

콘크리트 옹벽구조물의 한계상태설계법 적용성 평가

The Evaluation Applying Limit State Method for the Concrete Retaining Wall Structures

양 태 선[†] · 정 종 기¹⁾ · 서 준 희¹⁾ · 백 승 철²⁾

Taeseon Yang · Jongki Jeong · Junhee Seo · Seungcheol Baek

Received: April 29th, 2014; Revised: May 21st, 2014; Accepted: June 15th, 2014

ABSTRACT : Nowadays, some studies are performed in order to introduce the Limit State Design method widely used in foreign work sites. LRFD (Load Resistance Factor Design) method is widely used in the fields in which the data accumulation is possible - such as deep foundations, and shallow foundations, etc. The limit state design in the retaining walls is insufficient in the country owing to difficulties applying load tests. The limit state design method for retaining wall structures are studied based upon the National Retaining wall Design Standard legislated in 2008 by Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs. In this paper several retaining walls were calculated according to LRFD design criteria analysis using the general program with limit state design method and the factor of safety for sliding and overturning. Comparing with their results, the Taylor's series simple reliability analysis was performed. In the analysis results of retaining wall section, safety factors calculated by LRFD were found to be lowered than those calculated in current WSD, and it is possibly judged to be economic design by changing wall dimensions. In the future, pre-assessment of the geotechnical data for ensuring the reliability and the studies including reinforced retaining walls with ground anchor are needed.

Keywords : Limit states design, Retaining wall, Reliability, Simple reliability analysis

요 지 : 국내에서는 외국현장에서 사용되고 있는 한계상태설계법을 도입하기 위하여 연구가 일부 진행 중이다. 국내의 한계상태 설계법에서는 말뚝기초, 얇은기초 등 비교적 데이터베이스를 구축하기 쉬운 분야로 설계기준이 마련되고 있으나 옹벽 등에 대하여 재시험이 어려운 실정으로 옹벽의 한계상태설계법에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 2008년도에 제정된 국내 도로옹벽 표준도를 기준으로 옹벽구조물의 한계상태설계법의 적용성 평가에 관한 연구이다. 옹벽의 활동과 전도에 대한 안전율을 LRFD 설계기준을 이용하여 범용 한계상태설계법 프로그램의 해석결과와 비교·검토하였다. 또한 해석결과를 비교를 위하여 테일러 급수를 이용한 간편 신뢰성 분석을 실시하였다. 옹벽단면의 LRFD 검토 결과 허용응력설계법에 비해 안전율이 낮게 나타났으며, 한계상태설계 도입을 통해 옹벽의 단면을 감소시켜 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 신뢰성 확보를 위해 지반 데이터의 사전평가 연구가 필요하며, 그라운드 앵커와 같은 지보재가 적용되는 옹벽의 한계상태설계법 적용, 평가에 관한 연구도 필요하다.

주요어 : 한계상태설계법, 옹벽, 신뢰성, 간편 신뢰성 분석

1. 서 론

2008년 국토교통부에서 발간한 도로옹벽 표준도(국토해양부, 2008)는 허용응력설계법(WSD)을 이용한 것으로, 이 설계법은 주로 하중 및 저항의 불확실량을 고려하지 않은 재래적 설계법인 ACI 318-63에 근거하였고, 또한 현행 철근 콘크리트 표준시방서에서 옹벽의 안정에 대한 안전율은 이론적인 근거가 부족하지만, 설계자의 경험 및 판단에 의존하여 고려되고 있으므로 도로교설계기준에서 반영된 바와 같이 옹벽에서도 한계상태설계법(LRFD 포함)의 도입에 대

한 연구가 필요하다(Jeong et al., 2013).

따라서 본 연구는 도로옹벽 표준도에 설계되어 있는 옹벽구조물을 이용하여 한계상태설계법의 적용성을 검토하는데 목적을 두고 있으며, 이를 위해 시행착기법과 한계상태 설계법을 기반으로 한 범용 프로그램인 GEO.5를 이용하여 옹벽구조물(역T형, L형, 중력식옹벽, 반중력식옹벽)의 활동(Sliding), 전도(Over turning)에 대한 안전율을 비교·검토하였다. 또한 간편 신뢰성 분석을 이용하여 신뢰성 기반의 한계상태설계법 적용 시의 목표신뢰도지수 및 파괴확률 등에 대한 적용 가능성을 기초 평가하고자 하였다.

† Department of Civil Engineering, Kimpo University (Corresponding Author : sj98@kimpo.ac.kr)

1) Department of Civil Engineering, Kimpo University

2) Department of Civil Engineering, Andong National University

2. 기존 연구 내용

최근의 구조물 기초에 대한 하중저항계수설계법은 현장시험 등으로부터 실측된 저항에 대한 통계학적 분석과 신뢰성 이론을 적용한 저항계수를 보정하는 방법을 이용하고 있으며, 지반공학분야의 대표적인 하중저항계수설계법에 대한 연구는 옹벽구조물(D'Appolonia, 1999), 보강토 옹벽(Allen et al., 2001; Chen, 2000a; 2000b), 깊은기초(Paikowsky et al., 2004), 얕은기초(Paikowsky et al., 2010), Soil-Nailing(Lazarte, 2011) 등이 있다(Han, 2013). 한국도로공사의 “한계상태설계법 도로교 설계기준 설계실무편람 개발”에서는 상부구조물에 한계상태설계법을 적용하여 설계실무편람을 개발하였고, 하부기초는 Eurocode와 AASHTO 설계기준에 대한 자료조사를 수행하였다. 한국토지주택공사의 “말뚝기초의 설계법 선진화 및 시공법 다양화”에서는 말뚝기초의 LRFD 설계법을 적용하였고, 국내 재하시험 자료와 문헌조사를 토대로 연구를 수행하였다.

Table 1. Dimension of retaining wall section (a)

Height of back fill	Remarks
0.25H/0.5H/1.0H /2.0H/infinite (Total 5 steps classified)	<ul style="list-style-type: none"> Total 392 ea In case of fill slope 1:1.5~1:1.8, the key beneath the base installed

Table 2. Dimension of retaining wall section (b)

Retaining wall Type	Wall height (H)	Length of bottom board (B) (depends on fill slope, wall height)	Fill slope
Cantilever L	3.0 m~8.0 m (0.5 m increase)	2.0 m~6.9 m	Level 1 : 1.5 1 : 1.8
Semi-gravity	2.0 m~4.0 m (0.5 m increase)	1.8 m~3.6 m	Level 1 : 1.5 1 : 1.8
Gravity	1.5 m~4.0 m (0.5 m increase)	1.2 m~3.8 m	Level 1 : 1.5 1 : 1.8

Table 3. Geotechnical parameters

Fill slope	Backfill material		Concrete	
	Unit weight (γ_t)	Internal friction angle (ϕ)	Unit weight (γ_c)	Friction coeff. to soil (μ)
Level	19.0 kN/m ³	30°	24.5 kN/m ³	0.5
1 : 1.5	20.0 kN/m ³	35°		
1 : 1.8	19.0 kN/m ³	30°		

3. 검토 대상 옹벽 단면의 제원

도로옹벽 표준도상의 옹벽구조물을 각 형태별로 시행책 기법을 이용하여 안정성 검토를 실시하여 활동, 전도 안전율을 계산하였다. 검토에 사용된 지반정수는 문헌연구, 표준시방서 검토를 통해 2008년 국토해양부 도로옹벽 표준도에서 적용한 설계정수의 타당성을 확인한 후 결정하였으며 (Table 3), 옹벽의 제원은 Table 1~2와 같다.

여기서 H는 옹벽 저판바닥에서 옹벽 상단까지 높이이며 B는 옹벽 저판의 길이를 나타낸다.

저판 길이에 대한 옹벽 높이의 비(H/B)를 살펴보면 1.00~1.75로 검토되었으며, Fig. 1~4와 같이 배면경사 및 성토 높이에 따라 다양한 분포를 보여주고 있다.

Fig. 1~4를 살펴보면 H/B비의 분포 경향에 영향을 주는 인자로는 활동방지턱의 유무, 배면성토 높이와 경사로서, 역T형, L형 옹벽의 경우 배면이 수평이고 활동방지턱이 없는 경우는 일정한 증가 폭을 가지는 경향을 나타냈으나, 활동방지턱과 배면경사가 있는 경우 배면 높이 및 경사에 따라 H/B가 감소 및 증가하는 것을 확인하였다.

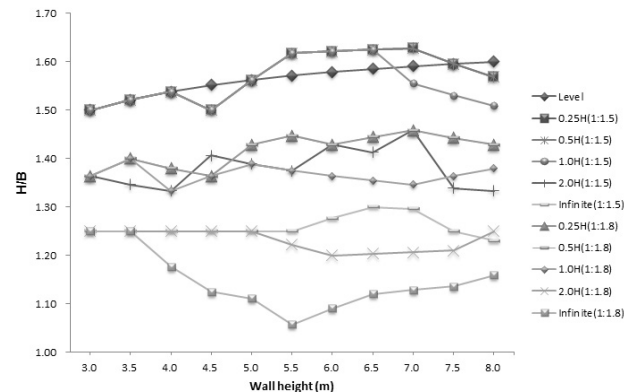


Fig. 1. Wall height vs. bottom board length (cantilever type)

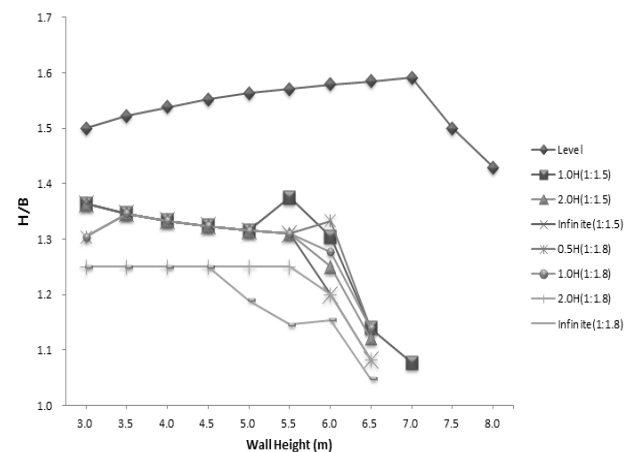


Fig. 2. Wall height vs. bottom board length (L type)

Table 4. Results of sliding

Wall type	Results of Fs		Wall section (ea)	Standard Fs (sliding)
	Range	Average		
Cantilever	1.45~2.80	1.736	121	1.5
L	1.50~2.78	1.844	68	
Gravity	1.12~1.65	1.272	168	
Semi-gravity	1.24~2.12	1.519	35	
Total			392	-

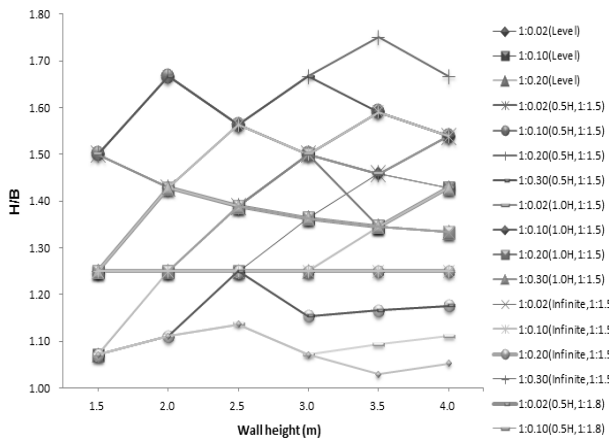


Fig. 3. Wall height vs. bottom board length (gravity type)

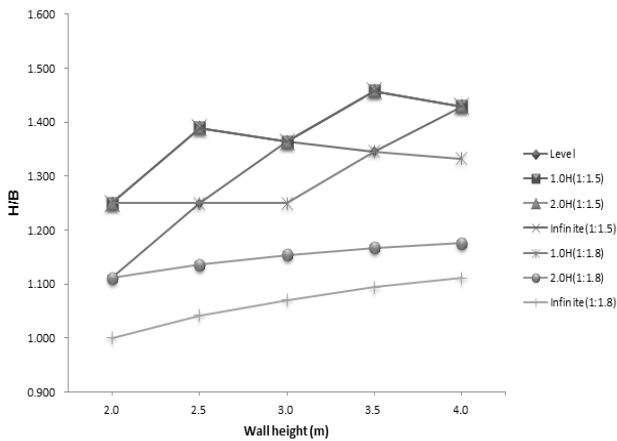


Fig. 4. Wall height vs. bottom board length (semi-gravity type)

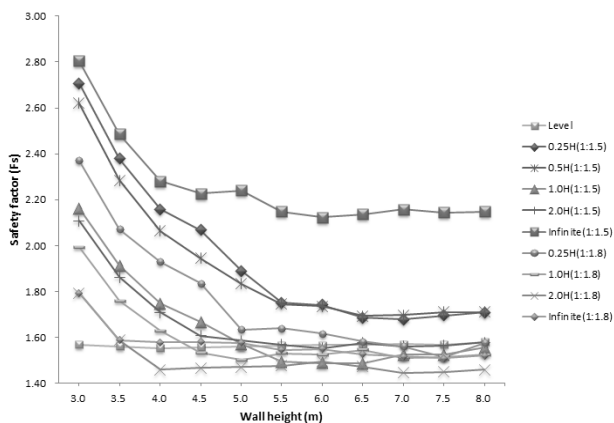


Fig. 5. Safety factor vs. wall height of sliding (cantilever type)

4. 옹벽구조물의 단면 안정 검토

활동, 전도에 대해 옹벽 형태별 단면 검토를 하였으며, 먼저 활동에 대한 안전율(Fs) 검토 결과를 정리하면 Table 4,

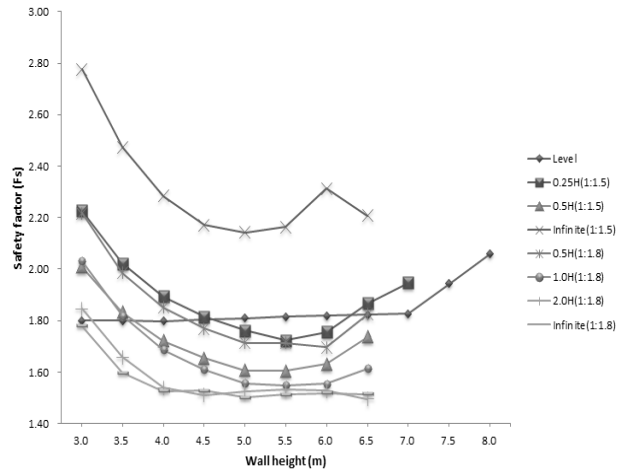


Fig. 6. Safety factor vs. wall height of sliding (L type)

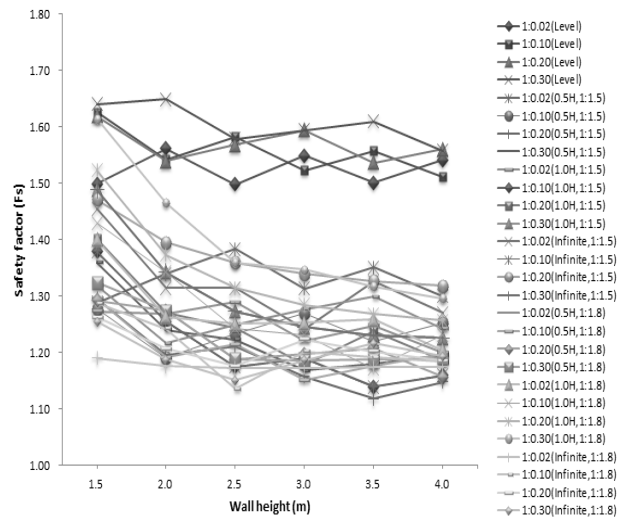


Fig. 7. Safety factor vs. wall height of sliding (gravity type)

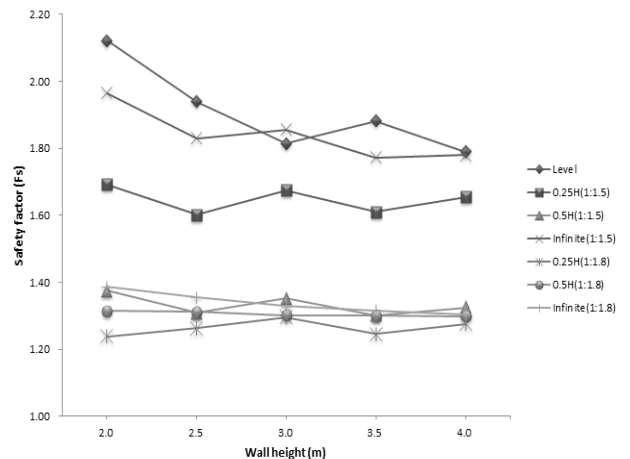


Fig. 8 Safety factor vs. wall height of sliding (semi-gravity type)

Fig. 5~8과 같다.

상기 Table의 내용에서 나타내듯이, 역T형, L형 옹벽은 안전율(Fs)이 기준 안전율에 비해 다소 높게 나오는 경향을 나타내고 있으나, 중력식, 반중력식 옹벽은 안전율이 상대적으로 낮게 검토되었다.

또한 옹벽의 높이가 낮을수록 안전율이 높게 산정되었으며, 역T형과 L형 옹벽의 경우 옹벽 높이가 5.5 m 이상이 되면 안전율도 일정한 값에 수렴되는 것으로 검토되었다.

전도에 대한 검토결과를 정리하면 Table 5와 Fig. 9~12와 같다.

전도에 대한 안전율은 활동에 대한 안전율보다 기준 안

Table 5. Results of overturning

Wall type	Results of Fs		Wall section (ea)	Standard Fs (sliding)
	Range	Average		
Cantilever	2.38~4.12	2.85	121	2.0
L	2.48~4.22	3.11	68	
Gravity	2.33~5.29	3.34	168	
Semi-gravity	2.84~5.34	3.57	35	
Total			392	-

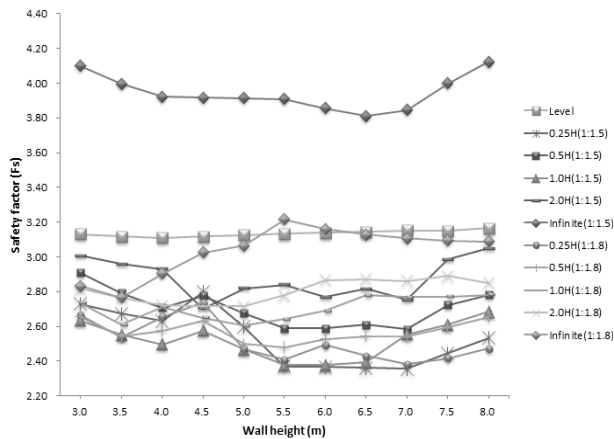


Fig. 9. Safety factor vs. wall height of overturning (cantilever type)

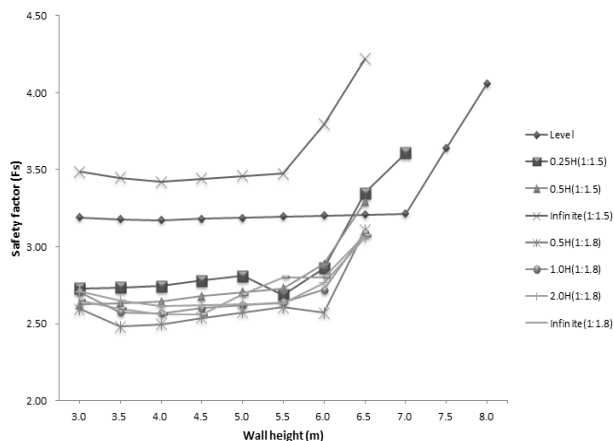


Fig. 10. Safety factor vs. wall height of overturning (L type)

전율에 비해 전체적으로 높게 검토되었다. 이는 활동안전율을 기준으로 옹벽의 제원을 설계함에 따른 것으로 분석되었으며, 역T형과 L형의 경우 옹벽 높이를 증가시켜도 활동방지턱 설치를 통해 수동저항력을 확보하여 전체 단면을 감소시킬 수 있는 반면, 중력식과 반중력식 옹벽은 옹벽의 특성상 활동방지턱 설치가 어려워 단면증가로 인해 상대적으로 안전율도 높게 나타난 것으로 검토되었다.

5. 해석 프로그램(GEO.5)을 이용

검토에 사용한 GEO.5 프로그램은 모든 구조물에 대하여 Eurocode, LRFD 및 다양한 설계검토 코드 적용결과를 확인할 수 있는 프로그램이다. 사면안정, 기초, 옹벽, 지반굴착 등 지반공학분야뿐만 아니라 구조공학분야 및 토목분야에서 광범위하게 이용될 수 있는 프로그램으로 Eurocode-7 (EN1997-1, 2, 3), LRFD(AASHTO Standard), Safety Factor (부분 안전율) 등 설계기준을 사용하고 있다.

본 절에서는 LRFD(AASHTO Standard)의 설계기준을 이

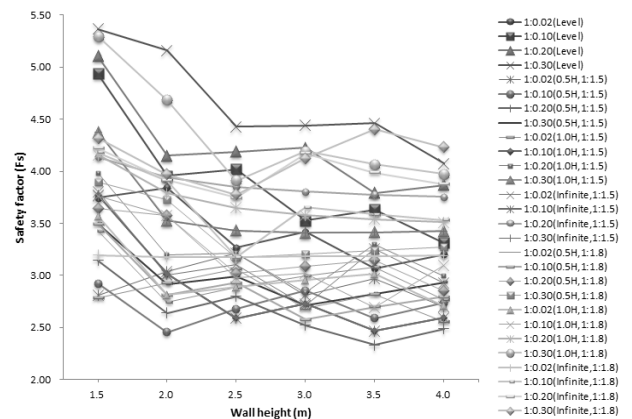


Fig. 11. Safety factor vs. wall height of overturning (gravity type)

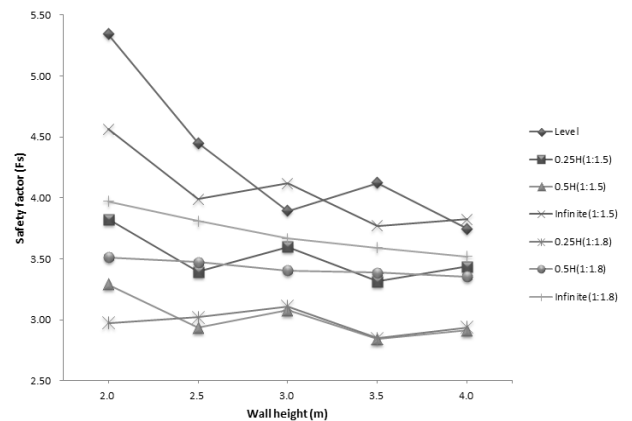


Fig. 12. Safety factor vs. wall height of overturning (semi-gravity type)

용하여 국내 도로옹벽 표준도의 역T형, L형, 반중력식 옹벽에 대해 안정성 검토를 수행하였다. 검토 대상 옹벽의 높이, 배면성토 높이 및 경사에 따라 총 224개의 단면으로 서지 관계상 배면경사가 수평인 상태에서만 비교·검토하였다. 또한 GEO.5의 해석결과치가 신뢰성 개념의 만족도(satis-factor)

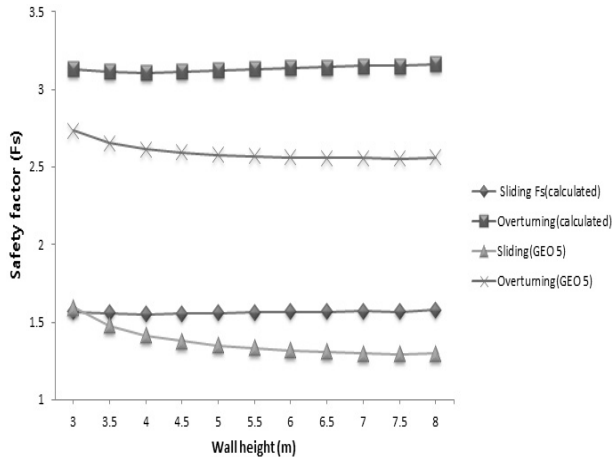


Fig. 13. Comparisons of calculated and GEO.5 safety factors (cantilever type)

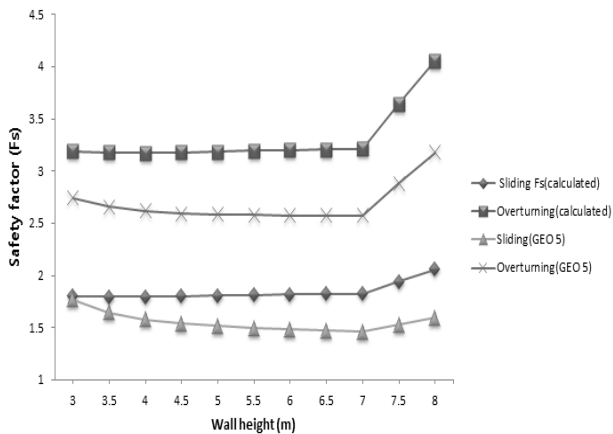


Fig. 14. Comparisons of calculated and GEO.5 safety factors (L type)

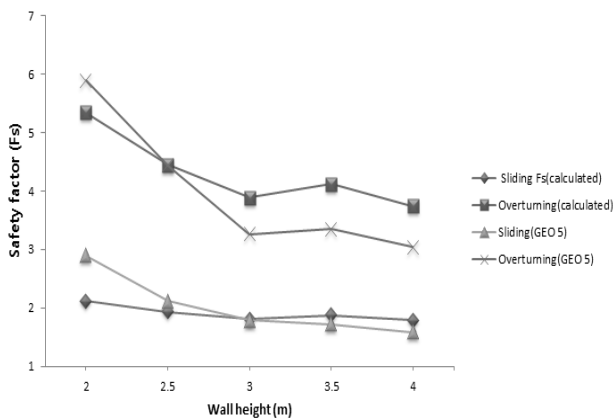


Fig. 15. Comparisons of calculated and GEO.5 safety factors (semi-gravity type)

로 표현되므로, 앞 절의 결과와 비교를 위해 안전율의 개념으로 역산하였다.

계산 결과를 정리하면 Fig. 13~15, Table 6~8과 같다.

Table 6. Comparisons of results (cantilever type)

Wall height (m)	Calculated		GEO.5			
	Sliding Fs ($F.S_s$)	Overt-urning Fs ($F.S_o$)	Sliding Fs ($F.S_s$)	Satis-factory (%)	Overt-urning Fs ($F.S_o$)	Satis-factory (%)
3.0	1.569	3.131	1.594	62.7	2.735	36.6
3.5	1.560	3.117	1.480	67.5	2.655	37.7
4.0	1.553	3.109	1.414	70.7	2.615	38.2
4.5	1.557	3.117	1.377	72.6	2.592	38.6
5.0	1.561	3.125	1.351	74.0	2.576	38.8
5.5	1.564	3.132	1.333	75.0	2.569	38.9
6.0	1.567	3.139	1.319	75.8	2.561	39.1
6.5	1.569	3.145	1.309	76.4	2.558	39.1
7.0	1.571	3.151	1.300	76.9	2.556	39.1
7.5	1.569	3.150	1.294	77.3	2.554	39.1
8.0	1.580	3.165	1.298	77.0	2.563	39.0

Table 7. Comparisons of results (L type)

Wall height (m)	Calculated		GEO.5			
	Sliding Fs ($F.S_s$)	Overt-urning Fs ($F.S_o$)	Sliding Fs ($F.S_s$)	Satis-factory (%)	Overt-urning Fs ($F.S_o$)	Satis-factory (%)
3.0	1.800	3.191	1.767	56.6	2.744	36.4
3.5	1.799	3.179	1.648	60.7	2.658	37.6
4.0	1.798	3.172	1.581	63.3	2.621	38.2
4.5	1.805	3.180	1.539	65.0	2.591	38.6
5.0	1.810	3.187	1.515	66.0	2.587	38.6
5.5	1.815	3.195	1.496	66.8	2.583	38.7
6.0	1.819	3.201	1.481	67.5	2.577	38.8
6.5	1.823	3.208	1.471	68.0	2.576	38.8
7.0	1.826	3.214	1.463	68.4	2.575	38.8
7.5	1.944	3.642	1.528	65.5	2.882	34.7
8.0	2.059	4.058	1.595	62.7	3.177	31.5

Table 8. Comparisons of results (semi-gravity type)

Wall height (m)	Calculated		GEO.5			
	Sliding Fs ($F.S_s$)	Overt-urning Fs ($F.S_o$)	Sliding Fs ($F.S_s$)	Satis-factory (%)	Overt-urning Fs ($F.S_o$)	Satis-factory (%)
2.0	2.121	5.341	2.896	34.5	5.894	17.0
2.5	1.939	4.448	2.120	47.2	4.442	22.5
3.0	1.814	3.891	1.793	55.8	3.265	30.6
3.5	1.881	4.121	1.725	58.0	3.357	29.8
4.0	1.789	3.745	1.593	62.8	3.046	32.8

먼저 중력식 옹벽의 경우 GEO.5에서 모델링이 되지 않아 본 검토에서는 제외하였다.

상기 내용을 살펴보면 안전율 개념에서 비교할 경우 대부분이 기존 허용응력설계법에 비해 안전율이 낮게 검토되었다. 만족도(satisfactory)는 100 %일 경우 파괴가 발생한다는 개념으로서, 만족도가 낮을수록 파괴확률이 낮다는 것을 의미한다. 검토결과 역T형 옹벽은 활동에서 최대 78 %, 전도에서 39.1 %, L형 옹벽은 활동 최대 68.4 %, 전도 최대 38.8 %의 만족도를 나타냈다. 마찬가지로 반중력식 옹벽에서도 활동 만족도 최대 62.8 %, 전도 최대 32.8 %의 만족도가 검토되었다. 모든 옹벽에서 활동에 비해 전도의 만족도가 더 낮게 검토되었으며, 이는 기존 허용응력설계법을 통해 얻은 안전율과 동일한 경향을 나타낸다.

6. 간편법(Simple Reliability Analysis)을 이용한 옹벽 신뢰성 평가

간편법(Simple Reliability Analysis)은 해석에 관계된 매개변수들의 불확실성의 복합적인 영향을 평가하는 수단으로 사용할 수 있는 것으로서, 기존 해석에 대해서도 유용한 도움을 줄 수 있다(Duncan, 1999; Han, 2013).

6.1 Taylor's Series Method

본 연구에서는 도로옹벽 표준도의 역T형, L형, 반중력식, 중력식 옹벽에 대해 옹벽을 구성하는 콘크리트, 성토재 등에 대한 재료적인 변수를 중심으로 Taylor's Series Method (U.S Army Corps of Engineers, 1997)를 이용하여 간편 신뢰성 분석을 실시하였다.

Taylor's Series Method ;

$$\sigma_F = \sqrt{\left(\frac{\Delta F_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta F_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta F_N}{2}\right)^2} \quad (1)$$

$$COV_F = \frac{\sigma_F}{F_{MLV}} \quad (2)$$

$$\beta_{LN} = \frac{\ln(F_{MLV} / \sqrt{(1 + COV_F^2)})}{\sqrt{\ln(1 + COV_F^2)}} \quad (3)$$

여기서 σ_F : 안전율의 표준편차

$$\Delta F_1 = F_1^+ - F_1^-$$

F_1^+ , F_1^- 는 첫 번째 함수를 1 σ 만큼 최빈값에서 증가, 감

소시킨 상태에서 구한 안전율 (F_1^+ , F_1^- 를 산정할 때에는 다른 변수(F_2, F_N)는 고정하여 안전율을 산정)

COV_F : 안전율의 변동계수

F_{MLV} : 안전율 최빈값

β_{LN} : 신뢰도 지수

6.2 목표신뢰도 및 파괴확률

옹벽구조물의 한계상태설계 시 국내 도로교설계기준(한계상태설계법), FHWA 및 Eurocode에서는 얕은기초 검토시와 동일한 저항계수를 이용토록 하고 있다. 그러나 목표신뢰도 및 파괴확률에 대해서는 구체적인 언급 및 연구사례

Table 9. Allowable probability of failure in foundations (Meyerhof, 1994)

Structures	Allowable probability of failure (P_a)	Reliability index (β)
Offshore Foundations	10^{-2}	2.5
Earthwork	10^{-3}	3.0
Earth Retaining Structures		
Foundations on Land	10^{-4}	3.5

Table 10. Target reliability in pile foundations (Park, 2012)

Names	Target reliability (β_T)	Remarks
Meyerhof (1970)	2.3~3.6	Offshore foundation earthwork retaining structures
Wu et al. (1989)	2.0~3.0	Offshore piles
Tang et al. (1990)	1.4~3.0	Offshore piles
Barker et al. (1991)	2.0~2.5	Group piles
	3.0	Single piles
Zhang et al. (2001)	3.5	System reliability analysis
	3.5	Single piles
Paikowsky et al. (2004)	2.3	Group piles
	3.0	Single piles

Table 11. Target reliability in shallow foundations (Park, 2012)

Names	Target reliability (β_T)	Remarks
Becker (1996)	3.0~4.0	ASD calibration
Barker et al. (1991)	3.5	Sand ($\beta=1.3\sim4.5$) Clay ($\beta=2.7\sim5.7$)
Phoon and Kulhawy (2002)	3.2	Uplift capacity
Kulicki et al. (2007)	3.0~4.0	Reliability analysis of 124 bridges
Paikowsky et al. (2010)	3.0	Cost needed

가 거의 없는 실정이다. 이에 본 절에서는 말뚝기초, 얇은 기초 및 기타 지반분야에서 연구제안 된 목표신뢰도 및 파괴확률을 검토하였으며, 이를 정리하면 Table 9~12와 같다 (Phoon et al., 1996; Phoon et al., 1999; Park, 2012).

본 연구에서는 목표신뢰도지수(β_T) = 3.0, 파괴확률(P_f) = 1 %로 결정하였다.

6.3 설계정수에 대한 변동계수 산정

확률변수의 변동계수 및 확률분포는 문헌연구를 통하여 Table 13과 같이 검토하였다. 또한 성토재의 단위중량, 내부마찰각, 콘크리트 단위중량, 흙과의 마찰계수 등의 확률변수는 국내 도로옹벽 표준도의 설계정수 값을 이용하였으며, 변동계수를 5단계로 세분화하여 Table 14와 같이 산정하였다.

Table 12. Other target reliability (Park, 2012)

Names	Target reliability (β_T)	Remarks
D'Appolonia (1999)	2.50	Reinforced earth wall
Allen et al. (2001)	2.33	Reinforced earth wall
Huang (2010)	2.33	Reinforced earth wall
Lazarte (2011)	2.33	Soil nail

Table 13. Statistical distribution model and coefficient of variable from various interpretation data

Random variable	Coeff. of variable (COV)	Probability distribution	Refs.	
Unit W. (γ)	Con'c	0.02	Normal	JPHA (2007)
	Sand	0.02~0.13	Normal	Phoon & Kulhawy (1999)
	Clay	< 0.10	Normal	
Shear strength	0.10	Normal	Phoon & Kulhawy (1999)	
Earth pressure	0.10	Normal	Phoon et al. (1996)	

Table 14. Random variables calculation and coefficient of variable

Item	COV_1	COV_2	COV_3	COV_4	COV_5
Fill unit weight (γ_i)	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
	19±0.095 kN/m ³	19±0.19 kN/m ³	19±0.38 kN/m ³	19±0.57 kN/m ³	19±0.76 kN/m ³
Internal angle (ϕ)	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29
	30±7.5°	30±7.8°	30±8.1°	30±8.4°	30±8.7°
Con'c unit weight (γ_c)	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04
	24.5±0.123 kN/m ³	24.5±0.245 kN/m ³	24.5±0.49 kN/m ³	24.5±0.735 kN/m ³	24.5±0.98 kN/m ³
Friction coeff. (δ)	0.06	0.08	0.1	0.12	0.14
	0.5±0.03	0.5±0.04	0.5±0.05	0.5±0.06	0.5±0.07

6.4 검토 결과

Table 14에서 산정된 확률변수를 Taylor's Series Method를 이용하여 안전율의 변동계수(COV_F), 안전율 최빈값(F_{MLV}), 신뢰도 지수(β_{LN}), 파괴확률(P_f)을 구하였다. 이를 정리하면 Table 15~19와 같다.

Table 16은 역T형 옹벽의 검토결과로서, 신뢰도지수가 활동에서는 0.962~1.261로 낮게 검토되었으나, 전도에서는 2.93~3.497로 대체로 목표신뢰도지수 3.0을 만족하는 것으로 나타났다. L형 옹벽에서도 활동보다는 전도에서 목표신뢰도지수를 만족하는 것으로 검토되었다(Table 17 참조). 중력식 옹벽과 반중력식 옹벽에서도 동일한 경향을 나타냈

Table 15. Modes of safety factor by several retaining walls

Wall type	Mode of Fs (sliding)	Mode of Fs (overturning)
Cantilever	$F_{MLV_s} = 1.569$	$F_{MLV_o} = 3.131$
L	$F_{MLV_s} = 1.800$	$F_{MLV_o} = 3.191$
Semi-gravity	$F_{MLV_s} = 2.121$	$F_{MLV_o} = 5.341$
Gravity	$F_{MLV_s} = 1.562$	$F_{MLV_o} = 3.859$

Table 16. Reliability results by Taylor's Series Method (cantilever type)

Items	Sliding			Overturning		
	COV_F	β_{LN}	P_f (%)	COV_F	β_{LN}	P_f (%)
COV_1	0.326	1.261	10.371	0.32	3.497	0.02351
COV_2	0.344	1.182	11.866	0.334	3.346	0.04097
COV_3	0.363	1.103	13.505	0.349	3.195	0.06999
COV_4	0.383	1.032	15.094	0.364	3.063	0.10969
COV_5	0.405	0.962	16.801	0.379	2.93	0.16947

Table 17. Reliability results by Taylor's Series Method (L type)

Items	Sliding			Overturning		
	COV_F	β_{LN}	P_f (%)	COV_F	β_{LN}	P_f (%)
COV_1	0.326	1.693	4.525	0.32	3.557	0.01875
COV_2	0.344	1.592	5.569	0.334	3.405	0.03312
COV_3	0.364	1.492	6.787	0.349	3.251	0.0576
COV_4	0.383	1.402	8.045	0.364	3.117	0.09122
COV_5	0.405	1.315	9.421	0.379	2.981	0.14358

Table 18. Reliability results by Taylor's Series Method (gravity type)

Items	Sliding			Overturning		
	COV_F	β_{LN}	P_f (%)	COV_F	β_{LN}	P_f (%)
COV_1	0.234	1.82	3.439	0.212	6.321	1.30E-08
COV_2	0.248	1.704	4.42	0.221	6.062	6.70E-08
COV_3	0.264	1.59	5.593	0.23	5.83	2.77E-07
COV_4	0.28	1.484	6.887	0.239	5.607	1.03E-06
COV_5	0.299	1.379	8.392	0.249	5.386	3.61E-06

Table 19. Reliability results by Taylor's Series Method (semi-gravity type)

Items	Sliding			Overturning		
	COV_F	β_{LN}	$P_f(\%)$	COV_F	β_{LN}	$P_f(\%)$
COV_1	0.326	2.209	1.359	0.32	5.206	9.67E-06
COV_2	0.344	2.083	1.863	0.334	4.987	3.06E-05
COV_3	0.363	1.958	2.51	0.349	4.767	9.34E-05
COV_4	0.383	1.846	3.246	0.364	4.577	2.36E-04
COV_5	0.405	1.736	4.131	0.379	4.385	5.80E-04

으나, 역T형과 L형 옹벽의 경우보다 활동과 전도의 신뢰도 지수 차이가 크게 나타났다(Table 18, 19 참조).

이는 옹벽구조물이 활동보다는 전도의 안전성을 기준으로 단면설계가 되어 있으므로 당연한 결과로 보인다. 그러나 허용응력설계법에서도 활동, 전도, 지지력의 기준안전율이 존재하듯이 목표신뢰도 및 파괴확률도 각각의 검토항목에 따라 별도로 관리되어야 할 것으로 판단되며, 현재 도로 옹벽 표준도는 상당히 높은 신뢰도지수를 갖는 것으로 검토되었다.

7. 결 론

국내에서 사용 중인 도로옹벽 표준도를 기반으로 허용응력설계법(시행쇄기법), 한계상태설계법과 간편 신뢰성 분석을 통해 안정성을 평가하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 허용응력설계법(시행쇄기법)을 통한 안정성 검토 결과 일부 중력식 옹벽을 제외한 모든 옹벽에서 기준안전율을 만족하였다.
- (2) GEO.5 프로그램을 이용한 옹벽 단면의 LRFD 검토 결과 허용응력설계법에 비해 안전율이 낮게 나타났으며, 이는 허용응력설계법이 보수적임을 나타낸 것으로, 한계상태설계 도입을 통해 옹벽의 단면을 감소시켜 경제성을 확보할 수 있는 가능성이 있을 것으로 판단된다.
- (3) 간편 신뢰성 분석 결과, 활동 검토 시에는 목표신뢰도지수를 만족하지 못한 반면 전도 검토 시에는 높게 검토되었다. 즉 옹벽구조물의 목표신뢰도지수 선정 시에는 검토항목에 따른 별도의 목표신뢰도지수 및 허용파괴확률 등을 마련할 필요가 있다. 또한 지반조사 및 실내·현장 시험 등을 통해 현장조건에 맞는 신뢰성 있는 설계정수를 선정해야 한다.
- (4) 향후 지보재가 적용된 옹벽구조물에 대해서도 한계상태설계법의 도입에 관한 연구도 반드시 수행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통 R&D 정책 인프라사업 『표준화를 위한 구조물기초설계기준 정비연구』에 의해 지원되었습니다. 또한 이 논문은 2014학년도 김포대학교의 연구비지원에 의하여 연구되었습니다.

References

1. 국토해양부 (2008), 도로옹벽 표준도, pp. 2~7.
2. Allen, T. M., Christopher, B. R. and Dimmagio, J. (2001), Development of simplified method for internal stability of mechanically stabilized earth (MSE) walls. Washington State Department of Transportation, Report WA-RD, 513, pp. 108.
3. D'Appolonia (1999), Developing new AASHTO LRFD specification for retaining walls, Final Report NCHRO Project 20-7, Task88, Ground Technology Inc., Monroeville, PA, pp. 50.
4. Han, Y. B. (2013), Analysis of LRFD resistance factors for internal single aggregate piers in cohesive soil, Dongguk University, pp. 21~49 (in Korean).
5. Jeong, J. K., Seo, J. H., Jang, H. H. and Yang, T. S. (2013), A study on the reliability evaluation of the retaining wall based on road retaining wall standard design, KGS Spring National Conference, pp. 170~175 (in Korean).
6. JPHA (2007), Technical standards and commentaries of port and harbor facilities in japan, Japan Port and Harbor Association, pp. 25~58 (in Japanese).
7. Lazarte, C. A. (2011), NCHRP Report 701 : proposed specification for LRFD soil-nailing design and construction, Transportation Research Board, Washington DC, pp. 10~45.
8. Meyerhof, G. (1994), Evolution of safety factors and geo-technical limit state design, Second Spencer J. Buchanan Lecture, Texas A&M University, Nov. 4, pp. 32.
9. Paikowsky, S. G., Canniff, M. C., Lesny, K., Kisse, A., Amatya, S. and Muganga, R. (2010), NCHRP Report 651: LRFD design and construction of shallow foundations for highway bridge structures, Transportation Research Board of the National Academies, Washington DC, pp. 15~46.
10. Park, J. M. (2012), Analysis of LRFD resistance factors for internal stability of deep mixing improved ground, Dongguk University, pp. 106~116 (in Korean).
11. Phoon, K. K. and Kulhawy, F. H. (1996), Practical reliability based design approach for foundation engineering, Research Board 1546, Transportation Research Board, Washington, pp. 94~99.
12. Phoon, K. K. and Kulhawy, F. H. (1999), Characterization of geotechnical variability, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, No. 4, pp. 612~624.
13. U.S Army Corps of Engineers (1997), Engineering and design introduction to probability and reliability methods for use in geotechnical engineering, Department of Army U.S Corps of Engineers, Engineer Technical Letter, No. 1110-2-547, September 30, pp. 13~20.