

블록식 보강토옹벽의 붕괴사례 연구

김병일¹, 유완규^{2*}, 김경모³, 이봉열⁴

¹명지대학교 토목환경공학과, ²한국건설기술연구원, ³보강기술(주), ⁴시지이엔씨(주)

A Case Study on Collapsed Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall

Byoung-Il Kim¹, Wan-Kyu Yoo^{1,2*}, Kyeong-Mo Kim³ and Bong-Yeol Lee⁴

¹Department of Civil & Environmental Engineering, Myongji University,

²Korea Institute of Construction Technology, ³E&S Engineering Co., Ltd.,

⁴C.G.E&C Co., Ltd.

요약 이 연구에서는 경기도에 위치한 ○○대학교 캠퍼스 내 외곽도로 신설을 위해서 설치된 보강토옹벽의 붕괴사례를 통해 다양한 원인조사 및 분석에 대한 내용을 다루었다. 붕괴된 보강토옹벽에 대한 안정성 평가 및 설계도서 검토결과 다짐불량, 기초지반의 지지력 검토 누락, 보강재 설치 길이와 간격, 배수시설 문제 등의 시공과 관련한 문제들로 인해서 붕괴가 발생한 것으로 판단되었다. 설계 시 고려해야 할 전체 사면활동에 대한 안정성 검토, 2단 형태의 보강토옹벽에서 일반적으로 사용되는 FHWA 또는 NCMA 제안방법을 적용하지 않는 등의 여러 설계상의 문제점들도 확인하였다. 또한, 이러한 안정성 평가 내용을 바탕으로 제시공될 보강토옹벽의 안정을 위한 보강대책 및 시공방안 등을 제시하였다.

Abstract This case study deal with the investigation of various causes and analyses concerning the cases of the collapse of reinforced segmental retaining walls installed for newly constructing a peripheral road within the campus of ○○ University located in Gyeonggi-do. As results of stability analyses and reviewing of design documents concerning collapsed reinforced segmental retaining walls, such a collapse appeared because of problems related to construction including poor-compacted backfill, the omission of the investigation on the bearing capacity, the length and space in the installation of reinforced materials, and drainage systems. Also, problems during diverse types of designing were confirmed involving the stability analysis of the entire slope stability to be considered during designing and failure in application of the proposed methods of FHWA or NCMA which are generally used for two-tier reinforced segmental retaining walls. In addition, based on these details of the stability assessment, the study proposed reinforcement solutions and construction methods for stabilizing reinforced segmental retaining walls to be reconstructed in the future.

Key Words : Collapse, Construction method, Reinforced segmental retaining wall, Reinforcement solution, Stability

1. 서론

국토의 대부분이 산악지형이고 주요 도시의 인구밀도가 높은 우리나라의 특성상 한정된 부지를 효율적으로 이용하여 택지를 조성하고 도로, 철도 등 건설하는 것은

매우 중요하다. 이런 경우 옹벽이 흔히 사용되는데 그 중 보강토옹벽은 1980년대 후반에 국내에 소개되었고 이후 경제성, 심미성, 시공의 간편성과 토목섬유의 기능향상으로 인해 사용이 급속히 증가하였다. 시장의 성장과 함께 보강토옹벽 관련업체의 수가 급속하게 증가하였고 업체

*Corresponding Author : Wan-Kyu Yoo (Korea Institute of Construction Technology)

Tel: +82-31-995-0877 email: lyu5553@kict.re.kr

Received January 16, 2013

Revised February 27, 2013

Accepted April 11, 2013

간 수주경쟁이 매우 치열한 형편이다[1]. 이러한 무분별한 업체의 난립과 업체간 경쟁은 가격경쟁을 유발하고 이로 인하여 설계시 중요한 기본 조건을 무시하고, 시방규정을 충족하지 못하는 시공이 이루어지고 있는 등의 문제점이 발생하고 있다. 이에 따라 일부 현장에서 보강토옹벽 붕괴사고로 이어지고 있는 실정이다.

유충식 등[2]은 뒤채움 흙의 200번째 통과량이 FHWA 기준치를 초과하여 집중 호우시 배수 불량으로 인한 보강토옹벽의 파괴사례에 대한 연구를 진행한 바 있다. 김인석 등[3]은 국도 개선공사 현장의 보강토옹벽의 붕괴 원인에 대한 연구를 통해 붕괴의 원인을 전체 사면안정성 검토 누락, 옹벽 높이와 지오그리드 포설 두께 및 간격에 대한 설계도면과 시공의 불일치 등으로 규정한 바 있다. 김상수[4]는 다양한 보강토옹벽 파괴현상에 대한 사례연구를 통해서 보강토옹벽의 붕괴 원인인 배수시설, 설계시 안정성 검토의 미흡, 기초지반의 지지력 미확보 등에 대해서 보고한 바 있다. 한중근 등[5]은 보강토옹벽에 발생하는 기초지반의 침하, 전면판의 균열 및 보강토옹벽을 포함한 전면 사면붕괴사례의 증가를 옹벽이 설치되는 지반의 물리·역학적 특성 및 지반안정에 영향을 미치는 각종 환경조건을 적절히 고려하지 못하여 발생한다고 규정한 바 있다.

이 논문에서는 경기도에 위치한 ○○대학교 캠퍼스 내 외곽도로 신설을 위하여 설치된 보강토옹벽의 붕괴사례에 대한 원인조사 및 분석을 실시하고 이러한 안정성 평가 내용을 바탕으로 보강토옹벽의 안정을 위한 보강대책 및 재시공방안 등을 제시하였다.

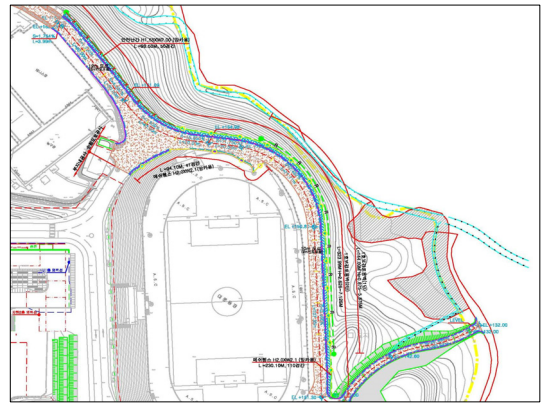
2. 보강토옹벽 시공현황

붕괴된 보강토옹벽은 ○○대학교 캠퍼스 내 교통순환을 원활하게 하기 위해서 대운동장 하단면을 따라 시외버스가 이동할 수 있도록 2011년 12월부터 2012년 3월에 걸쳐 시공되었다. 보강토옹벽의 높이는 최저 약 3m~최고 약 11m이며, 길이는 2단부 144m, 1단부 179m로 시공되었으며, 전체 종단 길이는 323m이다. 곡선부의 회전반경은 약 61m이며, 전체적으로 곡선형태로 이루어져 있다 (Fig. 1 참조).

전면판은 높이 30cm, 폭 68cm, 길이 29cm의 콘크리트 블록이며, 보강재는 인장강도 60kN/m, 80kN, 10kN/m, 150kN/m의 지오그리드가 사용되었다. 보강토옹벽의 곡선부인 7, 8 구간의 상단 옹벽에는 주변 하수관로와 연결된 2개의 우수관이 시공되어 있다.

도로가 개통된 후 몇 차례 강우가 있었으며 2012년 4

월 중순에 보강토옹벽에 경미한 문제가 발생하기 시작하여, 1차 도로면 침하 및 균열이 발생하여 최대 곡선부 도로의 바깥쪽 차선 중앙 포장부분에 종방향 균열이 비교적 크게 발생하고 이에 동반하여 과다한 침하가 발생하였으며, 인접한 인도가 바깥쪽으로 기울어지고 지반침하가 상당히 발생하였다. 또한 최대 곡선부 근처의 보강토옹벽이 전면으로 돌출되는 배부름 현상이 발생하였으며, 일부 보강토 블록에 세로방향으로 균열이 발생되어 육안으로 확인할 수 있는 틈이 발생하였다.



[Fig. 1] Ground plan of reinforced retaining wall

보강토옹벽 상단에 시공된 2개의 PE이중벽 배수관은 보강토체의 침하로 인하여 심하게 휘어진 상태였을 뿐 아니라 힘에 의한 파단으로 타원형태의 변형이 발생되었고, PE이중벽관 내부의 일부 및 집수정과의 연결부에 다소 큰 유격이 발생되었다. 이후 5월 말에 최대 곡선부의 상단 옹벽이 일부 떨어져 나갔고, 최대 곡선부 왼쪽의 보강토옹벽 일부가 붕괴되면서 상단 콘크리트 블록에 설치한 철재펜스 여러 칸이 함께 추락하는 일이 발생하였다.

보강토옹벽 붕괴 현장에서의 현장조사와 그림 2에서 보는 바와 같은 보강토옹벽의 균열 및 붕괴 상태를 고려해 볼 때 이 현장의 보강토옹벽에 발생한 문제점의 발생 원인으로서는 보강토옹벽의 다짐토체 및 뒤채움재의 다짐 불량으로 인한 과다침하 발생, 보강토옹벽 기초지반의 부등침하, 보강재의 시공 불량 등을 고려할 수 있었다. 또한 보강토체의 침하로 인하여 우수배수관의 동반침하가 발생하여 배수관이 기능을 상실하였고 그 결과 우수가 보강토 체내로의 유입되면서 다짐이 불량한 보강토체에 유실이 발생했을 것으로 예측하였다.



[Fig. 2] Cracked and collapsed reinforced retaining wall

3. 붕괴원인 조사

3.1 다짐토체 및 뒤채움재의 다짐 불량

붕괴된 보강토옹벽은 겨울철에 시공되었다. 겨울철에 시공되는 보강토옹벽의 경우에는 뒤채움 흙의 함수상태, 기온 등을 고려하여 다짐관리를 철저히 해야 한다. 하지만 이 현장에서는 보강토체 및 뒤채움 지반에 대한 철저한 다짐관리가 이루어지지 않은 관계로 시공완료 후 기온상승에 따른 잔류침하가 크게 발생한 것으로 판단된다. 이러한 문제는 보강토옹벽 시공시 뒤채움 재료를 충분히 다짐하지 않을 경우에 나타나는 상부 지표면 침하, 전면 블록의 부등침하 등의 문제를 야기하였다. 보강토옹벽의 1차 붕괴 후 일부 드러난 보강토 단면의 보강재 아래에서 빈 공간을 육안으로 확인할 수 있었던 점(Fig. 3 참조)으로 미루어 볼 때 다짐불량으로 인한 침하가 상당히 크게 발생했으며, 이는 보강토옹벽 붕괴의 가장 큰 원인인 것으로 판단된다.

재시공을 위하여 철거된 보강토의 시공단면을 확인한 결과, 보강토체 및 뒤채움재로 사용된 재료가 전석 및 폐콘크리트 조각의 혼입으로 다짐시공이 매우 불량하였음을 확인할 수 있었다(Fig. 4 참조).



[Fig. 3] Appearance and condition after 1st failure



[Fig. 4] Boulder stone and waste concrete in back fill

3.2 보강토옹벽 기초지반의 부등침하

박종권 등[6]은 국내 보강토옹벽 적용 현황 및 문제점에 대한 연구에서 기초지반조사에 대한 결여와 대부분 기초지반의 내부마찰각을 30° 정도로 가정하여 설계하는 문제점을 지적한 바 있다. 이 보강토옹벽 시공현장 역시 기초지반에 대한 지반조사를 실시하지 않았으며, 보강토옹벽의 기초지반에 대한 평판재하시험도 실시하지 않은 것으로 조사되었다. 보강토옹벽 전면부 하단 지표면에서 흙을 파내어 확인한 결과 기초의 근입깊이가 원설계인 90cm보다 훨씬 작은 약 30cm 정도로 파악되었으며, 따라서 근입깊이 부족으로 보강토옹벽 기초지반이 예상보다 크게 침하를 일으키고 또한 옹벽 높이 차이에 따라 기초간 부등침하도 발생한 것으로 판단된다.

3.3 보강재 시공 불량

건설공사 비탈면 설계기준[7]의 보강토옹벽 적용기준에 따르면 보강재의 최소 설치깊이는 전면벽체의 기초로부터 벽체높이의 0.7배 이상, 최소 2.5m보다 길어야 한다. 하지만 옹벽 상단의 지표면에 균열이 발생한 상태로 미루어 보았을 때 이 현장의 보강토옹벽에 설치된 보강재의 길이는 원설계보다 작게 설계 또는 시공되었을 가능성이 있는 것으로 예측되었다. 그리고 보강재가 설치된 구간에서도 침하가 크게 발생한 것을 고려해 볼 때 보강재의 연직 설치간격 또한 원설계보다 크게 시공되었을 수도 있다고 판단된다. 또한 콘크리트 블록 전면판과 보강재의 연결이 튼튼하지 않아 블록과 보강재가 따로따로 거동하여 보강재 역할을 제대로 수행하지 못한 것도 침

하의 원인 중 하나로 판단된다.



[Fig. 5] Damaged reinforcement by settlement

3.4 보강토옹벽 내부에 배수시설 설치

보강토옹벽 시공시 보강토체 내부에는 배수시설을 설치하지 않는 것이 일반적이다. 하지만 이 현장에는 옹벽 상단에 2개의 배수관($D \approx 60\text{cm}$)을 설치하여 인접한 배수관과 연결 시공하였다. 2개의 배수관 설치로 이 구간의 보강재가 원설계보다 큰 연직간격으로 설치되었고, 이것은 보강토옹벽의 안정성 저하에 영향을 미친 것으로 판단된다. 그리고 철거 후 보강토옹벽내에 설치된 배수관(PE 이중벽관)의 상태를 확인한 결과, 보강토체의 다짐시공 부실에 의한 침하로 배수관이 휘어진 모습을 확인하였다(Fig. 6 참조).



[Fig. 6] Bowed drainpipe(PE double wall pipe)

3.5 보강토옹벽 외부 배수시설 미설치

일반적으로 보강토옹벽 시공시에는 침투 문제가 발생하지 않도록 가능한 물이 침투되지 않도록 시공해야 하고 침투된 물은 빨리 배수가 되도록 시공해야 한다. 내부로 침투되는 물을 빨리 배수시키기 위해서는 전면판 뒤의 흙은 양질의 배수층으로 일정한 두께 이상 조성하는 것이 일반적이다. 그러나 이 현장의 경우에는 시공불량 등의 원인으로 강우시 여러 가지 침투경로를 따라 보강토 내부로 물이 쉽게 침투되었다. 또한 보강토옹벽 블록 뒷면에 배수층을 설치하지 않아 보강토옹벽의 안정성을 저하시키는 원인을 제공한 것으로 판단된다(Fig. 7 참조).



[Fig. 7] Omitted drainage layer from the back of block

3.6 설계도서 검토 결과

붕괴된 보강토옹벽의 구조계산서를 검토한 결과 보강토옹벽에서 가장 중요한 요소인 뒤채움 재료로 사용된 흙의 토질정수는 Table 1과 같다. 3.2절에서 언급한 바와 같이 이 현장에서 기초지반에 대한 지반조사를 실시하지 않았으며, 설계에 필요한 토질정수는 보강토옹벽 설계 시 일반적인 기초지반 특성값으로 사용하는 전단저항각 30° 를 적용한 것으로 확인되었다.

[Table 1] Used soil properties for previous design

	cohesion, $c(\text{kPa})$	friction angle, $\phi(\text{deg})$	unit weight, $\gamma(\text{kN/m}^3)$
Backfill	N/A	30.0	18.9
Foundation soil	0.0	30.0	18.9

보강토옹벽에서 뒤채움 재료와 더불어 가장 중요한 요소인 보강재는 인장강도 60kN/m, 80kN, 10kN/m, 150kN/m의 지오그리드가 사용되었다. 보강토옹벽 설계 시 지오그리드 보강재의 인장강도는 재료의 극한인장강도를 사용하는 것이 아니라 장기설계인장강도를 사용해야 하는데 이러한 장기설계인장강도의 경우 지오그리드의 허용인장변형과 크리프 특성 및 가능한 모든 강도저하 요인 등을 고려한 후 결정해야 한다[8]. 하지만 설계내용을 검토한 결과 검토대상 보강토옹벽에서는 이러한 보강재의 강도저하 요인을 고려하지 않은 것으로 확인되었다.

이 현장의 보강토옹벽은 2단으로 구성되어 있는 보강토옹벽으로 설계도서 상에서는 2단 옹벽 중 하단(1단) 옹벽의 경우 하단(1단) 옹벽과 상단(2단) 옹벽의 높이를 합한 전체 높이에 대한 구조계산 결과 중 하단(1단) 옹벽 높이에 해당하는 보강재 층까지만 선택하여 적용하는 방법으로 설계하였다. 그러나 이러한 방법은 일반적인 2단 옹벽 설계의 개념과는 다른 방법이라고 할 수 있다. 우리나라 건설공사 비탈면 설계기준[7]에서 인용하고 있는 미연방도로국의 보강토옹벽 설계기준서인 FHWA-NHI-00-

043[9]에서는 2단 옹벽을 하나의 옹벽으로 보고 설계하도록 규정하고 있으며, 미국 NCMA의 설계기준서[10]에서는 상단 옹벽은 독립된 보강토옹벽으로 설계하고 하단 옹벽의 설계에서는 상단옹벽의 자중을 하중으로 재하하여 설계하도록 규정하고 있다.

이 현장의 보강토옹벽은 경사면에 시공된 상태로 건설공사 보강토옹벽 설계 시공 및 유지관리 잠정지침[11]에 따라 대표 단면에 대한 전반활동과괴 검토를 실시해야 함이 마땅하지만 보강토옹벽을 포함한 전체 사면에 대한 안정성 검토도 누락되어 있었다. 보강토옹벽 파괴 후 실시한 사면안정해석 결과에서는 보강토옹벽 전면 사면의 경사가 급한 일부 대표 단면에서는 전체사면활동에 대한 안정성 확보가 미흡한 상태인 것으로 확인되었다.

4. 안정성 확보를 위한 보완 방법

이 현장은 보강토옹벽에 발생한 이상 징후를 발견하여 안전진단을 실시하던 중 계속 붕괴가 진행되어 결국 붕괴구간을 포함한 일부 구간에 대해서 재시공을 실시하기로 결정하였다. 이에 따라 보강토옹벽의 재시공 시에는 앞에서 살펴본 여러 문제점을 보완하여 보강토옹벽의 안정성 확보를 위해 다음과 같이 다양한 방법을 고려하였다.

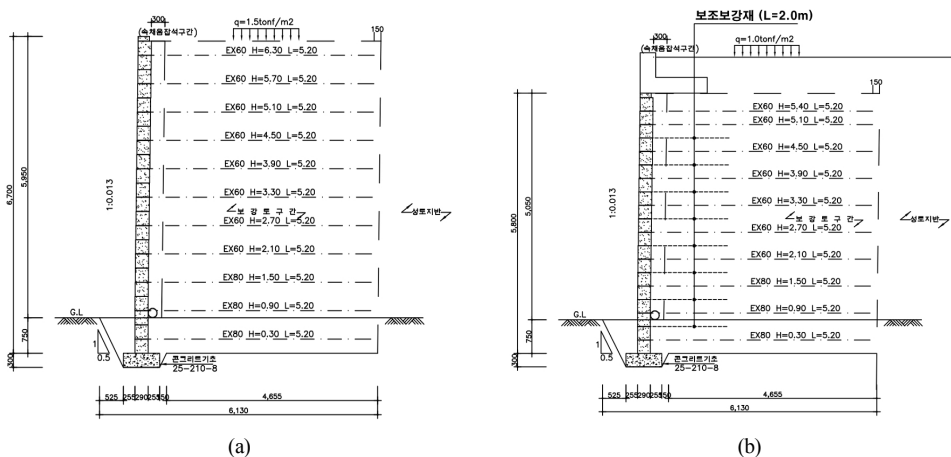
4.1 단면설계

이 현장의 경우 보강토옹벽 상부에 도로가 있는 점을 고려하여 재시공시 상부 약 1m 정도는 현장타설 L형 옹벽으로 처리하고, 보강재 길이를 전면판 기초로부터 벽체

높이의 0.7배 이상으로 하여 최소 2.5m보다 길게 적용하였다. 또한 보강재 수직간격은 최대 간격을 블록깊이(뒷길이)의 2배를 초과하지 않도록 하여 전면벽 상부의 전도, 활동 등을 방지하기 위해 최상단 보강재의 설치위치를 전면벽 최상부 표면에서 0.5m 이내로 하였다. 또한 그 바로 아래 층 보강재는 최대 수직간격의 1/2 정도의 간격으로 배치하도록 하였다. 전면 블록과 보강재의 연결이 단순한 마찰 및 전단저항력에 의한 방식이고 전면블록의 길이가 비교적 짧은 0.29m인 점을 고려하여 주 보강재 사이에 길이 2.0m 정도의 보조 보강재를 배치함으로써 국부적인 안정증가를 도모하였다. 그림 8은 기존 단면설계와 개선사항을 반영한 개선 단면을 비교하여 나타낸 것이다.

4.2 전체사면활동에 대한 안정성 검토

이 현장의 보강토옹벽은 기존 설계에서 전체사면활동에 대한 안정성 검토가 누락되었다. 이에 재시공 구간에서 지반조사를 임의적으로 선정하여 4개 지점에서 실시하였고 이 결과를 바탕으로 5개의 대표 단면에 대해서 사면안정해석을 실시하였다. 사면안정해석결과 보강토옹벽의 재시공 단면에 대한 전체사면활동의 안정성은 대체로 적절한 안전율을 확보하는 상태인 것으로 나타났다. 그러나 우기시 지하수위 상승에 의한 전체사면활동의 안정성 저하가 우려되어 재시공 단면에서는 배수를 원활하게 유도할 수 있는 배수라인(맹암거 또는 유공관 등을 이용)에 대한 설계가 고려되어야 할 것으로 판단되었다. 또한 현재의 지반조건에서 추가적인 사면보강공법을 적용하지 않고 안전율 증가를 도모하기 위해서 보강토옹벽의 기초



[Fig. 8] Improved cross-sectional design of reinforced retaining wall
(a) previous design (b) modified design

지반을 0.5~1.0m 정도 골재(잡석)으로 치환하고 다짐을 통해서 하부 지반의 전단강도를 증가시키는 방법을 적용하도록 하였다.

4.3 시공관련사항

기존에 시공된 보강토옹벽에서는 블록 속채움 및 뒤채움이 불량한 곳이 있었고 그 결과 블록/그리드 연결부가 취약해지는 현상이 발생할 수 있었다.

따라서 재시공 시에는 블록을 쌓는 때 층마다 블록 속, 뒤채움을 철저히 하도록 하였고, 보강재와 블록사이에 결속력을 최대로 증가시키기 위해서 보강재 설치시 보강재의 선단을 블록 전면까지 연장시켜 설치하도록 하였다.

뒤채움재의 경우 보강토옹벽 뒤채움 재료의 입도기준에 따라 뒤채움 재료의 최대입경을 102mm가 초과되지 않도록 하였으며, 102mm가 초과되는 재료에 대해서는 선별과정을 거치도록 하였다. 이 보강토옹벽 붕괴의 가장 큰 원인으로 판단되었던 다짐관련 문제에 대해서는 블록 1단의 높이를 고려하여 층당 다짐 후의 성토두께가 0.2~0.3m를 초과하지 않도록 하였고 다짐 후 다짐평가는 현장 밀밀도시험을 이용하여 상대다짐도 95%이상의 다짐도를 유지할 수 있도록 다짐관리를 하도록 하였다.

5. 결론

경기도에 위치한 ○○대학교 캠퍼스 내 외곽도로 신설을 위하여 설치된 보강토옹벽의 붕괴사태에 대한 다양한 원인조사 및 분석을 실시하여 안정성 평가를 하였다. 안정성 평가 중 부분적으로 붕괴가 발생한 보강토옹벽은 부분 재시공이 결정되었다. 이와 같이 재시공이 결정된 구간에 대해서는 안전진단에서 조사된 설계 및 시공 상의 문제점들을 보완하여 설계 및 시공하도록 조치하였다. 붕괴가 발생한 기존 보강토옹벽의 경우에는 붕괴의 주된 원인이 다짐불량인 것으로 판단되었고, 이 외에도 시공전 지반조사나 평판재하시험 등을 이용한 지지력 검토의 누락, 설계에서 적용한 깊이보다 얇은 기초의 근입깊이로 인한 기초간 부등침하, 보강재 설치 길이와 설치간격 및 설계시 보강재의 강도저하를 고려하지 않은 문제, 콘크리트 블록 전면판과 보강재의 결속력 미흡, 보강토체 내부에 설치된 배수관으로 인한 안정성 저하, 보강토옹벽 외부 배수시설의 미설치, 2단 형태의 보강토옹벽을 설계시 일반적인 설계기준인 FHWA 또는 NCMA의 제안방법을 적용하지 않은 문제 등이 확인되었다. 이러한 문제들을 고려하여 재시공 구간에 대해서는 개선된 설계단면을 적

용하도록 하였으며, 특히 다짐불량이 기존 보강토옹벽 붕괴에 가장 큰 원인으로 파악된 점을 고려하여 시공 중 철저한 다짐관리가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Kwon, O. H., Lee, K. W and Cho, S. D., "Practices and Troubles of Reinforced Earth Wall in the Country", The Fall 2007 Geosynthetics Conference, pp.29-37, 2007[In Korean].
- [2] Yoo, C. S., Jeon, H. Y., Jung, H. Y. and Jung, H. S., "Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall Failure During Heavy Rainfall-A case Study", Journal of KGS, Vol.21, No.4, pp.135-143, 2005[In Korean].
- [3] Kim, I. S., Lee, J. K. and Lee, S. H., "Case Study of Precision Safety Diagnosis of the Breaking of Reinforced Soil Retaining Wall", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol.10, No.2, pp.33-44, 2006[In Korean].
- [4] Kim, S. S., "Failure Cases of Reinforced Soil Retaining Wall(Technical Note)", the Korean Geosynthetics Society, Vol.6, No.2, pp.15-20, 2007[In Korean].
- [5] Han, J. G., Cho, S. D., Jeong, S. S., Lee, K. W. and Kim, J. S., "Case Study on the Countermeasure Methods and Collapsed Sources of Segmental Retaining Wall Considering Site Conditions", Journal of the Korean Geosynthetics Society, Vol.4, No.3, pp.35-43, 2005[In Korean].
- [6] Park, J. K. and Lee, K. W., "A Study on Practices and Troubles of Reinforced Soil Wall", Journal of the Korean Geosynthetics Society, Vol.11, No.1, pp.65-75, 2012[In Korean].
- [7] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs(Korean), "Design Standard, Specification and Management Guideline for Man-made Slope", 2011[In Korean].
- [8] Cho, S. D., Lee, K. W., Oh, S. Y. and Lee, D. H., "Assessments of Installation Damage and Creep Deformation of Geogrids", Journal of the Korean Geosynthetics Society, Vol.3, No.4, pp.29-40, 2004[In Korean].
- [9] Elias, V., Christopher, B. R. and Berg, R. R., "Mechanically Stabilized Earth(MSE) Walls and Reinforced Soil Slopes(RSS), Design and Construction Guidelines", National Highway Institute, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, FHWA-NHI-00-043, 2001.

[10] NCMA, "Design Manual for Segmental Retaining Walls", National Concrete Masonry Association, Collin, J. G., editor 2nd Edition, Herndon, VA, TR-127A, 1997.

[11] Minister of Land, Transport and Maritime Affairs (Korean), "Design Standard, Specification and Management Guideline for Reinforced Retaining Wall", 2010[In Korean].

김 병 일(Byoung-Il Kim)

[정회원]

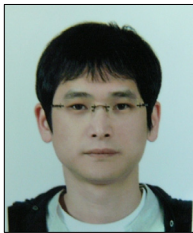


- 1989년 2월 : 서울대학교 토목공학 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 토목공학 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 토목환경공학과 교수

<관심분야>
토질역학, 기초공학

유 완 규(Wan-Kyu Yoo)

[정회원]



- 2006년 2월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 명지대학교 토목환경공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 SOC성능연구소 Geo-인프라연구실 수석연구원

<관심분야>
토질역학, 기초공학, 지하구조물

김 경 모(Kyeong-Mo Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 동국대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 홍익대학교 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 9월 ~ 1997년 10월 : (재)한국건설구조안전연구원 선임연구원
- 1997년 10월 ~ 현재 : 보강기술(주) 연구소장

<관심분야>
토질및기초공학, 토목섬유, 보강토

이 봉 열(Bong-Yeol Lee)

[정회원]



- 1990년 2월 : 단국대학교 토목환경공학과(공학석사)
- 2000년 8월 : 단국대학교 토목환경공학과(공학박사)
- 2000년 6월 ~ 현재 : 시지 이엔씨(주) 전문이사

<관심분야>
토질역학, 기초공학