띠형 섬유보강재가 적용된 블록식 보강토옹벽의 안정성 평가

Evaluation on Stability of Reinforced Earth Wall using Geosynthetic Strip with Rounded Band Anchor

이 광 우¹ Lee, Kwang-Wu

조 삼 덕² Cho, Sam-Deok

한 중 근³ Han, Jung-Geun

홍 기 권^{4*} Hong, Ki-Kwon

ABSTRACT

This paper describes the stability evaluation of reinforced earth wall using geosynthetic strip based on field test. The wall facing, which is applied in field, is able to present excellent scenery, and the reinforcement has improvement effect of pullout resistance based on rounded band anchor. The measurement is conducted according to construction elapsed time of structure for earth pressure, horizontal displacement of wall facing and reinforcement strain in field test. The evaluation results show that the measured earth pressure is less than theoretical earth pressure due to dispersion effect of earth pressure by geosynthetic strip. The horizontal displacement of wall facing is also satisfied a empirical criteria. The measured strain of reinforcement had nearly no effect on stability of the reinforced earth wall. Therefore, the geosynthetic strip with rounded band anchor can be applied in the reinforced earth wall, and the reinforced earth wall with geosynthetic strip can be commonly used in field because it has a structural stability.

요 지

본 연구에서는 현장시험 및 계측결과를 바탕으로 인발저항을 향상시킬 수 있는 띠형 섬유보강재가 적용된 블록식 보강토옹벽의 안정성 및 거동특성을 평가하였다. 연구대상 현장에 적용된 전면벽체는 경관연출이 가능하며, 보강재는 수동저항부에 의한 인발저항 향상 효과를 고려할 수 있다. 현장시험은 토압, 전면벽체의 수평변위 및 보강재 인장변형률에 대한 계측을 수행하였다. 현장시험 결과, 전면벽체에 작용하는 토압은 적용된 보강재의 토압분산 효과에 기인하여 이론토압에 비하여 낮은 토압이 발생하였으며, 전면벽체의 수평변위는 경험적 변위기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 또한 띠형 섬유보강재의 인장변형률은 보강토옹벽의 안정성에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 확인되었다. 따라서 본 연구에서 적용된 수동저항부를 고려한 띠형 섬유보강재는 블록식 보강토옹벽의 적용에 문제가 없는 것으로 나타났으며, 이를 적용한 블록식 보강토옹벽은 구조적으로 안정성을 유지하기 때문에, 공용이 가능한 것으로 평가되었다.

Keywords : Geosynthetic strip, Reinforced earth wall, Rounded band anchor, Wall facing, Field test

- 1 정회원, 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 수석연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Engineering, Research Division, Korea Institute of Construction Technology)
- 2 정회원, 한국건설기술연구원 Geo-인프라연구실 선임연구위원 (Member, Senior Research Fellow, Geotechnical Engineering, Research Division, Korea Institute of Construction Technology)
- 3 정회원, 중앙대학교 사회기반시스템공학부 교수 (Member, Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ.)
- 4* 정회원, 중앙대학교 사회기반시스템공학부 연구교수 (Member, Research Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Urban Design and Study, Chung-Ang Univ., E-mail: kkhong@wm.cau.ac.kr)

1. 서론

보강토는 인장력이 우수한 보강재를 지반 내에 포설함으로써, 지반과 보강재가 일체화 되도록 하여 토압을 감소 시킴과 동시에 지반의 전단강도를 증가시키는 공법이다(이광우 등, 2011b). 이와 같은 보강토 공법은 경제성이 우수하고 시공성이 용이하기 때문에, 옹벽, 교대, 비탈면 및 연약지반 등의 안정성 개선을 위하여 폭 넓게 사용되고 있다(Chen et al., 2007; Won and Kim, 2007; Yoo and Kim, 2008; Tatsuoka et al., 2009). 이 중, 보강토옹벽에 적용되고 있는 보강재는 재료특성에 따라 강재스트립, 돌기형 스트립 및 강그리드 보강재 등과 같은 비신장성 보강재와 지오그리드, 지오텍스타일 및 띠형 섬유보강재 등과 같은 신장성 보강재로 구분된다(이광우 등, 2009; 한중근 등, 2010, 이광우 등, 2011a).

국내의 보강토옹벽 도입 초기에는 스트립 형태의 보강재가 적용된 패널식 보강토옹벽이 활용되었지만, 1990년대 중반에 지오그리드가 도입되면서부터 현재까지 설계·시공된 보강토옹벽은 주로 지오그리드를 이용한 블록식 보강토옹벽이라 해도 과언이 아니다(한국토목섬유학회, 2006). 이와 같은 블록식 보강토옹벽은 패널식 보강토옹벽에 비하여 보다 수려한 경관연출 및 경제적 시공이 가능한 장점을 가지고 있다. 즉, 보강토옹벽의 전면벽체는 일반적으로 패널식과 블록식으로 구분할 수 있지만, 각 전면벽체에 따라 적용이 가능한 보강재는 한계성이 있기 때문에, 최근에는 블록식 보강토옹벽에 적용할 수 있는 띠형 섬유보강재에 대한 연구가 진행된 바 있다(이광우 등, 2011a; 한중근 등, 2011; 홍기권, 2011; 이광우 등, 2012).

본 연구에서는 앞서 언급한 띠형 섬유보강재를 이용하여 블록식 보강토옹벽에 대한 현장시험을 수행하였으며,

전면벽체에 작용하는 수평토압, 전면벽체 변위 및 띠형 섬유보강재의 인장변형률에 대한 계측을 수행하였다. 또한 계측결과를 바탕으로 보강토옹벽의 안정성 및 거동 특성을 평가하였다.

2. 띠형 섬유보강재가 적용된 블록식 보강토옹벽의 구성

본 연구에서 적용된 블록식 보강토옹벽의 구성요소는 전면벽체, 보강재 및 뒤채움 흙으로서, 일반적인 보강토옹벽과 동일하지만, 전면벽체 및 보강재 형상 등에 대한 특징이 다르다. 따라서 본 절에서는 동일한 설계기준을 적용하는 뒤채움 흙에 대한 설명은 배제하고, 전면벽체와 보강재의 특징에 대해서만 기술하였다.

2.1 전면벽체

현장시험에 적용된 전면벽체는 그림 1(a) 및 그림 1(b)에서 보는 바와 같이, 일반블록과 식생블록을 혼용되었다. 식생블록은 내부에 식생기반토를 채움으로서, 식물의 자생이 가능하도록 식생기반층을 조성할 수 있는 구조이며, 일반블록은 식생블록과 함께 다양한 형태로 조합하여 우수한 경관연출이 가능하도록 제작되었다. 또한 두 가지의 블록 뒷면은 띠형 섬유보강재와의 결속을 위하여 일정 길이로 홈이 형성되어 있으며, 블록과 보강재의 결속은 그림 1(c)에 나타내었다. 그리고 블록의 압축강도는 24MPa로 동일하며, 블록간의 적층은 전단핀을 사용하여 구조적으로 안정성을 유지할 수 있도록 하였다.

그림 1. 전면벽체 형상

2.2 보강재

그림 2에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 적용된 띠형 섬유보강재는 폴리에스테르 섬유 외부에 폴리에틸렌 수지로 압출 피복되어 있다. 또한 보강재 중심은 길이방향으로 접힘홈이 형성되어 있기 때문에 반쪽으로 접어 블록에 직접 체결할 수 있도록 하여 블록과 보강재의 연결강도를 확보함으로써 안정성을 유지시킬 수 있는 구조를 갖는다. 그리고 지반과 접하는 부분은 전폭으로 포설되어 마찰저항력을 극대화하도록 하였으며, 보강재의 끝단부에는 ‘U’형으로 세워서 수동저항부를 형성시켜 지지저항을 발현하도록 하여 전체 인발저항강도를 향상시킬 수 있도록 하였다. 이와 같은 띠형 섬유보강재의 재료적 및 공학적 특성은 전술한 바와 같이 기존에 연구된 바 있다(이광우 등, 2010; 이광우 등, 2011a; 한중근 등, 2011; 이광우 등, 2012).

3. 현장시험

3.1 개요

본 연구에서는 강원도 문막에 위치한 유희부지에 높이 9m의 띠형 섬유보강재가 적용된 블록식 보강토옹벽에 대한 현장시험을 수행하였다. 현장에 적용된 보강토옹벽의

그림 2. 띠형 섬유보강재

설계 및 시공은 FHWA 설계기준(Elias et al., 2001)을 바탕으로 수행하였으며, 보강재 길이는 설계기준에 근거하여 최소설치길이인 6.3m를 적용하였다. 시공 시, 띠형 섬유보강재의 포설에 있어서, 인발저항력 향상을 목적으로 끝단에 수동저항부를 형성하였으며, 설치간격은 전면벽체의 형상 및 결속되는 폭을 고려하여 0.26m로 하였다. 또한 보강토옹벽의 뒤채움 흙은 현장에 분포한 양질의 화강풍화토를 적용하였으며, 이는 200번째 통과율이 약 4%정도로서 통일분류법상 SW로 분류되었다.

3.2 시공과정

연구대상의 보강토옹벽은 일반적인 블록식 보강토옹벽의 시공과정과 동일하다. 즉, 전면벽체의 설치를 위한 터파기를 실시한 후, 기초지반의 강도에 따라 잡석의 포설 및 다짐 또는 버림 콘크리트를 타설하게 되는데, 본 현장의 경우에는 충분한 지반강도 발현을 위하여 버림 콘크리트로 시공하였다. 그리고 최하단의 블록을 설치한 후, 블록 배면에 쇄석을 이용한 배수층 형성 및 뒤채움 흙의 성토·다짐을 수행하며, 이 때 다짐도는 95% 이상이 되도록 한다. 마지막으로 보강재를 포설한 후, 뒤채움 흙의 성토·다짐을 실시하며, 이와 같은 시공단계를 계획된 높이까지 반복하여 시공을 완료한다. 앞서 설명한 시공과정을 그림 3에 간략히 나타내었다.

3.3 현장계측

띠형 섬유보강재를 이용한 블록식 보강토옹벽의 안정성 평가 및 거동 특성 분석을 위하여 토압, 전면벽체 변위 및 보강재의 인장변형률에 대한 현장계측을 수행하였다. 계측내용과 옹벽의 높이에 따른 계측기 설치 상세도를 표 1 및 그림 4에 나타내었다.

전면벽체에 작용하는 수평토압 및 보강재의 인장변형률을 측정하기 위하여, 각각 토압계와 변형률계를 설치하였으며, 전면벽체의 수평변위는 변형편을 이용하여 측정하였다. 토압계는 보강토옹벽 전면벽체의 변형특성을 고려할 수 있는 위치를 선정하여 강재로 만든 거치대에 고정시킨 후, 벽체후면에 총 3개를 설치하였으며, 변형률계는 계측을 위한 각 보강재에 6개씩 설치하였다. 그리고 수평변위 계측을 위한 변형편은 변형률을 계측하는 보강재 중, 최하단 보강재를 제외하고는 모두 동일한 높이에 설치하였다. 각 계측장치 설치전경 및 계측수행 전경은 그림 5에서 보는 바와 같다.

(a) 버림 콘크리트 타설, 블록 설치 및 쇄석을 이용한 배수층 형성

(b) 뒤채움 흙 성토 및 다짐

(c) 보강재 포설

(d) 시공완료

그림 3. 띠형 섬유보강재를 이용한 블록식 보강토옹벽의 시공 과정

표 1. 계측 내용 및 계획

계측 내용	계측 위치
수평토압	전면벽체 저면으로부터 1.8m, 4.2m 및 6.0m 지점에 총 3개 설치
보강재의 인장변형률	전면벽체 저면으로부터 3, 4, 7, 8, 10, 11, 13단 보강재에 총 42개 설치 ; 각 보강재는 벽체 전면으로부터 0.6m, 1.1m, 1.6m, 2.6m, 4.1m 및 5.6m 지점에 설치
전면벽체의 수평변위	전면벽체 저면으로부터 2.1m, 3.9m, 4.5m, 5.7m, 6.3m, 7.5m 및 8.1m 지점에 총 7개 설치

그림 4. 계측기 설치 상세도

(a) 변형률계

(b) 토압계

(c) 계측 전경

그림 5. 계측기 설치 및 계측 전경

(a) 경과시간에 따른 벽체 작용 토압

(b) 벽체 높이별 작용 토압

그림 6. 수평토압 계측 결과

4. 결과 및 고찰

현장계측은 시공 초기부터 시공완료 후 약 6개월까지 수행되었으며, 계측결과를 바탕으로 보강토옹벽의 안정성 및 거동 특성을 고찰하였다.

4.1 벽체 작용 토압

경과시간과 벽체 높이에 따라 전면벽체에 작용하는 수평토압 계측결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6(a)에서 보는 바와 같이, 보강토옹벽의 시공이 진행됨에 따라 각 위치에서의 토압은 초기에 급격히 증가하였으며, 이는 뒤채움 흙의 포설 및 다짐에 의한 영향으로 분석되었다. 그리고 시간이 경과함에 따라 토압은 서서히 증가하다가 점차 수렴하는 것으로 나타났으며, 시공완료 직후부터는 감소하는 경향을 보였다. 그림 6(b)에 나타난 바와 같이, 최대 토압은

옹벽저면으로부터 1.8m 위치에서 21.7kPa이 발생되었으며, 이는 이론토압에 의해 약 50kPa의 수평토압이 발생할 수 있는 점을 고려하면 약 43%에 해당하는 결과이다. 또한 다른 위치에서의 최대토압의 경우에도 이론토압에 비하여 낮은 토압이 발생하였기 때문에, 연구대상 구조물은 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 판단되었다.

4.2 전면벽체의 수평변위

블록의 전면부에 설치된 변형핀을 이용한 수평변위 계측결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)에서 보는 바와 같이, 전면벽체의 수평변위는 모든 계측위치에서 설치초기에 급격하게 증가하였으며, 벽체 시공완료 이후에는 증가가 거의 없는 것으로 나타났다. 즉, 연구대상 보강토옹벽의 수평변위는 전면벽체 시공 과정에서 대부분 발생한 것을 알 수 있으며, 시공이 완료되면서 안정화 되었다. 이

(a) 경과시간에 따른 수평변위

(b) 옹벽 높이에 따른 수평변위

그림 7. 전면벽체 수평변위 계측 결과

는 시공완료 직후부터 토압이 감소했던 결과를 고려하면, 시공된 보강토옹벽이 안정화 단계를 거쳐 안정한 상태를 유지하고 있음을 의미한다.

그림 7(b)에 나타난 바와 같이, 전면벽체 높이에 따른 수평변위를 분석한 결과, 수평변위는 벽체하부로부터 약 $0.3H \sim 0.5H$ 지점에서 가장 크고 상단으로 갈수록 상대적으로 작게 발생하는 형태를 보이고 있으며, 시공완료 후 약 6개월 경과 시까지의 최대수평변위는 33mm가 발생한 것으로 나타났다.

한편, 보강토옹벽의 전도에 대한 허용수평변위는 일반적으로 시공경험에 의한 경험적 수치인 $0.03H$ 일 경우에 구조적으로 안정한 상태로 평가되고 있다(한국건설기술연구원, 1998). 즉, 계측된 수평변위가 옹벽높이의 3%에 이르면, 구조적으로 불안정한 것으로 판정한다. 따라서 수평변위 계측결과를 이용하여 옹벽높이(H)에 대한 최대 수평변위(y_{max})의 비율을 산정한 결과, 최대 수평변위는 옹벽높이(9.0m)의 0.37%($0.0037H$)인 것으로 확인되었다. 이는 연구대상 보강토옹벽이 매우 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 평가할 수 있으며, 앞서 언급한 수평토압 분석결과와도 동일한 결과이다.

4.3 띠형 섬유보강재의 인장변형률

그림 8은 계측계획에 의한 각 계측대상 보강재의 경과시간에 따른 인장변형률을 계측한 결과이다. 인장변형률은 시공 중에 벽체의 높이가 증가할수록 최대 0.87%까지 증가하였으며, 시공이 완료된 이후에는 점차 일정한 값에

수렴 또는 감소하는 것으로 나타났다. 그림 9는 벽체높이 별 보강재에 유발된 인장변형 특성을 나타낸 것으로서, 전면벽체로부터 발생된 변형률은 다소 차이가 있지만 일정한 경향을 보이고 있으며, 벽체높이에 따라서도 큰 차이는 없는 것으로 확인되었다. 이론적으로는 벽체하단으로 갈수록 더 큰 수평토압이 작용하게 되어 벽체하단에 위치한 보강재에 더 높은 인장력이 발생되어야 한다. 그러나 앞서 언급한 이론적인 원리를 바탕으로 벽체하단부로 갈수록 인장강도가 높은 보강재를 포설하였기 때문에, 발생한 변형률이 벽체높이에 따라 크게 차이가 나지 않는 것으로 분석되었다.

한편, 벽체시공 완료 후 약 6개월이 경과된 시점에서의 최대 인장변형률은 1.3% 미만으로 확인되었으며, 이는 일반적으로 설계 시에 반영되는 인장변형이 보강재의 광폭 인장강도 시험결과에서 나타나는 변형률의 3%~6% 정도인 것을 고려하면 매우 작은 것으로 분석되었다. 따라서 본 현장에 적용된 띠형 섬유보강재는 블록식 보강토옹벽의 적용에 있어서 문제가 없는 것으로 분석되었다.

본 연구대상 보강토옹벽의 경우, 보강재 인장변형률 계측결과가 최대 1.3% 미만으로 작게 나타난 주요 원인으로 는, 그림 1(c)에 나타난 블록과 보강재의 연결방법에 있어서 보강토체 침하에 대하여 신장성의 재료특성을 갖는 띠형 섬유보강재가 유연하게 대응할 수 있는 구조를 가지고 있는 점도 크게 작용한 것으로 판단된다. 일반적인 블록식 보강토옹벽의 현장계측결과에서는 전면벽체에 가장 근접하게 위치한 지점에서 변형률이 가장 크게 나타나고, 이는 벽체로부터의 거리가 증가한 지점에서의 변형률과도 상당

(a) 3단 보강재

(b) 4단 보강재

(c) 7단 보강재

(d) 8단 보강재

(e) 10단 보강재

(f) 11단 보강재

(g) 13단 보강재

그림 8. 경과시간에 따른 보가재의 인장변형률 계측결과

그림 9. 벽체 높이별 보강재의 인장변형률 분포

히 큰 차이를 보이게 된다. 그러나 본 연구대상 현장의 경우, 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이, 전면벽체로부터의 거리에 따른 인장변형률 측정값의 차이가 그다지 크지 않는 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 블록과 보강재의 연결 방식에 의한 연결부에서 유발된 인장력이 기존 연결방식에 비하여 상대적으로 낮게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 수동저항부를 형성시킴으로서 인발저항을 향상시킬 수 있는 띠형 섬유보강재를 적용한 블록식 보강토옹벽의 안정성 평가 및 거동 특성을 분석하기 위하여 현장시험을 수행하였으며, 토압, 전면벽체 수평변위 및 보강재의 인장변형률에 대한 계측을 실시하였다. 이에 연구

결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전면벽체에 발생하는 최대 토압의 크기는 옹벽저면으로부터 1.8m 위치에서 21.7kPa로 나타났으며, 이는 이론토압에 비하여 낮은 것으로 확인되었다. 또한 다른 위치에서도 실제 발생한 토압이 이론토압에 비하여 낮게 나타난 점으로 미루어, 본 연구에서 적용된 띠형 섬유보강재가 효과적으로 토압을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 최대 수평변위는 전면벽체의 약 0.3H~0.5H 지점에서 33mm가 발생되었으며, 이를 일반적으로 적용되고 있는 보강토옹벽의 전도에 대한 허용수평변위 평가방법을 바탕으로 산정한 결과, 옹벽 높이(9.0m)의 0.37% (0.0037H)인 것으로 확인되었다. 즉, 본 연구대상 보강토옹벽은 매우 안정한 상태를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.
- (3) 보강재의 인장변형률을 계측한 결과, 최대 인장변형률은 1.3%로 미만으로 확인되었으며, 설계 시에 반영되는 인장변형이 보강재의 광폭인장강도 시험결과에서 나타나는 변형률의 3%~6% 정도인 점을 고려하면, 본 현장에 적용된 띠형 섬유보강재는 블록식 보강토옹벽의 적용에 있어서 문제가 없을 뿐만 아니라 구조적으로 안정한 상태로서의 공용이 가능한 것으로 분석되었다.
- (4) 전면벽체의 거리에 따라 발생한 보강재의 인장변형률이 크지 않은 원인은 본 연구에서 적용한 띠형 섬유보강재와 블록의 연결 방식에 기인하여 블록과 보강재의 연결부에서 유발된 인장력이 기존 연결방식에 비하여 상대적으로 낮게 나타났기 때문으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요사업인 “도시기후 영향 최소화 핵심 녹색 건설기술 개발”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 이광우, 김주형, 조삼덕, 한중근, 윤원일, 홍기권 (2010), “띠형 섬유보강재의 장기성능 평가를 위한 실험적 연구”, *한국토목섬유학회논문집*, 제9권, 제4호, pp.75-84.

2. 이광우, 조삼덕, 한중근, 홍기권 (2009), “대형인발시험을 이용한 수동지지저항 부재가 설치된 강재스트립 보강재의 인발저항 평가”, *한국토목섬유학회논문집*, 제8권, 제4호, pp.1-8.
3. 이광우, 조삼덕, 한중근, 홍기권 (2011a), “수동저항부가 형성된 띠형 섬유보강재의 인발저항 특성”, *한국토목섬유학회논문집*, 제10권, 제3호, pp.43-51.
4. 이광우, 조삼덕, 한중근, 홍기권 (2011b), “현장시험을 이용한 강재를 보강토옹벽의 안정성 평가”, *한국토목섬유학회논문집*, 제10권, 제4호, pp.37-47.
5. 이광우, 조삼덕, 한중근, 홍기권 (2012), “띠형 섬유보강재의 폭과 설치간격에 따른 변형률 분포 및 인발강도 특성 평가”, *한국토목섬유학회논문집*, 제11권, 제2호, pp.39-47.
6. 한국건설기술연구원 (1998), “지반구조물의 설계·시공상의 문제점 및 대책방안 Workshop”, *KICT 제10회 건설기술연구발표회*.
7. 한국토목섬유학회 (2006), *토목섬유의 특성 및 활용기법*, 구미서관.
8. 한중근, 윤원일, 홍기권, 이광우, 조삼덕 (2011), “띠형 섬유보강재의 변형률 분포 특성을 이용한 인발거동 평가”, *2011 한국토목섬유학회 봄 학술발표회*, pp.87-96.
9. 한중근, 윤원일, 홍기권, 홍원표, 이광우, 조삼덕 (2010), “인발시험과 이론식을 이용한 강재스트립 보강재에 설치된 지지부재의 지지저항 특성 평가”, *한국토목섬유학회논문집*, 제9권, 제2호, pp.33-40.
10. 홍기권 (2011), *앵커지지효과를 고려한 스트립 보강재의 인발저항 평가 및 설계법*, 박사학위논문, 중앙대학교.
11. Chen, H.-T., Hung, W.-Y., Chang, C.-C., Chen, Y.-J. and Lee, C.-J. (2007), “Centrifuge modeling test of a geotextile reinforced wall with a very wet clayey backfill”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.25, No.6, pp.346-359.
12. Elias, V., Christopher, B. R. and Berg, R. R. (2001), *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design and construction guidelines*, Publication No. FHWA-NHI-00-043, Federal Highway Administration, Washington, D.C., USA.
13. Won, M.-S. and Kim, Y.-S. (2007), “Internal deformation behavior of geosynthetic-reinforced soil walls”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.25, No.6, pp.10-22.
14. Yoo, C. and Kim, S. B. (2008), “Performance of a two-tier geosynthetic reinforced segmental retaining wall under a surcharge load: Full-scale load test and 3D finite element analysis”, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.26, No.6, pp.460-472.
15. Tatsuoka, F., Hirakawa, D., Nojiri, M., Aizawa, H., Nishikiori, H., Soma, R., Tateyama, M. and Watanabe, K. (2009), “A new type of integral bridge comprising geosynthetic-reinforced soil walls”, *Geosynthetics International*, Vol.16, No.4, pp. 301-326.

(논문접수일 2012. 8. 30, 심사완료일 2012. 9. 24)