

## 계절별 온도 변화에 따른 계측 변위 특성\*

### Characteristics of Measured Displacement by Seasonal Temperature Changes

Jin Hwan Kim\*\*, Jong Hyun Lee\*\*\*, Wan Kyu Yoo\*\*\*\*

Geotechnical Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi-do, 411-712, Korea

#### Abstract

The measurement of the conditions of industrial infrastructures as a means to determine the rate of deterioration of various structures such as roads, railroads, bridges, ports, etc. are quickly becoming important in South Korea. The maintenance market with measuring instruments has become bigger but the research for the external environment conditions which influence the performance of the measuring instruments is insufficient. In order to examine the performance of the measuring instruments by the seasonal change, this study collected and analyzed data from measurement instruments installed in domestic slope, and observed the characteristics of measured displacements due to seasonal temperature changes. This study shows that collecting and analyzing technical data and systematic and specialized research for monitoring soil behavior affected by the external environment conditions are needed for the nation's major industrial infrastructures.

**Key words:** industrial infrastructures, maintenance, measuring instruments, seasonal temperature changes

---

\* 이 논문은 국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업 13건설연구S03 "터널시공 중 디지털 맵핑을 통한 온라인 암환경 기술 및 운영모델 개발" 과제의 지원에 의하여 연구되었습니다.

\*\* Tel. +82-31-910-0099. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. goethite@kict.re.kr

\*\*\* Tel. +82-31-910-0227. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. jhrhee@kict.re.kr

\*\*\*\* Corresponding author. Tel. +82-31-995-0877. Fax. +82-31-910-0561. E-mail. lyu5553@kict.re.kr

Submission & Publication Process

Received: Oct. 12, 2015 / Revised: Nov. 13, 2015 / Accepted: Nov. 23, 2015

### 국문초록

우리나라의 도로, 철도, 교량, 항만 등 주요 산업 기반시설들이 노후화됨에 따라 시설물 유지관리의 중요성이 증가하고 있으며 계측기를 활용한 기반시설의 유지관리가 수행되고 있다. 계측기를 이용한 산업 기반시설의 유지관리 분야의 시장 규모는 급격히 증가하고 있으나 계측기 성능에 영향을 미치는 여러 외부 환경 요인에 관한 연구는 부족한 편이다. 특히 우리나라의 경우, 사계절이 뚜렷하여 계측기 주변의 온도 변화가 큰 폭으로 발생할 수 있는데 온도변화-계측변위의 상관관계에 관한 연구는 미흡하다. 본 연구에서는 계절 변화에 따른 온도 변화가 계측기 변위 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 국내 비탈면에 설치한 계측기의 데이터를 수집, 분석하여 변위 특성을 관찰하였다. 연구 결과, 일부 현장에서 나타나는 계측기상의 지반 변위는 실제 변위가 아닌 온도 변화를 반영하여 발생한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 온도 변화가 심한 지역에서의 순수 계측변위가 계측기를 설치한 시설의 위험징후를 반드시 반영하지 않음을 의미한다. 산업 기반시설에 대한 정밀한 계측을 위해서는 구조물 변위, 지반변위뿐만 아니라 온도 변화의 상관성을 고려한 모니터링 계획이 필요하다.

**주제어:** 산업 기반시설, 유지관리, 계측기, 계절 온도 변화

## 1. 서론

국가 경제 개발 초기 단계에는 도로, 철도, 교량, 항만, 공장 등 다양한 산업 기반시설이 건설된다. 우리나라에서도 1980, 1990년대에 많은 산업 기반시설이 건설되었으며 이를 바탕으로 경제 발전이 급속하게 이루어 졌다. 2000년대부터는 기존에 건설되었던 사업 기반시설들의 사용 연한에 따른 유지관리 문제가 대두되었으며 보다 효과적인 산업 기반시설의 운용을 위한 여러 가지 관리 방안이 연구되었다. 특히 정부는 시설물의 안전관리에 관한 특별법에 의거하여 시설물의 안전 및 유지관리 기본계획을 수립하여 시설안전의 중요성을 인식하고 구체적인 실현 방안을 마련하기 위한 다각적인 계획을 마련하여 향후 우리나라 주요 시설물의 고령화 시대 진입에 대한 대응을 하고 있다.

산업시설물 유지관리를 위한 대표적인 방법으로 계측기를 활용한 모니터링 방법이 있다. 계측은 관리 대상 시설물에서 위험이 예상되는 구간에 지반 변위, 구조물 균열, 온도 변화, 강우량 등 다양한 물리적 변화를 측정하는 것으로 관리 대상 시설물의 유지관리를 수행하는데 기초자료로 활용된다. 국내에서도 터널, 교량, 비탈면 등 다양한 시설물에 계측기를 활용한 유지관리 방안 연구가 수행되었다 (Kong, 2008; Shin, *et. al.*, 2015; Woo & Lee, 2002).

계측을 통한 대상 구조물의 변위 특성을 감지하기 위한 연구는 많이 수행되었지만 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 나라에서 계절 효과가 계측 신호에 미치는 영향에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 국내의 경우, 도시철도 터널 계측 결과에 터널 내부의 온도가 영향을 미친다는 연구결과가 보고된 바 있다(Yoo, *et. al.*, 2014). 국외의 경우에는 기후, 계절 등의 변화에 따른 비탈면의 거동 특성에 관한 연구가 수행되었고 기후변화로 발생하는 “썩기과괴(wedge failure)” 메카니즘 개념을 암블록의 열 응답을 모니터링하여 규명하는 연구를 수행한 바 있다(Bakun-Mazor & Hatzor, 2011).

Bakun-Mazor & Hatzor는 암블록에 계측기, 온도계, 상대 습도계를 설치하여 계측기별 변위량, 측정기간 동안의 온도, 상대습도를 측정하여 분석하였다. 온도 변화에 따라 암블록의 확장과 수축 현상에 의한 거동 발생을 예측하였다. Take & Bolton(2011)은 비탈면 불안정 단계 중 첫 번째 단계의 붕괴 특성에 대하여 원심분리 모델을 사용하여 계절 변형 메커니즘을 밝히기 위한 연구를 수행하였다. 연구 결과에 따르면 계절 특성에 따라 비탈면 표면에서의 움직임의 방향 특성이 차이를 보인다고 보고하였다.

본 연구에서는 계절 변화에 의한 온도 변화가 계측기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 국내 비탈면에 설치한 계측 자료를 수집하여 지반 변위와 당시의 온도 변화 특성을 비교하여 계측기 변위가 계절 변화의 특성을 반영하는지 검토해 보고자 한다.

## II. 비탈면 계측기 설치 및 현황

국토의 70%가 산지로 구성되어 있는 우리나라는 산지를 통과하거나 산지 주변에 형성되는 도로, 철도, 주택 및 다양한 기반시설의 주변에는 크고 작은 비탈면이 형성된다. 일반 국도변에 분포하고 있는 약 3만 여개의 비탈면을 포함하여 전국에는 수 만 여개의 비탈면이 분포하고 있을 것으로 추정되고 이렇게 형성된 비탈면에서는 매년 크고 작은 붕괴가 발생하여 인적, 물적 피해를 발생시키고 있다. 비탈면의 붕괴 예방 및 피해 저감을 위해서는 체계적이 관리 방법을 도입하여 주기적으로 현장 점검을 수행하는 것이 필요하다. 하지만, 한정된 자원을 바탕으로 다수의 비탈면 관리는 쉽지 않기 때문에 다양한 계측방법을 도입하여 비탈면 변위를 감지하여 사전에 위험징후를 포착, 경고하는 방식을 많이 활용하고 있다. 국내에서 많이 사용되는 비탈면 계측방식을 <Table 1>에 나타내었다.

<Table 1> Slope measurement sensor types

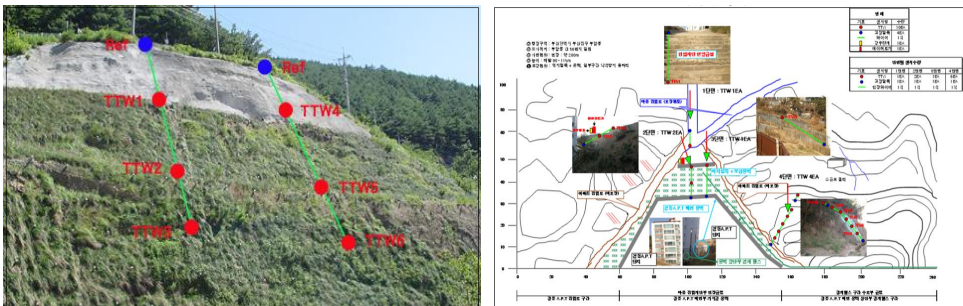
Measurement targets	Measuring items	Main sensor
ground surface displacement	ground expansion displacement	extensometer
	ground tilt change	inclinometer
	topple rotation	topple switch
	rockfall detection	ground detector
	slip surface location	pipe strain gauge
underground displacement	slip surface location	insert inclinometer
	slip block shift amount	stationary inclinometer
		extensometer
		multistage extensometer
	uplift, subsidence	displacement meter

계절 변화가 뚜렷한 우리나라의 경우에도 실제 지반 거동에 의한 변위발생이 아닌 계절(온도)변화에 따른 변위 발생이 발생할 수 있음을 추정해 볼 수 있다. 계절 변화에 따른 국내 비탈면의 계측 데

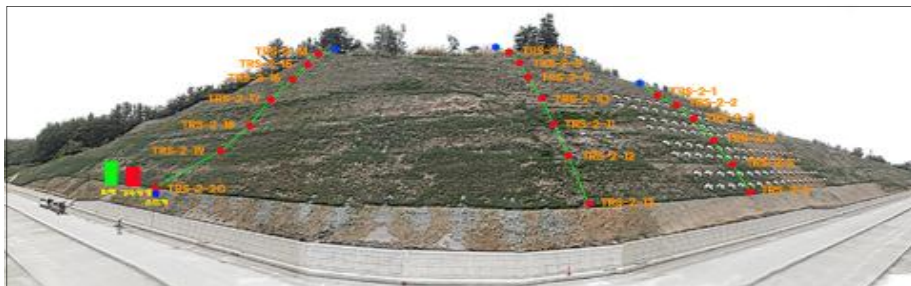
이터 특성을 분석하기 위하여 계측기 설치현장 4개소를 선정하여 약 2년간의 변위자료를 수집, 분석하였다. 계측자료가 수집된 현장의 개략적인 현황은 <Table 2>와 같으며 각 현장별 계측기 설치 현황을 그림에 나타내었다. 계측기 설치 현장의 비공개를 위하여 현장명은 A에서 D까지 알파벳순으로 명명하였다. A현장은 강원도에 위치하고 있으며 B, C, D 현장은 경상남도에 위치하고 있다. 현장별로 설치된 계측기의 종류는 다르지만 기본적으로 지표변위를 측정하는 변위계와 일부 현장에 대해서는 경사도 변화를 측정할 수 있는 경사계가 설치되어 있다. 본 연구에서는 각 현장의 지표변위계를 통하여 측정된 변위량을 수집하였다.

<Table 2> Installation sites of measuring instruments

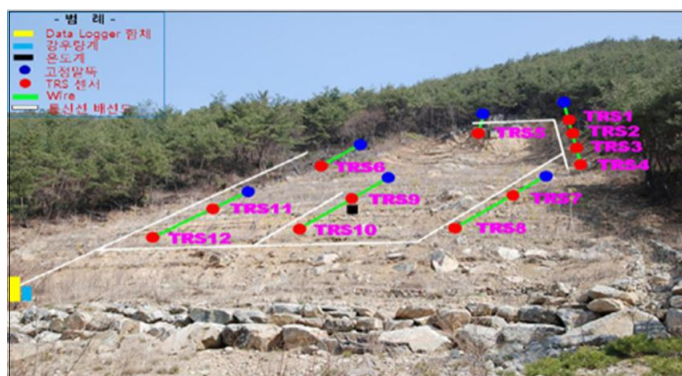
No	Site	Measurement term	sensor types
1	A	2009.01.02.~2012.10.02.	extensometer
2	B	2010.01.05.~2012.01.05.	extensometer inclinometer
3	C	2009.06.11.~2012.06.11	extensometer
4	D	2010.01.18.~2011.12.30	extensometer inclinometer



<Figure 1> Location of measuring instruments installation: (left : site A, right : site B)



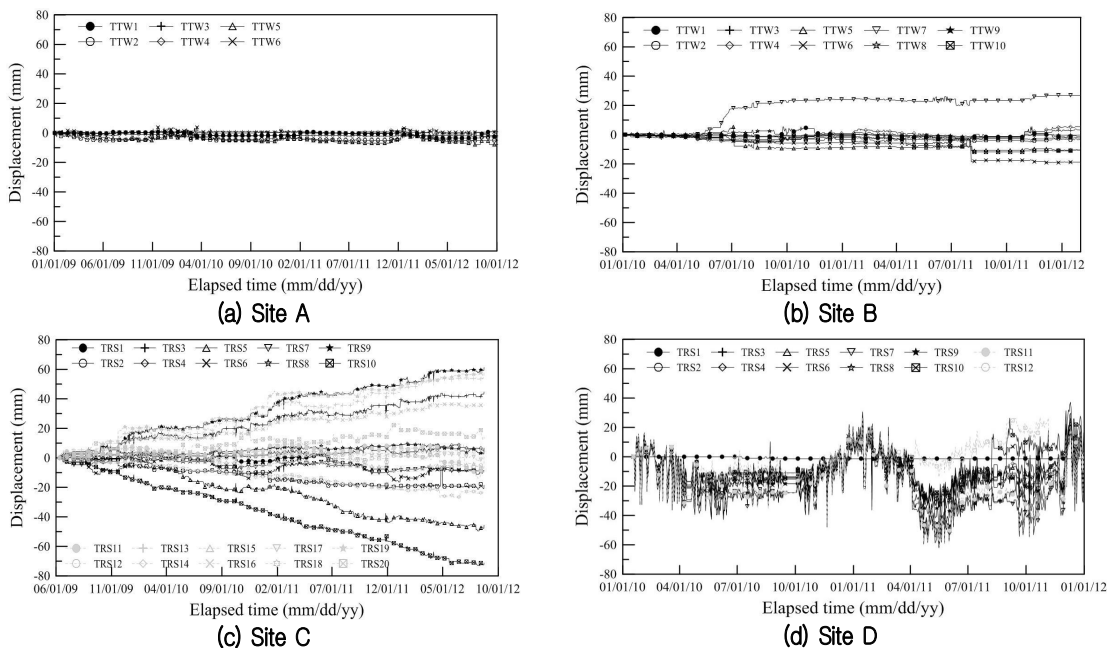
<Figure 2> Location of measuring instruments installation(site C)



<Figure 3> Location of measuring instruments installation(site D)

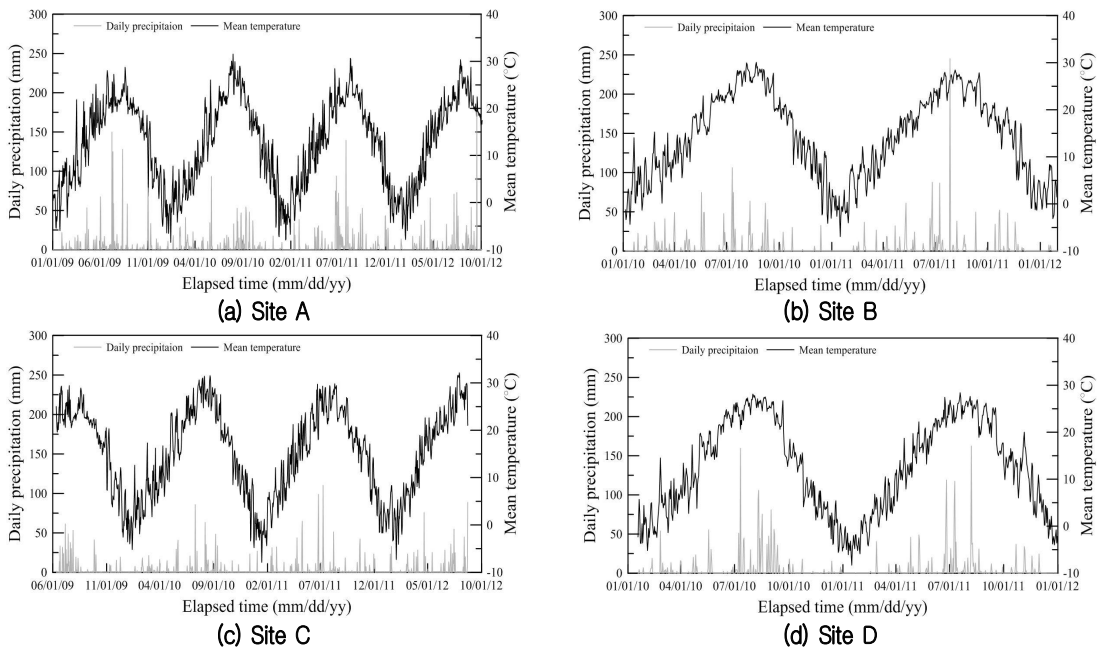
### III. 비탈면 계측 결과 및 온도 영향 분석

계측기가 설치된 4개 현장은 지방자치단체 관할의 도로 및 주택 단지 등에 위치한 비탈면으로 계측기를 설치하여 지반 변위 거동을 감지하고 있다. 일부 현장은 대규모 붕괴가 발생한 현장도 있었으며 설치 후 현재까지 특별한 변위가 발생하지 않은 현장도 있다. 각 현장별로 약 2년간의 지반 변위 특성을 <Figure 4>에 나타내었다.



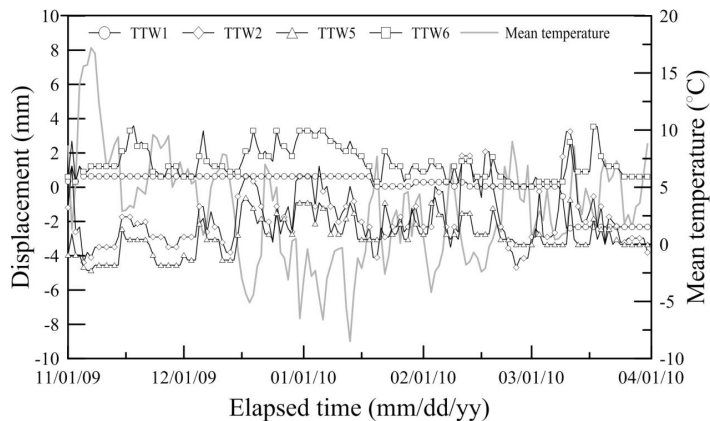
<Figure 4> Changes of ground displacement according to time variation

<Figure 4>에 나타난 바와 같이 각 현장의 변위 측정결과 비탈면에서 붕괴가 발생할 정도의 큰 변위가 발생한 현장도 있으며 변위 발생이 미미한 현장도 있다. 계측기에 나타난 변위가 온도 변화의 영향을 받아서 나타난 것인지를 알아보기 위하여 각 현장의 계측 기간에 대한 온도 변화를 조사하였다. 기상청 홈페이지에 공개된 자료를 활용하여 평균기온과 당일 측정된 일강수량을 조사하였으며 <Figure 5>는 A~D 현장에 대하여 계측기간 동안 조사된 기온과 강수량 변화를 나타낸 것이다 (KMA, 2015). A 현장과 C현장의 경우 다른 두 지역에 비하여 평균기온이 높게 나타났음을 확인할 수 있었으며 A, B, D 현장의 강우량이 C 현장에 비하여 일반적으로 많이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.



<Figure 5> Temperature changes and rainfall data during measurement period

계절 변화(겨울→봄 또는 가을→겨울)에 따른 계측 변위 특성을 검토하기 위하여 비탈면 지반 변위가 거의 나타나지 않는 A 현장에 대하여 온도 변화에 따른 계측 변위 양상을 Figure 6에 나타내었다. 계절 변화에 따른 계측기 변화 특성을 확인하기 위해서는 지반 변위가 많이 발생한 현장 보다는 지반 변위가 오차범위 내에서 거동하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 이러한 점을 고려할 때, A~D 현장 중, A 현장의 지반 변위가 오차 범위 내에서 거동을 보이고 있어 계절 변화(온도 변화)의 특성을 반영한 변위를 확인하기에 적합한 현장이라고 볼 수 있다.



<Figure 6> Displacement variation by temperature changes in site A

A 현장의 계측 데이터에서 오차 범위의 변위를 보이는 TTW1, TTW2, TTW5, TTW6 센서의 계측 자료와 온도 변화 자료를 비교해 보면 온도가 증가할 때, 계측 센서는 압축 형태의 거동을 보이고 온도가 감소할 때는 인장 형태의 거동을 보이는 경향이 나타났다. 특히 온도 변화 선행 후에 계측기의 변위가 뒤이어서 발생하는 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 Take & Bolton(2011)의 연구 결과와 유사하며 계절 변화에 따른 온도 변화가 계측기기의 변위 측정 특성에 영향을 미치고 있다는 사실을 반증한다고 볼 수 있다. 계절 변화의 영향을 받는 계측기기의 특성은 정밀한 계측이 요구되는 중요 시설에 대한 계측을 수행하는데 있어 반드시 고려되어야 할 것으로 판단되며 향후 보다 많은 자료 검토 및 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

#### IV. 결론

우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 주요 산업시설물의 유지관리 및 재난 발생의 위험징후를 사전에 파악하기 위하여 다양한 형태의 계측기 활용을 많이 하고 있다. 신규 계측기 설치를 위한 새로운 제품 개발 연구 및 시장의 규모는 지속적으로 증가하고 있으나 신뢰할 수 있는 계측 자료 취득을 저해하는 외부 환경 요소에 관한 연구는 많이 부족하다. 특히 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 지역은 계측기의 정밀도를 낮게 하는 온도 변화, 강수량 변화 등 다양한 외부 환경 요소가 내재되어 있어 그 영향 특성에 관한 연구가 필수적이다.

본 연구에서는 온도 변화가 뚜렷한 지역에 장기간 노출된 계측기의 변위 특성을 관찰하였다. 관찰 결과, 지반변위가 발생하지 않더라도 온도 변화에 따라 계측 변위도 변동하는 경향을 볼 수 있었다. 이러한 사실은 정밀 계측이 필요한 주요 산업시설물 및 재난 발생 대상물의 위험징후 판단에 대하여

순수 계측 변위만을 고려하는 것은 실제 위험 발생 가능성을 반영하지 않음을 의미하며 온도 변화의 영향을 고려한 해석이 필요하다. 향후, 지반 변위가 발생하지 않은 현장에서 온도 변화뿐만 아니라 강수량 변화 이끌어내는 계측변위의 발생 한계치를 도출하여 계측기의 외부 환경(온도, 강수량)-변위 특성을 규명할 수 있는 연구를 수행할 계획이다.

## References

- Bakun-Mazor, D. and Y. H. Hatzor. 2011. Climatic Effects on Key-block Motion: Evidence from the Rock Slopes of Masada World Heritage Site. *American Rock Mechanics Association. 45th US Rock Mechanics Geomechanics Symposium.*
- Korea Meteorological Administration(KMA). 2015. <http://www.kma.go.kr/index.jsp>
- Kong, Byung-Seung. 2008. Analysis of New Health Monitoring System for Long Span Bridge over the Sea. *Journal of Ocean Engineering and Technology.* 22(5): 142-147.
- Shin, Taeju, Taesoo Kim, Sanggoo Hwang, and Heuisoo Han. 2015. 3-D Analysis of Slope by Tension Wire Sensing. *Journal of the Korean Geo-environmental Society.* 16(3): 41-48.
- Take, W. A. and M. D. Bolton. 2011. Seasonal Ratcheting and Softening in Clay Slopes, Leading to First-time Failure. *Geotechnique.* 61(9): 757-769.
- Woo, Jong-Tae and Song Lee. 2002. The Mechanical Characteristics of Subway Tunnel for Maintenance Monitoring. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers.* 22(1-C): 89-97.
- Yoo, Ji-Hyeung., Seung-won Lee, and Dae-Sung Kim. 2014. Concrete Lining Behaviors of Subway Tunnels according to Temperature Variations. *Journal of the Korean Society for Railway.* 17(6): 410-414.

### Korean References translated from the English

- 공병승. 2008. 해상 장대교량의 시공중 계측 및 유지관리 시스템 구축을 위한 분석 연구. 한국해양 공학회지. 22(5): 142-147.
- 신태주, 김태수, 황상구, 한희수. 2015. Tension Wire 계측을 통한 비탈면의 3차원 거동 분석. 한국 지반환경공학회지. 16(3): 41-48.
- 우종태, 이송. 2002. 유지관리 계측에 의한 지하철 터널의 역학적 특성. 대한토목학회논문집. 22(1-C): 89-97.
- 유지형, 이승원, 김대성. 2014. 온도변화에 따른 지하철 터널의 콘크리트 라이닝 거동. 한국철도학

회논문집. 17(6): 410-414.
-----------------------

**김진환:** 한국건설기술연구원 전임연구원으로 재직 중이다. 터널, 자연 재해 대응이 주요 관심 분야이며, 주요 논문으로는 “건기 조건의 사면 안정 해석과 관련된 문제점 고찰 및 대안(2012)”, “A Study on the Variation of Ground Safety Factor by Earthworks(2014)” 등이 있다(goethite@kict.re.kr).

**이종현:** 한국건설기술연구원 수석연구원으로 재직 중이다. 사면, 산사태, 토석류 등 자연 재해 대응이 주요 관심 분야이며, 주요 논문으로는 “암반비탈면 활동에 의한 도로 융기현상 사례 연구 및 실시간 모니터링을 이용한 대책공법 검증(2011)”, “수계 집중도 분석 및 개별요소법을 이용한 토석류 위험도 예측 사례 연구(2012)” 등이 있다(jhrhee@kict.re.kr).

**유완규:** 명지대학교에서 토목환경공학 박사학위를 받고 현재 한국건설기술연구원 박사후연구원으로 재직 중이다. 구조물 기초, 연약지반 개량, 터널이 주요 관심 분야이며, 주요 논문으로는 “Model Test Study on the Behavior of Geotextile-encased Sand Pile in Soft Clay Ground(2015)” 등이 있다(lyu5553@kict.re.kr).