

## 철도터널 유지관리 계측센서의 손망실을 연구

# A Study on the Loss and Damage Ratio of Railroad Tunnel Maintenance Monitoring Sensor

우종태<sup>a,\*</sup>

Jong-Tae Woo<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Dept. of Construction and Environmental Design, Kyungbuk University, Jinjeob-eup, Namyangju, Republic of Korea

### ABSTRACT

**Purpose:** This paper investigates and analyzes the loss and damage ratio of maintenance monitoring sensor in metropolitan and high speed railroad tunnel in Korea and abroad.

**Method:** After 5~6 years from the installation, the maintenance monitoring sensor on metropolitan transit tunnels showed the loss and damage ratio from 14.2% to 14.8% in Seoul metro line no. 5, 6, 7, 9, and 13.9% in UK channel tunnel. Based on the result, 15% is thought to be a proper set for the elapsed years, which is 5 years from the installation.

**Results:** The maintenance monitoring sensor on high speed railroad tunnels showed the loss and damage ratio of 60.9% in Ho-Nam high speed railroad on 1 stage after 3 ~ 5 years from the installation, which was approximately 4 times as high as that of Seoul metro line no. 5, 6, 7, 9.

**Conclusion:** Kyung-Bu high speed railroad on 2 stage, after 8~10 years from the installation, showed the loss and damage ratio of 66.8%. Based on the result, it can be inferred that the loss and damage ratio increases drastically after 5~10 years from the installation. Therefore, it is necessary to study on the loss and damage ratio of long term elapsed years, especially more than 10 years from the installation.

**연구목적:** 본 연구는 국내와 국외의 도시 및 고속철도터널 유지관리 계측센서의 손망실 현황을 조사하고 분석을 실시하였다.

**연구방법:** 도시철도터널 유지관리 계측센서 설치 후 5년에서 6년의 손망실율은 서울 지하철5,6,7,9호선은 14.2%에서 14.8%, 영국의 Channel tunnel은 13.9%로 거의 유사하게 나타나 5년 경과연수에서는 15%로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

**연구결과:** 고속철도터널 유지관리 계측센서 설치 후 3년에서 5년의 손망실율은 호남고속 철도1단계 에서 60.9%로 서울지하철5,6,7,9호선의 4배 이상 크게 나타났다.

**결론:** 8년에서 10년의 경부고속철도2단계에서는 66.8%로 나타나 5년에서 10년 사이에 급격하게 증가하므로 향후 10년 이상 장기간의 경과연수에 따른 계측항목별 손망실율 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### KEYWORDS

metropolitan transit and high speed railroad tunnel, maintenance monitoring sensor, loss and damage ratio, Seoul metro line no.5,6,7,9, Kyung-Bu high speed railroad on 2 stage, Ho-Nam high speed railroad on 1 stage, Channel tunnel, 도시 및 고속철도터널, 유지관리 계측센서, 손망실율, 서울지하철5,6,7,9호선, 경부고속철도2단계, 호남고속철도1단계, 채널터널

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-31-570-9895. Fax. 82-31-570-9898. Email. jtwoo@kbu.ac.kr

### ARTICLE HISTORY

**Received** Jun. 3, 2018  
**Revised** Jun. 4, 2018  
**Accepted** Jul. 2, 2018

## 1. 서론

철도터널 구조물 계측기술은 ICT산업 및 정보통신기술의 급격한 발달로 인해 효율적인 안전감시 및 경제적인 유지 관리를 위해 교량, 터널, 다목적댐 및 용수댐, 광역상수도, 하천제방, 절토사면, 지하철, 공항시설물, 대형건축물 등 국가 주요 기반시설물에 공사계측 및 유지관리계측 시스템의 도입과 적용이 증가되고 있다.

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, J. T., 2017). 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 et al., 2012a).

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 계측 자료 획득시스템과 계측자료 전송시스템을 포함하여 계측에 필요한 모든 장치 및 운용시스템을 말한다(Woo et al., 2008).

본 논문은 1995년부터 도시철도 터널 유지관리 계측기기가 최초 설치된 서울지하철5,6,7호선과 2006년 설치된 서울 지하철9호선1단계구간의 손망실율을 분석하였으며, 2007년부터 고속철도 터널 유지관리 계측기기가 최초 설치된 경부 고속철도2단계와 2011년 설치된 호남고속철도1단계의 손망실율을 분석하였다. 또한 1986년 설치된 영국과 프랑스의 Channel tunnel과 1995년 미국 보스톤항 Red line subway tunnel의 손망실율을 분석하여 철도터널 건설구조물의 유지관리계측 기술발전에 기여하고자 한다.

## 2. 건설 계측센서의 손망실율 용어 검토

건설계측에서 많이 쓰이고 있는 손망실(損亡失)이란 용어는 국어사전에는 없는 용어이나, 취급부주의나 기기적인 결함으로 인해 정상적인 작동이 되지 않은 상태를 의미하는 용어로 광범위하게 사용되고 있다.

건설계측에서 여유분 또는 잉여분인 Redundancy라는 용어도 자주 사용되고 있는데, 여유(餘裕)란 넉넉하여 남아 있다라는 뜻이며, 잉여(剩餘)는 쓰고 난 나머지를 뜻하는 용어로 손망실을 고려한 계측기기의 추가수량을 의미하는 용어와는 의미상 차이가 있는 것으로 보여 사용에는 적정하지 않은 용어로 판단된다. 손망실율과 유사한 개념으로 건설공사표준품셈에서는 재료의 할증률(割増率)이란 용어가 사용되고 있는데 이는 시방서 및 도면에 의하여 산출된 정미량(正未量)에 재료의 운반, 절단, 가공 및 시공 중에 발생하는 손실량에 가산해 주는 비율을 말한다(Woo et al., 2012b).

건설 계측기기의 손망실 원인 중 계측기기의 성능불량, 설치 시 오류 및 보호불량, 작업자나 시공장비의 부주의에 의한 계측기기 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 명확 하지 않아 계측기기의 재설치 비용 부담문제로 분쟁이 자주 발생하고 있다(Back et al., 2002).

대부분의 건설 계측기기는 열악한 환경에 설치되므로 조건이 양호한 실내에서와 달리 내구수명이 단축될 뿐만 아니라 기술의 한계로 인하여 고장이 발생할 수 있다. 따라서 건설계측에서 일반적으로 사용되는 손망실율은 할증률 또는 고장률과 같은 용어로 사용이 가능하다고 판단되며, 합리적인 손망실율을 산정하여 건설공사표준품셈에서 재료에 대한 할증률 개념으로 활용이 된다면 건설 계측기기의 손망실로 인한 비용증가 및 하자문제로 이해당사자 사이의 분쟁이 상당부분 해소되고 원활한 계측관리가 수행될 것으로 예상된다.

### 3. 국내 도시철도 터널에 설치된 계측센서의 손망실을 분석

#### 3.1 서울지하철5,6,7호선 터널 유지관리 계측센서의 손망실을

서울지하철5,6,7호선건설공사 도심지역 공사구간에 대한 터널 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 1과 같으며, 1995년부터 국내 최초로 터널 유지관리 계측센서가 설치되었으며, 2000년 3월 조사시점 기준하여 계측센서 설치 경과연수는 5년에서 6년이다. 유지관리 계측센서는 총 591개로 구성 비율은 터널의 라이닝응력계 54.7%, 터널의 철근응력계 27.4%, 터널의 토압계 9.5%, 터널의 간극수압계 6.4%, 터널의 광섬유센서 2.0%이다(Woo, J. T., 2013).

총 손망실율은 14.2%이며, 공구별로 손망실율은 최소 0.0%에서 최대 33.3%로 큰 차이를 보였으나, 1995년 8월부터 9월까지 1개월간 영등포(5-15공구)에서 마포구간(5-18)이 집중호우로 인한 우수유입으로 터널전체가 침수되어 이로 인한 계측센서의 손망실이 큰 것으로 분석되었다. 계측센서별 손망실율은 터널의 라이닝응력계 17.0%, 터널의 철근응력계 12.3%, 터널의 토압계 10.7%, 터널의 광섬유센서 8.3%, 터널의 간극수압계 5.3%순서로 나타났다.

Table 1. Summarization chart on loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Seoul metro line no.5,6 and 7(Standard for 2000. 03 : elapsed 5-6 years) (Unit: word count)

Division	Total	Ratio(%)	Normal	Loss and damage	Loss and damage ratio(%)	Ranking
Total	591	100.0	507	84	14.2	-
Earth pressure meter	56	9.5	50	6	10.7	3
Piezometer	38	6.4	36	2	5.3	5
Rebar stress meter	162	27.4	142	20	12.3	2
Lining stress meter	323	54.7	268	55	17.0	1
Optical fiber sensor	12	2.0	11	1	8.3	4

#### 3.2 서울지하철9호선1단계구간 터널 유지관리 계측센서의 손망실을

서울지하철9호선건설공사1단계구간에 대한 터널 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 2와 같으며, 2006년부터 유지관리 계측센서가 설치되었으며, 2011년 8월 조사시점 기준하여 계측기기 설치 경과연수는 5년에서 6년이다.

유지관리 계측센서는 총 655개로 구성 비율은 터널의 라이닝응력계 44.9%, 터널의 철근응력계 22.6%, 쉘드터널의 세그먼트응력계 11.1%, 터널의 간극수압계 10.1%, 박스구조물의 콘크리트응력계 8.6%, 터널의 토압계 2.7%이다(Woo J. T., 2010).

총 손망실율은 14.8%이며, 공구별로 손망실율은 최소 2.8%에서 최대 62.5%로 큰 차이를 보였으며, 2006년 7월부터 약 15일간 907공구 구간이 집중호우로 양양천 제방이 유실되어 터널전체가 침수로 인한 계측기기의 손망실이 큰 것으로 판단된다. 계측센서별 손망실율은 쉘드터널의 세그먼트응력계 38.4%, 박스구조물의 콘크리트응력계 26.8%, 터널의 간극수압계 19.7%, 박스구조물의 철근응력계 10.8%, 터널의 라이닝응력계, 8.2%, 터널의 토압계 5.6%순서로 나타났다.

#### 3.3 서울지하철5,6,7,9호선 터널 유지관리 계측센서의 손망실을 비교분석

서울지하철5,6,7호선건설공사 도심지역 공사구간에 대한 터널 유지관리 계측센서는 1995년 설치 후 5년에서 6년이 경과된 2000년 3월 기준 총 591개 센서 중 84개가 손망실을 보여 총 손망실율은 14.2%이며, 공구별로 손망실율은 최소 0.0%에서 최대 33.3%로 차이를 보였다.

서울지하철9호선1단계구간에 대한 터널 유지관리 계측센서는 2006년 설치 후 5년에서 6년이 경과된 2011년 8월 기준 총 655개 센서 중 97개가 손망실을 보여 총 손망실율은 14.8%이며, 공구별로 손망실율은 최소 2.8%에서 최대 62.5%로 큰 차이를 보였다.

따라서 계측센서 설치 후 5년에서 6년이 경과된 서울지하철5,6,7,9호선 터널 유지관리 계측 센서의 총 손망실율은 14.2%에서 14.8%로 유사한 값을 보여 합리적으로 산출된 것으로 판단되며, 국내 및 국외의 철도터널 손망실율과 비교 분석 및 장기간 경과연수에 따른 손망실율 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 2. Summarization chart on 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)

Division	Total	Ratio(%)	Normal	Loss and damage	Loss and damage ratio(%)	Ranking
Total	655	100.0	558	97	14.8	-
Earth pressure meter	18	2.7	17	1	5.6	6
Piezometer	66	10.1	53	13	19.7	3
Rebar stress meter	148	22.6	132	16	10.8	4
Lining stress meter	294	44.9	270	24	8.2	5
Segment stress meter	73	11.1	45	28	38.4	1
Concrete stress meter	56	8.6	41	15	26.8	2

#### 4. 국내 고속철도 터널에 설치된 계측센서의 손망실을 분석

##### 4.1 경부고속철도2단계구간 터널 유지관리 계측센서의 손망실을

경부고속철도2단계구간인 동대구에서 부산까지 연장 124km에 있는 37개 터널 중 3개 터널인 복안, 원효, 금정터널에만 유지관리계측이 적용되었으며, 이중 복안터널은 양산단층대에 속하여 공사 중 상부 경부고속국도에 침하가 발생하여 시공단계에서 신규 반영하였고, 원효, 금정터널은 경쟁설계로 설계단계에서부터 유지관리계측이 적용되어 시공 시 설치되었다(Lee et al., 2017).

경부고속철도2단계구간 터널 유지관리 계측센서의 손망실을 현황은 Table 3과 같고, 총 269개의 센서가 계획되어 2006년부터 2008년까지 총 313개가 설치되었으며, 2016년 12월 조사시점 기준하여 계측기 설치 경과연수는 약 8년에서 10년 이나, 손망실 수량 209개, 총 손망실율은 66.8%로 크게 나타났다. 터널별 손망실율이 높은 순서는 복안터널 76.0%, 원효터널 71.9%, 금정터널 56.5% 순서로 나타났다.

Table 3. Summarization chart on loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Kyung-Bu high speed railroad on 2 stage by section (Standard for 2016. 12 : elapsed 8-10 years) (Unit: word count)

Tunnel	Design	Installation				Ranking
		Total	Normal	Loss	Loss ratio(%)	
Bok-An	0	75	18	57	76.0	1
Won-Hyo	196	114	32	82	71.9	2
Kum-Jong	73	124	54	70	56.5	3
Total	269	313	104	209	66.8	-
Ratio(%)	-	100	33.2	66.8	-	-

3개 터널 유지관리 계측센서별 손망실을 현황은 Table 4와 같으며, 유지관리 계측센서는 총 313개로 구성 비율은 라이닝 응력계 47.3%, 간극수압계 19.5%, 전단면내공변위계 15.0%, 철근응력계 12.1%, 사면변위계 3.5%, 건물경사계 1.3%, 진동측정계 1.0%, 암반응력계 0.3%이다. 손망실율이 높은 순서는 사면변위계, 진동계, 암반응력계 100.0%, 철근응력계 92.1%, 간극수압계 68.9%, 라이닝응력계 62.8%, 건물경사계 50.0%, 전단면내공변위계 46.8% 순서로 나타났다.

Table 4. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Kyung-Bu high speed railroad on 2 stage by section (Standard for 2016. 12 : elapsed 8-10 years) (Unit: word count)

Division	Total	Piezo meter	Rebar stress meter	Lining stress meter	Transverse section displacement transducer	Rock stress meter	Vibration meter	Slope displacement meter	Building inclinometer
Total	313	61	38	148	47	1	3	11	4
Ratio(%)	100.0	19.5	12.1	47.3	15.0	0.3	1.0	3.5	1.3
Loss and damage	209	42	35	93	22	1	3	11	2
Loss ratio(%)	66.8	68.9	92.1	62.8	46.8	100.0	100.0	100.0	50.0
Raking	-	5	4	6	8	3	2	1	7

4.2 호남고속철도1단계구간 터널 유지관리 계측센서의 손망실율

호남고속철도1단계구간인 오송에서 광주까지 연장 182.3km에 있는 32개 터널 중 18개 터널에 유지관리계측이 적용되었으며, 설계 시 218개 센서가 계획되어 실제 설치는 486개로 공사 중에 268개가 증가하였는데 특히 공사 중 붕괴사고가 발생한 달성터널은 48개가 설치되었다(RRIST, 2017).

호남고속철도2단계구간 터널 유지관리 계측센서의 손망실율 현황은 Table 5와 같으며, 2011년부터 2013년까지 총 486개가 설치되었으며, 2016년 12월 조사시점 기준하여 계측기 설치 경과연수는 약 3년에서 5년이나, 손망실 수량은 296개, 총 손망실율 60.9%로 짧은 경과연수에 비해 상당히 크게 나타났다. 터널별 손망실율이 높은 순서는 계룡터널, 송현1터널, 학천터널, 회룡터널, 영곡터널, 성덕2터널, 와룡1터널, 와룡2터널, 마령터널, 고룡터널, 우산터널, 부용1터널은 100%, 갈산터널 74.2%, 노령터널 18.7%로 터널별로 큰 차이를 보였다.

Table 5. Summarization chart on loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Ho-Nam high speed railroad on 1 stage by section (Standard for 2016. 12 : elapsed 3-5 years) (Unit: word count)

Tunnel	Design	Installation				Ranking
		Total	Normal	Loss and damage	Loss ratio(%)	
Hack-Chon	28	28	0	28	100.0	3
Gal-San	31	31	8	23	74.2	13
Bu-Yong1	5	5	0	5	100.0	12
Young-Guk	20	16	0	16	100.0	5
Kye-Ryong	15	60	0	60	100.0	1
Hoe-Ryong	21	21	0	21	100.0	4
Woo-San	14	14	0	14	100.0	11
No-Lyeong	24	86	70	16	18.7	14
Dal-Sung	0	48	48	0	0.0	18
Sung-Duk1	0	16	16	0	0.0	16
Sung-Duk2	0	16	0	16	100.0	5
Mo-Am	20	32	32	0	0.0	17
Song-Hyen1	20	32	0	32	100.0	2
Song-Hyen2	20	16	16	0	0.0	15
Wa-Lyong1	0	16	0	16	100.0	5
Wa-Lyong2	0	16	0	16	100.0	5
Ma-Lyeong	0	16	0	16	100.0	5
Go-Lyong	0	16	0	16	100.0	5
Total	218	486	190	296	60.9	-
Ratio(%)	-	100.0	39.1	60.9	-	-

18개 터널 유지관리 계측센서별 손망실율 현황은 Table 6과 같으며, 유지관리 계측센서는 총 486개로 구성 비율은 전단면내공변위계 79.0%, 라이닝응력계 10.9%, 간극수압계 9.9%, 토압계 0.2%이다. 손망실율이 높은 순서는 토압계 100.0%,

간극수압계 85.4%, 라이닝응력계 71.7%, 전단면내공변위계 56.3% 순서로 나타났다.

Table 6. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Ho-Nam high speed railroad on 1 stage by section (Standard for 2016. 12 : elapsed 8-10 years) (Unit: word count)

Division	Total	Earth pressure meter	Piezometer	Lining stress meter	Transverse section displacement transducer
Total	486	1	48	53	384
Ratio(%)	100.0	0.2	9.9	10.9	79.0
Loss and damage	296	1	41	38	216
Loss ratio(%)	60.9	100.0	85.4	71.7	56.3
Raking	-	1	2	3	4

### 4.3 경부 및 호남 고속철도 터널 유지관리 계측센서의 손망실을 비교분석

경부고속철도2단계구간 터널 유지관리 계측센서는 2006년부터 2008년까지 설치 후 8년에서 10년이 경과된 2016년 12월 기준 총 319개 센서 중 209개가 손망실을 보여 총 손망실율은 66.8%이며, 3개 터널별로 손망실율은 최소 56.5%에서 최대 76.0%로 차이를 보였다.

호남고속철도1단계구간 터널 유지관리 계측센서는 2011년부터 2013년까지 설치 후 3년에서 5년이 경과된 2016년 12월 기준 총 486개 센서 중 296개가 손망실을 보여 총 손망실율은 60.9%이며, 18개 터널별로 손망실율은 최소 0%에서 최대 100%로 큰 차이를 보였다.

## 5. 국외 철도터널에 설치된 계측센서의 손망실을 분석

### 5.1 Channel tunnel 유지관리 계측센서의 손망실을

영국의 Channel tunnel(Euro tunnel)은 총연장 50.45km, 해저깊이 평균 45m, 단면크기는 주 터널 직경 7.6m, 서비스 터널 직경 4.8m, 건설기간은 1986년에서 1994년까지 약 7년이 소요되었다. 고속철도터널 유지관리계측은 총 14단면으로 주 터널에 7단면, 서비스 터널에 6단면, 주 터널과 서비스 터널을 연결하는 횡갱에 1단면이며, 1986년에 231개 진동현식 변형률계를 세그먼트라이닝에 설치하여 1991년까지 5년경과 후 손망실 수량은 32개로 손망실율은 13.9%를 보였고, Channel tunnel 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 7과 같다(Meller. S, 1990).

Table 7. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor about Channel tunnel (Standard for 1991. 12 : elapsed 5 years) (Unit: word count)

Division	VWSG : Vibrating Wire Strain Gauges		
	Installation	Loss and damage	Loss and damage ratio(%)
Segment lining stress meter	231	32	13.9
Loss and damage ratio(%)	(loss and damage number / installation number) × 100= (32/231) × 100 = 13.9%		

### 5.2 Red line subway tunnel 유지관리 계측센서의 손망실을

미국 보스톤항의 Red line subway tunnel은 연장 366m, 굴착깊이 19.7m이며, 굴착단면은 단선병렬터널로 외경 6.7m, 콘크리트 라이닝 내경 5.0m이다. 지하철터널 유지관리 계측센서는 다양한 종류를 설치하였는데 1995년에 200개의 진동현

식 변형률계를 콘크리트 라이닝에 설치하였고, 1998년 까지 약 3년경과 후 손망실 수량은 10개로 손망실율은 5.0%를 보였고, Red line subway tunnel 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 8과 같다(Feldman et al., 1999).

Table 8. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor about Red line subway tunnel (Standard for 1998. 12 : elapsed 3 years) (Unit: word count)

Division	Installation	Loss and damage	Loss and damage ratio(%)	Ranking
Total	839	34	4.1	-
Concrete lining stress meter (Vibrating Wire Strain Gauges)	200	10	5.0	4
Crackmeter	506	8	1.6	5
Liquid level gauge	106	9	8.5	3
Liquid density gauge	19	5	26.3	1
Flowmeter	8	2	25.0	2
Loss and damage ratio(%)	(loss and damage number / installation number) × 100 = (34/839) × 100 = 4.1%			

### 5.3 국외 철도터널 유지관리 계측센서의 손망실을 비교분석

영국의 Channel tunnel 유지관리계측은 231개 진동현식 변형률계를 1986년에 콘크리트라이닝에 설치하였고, 1991년까지 5년경과 후 손망실 수량은 32개로 손망실율은 13.9%를 보여 서울지하철5,6,7,9호선의 총 손망실율 14.2%에서 14.8%와 유사 하게 15%에 근접한 값을 나타냈다. 따라서 계측기 설치 후 5년의 터널 유지관리 계측센서 총 손망실율은 15%로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

미국 보스톤항의 Red line subway tunnel 유지관리 계측센서는 1995년에 200개의 진동현식 변형률계를 콘크리트 라이닝에 설치하였고, 1998년 까지 약 3년경과 후 손망실 수량은 10개로 손망실율은 5.0%를 보였다.

### 6. 철도터널 유지관리 계측센서의 손망실을 비교

철도터널 유지관리 계측센서의 손망실을 비교는 Table 9와 같다.

Table 9. Comparison of loss and damage ratio of railroad tunnel maintenance monitoring sensor by elapsed years (Unit: word count)

Division		Elapsed years	Installation	Loss and damage	Loss and damage ratio(%)
Subway tunnel	Boston red line	3	839	34	4.1
High speed tunnel	Ho-Nam	3~5	486	296	60.9
Subway tunnel	Seoul metro line no. 5,6,7	5~6	591	84	14.2
Subway tunnel	Seoul metro line no. 9	5~6	655	97	14.8
High speed tunnel	Kyung-Bu	8~10	319	209	66.8

서울지하철5,6,7호선건설공사 도심지역 공사구간에 대한 터널 유지관리 계측센서는 1995년 설치 후 5년에서 6년이 경과된 2000년 3월 기준 총 591개 센서 중 84개가 손망실을 보여 손망실율은 14.2%이며, 서울지하철9호선1단계구간에 대한 터널 유지관리 계측센서는 2006년 설치 후 5년에서 6년이 경과된 2011년 8월 기준 총 655개 센서 중 97개가 손망실을 보여 손망실율은 14.8%로 유사한 값을 보여 합리적 산출결과로 판단된다.

경부고속철도2단계구간 터널 유지관리 계측센서는 2006년부터 2008년까지 설치 후 8년에서 10년이 경과된 2016년 12

월 기준 총 319개 센서 중 209개가 손망실을 보여 손망실율은 66.8%로 크게 나타났다.

호남고속철도1단계구간 터널 유지관리 계측센서는 2011년부터 2013년까지 설치 후 3년에서 5년이 경과된 2016년 12월 기준 총 486개 센서 중 296개가 손망실을 보여 손망실율은 60.9%를 보여 서울지하철5,6,7,9호선건설공사의 약 15%에 비해 4배의 손망실이 발생된 원인은 체계적이고 종합적인 계측관리가 미흡하였던 것으로 판단된다.

영국의 Channel tunnel 유지관리 계측센서는 231개 진동현식 변형률계를 1986년에 콘크리트라이닝에 설치하였고, 1991년까지 5년경과 후 손망실 수량은 32개로 손망실율은 13.9%를 보여 서울지하철5,6,7,9호선의 총 손망실율 14.2%에서 14.8%와 유사하게 15%에 근접한 값을 나타냈다.

미국 보스톤항의 Red line subway tunnel 유지관리 계측센서는 1995년에 200개의 진동현식 변형률계를 콘크리트 라이닝에 설치하였고, 1998년 까지 약 3년경과 후 손망실 수량은 10개로 손망실율은 5.0%를 보였다.

따라서 계측기 설치 후 약 5년의 철도터널 유지관리 계측센서 총 손망실율은 15%로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단되며, 약 10년의 기간에서 정밀 조사한 자료가 한정적이나 경부고속철도2단계구간의 경우 손망실율이 급격히 증가하여 66.8%를 보여 향후 10년 이상의 장기간 경과연수에 따른 추가적인 손망실율 연구와 국내 및 국외의 계측항목별 손망실율 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 7. 결론

본 논문은 1995년부터 도시철도 터널 유지관리 계측기기가 최초 설치된 서울지하철5,6,7호선과 2006년 설치된 서울 지하철9호선1단계구간의 손망실율을 분석하였으며, 2007년부터 고속철도 터널 유지관리 계측기기가 최초 설치된 경부 고속철도2단계와 2011년 설치된 호남고속철도의 손망실율을 분석하였다. 또한 1986년 설치된 영국과 프랑스의 Channel tunnel 과 1995년 미국 보스톤항 Red line subway tunnel의 손망실율을 분석하여 상호 비교 연구를 수행하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1) 서울지하철5,6,7호선건설공사 도심지역 공사구간은 터널 유지관리 계측센서 설치 후 5년에서 6년 경과된 시점을 기준하여 손망실율은 14.2%로 나타났다.

2) 서울지하철9호선건설공사1단계구간은 터널 유지관리 계측센서 설치 후 5년에서 6년 경과된 시점을 기준하여 손망실율은 14.8%로 나타났다.

3) 영국의 Channel tunnel 유지관리 계측센서 설치 후 5년 경과 후 손망실율은 13.9%를 보여 서울지하철5,6,7,9호선의 손망실율 14.2%에서 14.8%와 유사하게 15%에 근접한 값을 나타내 5년 경과연수에서는 15%로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

4) 경부고속철도2단계구간 터널 유지관리 계측센서 설치 후 8년에서 10년이 경과된 시점을 기준하여 손망실율은 66.8%로 나타나 향후 10년 이상의 장기간 경과연수에 따른 추가적인 손망실율 연구와 국내 및 국외의 계측항목별 손망실율 연구가 필요한 것으로 판단된다.

5) 호남고속철도1단계구간 터널 유지관리 계측센서 설치 후 3년에서 5년이 경과된 시점을 기준하여 손망실율은 60.9%로 크게 나타나 서울지하철5,6,7,9호선건설공사의 약 15%에 비해 4배의 손망실이 발생된 원인은 체계적이고 종합적인 계측관리가 미흡하였던 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] Back, K. H., Oh, Y. S., Kim, Y. J., Kim, Y. G. (2002). "A study on efficiency of tunnel maintenance monitoring", Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 4, No. 4, pp.355-369.
- [2] Feldman, A. I., Buechel, G. J. (1999). "Instrumentation program for Boston red line tunnel", 5th International Symposium on Field Measurements in Geo mechanics, pp.95-100.
- [3] KRRIST(Korail Railroad Research Institute of Science and Technology). (2017). A study on the optimization plan of maintenance monitoring for high speed railway tunnels", pp.30-45.
- [4] Lee, Y. J., Choi, Y. G. (2017). "A study on the efficient plan of maintenance monitoring for high speed railway tunnels", The Korean Society for Railway Autumn Conference, pp.40-43.
- [5] Meller, S. (1990). Monitoring of channel tunnel instrumentation, Gage Technique Ltd., pp.1-31.
- [6] Woo, J. T., Lee, R. C. (2008). Construction monitoring engineering, Goomi Publishing Co., pp.15-25.
- [7] Woo, J. T. (2010). "Analysis techniques toward monitoring Seoul city subway line no.9 maintenance monitoring by the joint study with Industry-University - Institute", Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection Spring Conference, pp.40-43.
- [8] Woo, J. T., Lee, K. I. (2012a). "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.
- [9] Woo, J. T., Park, J. H., Ji, H. S. (2012b). Estimation of construction, Kimoondang Publishing Co., pp.47-58.
- [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). "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.