

국내 적용되고 있는 흙막이구조물의 수평변위에 대한 관리기준치 분석

A Control Value Analysis on the Horizontal Displacement of Braced Excavation Walls Used In Korea

정 상 국* 양 재 혁** 김 주 현*** 김 종 수****
Jeong, Sang-Guk Yang, Jae-Hyouk Kim, Ju-Hyun Kim, Jong-Soo

Abstract

This study aims to present a more reasonable control value than the exiting one by comparing and analyzing control values and field instrumentation values of the whole excavation depth of the four case sites, using geometric averaging as a statistical method. The range of the study is confined to the horizontal displacement of braced excavation walls among a variety of items, prescribed in the control values by approximately of the allowable and design values, and by safety factors.

As a result, it is desirable to revise 70, 90, and 100 percent of LEVEL I, II, and III, respectively. The horizontal displacement values of the allowable and design values approximations should change to 104, 133, and 148 percent of the allowable and design values, respectively. In addition, modifying the horizontal displacement control value of the braced excavation walls is not needed. The horizontal displacement value, presented in the control value as a safety factor, is now 1.19, as it has a slight difference from the present value.

keywords : Allowable Value, Design Value, Control Value, Horizontal Displacement, Braced Excavation Walls, Geometric Mean

1. 서 론

도심지 지하굴착공사는 토지이용을 극대화하고 지하

공간을 최대로 활용한다는 측면에서 대형화되고 다양화되어 가고 있다. 이러한 지하굴착공사는 여러 가지 원인에 의해 주변 지반의 침하, 인접건물의 균열이나

* 정희원, 송원대학 철도시설토목과 교수, 공학박사

** 정희원, 여수대학교 해양시스템학부 시간강사, 공학박사

*** 정희원, 서울시립대학교 토목공학과 박사과정, 공학석사

**** 정희원, 현대산업개발 토목설계팀 부장

● 본 논문에 대한 토의를 2001년 12월 31일까지 학회로 보내 주시면 2002년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

붕괴, 지하매설물의 파괴 등 대형사고가 빈번히 발생하고 있어, 건설제재 및 안전대책에 대한 사회적 관심이 고조되어 가고 있는 실정이다. 따라서 가장 합리적이고 안전한 구조물의 설계, 시공을 위한 각고의 노력으로 지하구조물 및 인접구조물의 안전시공을 위한 현장계측관리가 국내 대부분의 현장에서 시행되고 있음은 당연한 추세라고 할 수 있다.

그러나, 현장계측관리 수행시 시공상태에 따른 안전판단의 기준이 되는 관리기준치에 관해서는 거의 연구가 이루어지지 않고 있으며, 외국에서 경험적으로 얻어진 관리기준치를 국내 현장의 계측관리에 도입하여 사용하고 있는 실정이다. 이러한 관리기준치는 국내 건설현장의 시공방법 및 지반특성 등이 충분히 고려되지 않아 여러 가지 여건상 평가자료로서 적합성의 문제가 제기되고 있다.

본 연구는 국내에서 적용되고 있는 허용치 및 설계치의 근접도에 의한 관리기준치와 안전율에 의한 관리기준치에서 제시된 흙막이구조물의 수평변위에 한정하여 1개 사례현장의 전괄착 심도에서 관리기준치와 현장계측치를 통계학적 기법인 기하평균법으로 비교분석한 결과를 차후 흙막이공사의 설계, 시공 및 안전관리에 활용하고자 하는 기초연구이다.

2. 흙막이구조물의 계측관리 방법

2.1 절대치 관리 방법

이는 시공전에 설정된 관리기준치와 현장계측치를 비교 검토하여 그 시점에서 공사의 안정성을 확인하는 방법으로 이 방법은 계측결과에 대해서 즉시 대응할

수 있다는 점에서 일반적인 안전관리방법으로 사용되고 있는데, 가장 문제가 되는 것은 설계치에 대한 관리기준치의 결정방법과 현장계측치가 관리기준치를 초과했을 때의 대응방법이다.

굴착공사에서 관리기준치를 결정하는 것은 매우 어려운 사항이다. Table 1은 흙막이공사에서 허용치 및 설계치의 근접도에 의한 관리기준치를 나타낸 것이다.

관리기준치를 Level I, II, III로 나누어 생각하고, Level I은 허용치 또는 설계치의 70%, Level II는 허용치 또는 설계치의 90%, Level III는 허용치 또는 설계치의 100%로 하였다. Table 1에서 각 측정기별 측정결과에 따른 관리기준치는 다음과 같이 설정하여 시공관리와 안전관리를 할 수 있다.

- 측정치 ≤ LEVEL I : 안전
- LEVEL I ≤ 측정치 ≤ LEVEL II : 주의
- LEVEL II ≤ 측정치 ≤ LEVEL III : 측정번호가, 감시체제 강화
- LEVEL III ≥ 측정치 : 공사중단, 안전대책 실시

또 하나의 절대치 관리 방법은 안전율의 개념을 도입한 것으로, 사전에 각 항목별로 안전율을 설정하고 설계시에 사용한 추정치 및 계측결과치의 비와 안전율을 비교하여 공사의 안전성을 예측하는 방법이다.

Table 2는 안전율을 이용한 절대치 관리 방법이다. 절대치관리방법은 계측 결과에 신속하게 대처할 수 있어 현장에서 시공관리와 안전관리를 위하여 많이 사용되고 있으며 경험이 적은 기술자라도 안전성의 판단이 어느 정도 가능하다는 장점이 있으나, 이상의 발견시 대응이 늦어질 우려가 있다. 따라서 굴착심도가 얇은 흙막이공에 적합한 방법이다.

Table 1 허용치 및 설계치의 근접도에 의한 관리기준치(한국지반공학회, 1992)

			관리기준치			측정 계기
			LEVEL I	LEVEL II	LEVEL III	
신형 구조물	가설 토류벽	토류벽 변형				경사계
		토류벽 용력도				
구조물	Strut	용력				변형계
		측력				
주변지반	하중지반	지반경사				경사계
		지반침하				
기구조물	정사각	상내침하량				침하계
		상외침하량				
						E.L Beam Sensor

Table 2 안전율에 의한 관리 기준치(한국지반공학회, 1992)

측성항목	안전·위험의 판정 기준치	위험 범			
		지표 (관리기준)	위험	주의	안전
축 압 (토압수압)	설계시에 이용한 토압분포(지표면에 서 각 단계근압값이)	$F1 =$ 설계시에 이용 한 토압/실측치 예측	$F1 < 0.8$	$0.8 \leq F1 \leq 1.2$	$F1 > 1.2$
벽체변형	설계시의 추정치	$F2 =$ 설계시의 추정치/실측의 변형량(예측)	$F2 < 0.8$	$0.8 \leq F2 \leq 1.2$	$F2 > 1.2$
토류벽내 응력	철근의 허용 인 장 응 력	$F3 =$ 철근의 허용인장응력/실측의 인장응력 (예측)	$F3 < 0.8$	$0.8 \leq F3 \leq 1.0$	$F3 > 1.0$
	토류벽의 허용 철 모 멘 트	$F4 =$ 허용최모멘트/실측에 의한 철모멘트 (예측)	$F4 < 0.8$	$0.8 \leq F4 \leq 1.0$	$F4 > 1.0$
Strut축력	부 계 의 허용 축력	$F5 =$ 부계의 허용축력/실측의 축력(예측)	$F5 < 0.7$	$0.8 < F5 < 1.2$	$F5 > 1.2$
굴착지면의 Heaving량	실측결과 T.W.Lambe에 의한 허용 영역에 Heaving량		실측 결과가 위험 영역에 Plot되는 경우	실측결과가 주의 영역에 Plot되는 경우	실측결과가 안전영역에 Plot되는 경우
침 하 량	각 현상마다 허용치를 결정	각 현상 상황에 맞는 허용 침하량을 지정하고, 그 허용침하량을 넘으면, 위험 또는 주의 신호로 판단한다.			
부 등 침 하 량	건물의 허용 부등 침하량	기동간격에 대한 부등침하량의 비	1/300 이상	1/300~1/500	1/500 이하

2.2 예측 관리 방법

이 방법은 선행굴착에 대한 측성 결과에서 토질성수, 벽체 및 지보공의 특성치를 구해 그 값을 이용하여 다음 단계 굴착 이후의 벽체와 지보공의 거동을 수치해석기법을 이용하여 예측하고, 안전하다고 판단되면 굴착공사를 진행하고 문제가 있으면 대책을 강구하여 그 대책에 대해서 다시 수치예측을 행해 안전을 확인해서 공사를 진행하는 방법이다.(Fig. 1 참조)

이와 같이 계측자료와 예측자료를 비교하는 과정에서 계측자료가 충분히 허용범위 내에 유지되어야 하지만 그렇지 못한 경우에는 설계된 단면을 재 가정하여 안전 측에 도달되도록 반복설계를 실시하여야 한다. 이 방법은 대규모 흙막이구조물이나 중요한 계측에 이용되며 컴퓨터에 의하여 흙막이구조물의 거동을 Simulation하여 추정하는 방법으로 절대치 관리 방법보다 합리적인 관리를 할 수 있는 것으로 평가되나, 계측 시스템이 대규모가 되

어 경제적인 측면에서 부담이 되는 방법으로 어려움이 많다. 그러나 컴퓨터 보급이 일반화되어 가고 있으며, 시공관리 및 안전관리에 현상계측이 요구되는 추세로 보아 예측관리방법은 적용하는 사례가 증가될 전망이다.

2.3 경시관리 방법

흙막이공사는 흙을 대상으로 하는 공사이므로 흙의 경시적인 거동을 파악해 두는 것이 중요하다. PC를 이용한 자동화 계측 시스템을 도입한 경우에는 적어도 1일 1회는 데이터를 수집하여 데이터의 경일변화도로 표시되는 일별 데이터의 변화구배로부터 공사의 안전성에 대해 확인을 한다. 즉, 굴착이 진행되지 않은 상태에서 변위 및 응력의 급작스런 증가는 사고로 이어지는 경우가 많으므로 계측 데이터를 신중히 검토한 다음 공사를 재개하여야 한다.

3. 사례현장

3.1 주변상황 및 지반조건

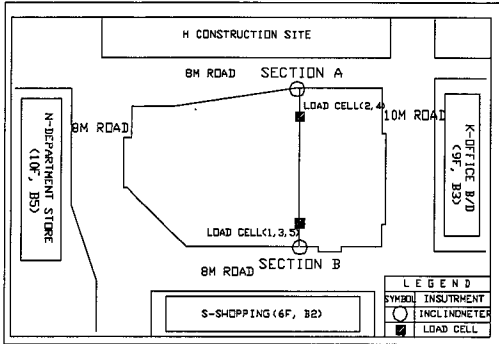
본 연구의 대상 현장은 Fig. 2와 같이 복합상가 신축공사 및 지하철 개착구간의 지하굴착공사 현장으로



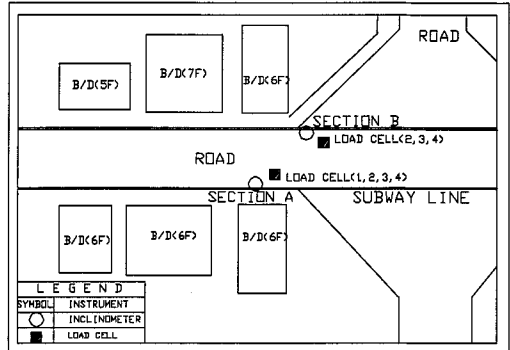
Fig. 1 역해석의 개념도

주변에 아파트, 빌딩, 도로, 지하철 등 근접시공의 위험요소를 내포하고 있는 00지역에 위치한 G.L.-16.68 ~ -20.00m의 대심도 지하굴착공사 현장이다.

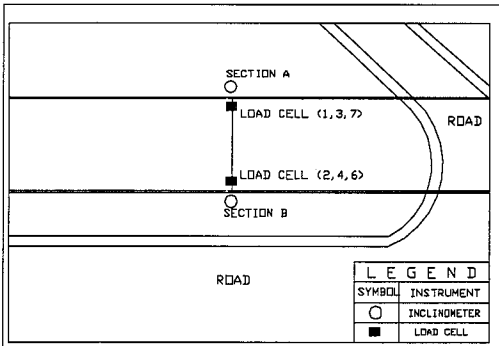
또한, 각 현장의 지층구성은 Fig. 3의 지반주상도에 서 보는 바와 같이 대부분 메립토, 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 등의 순으로 다층지반을 형성하고 있다.



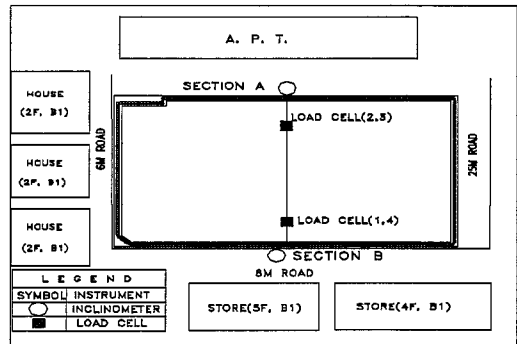
(a) Case-I 현장



(b) Case-II 현장



(c) Case-III 현장



(d) Case-IV 현장

Fig. 2 각 현장의 주변상황도

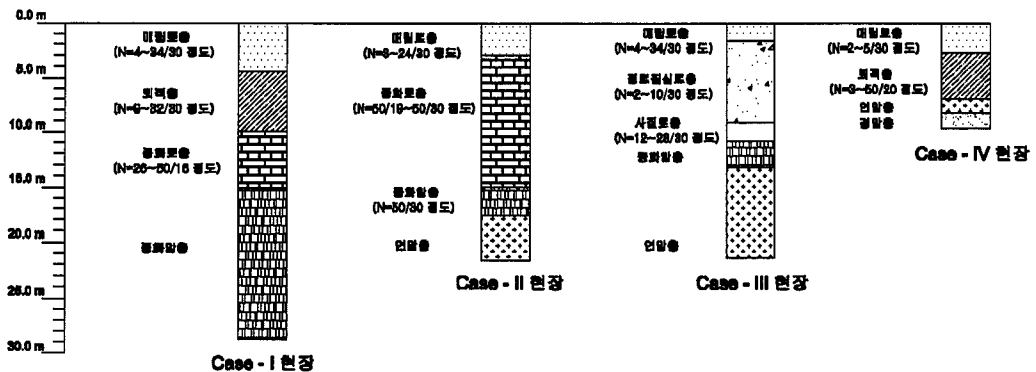


Fig. 3 각 현장의 지반수상도

3.2 흙막이구조물의 특성

본 연구 대상 현장의 흙막이벽체의 종류, 벽체제원, 지지형식 및 총 굴착고는 Fig. 4와 같다.

흙막이벽체의 종류는 대부분 S.C.W(or C.I.P)+H-Pile+토류판으로된 연성벽체이고, 벽체지지형식은 스트러트나 앵커로 지지되었다.

3.3 설치시기 및 시공과정

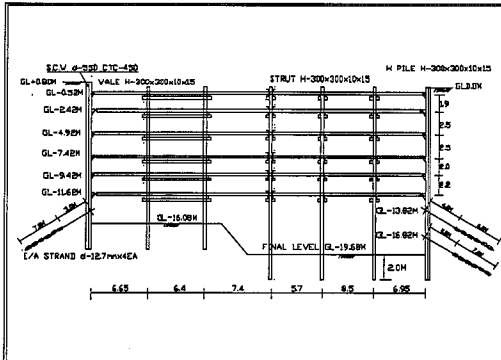
Fig. 2와 Fig. 4에서 계층의 수행조건을 살펴보면 Strut 또는 앵커의 1단 설치시기는 인장균열이 생기는 깊이(Zc)이내에 설치하였고 굴착에 따른 지반의 심도별 수평면위향을 위치와 방향, 크기와 속도를 계측

하여 수평방향의 지반이완 및 가설구조물의 안전도 등을 판단, 다음 단계의 굴착시기를 결정하여 공사를 진행하였다.

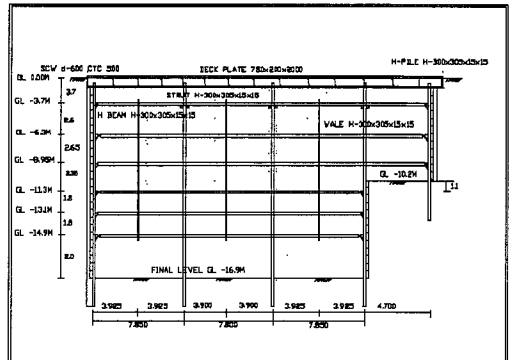
4. 결과분석 및 고찰

4.1 허용치 및 설계치의 근접도에 의한 관리기준치

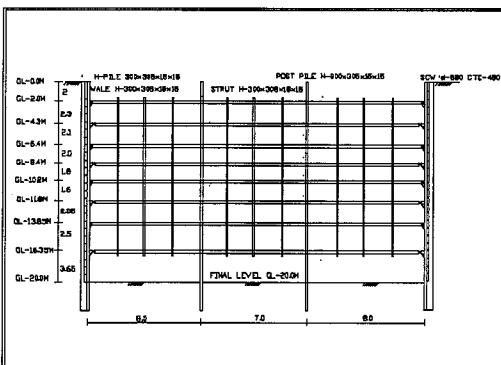
전술한 관리기준치를 Level I, II, III로 나누어 설명하면 즉, Level I은 허용치 또는 설계치의 70%, Level II는 허용치 또는 설계치의 90%이고, 그리고 Level III은 허용치 또는 설계치의 100%로 하는 것인데 이의 규정과 현장계측치를 비교분석하였다.



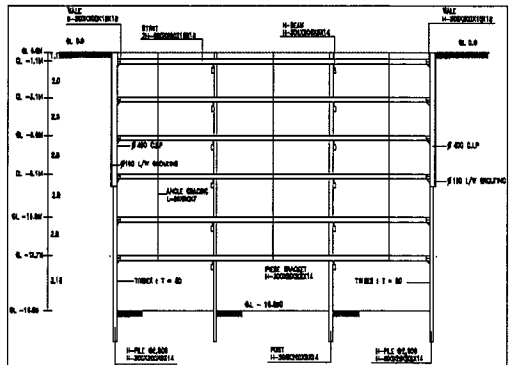
(a) Case-I 현장



(b) Case-II 현장



(c) Case-III 현장



(d) Case-IV 현장

Fig. 4 각 현장의 흙막이공의 대표 단면도

Table 3 가 현장의 수평변위에 대한 기하평균값(Case- I, II, III, IV)

현상	단면	관리기준치	기하평균(%)
Case- I	Section A	RNA/P-1	493.20
		RNA/P-2	541.62
	Section B	RNA/P-1	76.87
		RNA/P-2	117.41
Case- II	Section A, B	RNA/P-1	89.45
		RNA/P-2	62.79
Case- III	Section A, B	RNA/P-1	50.15
		RNA/P-2	79.80
Case- IV	Section A, B	RNA/P-1	296.35
		RNA/P-2	327.70

$$G = \sqrt{IXi} = 148.6\%$$

RNA : Result of Numerical Analysis

Table 3은 4개 사례현장의 깊이별 256개소의 측점에 대한 관리기준치와 현장계측치의 수평변위를 기하평균으로 구한 값을 나타낸 것이다.

Table 3을 상세히 고찰해 보면 관리기준치 Level III는 기하평균으로 구한 값이 148.6%로, 설계치의 100%에서 허용하는 수평변위값 보다 약 50% 정도 초과하는 변위량을 나타내고, 또한 측정 대상의 60% 이상인 161개소에서 관리기준치를 훨씬 초과한 수평변위가 발생되었다. 이러한 사실로부터 즉, 시공오차를 감안한다하더라도 현행 맹목적으로 사용되고 있는 관리기준치 Level I, II, III는 수정·보완이 필요하다고 사료되는데, 그 범위는 다음과 같다. Level I은 허용치 또는 설계치의 104%, Level II는 133%,

Level III는 148%로 수정·보완하는 것이 바람직하다고 생각된다.

4.2 안전율에 의한 관리기준치

안전율의 개념을 도입한 것으로 설계시에 사용한 관리기준치와 현장계측치와의 비율이 $F2 < 0.8$ 이면 위험, $0.8 \leq F2 \leq 1.2$ 이면 주의, $F2 > 1.2$ 이면 안전하다고 판단하는 기준으로 공사의 안전성을 예측할 수 있다.

흙막이구조물의 수평변위에 대한 관리기준치와 현장계측치와의 안전율을 계산한 값을 Table 4~Table 7에 나타냈다.

Table 4 수평변위에 대한 관리기준치와 현장계측치의 안전율비교(Case I, Section A, B)

깊이(m)	관리기준치(mm)		현장계측치(mm)		안전율(F2)	
	RNA/P-1	RNA/P-2	Section A	Section B	RNA/P-1	RNA/P-2
1.32	14.05	16.46	-	3.738	3.759	4.403
2.42	6.97	16.17	18.900	-	0.369	0.856
5.72	16.00	7.03	-	8.638	1.852	0.814
7.42	6.94	18.34	55.263	-	0.126	0.332
10.22	14.00	10.55	-	19.163	0.731	0.551

Table 5 수평변위에 대한 관리기준치와 현장계측치의 안전율비교(Case- II, Section A, B)

깊이(m)	관리기준치(mm)		현장계측치(mm)		안전율(F2)			
	RNA/P-1	RNA/P-2	Section A	Section B	RNA/P-1		RNA/P-2	
					Section A	Section B	Section A	Section B
3.70	24.050	25.360	11.538	1.663	2.084	14.462	2.198	15.250
6.30	8.030	9.190	14.113	18.450	0.569	0.435	0.651	0.498
8.90	11.000	31.750	20.275	4.750	0.543	2.316	1.566	6.684
11.30	26.000	34.220	23.813	4.075	1.092	6.380	1.437	8.398

Table 6 수평변위에 대한 관리기준치와 현장계측치의 안전율비교(Case-III, Section A, B)

깊이(m)	관리기준치(mm)		현장계측치(mm)		안전율(F2)			
	RNA/P-1	RNA/P-2	Section A	Section B	RNA/P-1		RNA/P-2	
					Section A	Section B	Section A	Section B
2.00	20.020	24.360	45.160	13.450	0.443	1.488	0.539	1.811
4.30	25.020	33.770	63.760	21.750	0.392	1.150	0.530	1.553
6.40	45.030	36.360	54.660	25.950	0.824	1.735	0.665	1.401
8.40	52.020	32.140	14.900	16.200	3.491	3.211	2.157	1.984
11.80	14.020	5.850	1.200	4.600	11.653	3.048	4.900	1.278
13.85	4.010	2.440	1.100	1.950	3.645	2.056	2.218	1.251

Table 7 수평변위에 대한 관리기준치와 현장계측치의 안전율비교(Case-IV, Section A, B)

깊이(m)	관리기준치(mm)		현장계측치(mm)		안전율(F2)			
	RNA/P-1	RNA/P-2	Section A	Section B	RNA/P-1		RNA/P-2	
					Section A	Section B	Section A	Section B
1.1	7.070	7.350	5.100	0.525	1.386	13.467	1.437	13.962
3.1	6.060	4.980	11.338	5.313	0.534	1.141	0.439	0.937
5.6	8.060	9.940	15.525	13.650	0.519	0.590	0.640	0.728
8.1	4.040	2.710	16.513	25.200	0.245	0.160	0.164	0.108

Table 4~Table 7에서 나타난 바와 같이 수평변위에 대한 안전율은 극단적으로 시공오차를 감안한다하더라도 최소 0.108에서 최대 15.25로 큰 차이를 보였다. 각 현장의 수평변위에 대한 안전율을 기하평균으로 계산한 결과, Case-I 현장에서는 0.82, Case-II 현장에서는 2.04, Case-III 현장에서는 1.59, Case-IV 현장에서는 0.75로 나타나 전체 측정 대상 현장의 평균치를 전산한 값으로 다시 평균 계산한 값이 1.19 정도로 현행의 관리기준치에서 제시되고 있는 F2의 범위(0.8~1.2)를 수용하는 것으로 나타났다. 따라서 흙막이구조물의 수평변위에 대한 관리기준치 F2의 안전에 해당하는 범위 값은 현장 측정 결과와 대체적으로 일치하는 경향을 보여 관리기준치의 수정·보완의 필요성은 없는 것으로 나타났다.

5. 결론

흙막이구조물의 4개 사례현장에 대하여 관리기준치와 현장계측치를 통계학적 기법인 기하평균법으로 비교분석 및 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 허용치 및 설계치의 근접도에 의한 관리기준치에서 제시된 수평변위의 관리기준치 Level I, II, III의

70, 90, 100%는 각각 허용치 또는 설계치의 104, 133, 148%로 수정·보완하는 것이 바람직하다고 생각된다.

2. 안전율에 의한 관리기준치에서 제시된 흙막이구조물의 수평변위 대한 안전율은 1.19로 현행의 관리기준치와는 약간의 차이가 있지만 수정·보완의 필요성은 없는 것으로 나타났다.
3. 현행의 관리기준치는 외국의 규정을 받아들여 사용된 것이 대부분이며 수평변위 뿐만이 아닌 이외의 관리대상에 대해서도 우리 실정에 맞게 수정·보완하는 새로운 분석기법이 필요할 뿐 아니라, 굴착공정에 따른 변위와 축력의 변화속도, 인접구조물의 유무, 그 구조물의 중요도 또는 민감도, 현장의 다양한 지반조건, 시공조건, 사용방법 등을 종합적으로 활용한 합리적인 계측관리 기준치의 안전평가 방법에 관해서 향후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 심태섭, 정상국(1996), "Strut 지지 흙막이벽체의 거동분석 및 관리기준치 산정에 관한 연구," '96년도 학술발표회 논문집, 대한토목학회, pp.183~186

2. 정용현(1997), "SAS를 이용한 경영통계 자료분석," 무역경영사, pp.80
3. 정상국, 이 송, 심태섭(1999), "현장계측을 이용한 흙막이벽체의 수평변위에 관한 관리기준치 분석," 대한토목학회 논문집, 제19권 제 I-3호, pp.479~487
4. 장찬수, 남순성(1998), "지반구조물거동의 정보확보와 시공에의 이음(IV)강좌," 한국지반공학회지, 제14권 제 4호, pp.238~263.
5. 정상국, 이광찬, 이 송(2000), "국내 적용되고 있는 흙막이구조물의 축력에 대한 관리기준치 분석," 한국구조물진 단학회 제4권 제4호, pp.171~180
6. 오택섭(1987), "사회과학데이터분석법," 나남, pp.78~79
7. 오성환, 남순성(1997), "지반 굴착공에서의 계속계획 수립 및 관리요령," '97정보화시공·지반굴착위원회 공동학술 발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.93~117
8. 한국지반공학회(1992), "굴착 및 흙막이 공법," pp.415~421
9. Chang, C. Y. & Duncan, J. M.(1970), "Analysis of Soil Movement Around a Deep Excavation, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division," ASCE, Vol.96, SM5, Proc. Paper 7513, Sept., pp.1629~1653
10. Clough, G. W., Smith E. M., and Sweeney B.P.(1989), "Movement Control of Excavation Support Systems by Iterative Design, Proceedings of the Specialty Conference on Foundation Engineering, Current Principles and Practices," ASCE, pp.869~884.
11. Peck, R. B.(1969), "Deep Excavation and Tunnelling in Soft Ground," 7th ICSMFE, Mexico, State-of-the-Art. Volume, pp.225~290

(접수일자 : 2001년 6월 2일)