

## 계측자료를 이용한 흙막이 구조물의 수정된 관리기준치 제안

김정규<sup>1</sup>, 박흥규<sup>2</sup>, 남진원<sup>3\*</sup>

# Proposal of the Modified Management Criteria Value in Earth Retaining Structure using Measured Data

Jueng-Kyu Kim<sup>1</sup>, Heung-Gyu Park<sup>2</sup>, Jin-Won Nam<sup>3\*</sup>

**Abstract:** The absolute value management method is widely used in the most of the earth retaining construction, which evaluates the safety by comparing measurement result and management criteria. Therefore, the management criteria is the standard to evaluate the safety of the site, and in other words, the criteria is a direct factor of the evaluation. That means that the safety of the site can not be acquired if the management criteria is not proper, even though the measurement system is perfectly set. However, many of field technicians do not have rely on the current management criteria, and they even recognize the necessity of the revision. Therefore, in this study, the necessity of the revision was studied. Also, the optimum criteria selection and the application were performed based on the test results of earth retaining deflection and probabilistic theory. The absolute value management method was used for this study. The details are tabulated.

**Keywords:** Absolute value management method, Earth retaining structure, Management criteria, Modification factor, Safety

## 1. 서 론

지하 흙막이 공사 시 안전시공을 위한 현장계측은 인접 구조물 및 흙막이 공사에 있어서 위험을 예측할 수 있는 가장 좋은 방법이다. 이전까지 계측은 시공에 비해 별로 중요치 않게 여겨져 왔지만 현 시대에서는 도심지에서의 모든 공사가 지하굴착에 의해 이루어지며, 반드시 계측이 수반되고 있다. 그러나 계측에 대한 충분한 지식과 경험이 없다면 계측기의 오류를 발견하거나 사용자의 사용미숙으로 인해 발생하는 피해를 예방할 수 없고 기술자로서의 신뢰를 잃을 뿐더러 대형 사고를 불러일으킬 수 있다(Lee, 1998). 따라서 흙막이 공사 현장의 붕괴를 사전에 효과적으로 감지하기 위해서는 흙막이 공사현장의 공법별 특성을 명확히 이해하고 이에 적합한 계측기기를 최적의 위치에 설치하며, 다양한 분석항목들을 종합적으로 분석하는 기술이 필요하다.

흙막이 공사현장에서 굴착 시 발생하는 붕괴사고는 붕괴징후 발생 후 급작스럽게 발생하는 경우가 많다는 특성 때문에

계측기로부터 붕괴징후를 감지하였더라도 적절한 시점에서 공사 중지 및 대피가 이루어지지 못해 붕괴에 따른 피해가 더욱 커진 사례가 종종 보고되고 있다(Seong et al., 2011). 이러한 흙막이 공사현장의 붕괴안전성을 평가하기 위해 센서별 계측결과와 계측관리기준치에 따라 계측관리 기법이 적용되고 있다(Kim, 2003).

일반적으로 흙막이 공사현장의 안전성 평가를 위한 계측관리기법은 절대치관리와 예측관리로 나눌 수 있다. 절대치관리란 시공 전에 미리 설정한 관리기준치와 실측치를 비교검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 평가하는 방법이며, 예측관리는 이전 단계의 실측치에 의하여 예측된 다음 단계의 예측치와 관리기준치를 대비하여 안전성 여부를 판정하는 기법이다(Korean Geotechnical Society, 2001). 절대치관리기법은 계측결과에 대해서 신속하게 대처할 수 있어서 현장에서 단순관리에 많이 이용하고 있는데 반해 예측관리는 조기에 흙막이구조물의 거동을 컴퓨터를 통하여 시뮬레이션 하여 추정하므로 보다 합리적인 관리를 할 수 있다. 그러나 계측시스템이 대규모가 되어 경제적인 면에서 부담이 크므로 이 방법은 대규모 흙막이공이나 중요한 계측에 국한되어 이용되는 것이 일반적이다.

따라서 본 연구에서는 흙막이 공사현장의 붕괴안전성 평가를 효율적으로 수행하기 위한 연구로 기존 현장 계측결과와 관리기준치를 비교하는 절대치관리방법을 적용하며 확률 통

<sup>1</sup>정회원, 가톨릭관동대학교 토목공학과 박사수료

<sup>2</sup>정회원, 가톨릭관동대학교 토목공학과 교수

<sup>3</sup>정회원, (주) 바이텍코리아 기술연구소 이사, 교신저자

\*Corresponding author: jwnam72@gmail.com

•본 논문에 대한 토의를 2016년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 3월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

계적인 기법에 의한 기존 데이터 분석을 통하여 흙막이 벽체의 수정된 계측관리 기준치를 제안하고자 한다.

## 2. 흙막이 벽체의 계측관리 기준치

대다수의 흙막이 공사 계측현장에서 적용하고 있는 절대치 관리방법은 관리기준치와 계측결과를 절대 비교함으로써 공사현장의 안전성을 평가하는 방법이다. 따라서 안전성 평가의 판단기준이 되는 관리기준치는 평가결과에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 즉 아무리 최적의 계측시스템이 적용된 현장이라고 하더라도 관리기준치가 타당하지 않으면, 공사현장의 안전성을 정확히 판단할 수 없으므로 관리기준치의 선정은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 기존 현장에서 적용되는 흙막이 수평변위 관리기준치를 분석하고 이를 토대로 수정된 관리 기준치를 제안하고자 한다.

### 2.1 기존 절대치관리방법에 의한 관리기준치

굴착공사 시 지반거동은 흙막이벽체 및 지보재의 강성, 배면지반의 특성, 상재하중 등의 여러 요인에 의해 영향을 받게 된다. 이러한 요인들에 의해 발생하는 흙막이벽체의 거동을 단순화하기 위해 최대수평변위를 굴착심도로 나누어 정규화

하고 있다.

Fig. 1은 여러 굴착현장에서 측정된 흙막이벽체의 수평변위에 대한 계측결과를 도시한 것으로 굴착심도에 대한 최대수평변위의 비( $\delta_{hmax}/H$ )가 0.2~0.5%(1/500~1/200) 정도의 범위에 있음을 보고하였다(Clough and O' Rourke, 1990). 또한, Table 1은 기존에 발표된 국내외의 수평변위 기준치에 대한 연구결과를 요약한 것으로 굴착심도에 대한 최대수평변위의 비( $\delta_{hmax}/H$ )가 0.1~1.0%의 범위에서 나타나는 것을 알 수 있다(Oh, 2001).

본문에서는 기본이론, 가정, 방법론 등을 기술하고 이론적 해석, 실험 또는 계산결과와 그에 대한 분석 및 유관한 기존의 연구결과와의 비교 고찰 등에 관하여 기술한다.

### 2.2 흙막이 벽체의 수평변위에 대한 정규화

굴착지반에서 흙막이벽체의 수평변위를 완전히 통제하고 예측한다는 것은 불가능하므로 기존에 수행된 계측결과에서 나타난 흙막이벽체의 수평변위에 대한 경향을 확률적인 분석을 통해 특정 발생확률(probability of occurrence)을 가지는 변위에 대하여 계획하게 되며, 이를 초과할 경우에는 특별관리를 하여야 한다. 즉, 모든 데이터를 전부 분석하기 어려운 경우 표본(sample)만을 가지고 발생확률을 예측하며, 어느 범위 이상의 값이 발생할 경우에는 위험한 상태로 판단하여 보수 및 보강 등의 대책방안을 강구하는 것을 말한다.

한편, 본 연구에서 수평변위의 정규화는 흙막이벽체의 형식별로 측정자료를 구분 정리하여 관리기준치를 설정하였으며, 본 연구에서는 흙막이벽체는 H-pile + 토류판 벽체, S.C.W 벽체, C.I.P 벽체 및 Slurry Wall로 구분하였다. 이러한 관리기준을 설정하기 위해 본 연구에서는 각 흙막이벽체의 종류별로 표본 평균을 산정하고 모평균의 신뢰구간을 5% 및 1%의 유의수준으로 단측검정하여 이에 대한 모평균 추정 상한선을 표시한 정규분포의 계측결과를 Fig. 2와 같이 굴착심도(H)에 대한 최대수평변위( $\delta_{hmax}$ )의 비로 나타내었다.

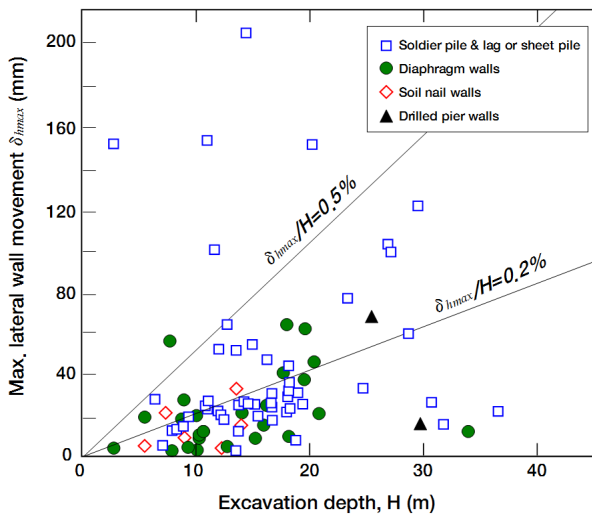


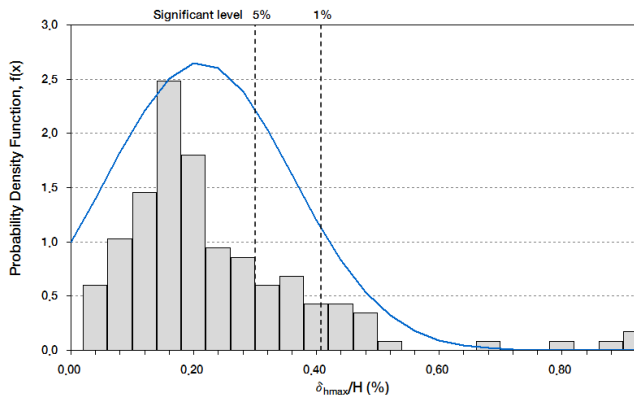
Fig. 1 Results of  $\delta_{hmax}/H$ (Clough and O' Rourke, 1990)

## 3. 흙막이 벽체의 계측관리 기준치 제안

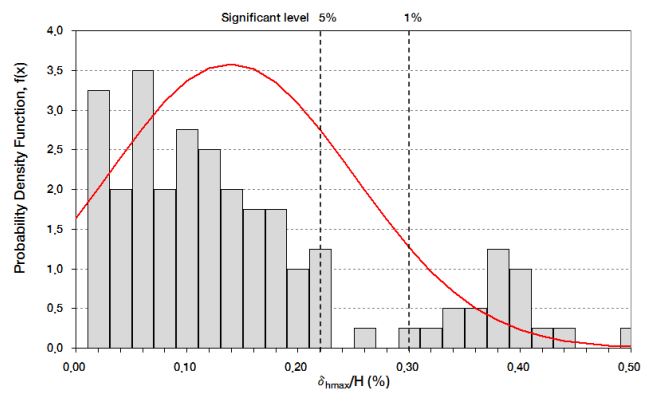
Fig. 1에 나타난 외국의 연구사례는 지반이 비교적 균질한

Table 1 Summary of previous research results for the Max. lateral wall movement

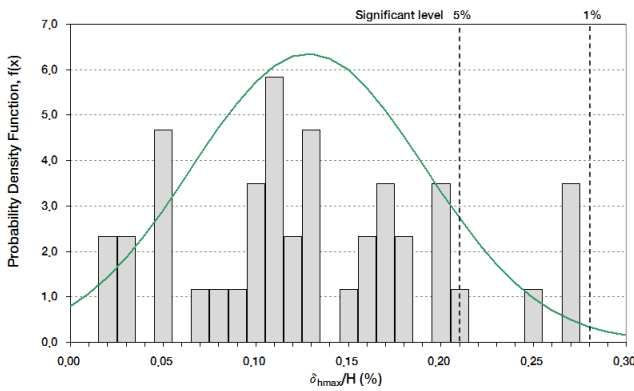
Authors	Peck (1969)	NAVFACDM-7.2 (1982)	Clough & O' Rourke(1990)	Chang et al. (1993)	Lee & Jeon (1993)	Yang (1996)	Oh & Nam(1997)
Max. Lat. wall movement ( $\delta_{hmax}$ )	1.0% H	$\leq 0.2\% H$	Avg. : 0.2% H Max. : 0.5% H	0.2% H ~ 0.5% H	$\leq 0.2\% H$	0.13% H	0.28% H 0.1% H



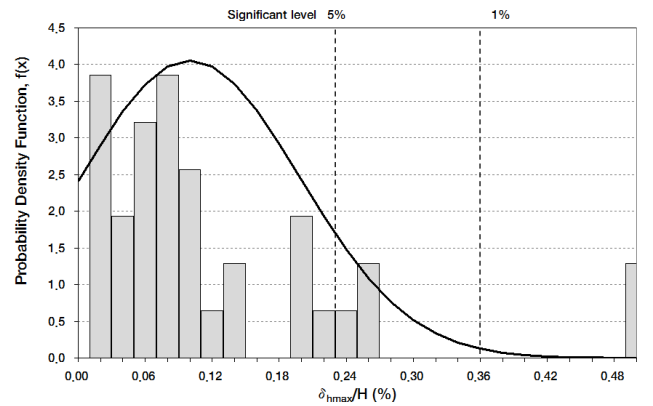
(a) H-pile + braced wall



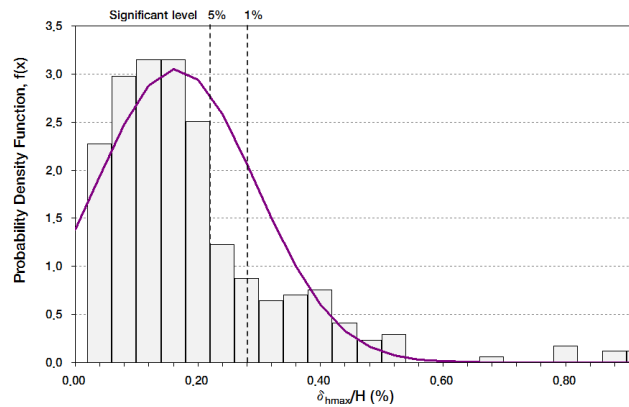
(b) S.C.W



(c) C.I.P



(d) Slurry Wall



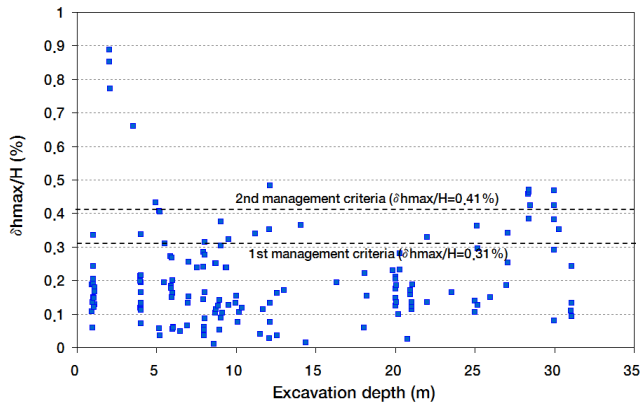
(e) Total earth retaining wall

**Fig. 2** Normal distribution of measuring data

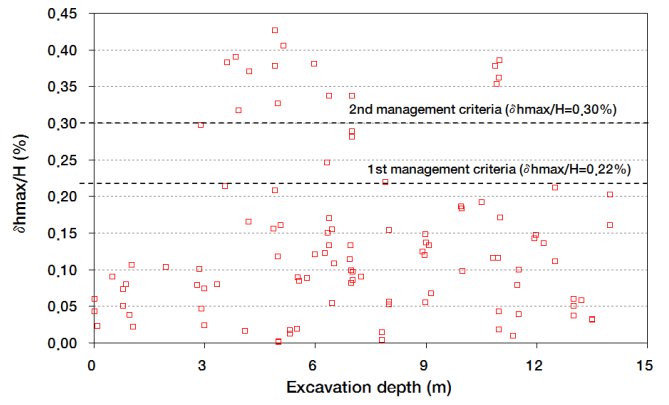
지층을 대상으로 수행된 것이기 때문에 다층지반으로 구성되고 표층에서 암반층이 분포하는 국내 도심지 지반조건과는 다소 차이를 보일 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 국내 흙막이현장에서 측정된 벽체 변위의 평균과 표준편차를 산정하고 그것이 정규분포에 따른다고 가정하여 흙막이벽의 수평변위에 대한 관리기준치 항목을 1차와 2차로 구분하였다. 이러한 정규분포의 모집단에 대

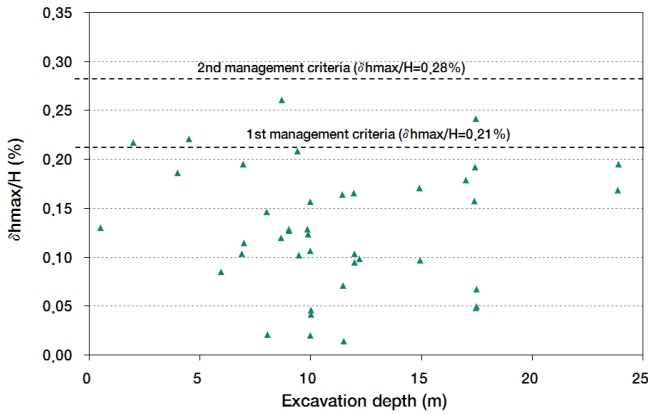
해  $t$ 분포를 이용하여 5% 및 1% 유의 수준으로 단측검정을 실시하였으며, 신뢰구간의 5% 상한선을 1차 관리기준치, 신뢰구간의 1% 상한선을 2차 관리기준치로 설정하였다. 여기서, 1차 관리기준치란 안전에 이상이 없으나 주의시공이 요구되는 기준이고, 2차 관리기준치는 주의시공의 정도를 초과하여 위험상태를 뜻하는 기준을 의미한다. Fig. 3은 시공단계에서 안전성 판단의 기준이 되는 관리기준치를 전술한 5% 및 1%의 유



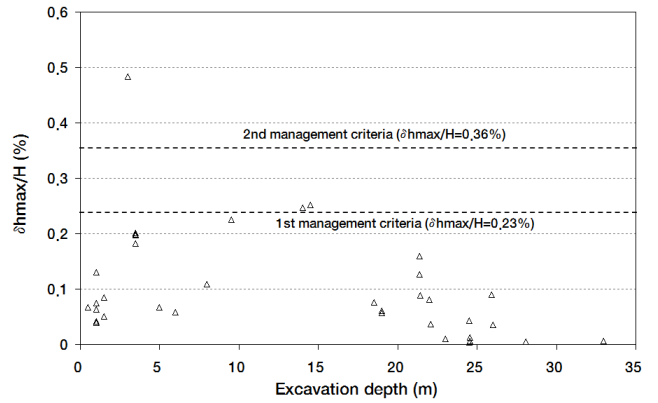
(a) H-pile + braced wall



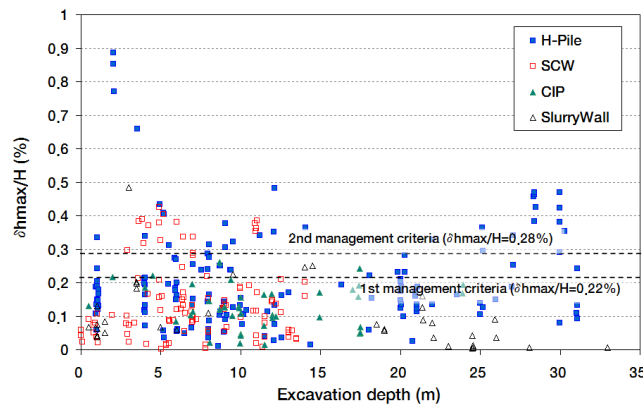
(b) S.C.W



(c) C.I.P



(d) Slurry Wall



(e) Total earth retaining wall

Fig. 3 Max. lateral wall movement vs Excavation depth

의수준으로 단측검정한 결과에 대해 최대수평변위량( $\delta_{hmax}$ )을 굴착심도( $H$ )로 나누어 정규화하여 나타낸 것이다.

관리기준치 설정을 위한 현장계측 결과 중 흠막이벽의 최대수평변위를 굴착심도로 나누어 정규화 시키고 Fig. 3과 같이 분석한 결과 H-pile + 토류판 벽체의 경우 제 1, 2차 관리기준치가 되는  $\delta_{hmax}/H$  값은 0.31 ~ 0.41%의 범위를 나타내고 있

으며, S.C.W 흠막이벽체에서는 0.22 ~ 0.30%를 보이고 있다. 또한, C.I.P 벽체의 경우 제 1, 2차 관리기준치가 되는  $\delta_{hmax}/H$  값은 0.21 ~ 0.28%이고 Slurry Wall은 0.23 ~ 0.36%정도가 발생되고 있으나 전반적으로 0.22 ~ 0.28%의 범위 내에서 변화하는 경향을 보이고 있다.

일반적으로 최대수평변위의 정규화 값  $\delta_{hmax}/H$ 이 1차 관

**Table 2** The modified management criteria in accordance with the type of earth retaining wall ( $\delta_{hmax}/H$ )

Type	1st management criteria (%)	2nd management criteria (%)
H-pile + braced wall	0.31	0.41
S.C.W	0.22	0.30
C.I.P	0.21	0.28
Slurry Wall	0.23	0.36
Comprehensive analysis of the results	0.22	0.28

리기준치인 0.21 ~ 0.31%를 초과하여 변위가 발생한 경우 흠막이 구조체 및 인접지반에 영향을 줄 수 있으며, 2차 관리기준치인 0.28 ~ 0.41%를 초과할 경우에는 지반침하, 인접도로 및 건물의 균열 등 문제점이 나타나므로 중점적인 관리가 요구된다. 여기서 H-pile + 토류판 벽체보다 S.C.W, C.I.P 및 Slurry Wall 벽체의 변위가 작게 나타난 주요원인은 벽체강성의 증가에 따른 변위억제 효과와 강성의 차이가 큰 재료에 기인하는 불연속적인 H-pile + 토류판 벽체에 비해 전술한 3가지 종류의 벽체는 연속성을 갖기 때문으로 판단된다. 이와 같은 흠막이벽체의 특성 때문에 본 연구에서 설정된 수평변위의 관리기준치는 강성이 큰 Slurry Wall 보다 H-pile + 토류판 벽체가 크게 나타나 발생변위의 허용값이 다소 커지는 현상을 볼 수 있다. 이는 본 연구에서 수집한 현장계측 자료가 파괴시의 변위가 아닌 안전하게 시공이 완료된 현장에서 발생한 변위의 분석결과이기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 그러나 강성이 큰 벽체는 굴착심도가 깊거나 토압이 큰 현장에 일반적으로 적용하므로 현장관리 시 Table 2의 수평변위에 대한 관리기준치를 참고할 수 있을 것이다. 한편, Table 1에서 제안된 기존 흠막이 벽체의 수평변위 관리기준은 실제 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 수직거리에 대한 수평거리비의 관리기준치이며, 결국  $\delta_{hmax}/H$ 와 동일한 표현방식으로 1차 관리기준치인 1/500과 2차 관리기준치인 1/200을 본 연구에서와 같이 백분율로 표현하면 각각 0.2%와 0.5%임을 알 수 있다.

본 연구에서 제안하고 이는 흠막이 벽체 종류별 수평변위 관리기준치는 0.21~0.41%의 범위로서 일반적으로 실제 현장에 적용하고 있는 관리기준치의 범위보다는 보다 정밀한 범위에서 흠막이 공사현장의 붕괴를 감지할 수 있을 것으로 판단된다. 특히 흠막이 벽체의 종류에 따라 관리기준치를 달리 적용함으로써 기존 일괄적으로 적용하던 관리기준치에 비하여 실제 현상을 보다 충실하게 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

## 4. 실측 데이터에 근거한 관리 기준치의 검증

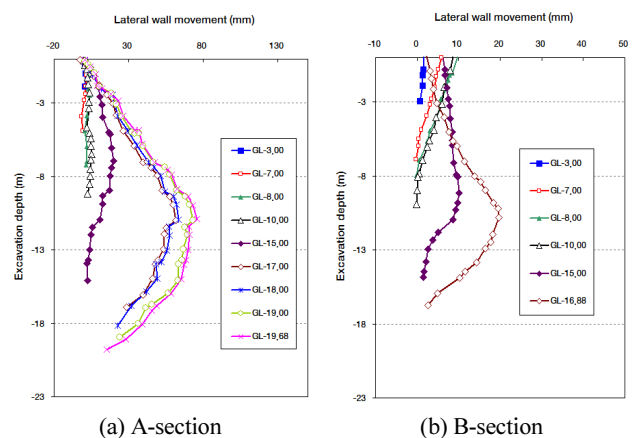
### 4.1 현장계측

본 연구에서는 흠막이 공사현장의 붕괴징후를 감지할 수 있는 가장 중요한 계측항목인 수평변위에 대한 관리기준치를 검증하기 위하여 국내 4곳 현장별 각각 2개소에서 실제 계측 데이터에 대한 분석을 수행하였다.

#### 4.1.1 A 현장

A 현장의 단계별 굴착에 따른 흠막이벽체의 수평변위는 경사계를 설치하여 계측하였으며, 결과를 Fig. 4에 나타내었다. A단면에서는 Fig. 4(a)에서와 같이 초기 굴착 단계에서 굴착 측면의 수동토압 제거로 인한 응력해방이 일어나면서 배면측 지반의 거동이 흠막이벽체의 변위를 유발시켰고, 이 때 발생된 변위의 유형은 굴착이 깊어져도 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 최대변위 발생 지점은 굴착이 진행됨에 따라 하부로 이동되어지고 있으나 10 m 굴착시와 15 m 굴착시는 G.L-7 m 굴착심도에서 최대변위량을, 17 m에서 최종 굴착시는 G.L-11.0 m 굴착심도에서 최대 변위량이 나타나고 있다. 이러한 현상은 굴착의 영향과 함께 토층 경계면의 상대적인 취약부분, 지보재의 설치시기 지연 때문인 것으로 판단된다. 실제 당현장 지보재 설치시기와 관련지어 분석해보면 설치 지연된 지보재 위치의 상, 하에서 상대적으로 큰 변위가 발생되었고, 이는 최종 굴착시까지 유지되는 것을 알 수 있다. 또한, G.L-15 m 굴착심도 이하에서부터는 큰 기울기로 변위가 감소하는 경향을 보이는데 이는 Earth Anchor의 효과와 굴착저면의 지지층에서 일부 토압을 분담하는 효과 때문인 것으로 판단된다.

B단면에서는 Fig. 4(b)에서 나타난 바와 같이 굴착 초기 단계에서는 하부보다 상부에서 상대적으로 큰 변위가 나타났고, 굴착심도가 깊어짐에 따라 상부가 안정되어 가는 경향을



**Fig. 4** Correlation of the excavation depth and lateral wall movement in the A site

나타내는 반면 하부로 갈수록 변위 발생 지점이 이동되어 가는 것으로 나타나, 토층의 경계면 부근에서 변위가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 배면지반 등에 상재하는 야적자재 등의 하중으로 인하여 상부지반이 약간의 영향을 받은 것으로 판단되며 굴착이 진행과 지보재 설치 등으로 인해 지반 거동이 하부로 이동되어 가는 현상 때문인 것으로 판단된다.

#### 4.1.2 B현장

B 현장 A 단면의 흙막이벽체의 수평변위를 보면 Fig. 5(a)에서와 같이 상부에서는 초기굴착시 형성된 변위 형태가 최종 굴착시까지 유지되고 있는 것을 알 수 있다. 특히, G.L-11.0 m 굴착시까지의 최대변위 발생지점이 굴착저면에서 발생하고 있으며, G.L-16.0 m 굴착 이후부터는 G.L-12.0~G.L-13.0 m 굴착심도 범위에서 최대변위가 발생 했고, 이를 경계로 하부 굴착저면까지 변위가 감소하는 일반적인 흙막이 벽체의 변위 경향을 보여주고 있다.

G.L-11.0 m 굴착시까지 변위 분포를 이론 토압의 형태로 비교해 보면 Rankine-Resal 이론 토압의 형태와 거의 일치하는 것으로 나타나고 있으나, 변위 형태 자체는 같은 형식의 다른 흙막이벽체의 변위와는 상이한 형태로 불안한 형태의 변위 경향을 나타내는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 지반을 구성하는 토층의 지내력과도 비교해 볼 수 있는데, G.L-8.0 m 굴착심도 지점부터 변위 증가 곡선의 기울기가 커지는 것으로 보아 이 지점의 지반 지내력이 상대적으로 약한 구간인 것으로 볼 수 있다.

B 단면의 변위 발생 형태를 보면 Fig. 5(b)에서와 같이 지표면에서 G.L-4.0 m 굴착심도까지의 변위형태는 최종 굴착 단계 전까지는 배면측으로 변위가 나타나고 있으며, 최종 굴착시에 가서야 굴착면측으로 변위가 발생하고 있다. 또한, G.L-5.0~G.L-7.0 m 굴착심도 사이에서 급격한 변위의 증가를 나

타내고 있으며, 이는 최종 굴착 단계까지 유지되고 있다.

특히, G.L-4.0 m 굴착심도지점과 G.L-5.0 m 굴착심도지점을 비교하여 보면, 최고 19.23 m의 변의 증가를 보여주고 있으며, G.L-9.0 m 굴착심도의 굴착 단계에서 변위 증가량이 전 단계에 대비하여 가장 크게 나타나고 있으며, 다시 G.L-11.0 m 굴착시에 변위가 안전되어 G.L-16.0 m 굴착시까지 유지되다 최종 굴착시에 다시 변위가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

#### 4.1.3 C현장

A 단면의 단계별 굴착에 따른 흙막이벽체의 변위 발생 형태를 보면 Fig. 6(a)과 같이 굴착 초기 단계에서 형성된 변위 형태가 최종 굴착 단계까지 특별한 변화 없이 유지되는 것을 알 수 있다.

전반적으로 굴착 단계별 변위를 보면, 지표면에서 G.L-4.0 m 굴착심도까지는 급격한 변위 증가의 경향을 나타내고 있으며, 지표면 부근에서 상당한 변위 발생을 보여 주고 있다. G.L-8.0 m 굴착심도 지점부터는 변위의 급격한 하강 곡선을 보이고 있다. 이러한 지표면 부근 및 얕은 굴착심도에서의 변위가 크게 발생한 이유는 지반에 연약토층이 상당량 존재하는 것에 기인한 것으로 판단된다.

전 굴착단계와 비교하였을 경우 굴착단계 G.L-15.0 m에서 가장 큰 변위 증가량(G.L-4.0~G.L-6.0 m 굴착심도에서 약 20 mm)을 보이고 있으나, G.L-9.0 m 굴착심도 지점부터는 전체적으로 매우 안정된 변위를 보이고 있는 것으로 나타나는데 이는 지내력이 큰 사질토층과 풍화암층이 존재하기 때문인 것으로 판단된다.

B 단면의 흙막이벽체의 변위 발생을 굴착단계별로 보면 Fig. 6(b)에서와 같이 초기 굴착단계인 G.L-5.0 m 굴착시까지의 굴착저면에 최대변위가 발생하는 경향을 보이고 있으며, G.L-8.5 m 굴착까지는 G.L-5.0 m 굴착심도 지점에서 최대변

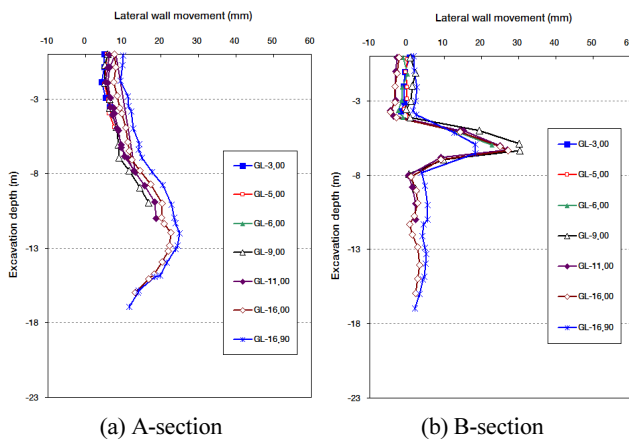


Fig. 5 Correlation of the excavation depth and lateral wall movement in the B site

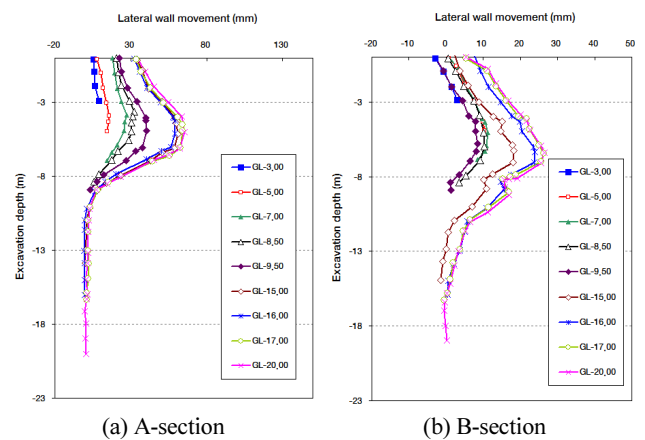


Fig. 6 Correlation of the excavation depth and lateral wall movement in the C site

위가 발생하였고, G.L-15.0 m 굴착부터 최종 굴착까지는 4단 스트러트 설치 지점인 G.L-6.4 m 굴착심도 지점에서 약 30.0 mm내의 최대변위가 발생하고 있는데 이는 연약토층인 점토질 실트층이 상당량 존재하여 변위가 증가된 것으로 추정되며, 굴착심도가 깊어짐에 따라 지반지내력이 양호한 지층이 존재하므로 지반단위중량 및 연성벽체의 강성이 증가하고 있다고 판단된다.

G.L-9.5 m 굴착시는 전 굴착단계에 비해 변위가 전체적으로 안정화되어 감소한 것으로 나타났는데 이는 배면지반이 연약토층으로 이루어져 있어 배면지반의 하중제거에 의한 토압 감소와 지보재 설치에 따른 일시적 변화로 판단된다.

그 다음 굴착단계인 G.L-15.0 m 굴착시는 최대 11.35 mm의 변위증가를 보이고 있으며, G.L-16.0 m 굴착시부터는 큰 변위의 변화없이 진행되는 것으로 나타났다. 전체적인 변위 형태는 초기 발생 형태를 유지하여 변위의 증감을 보였으며, G.L-4.0~G.L-7.0 m 굴착심도 사이의 구간은 점토질 실트층의 연약 지반이 존재하여 취약 지점인 것으로 나타났다.

#### 4.1.4 D현장

D현장의 A단면의 단계별 굴착 진행에 따른 흙막이벽체의 변위 발생 형태를 보면, Fig. 7(a)와 같이 전 단계에 걸쳐 지표면에서 20.0 mm내의 변위가 발생하는 것으로 나타나고 있는데, 이는 굴착에 따른 영향도 있으나 자재 등의 야적으로 인한 하중재하의 작용으로 지표면에 영향을 준 것으로 판단된다.

또한, G.L-10.5 m 굴착시까지의 최대변위가 지표면에서 가까운 G.L-2.0 m 굴착심도내에서 발생하고 있으며, 변위 증감 곡선도 완만한 경사로 형성되고 있다. G.L-15.0 m 굴착시부터 최종 굴착시까지의 G.L-7.0 m 굴착심도 지점에서 최대변위가 발생하고 있으며, 변화 곡선도 굴착심도에 따라 급격한 증가와 감소를 나타내고 있다. 이러한 현상은 굴착심도가 깊

어짐에 따른 영향, 지보재 설치 지연으로 인한 변위의 허용, 또한 토사층과 암반층의 경계면으로 C.I.P 종료지점과 동일하여 변위가 발생한 데 그 원인이 있다고 판단된다.

B 단면의 단계별 굴착에 따른 흙막이벽체의 변위를 보면 Fig. 7(b)와 같이 변위 발생 형태가 크게 두 가지로 나타나고 있다. G.L-10.5 m 굴착시까지 최대변위가 발생하는 변곡점을 기점으로 하여 하부로 갈수록 변위가 감소하는 형태를 보이고 있다.

반면에 G.L-15.0 m 굴착시부터 최종 굴착시까지의 G.L-9.0 m 굴착심도에서 25.0 mm 정도의 최대 변위가 발생한 후, 다시 G.L-11.0~G.L-12.0 m 굴착심도에서 또 한번의 최대 변위치에 근접하는 변위증가를 보이는 전체 곡선 상에서 두 개의 변곡점을 가진 형태의 변위 발생을 보여주고 있다. 이러한 현상은 5단 스트러트 설치가 지연되면서 4단 스트러트의 하부에 토압의 증가로 인한 변위가 발생하였고, 암반절리가 발달한 상태에서 미세하나마 Sliding이 발생한데에 그 원인이 있다고 판단된다.

#### 4.2 붕괴위험도 평가를 위한 관리기준치 검토

본 절에서는 붕괴위험도를 평가하기 위하여 흙막이벽체의 붕괴지후 예측에 가장 유효한 수평변위에 대하여 전술한 A, B, C, D 현장의 전 굴착심도에서 관리기준치와 현장계측치를 비교 분석하여 본 연구에서 수정제안한 관리기준치에 대한 타당성을 추가로 검증하였다.

흙막이벽체의 수평변위에 대한 관리기준치 검토를 위하여 1/200를 1/300~1/700까지 변경시켜 각각의 수평변위를 산정하고 현장계측치와 비교하였으며 깊이에 따른 관리기준치와 현장계측치의 관계를 도식화한 것을 Fig. 8에 나타내었다. A 현장의 단면 A와 C현장의 단면 A와 단면 B의 경우 관리기준치(1/200)와 현장계측치를 비교하여 보면 굴착심도 G.L-0.0~G.L-14.0 m까지는 현장계측치가 관리기준치를 상회하는 변위가 발생하였고 이는 굴착심도와 관계가 있다고 보여지며 굴착심도가 깊어질수록 더욱 큰 격차를 보였다. A 현장의 단면 B와 D 현장 단면 A, B의 경우는 굴착심도가 G.L-3.0 m보다 깊어질수록 현장계측치가 관리기준치인 1/200보다 적은 경향을 나타내고 있다.

상기 내용을 종합하여 보면, 일률적으로 적용되고 있는 관리기준치 1/200는 굴착심도 G.L-0.0~G.L-12.0 m 정도까지는 적용 가능하나, 굴착심도가 G.L-12.0 m를 초과하는 깊은 굴착일 경우에는, 단순 분석검토한 결과를 바탕으로 관리기준치 1/200를 1/300~1/400로 수정 보완이 필요할 것으로 판단된다.

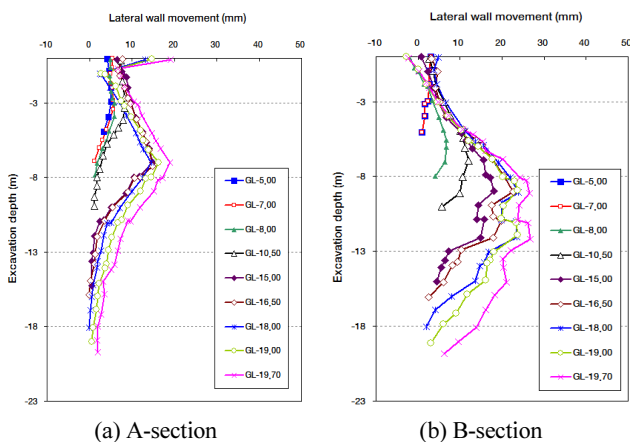


Fig. 7 Correlation of the excavation depth and lateral wall movement in the D site

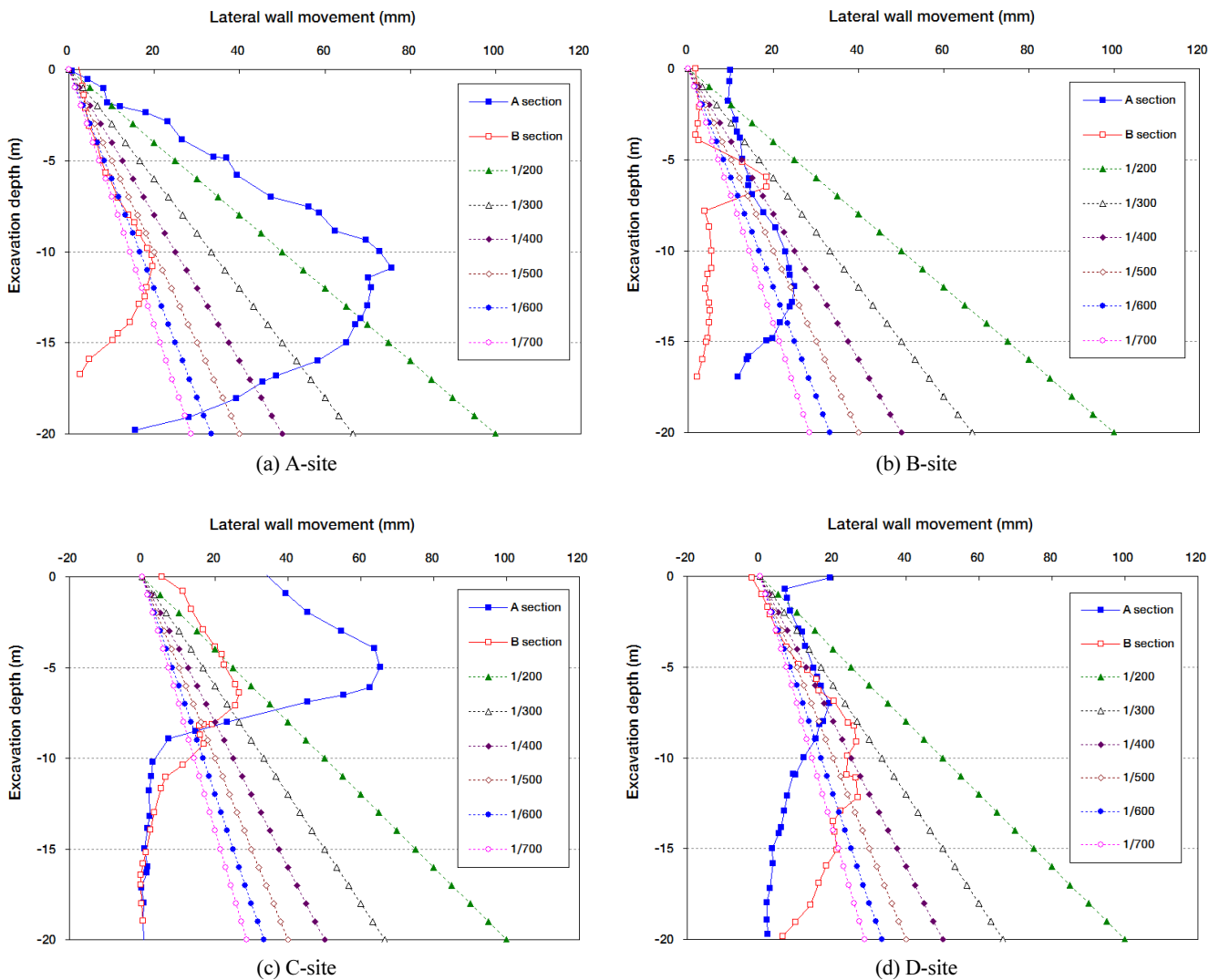


Fig. 8 Comparison of management criteria vs real measurement results

## 5. 결 론

1) 본 연구에서는 국내 흙막이현장에서 측정된 벽체변위의 평균과 표준편차를 산정하고 그것이 정규분포에 따른다고 가정하여 흙막이벽의 수평변위에 대한 관리기준치 항목을 1차와 2차로 구분하였다. 이러한 정규분포의 모집단에 대해  $t$ 분포를 이용하여 5% 및 1% 유의 수준으로 단측검정을 실시하였으며, 최대수평변위량( $\delta_{h,max}$ )을 굴착심도( $H$ )로 나누어 정규화하여 나타내었다. 그 결과, H-pile + 토류판 벽체의 경우 제 1, 2차 관리기준치가 되는  $\delta_{h,max} / H$ 값은 0.31 ~ 0.41%의 범위를 나타내었으며, S.C.W 흙막이벽체에서는 0.22 ~ 0.30%, C.I.P 벽체에서는 0.21 ~ 0.28%, Slurry Wall 은 0.23 ~ 0.36%정도가 발생되고 있는 것으로 분석되었으며 전반적으로 0.22 ~ 0.28%의 범위 내에서 변화하는 경향

을 보이는 것으로 분석되었다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 흙막이 벽체 종류별 수평변위 관리기준치를 0.21%~0.41%의 범위로 하는 것이 타당하다고 판단된다.

2) 본 연구에서는 수정 제안한 관리기준치에 대한 타당성을 추가로 검증하기 위하여 실제 현장계측자료와 수정 제안한 관리기준치를 비교하였다. 흙막이벽체의 수평변위에 대한 관리기준치 검토를 위하여 기존 관리기준치인 1/200를 1/300~1/700까지 변경시켜 각각의 수평변위를 산정하였으며, 현장계측치와 비교한 결과 일률적으로 적용되고 있는 관리기준치인 1/200는 굴착심도 G.L.0.0~G.L.12.0 m 정도까지는 적용 가능하나, 굴착심도가 G.L.12.0 m를 초과하는 깊은 굴착일 경우에는 단순 분석검토한 결과를 바탕으로 관리기준치 1/200를 1/300~1/400로 수정 보완이 필요할 것으로 판단된다. 즉 흙막이 벽체의 수평변위 관리기준치는 0.21~0.41%의 범위로서 일반적으로 실제 현장에



적용하고 있는 관리기준치의 범위보다는 보다 정밀한 범위에서 흠막이 공사현장의 붕괴를 감지할 수 있을 것으로 판단되며, 특히 흠막이 벽체의 종류에 따라 관리기준치를 달리 적용함으로써 기존 일괄적으로 적용하던 관리기준치에 비하여 실제 현상을 보다 충실하게 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

1. Clough, G. W. and O' Rourke, T. D. (1990), Construction Induced Movements of Insitu Walls. Design and Performance of Earth Retaining Structures, *Geotechnical Special Publication*, 25, 439-470.
2. Chang, Y. O., Pio, H., and Chio, D. C. (1993), Characteristics of Ground Surface Settlement during Excavation, *Canadian Ground Journal*, 30(5), 758-767.
3. Kim, S. M. (2003), A Study on Selecting the Optimum Members for Earth Retaining Structure, Ph.D thesis, Chungnam National University, 109.
4. Korean Geotechnical Society. (2001), Information Construction, Goomibook.
5. Lee, B. R. (1998), A Study on Employing Field Measurement Data for the Temporary Retaining Wall during Open Excavation, ME thesis, Hanyang University.
6. Lee, C. K., and Jeon, S. K. (1993), Earth Pressure Distribution on Retention Walls in the Excavation of Multi -Layered Ground, *Korean Geotechnical Society (KGS)*, 9(1), 56-68.
7. NAVFAC DESIGN MANUAL 7.2, (1982), 13-19.
8. Oh, J. H., and Nam, S. S. (1997), Measurement Planning and Management Technic in Ground Excavation, *Proceedings of the Korean Geotechnical Society Conference*, Korean Geotechnical Society, 93-118.
9. Oh, J. H. (2001), Development of Total Management System Using Observational Method for Earth Retaining Structures under Ground Excavation, Ph.D thesis, Kyunghee University, 114-116.
10. Peck, R. B. (1969), Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground, *Proceedings 7th International Conference Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico, 225-290.
11. Seong, J. H., Jung, S. H., and Shin, J. Y. (2011), A Study for Safety Management on Ground Excavation by Analysis of Accident Events, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection (KSMI)*, 15(6), 175-183.
12. Yang, K. S. (1996), Analysis of Adjacent Ground Movements for Deep Excavations in Urban Areas, Ph.D thesis, Seoul National University, 24-32.

Received : 10/28/2015

Revised : 11/04/2015

Accepted : 11/11/2015

---

**요 지 :** 대다수의 흠막이 공사 계측현장에서 적용하고 있는 절대치 관리방법은 관리기준치와 계측결과를 절대 비교함으로써 공사현장의 안전성을 평가하는 기법이다. 따라서, 안전성 평가의 판단기준이 되는 관리기준치는 평가결과에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 즉 아무리 최적의 계측시스템이 적용된 현장이라고 하더라도 관리기준치가 타당하지 않으면, 공사현장의 안전성을 정확히 판단할 수 없으므로 관리기준치의 선정은 매우 중요하다. 그러나 실질적으로 현장 기술자 등은 기존 절대치관리기준치에 대한 신뢰성이 매우 낮으며 관리기준치의 수정보완의 필요성을 인식하고 있다. 이에 본 연구에서는 계측관리기준치의 수정보완 필요성에 대한 조사결과를 바탕으로 하여 흠막이 구조물의 거동 중 가장 기본이 되며 중요한 흠막이 벽체의 변위에 대한 계측결과를 토대로 확률론적 이론에 의해 관리기준치를 보다 적절하게 설정하여 적용하는 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 계측관리기법 중 시공 전에 설정된 관리기준치와 시공 시 측정된 설측치를 비교 검토하여 그 시점에서 공사의 안전성을 확인하는 방법인 절대치관리방법을 적용하여 관리기준치를 수정하였다.

**핵심용어 :** 절대치 관리방법, 흠막이 구조물, 관리기준치, 수정계수, 안전성

---