J of Korean Tunn Undergr Sp Assoc 15(1)25-31(2013)
http://dx.doi.org/10.9711/KTAJ.2013.15.1.025
eISSN: 2287-4747
pISSN: 2233-8292

지하철 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율 산정 연구

우종태[1]*
[1]정회원, 경복대학교 건설환경디자인과 교수

A study on estimation of the total loss and damage ratio of maintenance monitoring sensor of subway tunnel

Jong-Tae Woo[1]*
[1]Member, Professor, Dept. of Construction and Environmental Design, Kyungbok University

ABSTRACT: In this study, the total loss and damage ratio of maintenance monitoring which is installed and operated in the domestic and foreign tunnel structure is researched and analyzed for estimating the loss and damage ratio of maintenance monitoring sensor of subway tunnel. The total loss and damage ratio at the elapsed time of 5-6 years after installation is 14.2% in the Seoul metro line no.5,6 and 7, 14.8% in the section 1 of the Seoul metro line no.9, 13.9% in the Channel tunnel of England and all of them are close to 15%. Therefore, it is reasonable to reflect that the total loss and damage ratio of maintenance monitoring sensor of subway tunnel is estimated provisionally 15% on design, and hence the study of the loss and damage ratio with the number of elapsed years in long-term by the measurement category will be needed.

Keywords: Tunnel structure, Maintenance monitoring sensor, The total loss and damage ratio, The Seoul metro line no.5,6,7, and 9, Channel tunnel

초 록: 본 논문은 지하철 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율을 산정하기 위해 국내와 국외의 지하철 터널구조물에 설치되어 운영 중에 있는 유지관리 계측센서의 손망실 현황을 조사하고 분석을 실시하였다. 지하철 터널 유지관리 계측센서 설치 후 5~6년 경과된 시점을 기준하여 총 손망실율은 서울지하철5,6,7호선에서 14.2%, 서울지하철9호선1단계구간에서 14.8%, 영국의 Channel tunnel에서 13.9%로 모두 15%에 근접하게 나타났다. 따라서 지하철 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율은 잠정적으로 15%로 설정하여 설계에 반영하는 것이 타당한 것으로 판단되며, 향후 장기간의 경과년수에 따른 계측항목별 손망실율 연구가 필요할 것으로 판단된다.

주요어: 터널구조물, 유지관리 계측센서, 총 손망실율, 서울지하철 5,6,7,9호선, Channel tunnel

1. 서 론

최근 들어 건설계측기술은 IT산업 및 정보통신기술의 급격한 발달로 거의 모든 건설현장에서 적용이 일반화 되고 있다. 또한 사회기반시설의 효율적인 안전감시 및 유지관리를 위해 지하철, 도시철도, 일반 및 고속철도, 도로, 전력구, 통신구, 공동구 등의 터널 구조물에 유지관리 계측시스템의 도입과 적용이 증가되고 있다(Lee et. al., 2000; Woo J. T., 2009b).

일반적으로 건설공사에서의 계측은 공사중계측과 유지관리계측으로 구분하고 있다.

공사중계측은 주로 설계의 불확정성 요소 등을 보완하고 설계의 타당성을 규명함으로써 시공의 안전성을 확인하고 경제성을 확보할 목적으로 수행된다.

유지관리계측은 공사중계측 단계에서 계측치가 대부분 수렴된 상태를 확인하고, 목적물인 철근 콘크리트 구조물이 시공되므로 이미 완공된 구조물에 대하

***Corresponding author:** Jong-Tae Woo
E-mail: jtwoo@kbu.ac.kr
Received November 26, 2012; **Revised** December 18, 2012; **Accepted** January 11, 2013

www.kci.go.kr
Copyright ⓒ2012, Korean Tunnelling and Underground Space Association
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativescommons.org/license/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여 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).

본 논문은 1995년 국내 지하철 터널 유지관리 계측센서가 최초 설치된 서울지하철 5, 6, 7호선과 2006년 설치된 서울지하철 9호선 1단계구간의 손망실율을 분석하였으며, 국외의 경우 1986년 설치된 영국의 Channel tunnel과 1995년 설치된 미국 보스톤항의 Red line subway tunnel의 손망실율을 분석하여 지하철 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율을 산정하고자 연구를 수행하여 터널 유지관리계측 기술발전에 기여하고자 한다.

2. 건설 계측센서의 손망실율(할증률, 고장률) 용어 검토

국어사전에서 손실(損失)이란 축나거나 잃어 버리거나하여 손해를 보는 것을 말하며, 망실(亡失) 이란 잃어버리는 것을 의미한다. 고장(故障) 이란 기계나 기구 따위가 정상적으로 움직이지 못하게 된 것을 말한다(Dong-a Publishing Co., 2010).

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

건설계측에서 Redundancy(여유분, 잉여분)라는 용어도 자주 사용되고 있는데, 여유(餘裕)란 넉넉하여 남아 있다 라는 뜻이며, 잉여(剩餘)는 쓰고 난 나머지를 뜻하는 용어로 손망실(고장)을 고려한 계측기기의 추가수량을 의미하는 용어와는 의미상 차이가 있는 것으로 보여 사용에는 적정하지 않은 용어로 판단된다.

손망실율과 유사한 개념으로 건설공사표준품셈에서는 재료의 할증률(割增率)이란 용어가 사용되고 있다. 이는 시방서 및 도면에 의하여 산출된 정미량(正味量)에 재료의 운반, 절단, 가공 및 시공 중에 발생되는 손실량에 가산해 주는 비율을 말한다(Woo et. al., 2012b).

건설계측에서 센서(Sensor) 또는 게이지(Gauge)란 대상의 상태에 관한 측정량을 신호로 변화하는 계의 최초의 요소로서 계측기기에 포함되며, 계측기기(Measurement hardware)는 재료의 감지소자에 의해 물리적 에너지를 전기 또는 빛 에너지로 변환하여 자료의 정보처리가 되도록하는 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).

건설 계측기기의 손망실 원인 중 계측기기의 성능불량, 설치시 오류 및 보호불량, 작업자나 시공장비의 부주의에 의한 계측기기 및 연결 케이블의 손상 등이 확인된 경우에는 비교적 책임 소재가 명확하나, 현장관리자가 파손되는 순간을 직접 목격하지 못하였거나, 예상치 못한 과도한 변형 및 응력발생으로 계측불능상태가 된 경우에는 책임소재가 명확하지 않아 계측기기의 재설치 비용 부담문제로 마찰이 발생하거나 심지어는 인위적인 계측데이터를 만드는 일이 발생할 수도 있다(Nam S. S., 2000; Back et. al., 2002).

건설 계측기기가 최초 설치 시 정상적으로 작동되다가 분명한 이유 없이 계측값이 이상치를 나타내거나 불안정한 경우에는 더욱 마찰의 대상이 될 수 있다. 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 손망실율(할증률, 고장률)을 산정하여 건설공사표준 품셈에서 재료에 대한 할증률 개념으로 활용이 된다면 건설계측으로 인한 이해당사자 사이의 마찰이 상당부분 해소되고 원활한 계측관리가 수행될 것으로 기대된다.

www.kci.go.kr

3. 서울지하철 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율 분석

3.1 서울지하철 5, 6, 7호선 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율

서울지하철 5, 6, 7호선건설공사 도심지역 공사구간에 대한 터널 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 1, 2와 같으며, 1995년부터 국내 최초로 터널 유지관리 계측센서가 설치되었으며, 2000년 3월 조사시점 기준하여 계측센서 설치 경과년수는 5~6년이다.

유지관리 계측센서는 총 591개로 구성 비율은 터널의 라이닝응력계 54.7%, 터널의 철근응력계 27.4%, 터널의 토압계 9.5%, 터널의 간극수압계 6.4%, 터널

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	Installed location
Total	591	100.0	507	84	14.2	-	-
Earth pressure meter	56	9.5	50	6	10.7	3	Tunnel natural ground
Piezometer	38	6.4	36	2	5.3	5	Tunnel natural ground
Rebar stress meter	162	27.4	142	20	12.3	2	Tunnel structure
Lining stress meter	323	54.7	268	55	17.0	1	Tunnel structure
Optical fiber sensor	12	2.0	11	1	8.3	4	Tunnel structure

Table 2. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor of Seoul metro line no. 5, 6 and 7 by section (Nam S. S., 2000) (Standard for 2000. 03 : elapsed 5-6 years) (Unit: word count)

Section	Earth pressure meter			Piezometer			Lining stress meter			Rebar stress meter			Optical fiber sensor			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 (%)
5-15	3	0	0	3	0	0	6	1	16.7	6	5	83.3	-	-	-	18	6	33.3
5-18	5	1	20.0	5	0	0	12	6	50.0	12	5	41.7	12	1	8.3	46	13	28.3
6-4	14	2	14.3	-	-	-	67	22	32.8	-	-	-	-	-	-	81	24	30.0
6-5	4	0	0	4	1	25.0	12	0	0	12	0	0	-	-	-	32	1	3.1
6-6	10	2	20.0	-	-	-	84	19	22.6	3	0	0	-	-	-	97	21	22.0
6-9	4	1	25.0	4	0	0	12	0	0	12	0	0	-	-	-	32	1	3.0
6-10	-	-	-	-	-	-	90	7	7.7	90	9	10.0	-	-	-	180	16	9.0
7-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	0	0	-	-	-	8	0	0
7-20	-	-	-	2	0	0	3	0	0	4	0	0	-	-	-	9	0	0
7-21	-	-	-	4	0	0	12	0	0	-	-	-	-	-	-	16	0	0
7-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	1	16.6	-	-	-	6	-	16.6
7-24	16	0	0	16	1	6.2	25	0	0	-	-	-	-	-	-	57	1	1.8
7-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0	0	-	-	-	4	0	0
7-26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0	0	-	-	-	5	0	0
Total	56	6	10.7	38	2	5.3	323	55	17.0	162	20	12.3	12	1	8.3	591	84	14.2
Total loss and damage ratio = (loss and damage number / installation number) × 100 = (84 / 591) × 100 = 14.2%																		
Rank	3			5			1			2			4			-		

www.kci.go.kr

의 광섬유센서 2.0%이다(Nam S. S., 2000).

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 판단된다.

총 손망실율은 14.2%이며, 계측센서별 손망실율은 터널의 라이닝응력계 17.0%, 터널의 철근응력계 12.3%, 터널의 토압계 10.7%, 터널의 광섬유센서 8.3%, 터널의 간극수압계 5.3%순서로 나타났다.

3.2 서울지하철 9호선 1단계구간 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율

서울지하철 9호선건설공사 1단계구간에 대한 터널 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 3, 4와 같으며, 2006년부터 유지관리 계측센서가 설치되었으며,

Table 3. 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	Installed location
Total	655	100.0	558	97	14.8	-	-
Earth pressure meter	18	2.7	17	1	5.6	6	Tunnel natural ground
Piezometer	66	10.1	53	13	19.7	3	Tunnel natural ground
Rebar stress meter	148	22.6	132	16	10.8	4	Tunnel structure
Lining stress meter	294	44.9	270	24	8.2	5	Tunnel structure
Segment stress meter	73	11.1	45	28	38.4	1	Shield tunnel
Concrete stress meter	56	8.6	41	15	26.8	2	Box structure

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		
	Instal lation	Loss	Loss ratio (%)	Instal lation	Loss	Loss ratio (%)	Instal lation	Loss	Loss ratio (%)	Instal lation	Loss	Loss ratio (%)	Instal lation	Loss	Loss ratio (%)	Instal lation	Loss	Loss ratio (%)	Instal lation	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			-		

www.kci.go.kr

2011년 8월 조사시점 기준하여 계측기기 설치 경과년수는 5～6년이다.

유지관리 계측센서는 총 655개로 구성 비율은 터널의 라이닝응력계 44.9%, 터널의 철근응력계 22.6%, 쉴드터널의 세그먼트응력계 11.1%, 터널의 간극수압계 10.1%, 박스구조물의 콘크리트응력계 8.6%, 터널의 토압계 2.7%이다(Woo J. T., 2009a, 2010b).

총 손망실율은 14.8%이며, 공구별로 손망실율은 최소 2.8%에서 최대 62.5%로 큰 차이를 보였으며, 2006년 7월부터 약 15일간 908공구 구간이 집중호우로 안양천 제방이 유실되어 터널전체가 침수로 인한 계측기기의 손망실이 큰 것으로 판단된다.

총 손망실율은 14.8%이며, 계측센서별 손망실율은 쉴드터널의 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 서울지하철 5, 6, 7, 9호선 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율 비교분석

서울지하철 5, 6, 7호선건설공사 도심지역 공사구간에 대한 터널 유지관리 계측센서의 1995년 설치 후 5～6년이 경과된 2000년 3월 기준 총 손망실율은 14.2%이며, 공구별로 손망실율은 최소 0.0%에서 최대 33.3%로 큰 차이를 보였다.

서울지하철 9호선 1단계구간에 대한 터널 유지관리 계측센서의 2006년 설치 후 5～6년이 경과된 2011년 8월 기준 총 손망실율은 14.8%이며, 공구별로 손망실율은 최소 2.8%에서 최대 62.5%로 큰 차이를 보였다.

위의 분석내용을 보면 계측센서 설치 후 5～6년이 경과된 서울지하철 5, 6, 7, 9호선 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율은 14.2～14.8%로 약 15%에 근접한 값을 보이며, 향후 장기간의 경과년수에 따른 손망실율 연구가 필요할 것으로 판단된다.

4. 국외 터널 유지관리 계측센서의 손망실율 분석

4.1 Channel tunnel (Euro tunnel)

Channel tunnel은 총연장 50.45 km, 해저깊이 평균 45 m, 단면크기는 주 터널 직경 7.6 m, 서비스 터널 직경 4.8 m, 건설기간은 1986년에서 1994년까지 약 7년이 소요되었다.

터널 유지관리계측은 총 14단면으로 주 터널에 7단면, 서비스 터널에 6단면, 주 터널과 서비스 터널을 연결하는 횡갱에 1단면이며, 1986년에 231개 진동현식 변형률계를 세그먼트라이닝에 설치하여 1990년까지 5년경과 후 손망실 수량은 32개로 손망실율은 13.9%를 보였고, Channel tunnel 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 5과 같다(Meller.S, 1990).

4.2 Red line subway tunnel

미국 보스톤항의 Red line subway tunnel은 연장 366 m, 굴착깊이 19.7 m이며, 굴착단면은 단선병렬터널로 외경 6.7 m, 콘크리트 라이닝 내경 5.0 m이다.

지하철터널 유지관리 계측센서는 다양한 종류를 설치하였는데 1995년에 200개의 진동현식 변형률계

Table 5. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor about Channel tunnel (Standard for 1990 : elapsed 5 years)

Division	VWSG : Vibrating Wire Strain Gauges		
	Installation number	Loss and damage number	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%		

www.kci.go.kr

Table 6. Loss and damage ratio of tunnel maintenance monitoring sensor about Red line subway tunnel (Standard for 1997 : elapsed 3 years)

Division	Installation number	Loss and damage number	Loss and damage ratio (%)	Rank
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%			

를 콘크리트 라이닝에 설치하였고, 1997년 까지 약 3년 경과 후 손망실 수량은 10개로 손망실율은 5.0%를 보였고, Red line subway tunnel 유지관리 계측센서의 손망실율은 Table 6와 같다(Feldman et al., 1999).

4.3 국내와 국외 터널 유지관리 계측센서의 손망실율 분석

Channel tunnel 유지관리계측은 231개 진동현식 변형률계를 1986년에 콘크리트라이닝에 설치하였고, 1990년까지 5년경과 후 손망실 수량은 32개로 손망실율은 13.9%를 보여 서울지하철 5, 6, 7, 9호선의 총 손망실율 14.2～14.8%과 유사하게 15%에 근접한 값을 나타냈다.

따라서 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율은 15%로 설정하는 것이 타당한 것으로 판단되며(Woo J. T., 2010a), 향후 장기간의 경과년수에 따른 추가적인 손망실율 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 논문은 1995년 국내 지하철 터널 유지관리 계측센서가 최초 설치된 서울지하철 5, 6, 7호선과 2006년 설치된 서울지하철 9호선 1단계구간의 손망실율을 분석하였으며, 국외의 경우 1986년 설치된 영국의 Channel tunnel과 1995년 설치된 미국 보스톤항의 Red line subway tunnel의 손망실율을 분석하여 지하철 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율을 산정하고자 연구를 수행하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

1. 건설계측에서 일반적으로 사용되는 계측센서의 손망실율은 할증률 또는 고장률과 같은 용어로 사용이 가능하다고 판단되며, 합리적인 손망실율(할증률, 고장률)을 산정하여 건설공사표준품셈에서 재료에 대한 할증률 개념으로 활용이 된다면 건설계측으로 인한 이해당사자 사이의 마찰이 상당부분 해소되고 원활한 계측관리가 수행될 것으로 기대된다.
2. 서울지하철 5, 6, 7호선건설공사 도심지역 공사구간에 터널 유지관리 계측센서 설치 후 5～6년 경과된 시점을 기준하여 총 손망실율은 14.2%로 나타났다.
3. 서울지하철 9호선건설공사 1단계구간에 터널 유지관리 계측센서 설치 후 5～6년 경과된 시점을 기준하여 총 손망실율은 14.8%로 나타났다.
4. 국내 서울지하철 5, 6, 7, 9호선의 총 손망실율은 14.2～14.8%이며, 국외 Channel tunnel의 손망실율은 13.9%로 모두 15%에 근접한 값을 나타냈다. 따라서 터널 유지관리 계측센서의 총 손망실율은 잠정적으로 15%로 설정하는 것이 타당한 것으로

www.kci.go.kr

판단된다.

5. 현장타설 콘크리트 라이닝 응력계의 손망실율은 국내가 8.2～17.0%이나, 국외는 5.0%이며, 세그먼트 콘크리트 라이닝 응력계의 손망실율은 국내가 38.4%이나, 국외는 13.9%로 큰 차이를 보여 이는 시공수준의 차이 및 국산계측기기의 내구성 문제 등의 영향으로 판단된다.
6. 향후 장기간의 경과년수에 따른 추가적인 손망실율 연구와 국내 및 국외의 계측센서에 대한 계측항목별 손망실율 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 일반연구자지원사업 기본연구지원사업(유형Ⅱ, 과제번호 2011- 0009456)으로 “건설 및 터널 계측 기술의 공학적 응용을 위한 핵심 요소기술 개발”의 2012년 2차년도 연구과제(과제번호 2012-0002684)인 “건설계측 기기의 손망실 비율 산정 연구”의 일부 내용이며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

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. Dong-a Publishing Co. (2010), “Dong-a New Korean Dictionary”.
3. Feldman., A.I., Buechel, G.J. (1999), “Instrumentation program for Boston red line tunnel”, 5th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, pp. 95-100.
4. Lee, D.H., Han, I.Y., Kim, G.S., Jin, S.W. (2000), “Case studies on applications of convergence measurement system at the stages of tunnel construction and maintenance”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 2, No. 3, pp. 59-69.
5. Meller, S. (1990), “Monitoring of channel tunnel instrumentation”, Gage Technique Ltd., pp. 1-31.
6. Nam, S.S. (2000), “Case studies on the damage ratio of monitoring sensor”, Korean Geotechnical Society Spring Conference at Information Technical Committee.
7. Woo, J.T., Lee, R.C. (2008), “Construction monitoring engineering”, Goomi Publishing Co., pp. 15-25.
8. Woo, J.T. (2009a), “Final report of recently technical maintenance monitoring in the section 1 of the Seoul metro line no.9, Seoul Metropolitan Infrastructure Headquarters, pp. 1-6.
9. Woo, J.T. (2009b), “A study on comparison of a ground water influx quantity in Seoul subway tunnel”, Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association, Vol. 11, No. 4, pp. 353-359.
10. Woo, J.T. (2010a), “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.
11. Woo, J.T. (2010b), “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.
12. 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.
13. Woo, J.T., Park, J.H., Ji, H.S. (2012b), “Estimation of construction”, Kimoondang Publishing Co., pp. 47-58.

www.kci.go.kr