Sensors

우종태*

Jong-Tae Woo*

Professor, Department of Civil Engineering using Drone, Kyungbuk University, Namyangju, Republic of Korea

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

ABSTRACT

Purpose & Method: The purpose of this study is the theoretical study on the durability standard of ground structures monitoring sensors. A survey on the durability criteria for construction monitoring sensors of domestic construction companies and the income tax implementation regulations, the standard years of contents such as buildings and the standards of the Public Procurement Service for construction monitoring and construction machinery were analyzed. **Result:** The durability criterion such as the inclination meter and the strain gauge, which are purchased from the Public Procurement Service prior to installation on the ground structure, is 8 to 10 years. **Conclusion:** The actual durability analysis by comparing the reliability of various monitoring sensors installed in dams at home and abroad, As a result of comprehensive study on the loss and damage rate of the maintenance monitoring sensor installed in the tunnel, the proper durability period of the built-in type monitoring sensor such as domestic pore pressure meter and earth pressure meter installed in the structure or the ground is 5 to 8 years it seems reasonable.

Keywords: Ground Structures Monitoring Sensor, Period of Durability, Loss and Damage Ratio, Tunnel Maintenance Monitoring, Reliability Analysis

요약

연구목적 및 방법: 본 논문은 지반구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 분석적 연구로 국내 건설공사 발주기관의 건설 계측센서에 대한 내구연한 기준과 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준을 분석하였다. **연구결과:** 지반구조물에 설치되기 전 조달청에서 물품 자체로 구매하는 경사계와 변형률계 등의 내구연한 기준은 8년에서 10년을 제시하고 있다. **결론:** 국내외 댐에 설치된 각종 계측센서의 신뢰성 비교를 통한 실제적인 내구연한 분석과 터널에 설치된 유지관리 계측센서의 경과연수에 대한 손상실률 등을 종합 검토한 결과 구조물이나 지반에 설치된 국내 간극수압계 및 토압계 등의 매립식 계측센서의 적정 내구연한은 5년에서 8년이 합리적인 것으로 판단된다.

핵심용어: 지반구조물 계측센서, 내구연한, 손상실률, 터널 유지관리계측, 신뢰성분석

Received | 3 December, 2020

Revised | 15 March, 2021

Accepted | 15 March, 2021

 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

건설계측에서 센서(Sensor) 또는 게이지(Gauge)란 대상의 상태에 관한 측정량을 신호로 변화하는 계의 최초의 요소로서 계측기기(Measurement hardware)에 포함되며, 내구연한(耐久年限, Period of durability)은 토목용어사전에는 없으나, 국어사전에서는 원래의 상태대로 사용할 수 있는 기간(Life cycle, Lifetime)을 말한다.

내용연수(耐用年數, Period of durability, service life)는 토목용어사전에 기계나 구조물이 사용에 견디는 연수, 기계적 내용연수, 물리적 내용연수와 사회적 내용연수, 경제적 내용연수의 개념으로 나누어 고려한다고 정의 되어 있다. 따라서 내구연한은 내용연수와 거의 같은 개념으로 이해되며, 토목용어사전을 중심으로 건설 계측센서의 내구연한을 정의하면 구조물에 설치된 계측센서가 본래의 기능을 유지할 수 있는 기간으로 간단히 정의할 수 있다. 다만, 실험용으로 실내에 설치되거나, 단순히 제품자체만의 계측센서와 지반구조물에 설치된 계측 센서의 내구연한과는 많은 차이가 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 지반구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 분석적 연구로 국내 건설공사 발주 기관의 건설계측 센서에 대한 내구연한 기준과 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준을 분석하여 합리적인 건설 계측 센서의 내구연한 기준을 설정하였으며, 국내외 댐에 설치된 각종 계측센서의 신뢰성 비교를 통한 실제적인 내구연한 분석과 터널에 설치된 유지관리계측 센서의 경과연수에 대한 손망실율로 내구연한을 추정하여 합리적인 내구연한 설정으로 건설 계측기술 향상에 기여하고자 한다.

조달청 건설 계측센서의 물품관리 내용연수 기준 분석

물품관리법 제 16조의2 규정에 의한 2016년 조달청고시 제 2016-40호의 내용연수 고시현황에서 건설계측 및 건설기계의 물품관리 내용연수 기준은 건설공사 구조물에 설치되기 전 물품 자체의 구매에 따른 내용연수를 규정한 것으로 건설계측 센서 항목별 내용연수를 보면, 내용연수 8년은 경사계, 레벨센서, 트랜스미터, 지진계, 광학 측정기 등이며, 9년은 가속도계, 3차원측정기, 압력계 등이고, 10년은 스트레인게이지, 로드셀, 속도계, 압력게이지 등으로 구분하고 있다.

그러나 건설공사 시 원 지반을 터파기하고 지하수가 흐르거나 습윤상태에서 정밀하고 환경에 예민한 계측센서를 지중에 설치하거나, 현장타설 콘크리트 구조물 내에 계측센서가 설치되면, 건설 계측센서는 지하수나 습윤상태 및 콘크리트 다짐 등 여러 가지 불리한 요인이 작용하므로 조달청에서 제시하고 있는 건설 계측센서 물품관리 내용연수 기준인 8년에서 10년 보다는 상당한 기간이 단축될 것으로 판단된다(Woo, 2018a, 2018b, 2019).

건설 계측센서의 실제적인 내구연한 분석

국내 댐 계측센서의 실제적인 내구연한 분석

한국수자원공사 수자원연구소에서 2005년 실시한 간극수압계, 토압계, 경사계, 층별침하계 등의 댐 매설 계측센서 현장 점검 및 평가보고서(Korea Water Resources Corporation, 2005)에 의하면 한국수자원공사가 관리 하는 댐 매설 계측센서의 가동현황에 대해 매설 계측센서를 전기적 상태 점검과 경시변화 점검, 그리고 타 계측센서와 비교 점검의 방법으로 Table 1 과 같이 계측센서의 신뢰성 비교기준으로 분류하였으며, 국내 댐 매립식 계측센서의 신뢰성 기초자료는 Table 2와 같다

Table 1의 계측센서의 신뢰성 비교기준에서 신뢰성이 높은 경우는 전기적 상태 점검, 경시변화 점검, 타 계측기기와 비교

점검에서 정상작동으로 판단되는 경우이며, 신뢰성이 낮은 경우는 신호 분석 시 이상이 있다고 판단되는 경우이며, 신뢰성이 없는 경우는 신호가 없거나, 신호의 변화가 없는 상태로 판정하였다.

Table 1. Reliability comparison standard of monitoring sensor

Division	Reliability comparison standard of monitoring sensor
High reliability	If it is judged to be in normal operation
Low reliability	When it is determined that there is an abnormality in signal analysis
Non reliability	No signal or no change in signal

Table 2. Reliability analysis results of landfill monitoring sensor by domestic dams

Phrase	Dam name	Installation year	Completion year	Reliability analysis criteria				Reliability results(%)
				Total	Reliable	Low	Unreliable	
1	Seomjin River Dam	1964	1965	62	4	4	54	6.5
2	Soyang River Dam	73-77	1979	258	0	0	258	0
3	Andong dam	74-75	1977	56	18	26	12	32.1
4	Daechong Dam	79-80	1981	132	56	26	50	42.4
5	Chungju Dam	82-84	1986	107	76	4	27	71.0
6	Dalbang Dam	1989	1989	40	0	33	7	0
7	Hapcheon Dam	88-90	1989	112	81	9	22	72.3
8	Imha Dam	88-90	1993	133	122	9	2	91.7
9	Juam Main Dam	92-93	1992	85	25	0	60	29.4
10	Juam Sub Dam	96-97	1992	111	34	0	77	30.6
11	Buan Dam	96-97	1996	171	69	29	73	40.4
12	Boryeong Dam	95-96	2000	91	63	10	18	69.2
13	Hoengseung Dam	99-01	2002	103	40	7	56	38.8
14	Namgang Dam	94-98	2003	163	139	6	18	85.3
15	Miryang Dam	96-98	2003	342	328	9	5	95.9
16	Yongdam Dam	96-00	2006	251	169	56	26	67.3
Total	-	-	-	2,217 (100%)	1,224 (55.2%)	228 (10.3%)	765 (34.5%)	55.2

Table 2의 국내 댐 매립식 계측센서의 신뢰성 기초자료를 분석한 결과 16개의 댐에 총 2,217개 센서중 신뢰성 있음의 비율은 1,224개로 55.2%, 신뢰성 낮음은 228개로 10.3%, 신뢰성 없음은 765개로 34.5%를 보였으며, 이를 근거로 내구연한을 검토하면 2005년 기준 설치 후 경과연이 10년 이상된 계측센서 중 충주댐, 함천댐, 임하댐을 제외 하고는 신뢰성 평가결과가 대부분 50%이하인 것을 알 수 있고, 설치년도를 기준으로 신뢰성 평가결과가 중앙값인 50%를 보이는 설치년도를 판단하면 개략적으로 1995년에서 2000년으로 2005년 기준 경과연수가 약 5~10년이 된다.

그러나 준공년도를 기준으로 본다면 신뢰성 평가결과 50%의 중앙값은 이와는 차이를 보이고 있으며, 2000년에 준공된

보령댐이 69%의 신뢰성을 보이고 있어 중앙값 50%가 위치하는 준공년도는 1997년과 2000년 사이에 있을 것으로 추정되어 2005년 기준 경과연수가 약 5~8년이 된다.

통계적으로 데이터의 개수가 늘어나면 정규분포의 모양을 보이게 될 것이고 중앙값과 평균값이 일치하게 되는 점을 감안하여 중앙값을 평균값으로 대체하고, 2005년 12월이 조사시기인 점을 감안하면 약 5~8년을 국내 댐 매립식 계측센서의 내구연한으로 보는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

국내 16개 댐에서 계측센서의 신뢰성 있음의 비율은 55.2%이며, 신뢰성이 높은 댐은 밀양댐 95.9%, 임하댐 91.7%, 남강댐 85.3%, 합천댐 72.3%, 충주댐 71.0%, 보령댐 69.2%의 순서를 보였으며, 상대적으로 계측센서의 신뢰성이 낮은 댐은 소양강댐 및 달방댐 0.0%, 섬진강댐 6.5%, 주암댐 29.4%, 주암보조댐 30.6%, 안동댐 32.1%, 홍성댐 38.8%, 부안댐 40.4%, 대청댐 42.4%의 순서를 보였다.

국내 16개 댐에서 계측센서의 신뢰성이 차이가 나는 이유는 다양한 원인으로 분석할 수 있으나, 대표적인 원인은 계측센서의 내구연한 및 성능으로 판단된다(Woo, 2019).

국외 댐 계측센서의 실제적인 내구연한 분석

일본 건설성 토목연구소에서 조사한 보고서에 의하면 댐의 거동을 측정하기 위한 매설용 계측센서인 간극 수압계와 토압계의 설치 후 경과연수에 따른 생존율을 정리하면 Table 3과 같다(Kim, 2008).

Table 3. The survival rate of the pore pressure meter and the earth pressure meter installed in the Japanese dam

Sensor	Item	After completion	Elapsed year									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pore pressure meter	Survival rate (%)	93	94	91	84	70	66	64	48	59	37	0
	Survival number	392	368	291	185	96	78	76	40	33	14	0
	Installed number	420	392	320	221	138	119	119	83	56	38	12
	Elapsed year dam number	16	16	14	11	8	7	7	5	3	2	1
Earth pressure meter	Survival rate (%)	99	78	73	58	55	55	59	61	95	95	-
	Survival number	195	153	124	63	46	46	46	20	20	20	-
	Installed number	197	195	169	108	84	84	78	33	21	21	-
	Elapsed year dam number	10	10	8	7	4	4	3	2	1	1	-
Total	Survival rate (%)	95.1	88.8	84.9	75.4	64.0	61.1	61.9	25.9	68.8	57.6	0
	Survival number	587	521	415	248	142	124	122	60	53	34	0
	Installed number	617	587	489	329	222	203	197	116	77	59	12
	Elapsed year dam number	10~16	10~16	8~14	7~11	4~8	4~7	3~7	2~5	1~3	1~2	0~1

Table 3에서 간극수압계는 16개 댐에 당초 설치개수 420개, 준공 후 생존개수 392개로 생존율은 93%이며, 토압계는 10개 댐에 당초 설치개수 197개, 준공 후 생존개수 195개로 생존율은 99%를 나타냈다. 조사 결과와 같이 댐 내부에 계측센서 설치 후 경과연수가 길어지면 생존율은 반대로 줄어드는 경향을 보이고 있다.

건설 계측센서의 정상 작동률은 생존율-손상실율(고장율)로 표현할 수 있으며, 일본 건설성 토목연구소에서는 생존율이

50%이하로 떨어지는 시기를 중점적으로 조사하였는데, 이는 통계적으로 계측센서 내구연한이 중앙값이므로 데이터의 수가 많을 때는 평균 내구연한과 유사하다고 간주할 수 있기 때문이다.

간극수압계와 토압계를 합한 전체 설치 후 경과연수에 따른 생존율은 공사 준공 후 1년 경과 시 88.8%, 2년 84.9%, 3년 75.4%, 4년 64.0%, 5년 61.1%, 6년 61.9%, 7년 25.9%의 비율을 보였으며, 8년 68.8%를 보인 것은 설치개수가 줄어든 영향으로 생존율이 증가한 것처럼 보이고 있다.

간극수압계 설치 후 경과연수에 따른 생존율은 공사 준공 후 1년 경과 시 94%, 2년 91%, 3년 84%, 4년 70%, 5년 66%, 6년 64%, 7년 48%의 비율을 보였으며, 8년 59%를 보인 것은 설치개수가 줄어든 영향으로 생존율이 증가한 것처럼 보이고 있다.

토압계 설치 후 경과연수에 따른 생존율은 공사 준공 후 1년 경과 시 78%, 2년 73%, 3년 58%, 4년 55%, 5년 55%의 비율을 보였으며, 6년 59%를 보인 것은 설치개수가 줄어든 영향으로 생존율이 증가한 것처럼 보이고 있다.

간극수압계와 토압계를 합한 전체 설치 후 경과연수에 따른 생존율에서 6년째 생존율은 61.9%이며, 7년째는 25.9%로 급격하게 떨어지는 경향을 보이고 있어 일본 건설성 토목연구소에서는 댐에 매설된 통계적인 계측기기 내구연한은 수명의 중앙값인 50%의 생존률을 보이는 경과연수는 6년으로 분석할 수 있다.

간극수압계의 경우 그 시기가 준공 후 7년이 되는 시기로 보고 있으며, 8년째에도 생존율 59%를 유지하지만 생존율 48%가 되는 7년경과를 중앙값으로 판단하는 이유는 적용되고 있는 댐의 수가 8년경과시 부터는 3개 밖에는 되지 않기 때문에 신뢰할 수 있는 대표 데이터라고 보기 어렵기 때문이다. 따라서 댐에 매설된 간극수압계의 경우 일본 건설성 토목연구소에서는 7년을 공식적인 평균생존율이라고 명기하고 있지는 않으나, 계측센서 수명의 중앙값인 생존율이 50%이하로 떨어지는 시기를 대단히 중요한 값으로 간주하고 있다.

토압계의 경우에는 4년 경과시 55%, 5년경과시 55%, 6년경과시 59%, 7년경과시 61%의 생존율을 보이는 것으로 조사되어 시간이 지나갈수록 생존율이 늘어나는 것처럼 보이지만 해당 댐의 숫자를 보면 7년경과시 2개의 댐이고, 8년경과시 1개의 댐 밖에는 없어 7년 이후의 데이터는 신뢰할 수 없는 것으로 결론짓고 50%의 생존율을 보이는 경과연수를 6년으로 분석하였다.

그리고 Table 3에서 토압계는 1년경과시 195개의 센서 중 153개만 생존하여 78%의 낮은 생존율을 보이는 이유는 낙뢰로 인하여 1개 댐에 매설된 토압계가 대량으로 손망실이 되었기 때문이다.

결론적으로 일본 건설성 토목연구소에서는 댐에 매설된 간극수압계와 토압계의 통계적인 계측기기 내구연한은 수명의 중앙값인 50%의 생존률을 보이는 경과연수를 간극수압계는 7년, 토압계는 6년으로 보고 있으나, 댐 구조물의 중요성과 안전확보를 감안하여 계측기기의 유효 내구연한을 5년으로 정하고 있으며, 댐이 준공된 후 5년이 경과하면 댐의 거동을 분석하기 위해서 기존 계측센서 외에 다른 측정방법을 고려할 것을 추천하고 있다.

국내 16개 댐의 계측센서와 일본 댐의 계측센서의 비교를 보면 국내 16개 댐은 계측센서의 종류에 상관없이 댐 별로 전체 센서에 대한 생존율을 검토하였고, 일본 댐은 계측센서의 종류에 따라 간극수압계는 16개 댐 과 토압계는 10개 댐의 계측센서 수량에 대한 생존율을 분석하여 결과적으로 간극수압계와 토압계에 대하여 연구를 집중하였다.

터널 유지관리 계측센서의 손망실율에 의한 내구연한 분석

서울지하철9호선1 단계구간 건설공사에 대한 터널 유지관리 계측센서의 손망실율 기초자료는 Table 4와 같으며, 2006년부터 유지관리 계측센서가 설치되어 2011년 8월을 기준으로 경과연수는 5~6년이다(Woo, 2013).

Table 4. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Seoul metro line no.9 on 1 stage by section (Standard for 2011. 08 : elapsed 5-6 years) (Unit: word count)

Section	Earth pressure meter			Piezometer			Concrete stress meter			Rebar stress meter			Lining stress meter			Segment stress meter			Total		
	Installation	Loss	Loss ratio (%)	Installation	Loss	Loss ratio (%)	Installation	Loss	Loss ratio (%)	Installation	Loss	Loss ratio (%)	Installation	Loss	Loss ratio (%)	Installation	Loss	Loss ratio (%)	Installation	Loss	Loss ratio (%)
901	8	1	12.5	8	1	12.5	0	0	0.0	61	4	6.6	48	0	0.0	0	0	0.0	125	6	4.8
902	0	0	0.0	2	2	100	16	6	37.5	16	0	0.0	5	1	20.0	0	0	0.0	39	9	23.1
903	10	0	0.0	4	1	25.0	0	0	0.0	10	2	20.0	20	1	5.0	0	0	0.0	44	4	9.1
904	0	0	0.0	2	0	0.0	8	2	16.7	8	2	16.7	0	0	0.0	0	0	0.0	18	4	22.2
905	0	0	0.0	0	0	0.0	10	1	10.0	5	1	20.0	0	0	0.0	0	0	0.0	15	2	13.3
906	0	0	0.0	12	2	16.7	4	0	0.0	34	5	14.7	60	7	11.7	0	0	0.0	110	14	12.7
907	0	0	0.0	0	0	0.0	4	3	75.0	4	2	50.0	0	0	0.0	0	0	0.0	8	5	62.5
908	0	0	0.0	0	0	0.0	8	3	37.5	4	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	12	3	25.0
909	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	0	0	0.0	73	28	38.4	73	28	38.4
910	0	0	0.0	6	2	33.3	0	0	0.0	0	0	0.0	45	1	2.2	0	0	0.0	51	3	5.9
911	0	0	0.0	4	0	0.0	6	0	0.0	6	0	0.0	20	1	5.0	0	0	0.0	36	1	2.8
912	0	0	0.0	12	2	16.7	0	0	0.0	0	0	0.0	62	7	11.3	0	0	0.0	74	9	12.2
913	0	0	0.0	14	2	14.3	0	0	0.0	0	0	0.0	24	4	16.7	0	0	0.0	38	6	15.8
914	0	0	0.0	2	1	50.0	0	0	0.0	0	0	0.0	10	2	20.0	0	0	0.0	12	3	25.0
total	18	1	5.6	66	13	19.7	56	15	26.8	148	16	10.8	294	24	8.2	73	28	38.4	655	97	14.8
Total loss and damage ratio = (loss and damage number / installation number) × 100 = (97 / 655) × 100 = 14.8%																					
Rank	6			3			2			4			5			1			-		

Table 4에서 계측기기별 손망실율 기초자료를 분석한 결과 쉴드터널의 세그먼트응력계 38.4%, 박스구조물의 콘크리트 응력계 26.8%, 터널의 간극 수압계 19.7%, 박스구조물의 철근응력계 10.8%, 터널의 라이닝응력계, 8.2%, 터널의 토압계 5.6%순서로 나타났다.

위에서 검토된 손망실율은 경과연수 5~6년에 대한 손망실율로 구체적인 자료가 없어 경과연수에 따른 상관관계 분석에 의한 실제 내구연한 산정은 곤란하나, 계측센서 설치 후 경과연수가 5~6년에 대한 손망실율로 내구연한은 5~6년 이상인 것으로 추정할 수 있다(Woo et al., 2012; 2017).

결론

본 논문은 지반구조물 계측센서의 내구연한 기준에 대한 분석적 연구로 국내 건설공사 발주 기관의 건설계측 센서에 대한 내구연한 기준과 조달청의 건설계측 및 건설기계 관련 내용연수 기준을 분석하여 합리적인 건설 계측센서의 내구연한 기준을 설정하였으며, 국내외 댐에 설치된 각종 계측센서의 신뢰성 비교를 통한 실제적인 내구연한 분석과 터널에 설치된 유지관리계측 센서의 경과연수에 대한 손망실율로 내구연한을 추정한 연구결과는 다음과 같다.

첫째 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 원지반 및 콘크리트 구조물내에 설치된 계측센서는 지하수영향 및 다짐 등 여러 가지 불리한 요인으로 물품 자체의 내용연수보다는 상당히 단축될 것으로 보인다.

둘째 국내 댐에 설치된 간극수압계 및 토압계 등의 매립식 계측센서 신뢰성 분석결과 16개 댐에 총 2,217개 센서중 신뢰성 있음의 비율은 1,224개로 55.2%, 신뢰성 낮음은 228개로 10.3%, 신뢰성 없음은 765개로 34.5%를 보였으며, 신뢰성 분석결과 국내 댐 매립식 계측센서의 내구연한은 약 5~8년이 합리적인 것으로 판단된다.

셋째 일본 댐에 설치된 간극수압계와 토압계의 경과연수에 따른 생존율 분석결과 최대 16개 댐에 매설된 간극수압계와 토압계의 통계적인 계측기기 내구연한은 수명의 중앙값인 50%의 생존률을 보이는 경과연수는 간극수압계는 7년, 토압계는 6년으로 보고 있으나, 댐 구조물의 중요성과 안전확보를 감안하여 공식적으로 계측기기의 내구연한을 5년으로 정하고 있으며, 댐이 준공된 후 5년이 경과하면 댐의 거동을 분석하기 위해서 기존 계측센서 외에 다른 측정방법을 고려할 것을 추천하고 있다.

넷째 서울지하철9호선1단계구간 건설공사에 대한 터널 유지관리 계측센서의 손망실율은 경과년수 5~6년에 대한 손망실율로 구체적인 자료가 없어 경과연수에 따른 상관관계 분석에 의한 실제 내구연한 산정은 곤란하나, 계측센서 설치후 경과연수가 5~6년에 대한 손망실율로 내구연한은 5~6년 이상인 것으로 추정할 수 있다.

다섯째 결론적으로 구조물이나 지반에 설치된 국내 간극수압계 및 토압계 등의 매립식 계측센서의 적정 내구연한은 5년에서 8년이 합리적인 것으로 판단되며, 추후 축적된 자료를 바탕으로 계측항목별 내구연한 설정 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 연구는 2017년 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 이공학 개인기초연구(기초)지원 사업(과제번호 2017R1D1A1B03028842)으로 “건설 및 터널 계측센서의 최적 내구연한 연구”의 일부 내용이며, 이에 감사를 드립니다.

References

- [1] Kim, K.S. (2008). Advisory Report on Improvement of Durability and Years of use of Dam Instruments. Korea Water Resources Corporation, pp. 9-10.
- [2] Korea Water Resources Corporation (2005). On-site Inspection and Evaluation Report of Dam Installation Monitoring System.
- [3] Woo, J.T. (2013). “A study on trends analysis of the loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensors.” Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 15, No. 1, pp. 25-31.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Woo, J.T. (2019). “A study on the cause and improvement plans of construction monitoring sensors decline in durability,” Journal of Korea Society of Disaster Information, Vol. 15, No. 1, pp. 28-38.
- [7] 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.
- [8] Woo, J.T., Lee, R.C. (2017). Theory and Practice of Construction Monitoring-underground Construction Facilities. CIR Publishing Co., pp. 92-94 (in Korean).