

분리형 보강토옹벽의 현장계측 및 분석

Instrumented Field Performance of an Isolated-Reinforced Earth Wall

김영윤¹⁾, Kim Young-Yoon, 한경제²⁾, Han Kyeong-Je, 김경모³⁾, Kim Kyeong-Mo

¹⁾ 보강기술(주) 기술연구소 소장, Director, E&S Engineering Co., Ltd.

²⁾ 보강기술(주) 기술연구소 수석연구원, Chief Researcher, E&S Engineering Co., Ltd.

³⁾ 보강기술(주) 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, E&S Engineering Co., Ltd.

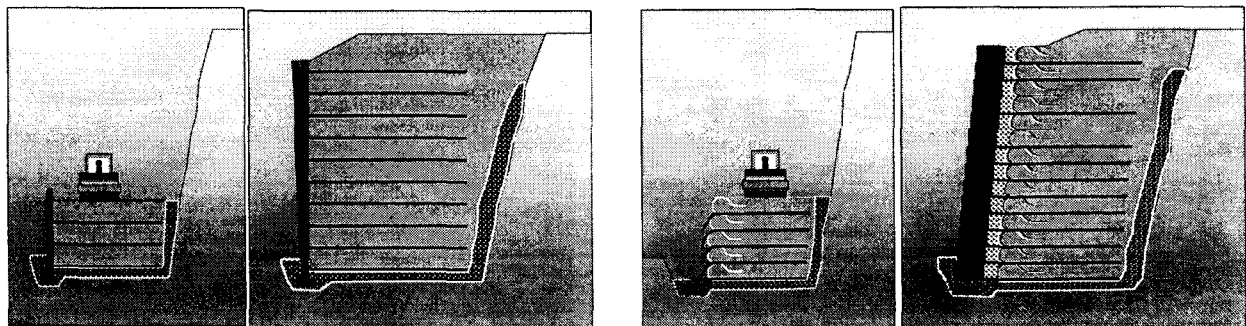
개요(SYNOPSIS) : As the reinforced earth wall is constructed with step by step backfill compaction method, the accumulative horizontal deformation is inevitable. It has been reported that about 80% of horizontal deformation is occurred during the construction stage of reinforced earth retaining wall. To reduce the horizontal deformation, an isolated-reinforced earth wall method(KOESWall system) was newly developed. In this system, the reinforced earth is constructed first with reinforcements and backfills only, and then facing blocks are installed after the horizontal displacement of reinforced earth is fully occurred.

To evaluate the effect of a construction method and the performance of KOESWall system, two cases of full scale field performance was monitored during and after the construction stages.

Key Words : reinforced earth wall, accumulative horizontal deformation, KOESWall system, construction method, full scale field performance

1. 서론

토체에 인장강도가 큰 보강재를 넣어 인장력에 약한 흙을 보강해 주는 방법으로 옹벽분야에 활발히 응용되고 있는 보강토 옹벽공법은 축조과정에서 뒷채움 다짐으로 인한 유발 수평력이 매우 크기 때문에 대부분의 수평변위가 시공도중에 발생하며, 토체를 쌓아 올라갈 수록 그 변위가 누적됨으로 인해 보강 토옹벽을 완성한 후 예기치 못했던 옹벽의 상단 변위가 문제로 되는 경우가 종종 있다.(그림 1(a))



(a) 일반보강토옹벽

(b) 분리형 보강토 옹벽

그림 1 보강토옹벽의 시공과정

이 누적 수평변위는 보강토옹벽의 기능이나 구조적 안정성에는 영향을 미치지 않지만 그것을 보는 사람으로 하여금 심리적 불안감을 조성시킬 수 있기 때문에 개선해야 할 사항으로 지적되고 있다. 이는 통상 보강토옹벽이 완성된 다음에 나타나는 것이므로, 이를 개선하기 위해서는 시공과정에서 많은 노력을 기울이거나 보강토옹벽을 해체 후 재시공을 해야하기 때문에 이로 인한 공기지연 및 경제적 손실이 막대한 실정이다. 이를 개선하기 위해 제안된 분리형 보강토옹벽공법은 전면판과 보강토체가 동시에 축조되는 일반보강토옹벽공법과는 달리 먼저 보강토체를 축조하여 뒷채움 다짐과정에서 발생하는 수평변위를 수용한 다음 전면에 블록을 축조하는 분리시공법(그림 1(b), 그림 2)을 채택함으로써 뒷채움 다짐에 의한 전면벽체의 수평변위 문제를 해결한 신공법이다.





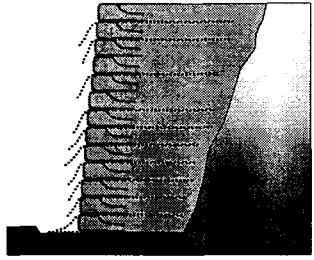
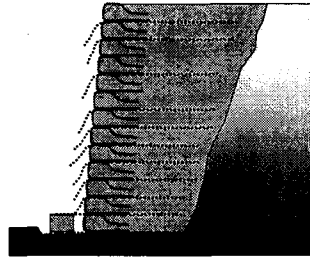
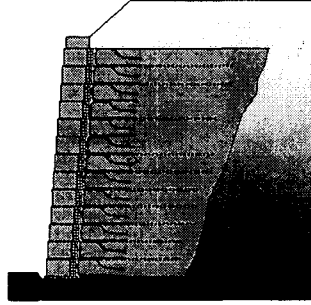
시공 순서	1. 블록 기초 설치 및 바닥고르기	2. 보강토체 1층 형성		
		2.1 보강재 포설 및 기준틀 설치	2.2 지오텍스타일 포설 및 전면흙벽 형성	2.3 흙쌓기 및 기준틀 제거
				
시공 순서	3. 반복작업에 의한 보강토체 완성		4. 전면블록 쌓기	5. 분리형 보강토 옹벽 완성
				

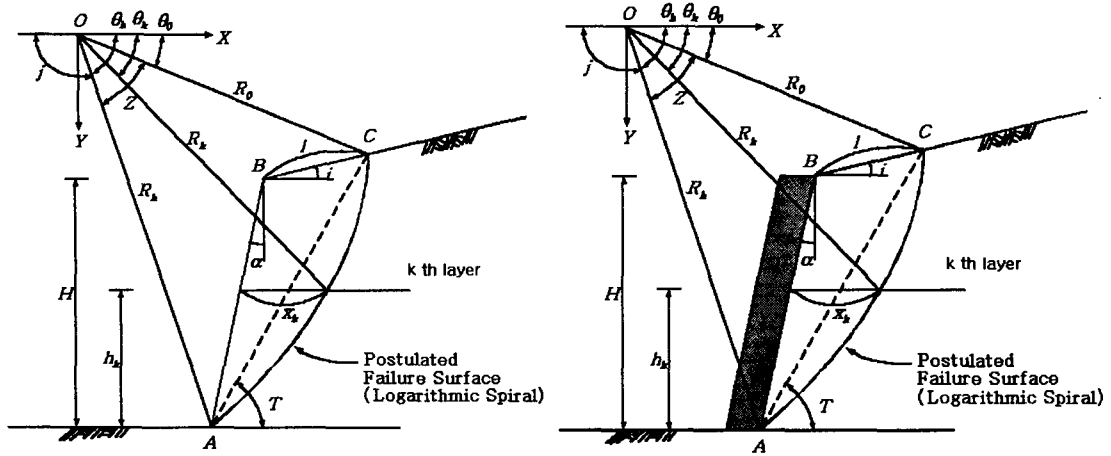
그림 2 분리형 보강토옹벽의 시공순서

본 연구에서는 이러한 분리형 보강토옹벽(KOESWall System)의 실제 시공현장의 계측 결과를 통해 현재까지 정리된 자료를 바탕으로 그 효과를 분석해 보고자 한다.

2. KOESWall 설계법

보강토 옹벽의 설계법은 크게 타이백방법과 사면안정해석법의 두 가지 형태로 분류된다. 타이백 방법은 보강토체의 수평방향 활동력이 보강재에 의해서 유발되는 수평방향 저항력과 평형을 이룬다는 가정 하에서의 한계평형해석법이며, 사면안정해석법은 전통적인 사면안정해석에 보강재에 의하여 유발된 저항력을 추가하여 가정된 파괴활동면에 대하여 힘과 모멘트 평형을 계산하는 방법이다.

분리형 보강토 옹벽의 선단활동 파괴면을 그림 3 에서와 같이 대수나선으로 가정하였다. 또한 공법의 특성상 시공과정이 보강토체의 시공과 전면블록설치의 2단계로 구분되므로 안정성 검토에서도 이 과정들을 구분하여 검토하게 된다. 먼저 블록 설치이전의 안정해석은 대수나선(logarithmic spiral)형태의 연속 함수로 가정된 파괴면에 대하여, 모멘트 평형조건을 토대로 토목섬유 보강토 벽체의 선단파괴에 대한 안정해석을 실시하며, 대수나선으로 가정된 예상파괴면을 토대로 한 보강토 벽체의 관련 기하학적 체계를 개략적으로 도시하면 그림 3. (a)와 같다.



(a) 보강토체에 대한 해석

(b) 전면벽체를 포함한 해석

그림 3 분리형보강토옹벽의 해석

토목섬유 보강토 벽체에 있어서, 모멘트 평형조건을 토대로 한 선단파괴에 대한 안전율(FS_m)은 활동 모멘트(M_{TD})와 이에 대응하는 저항모멘트(M_{TR})의 비로 정의되며, 평가방식은 식 (1)과 같다.

$$FS_m = \frac{M_{TR}}{M_{TD}} \quad (1)$$

$$M_{TD} = M_{dw} + M_{dq} + M_{du} \quad (2)$$

$$M_{TR} = M_{rc} + M_{rt} \quad (3)$$

위 식에서, M_{dw} ; 파괴흙쌓기 자중에 의한 활동 모멘트

M_{dq} ; 상재하중(q)에 의한 활동모멘트

M_{du} ; 파괴면에 작용하는 침투수압에 의한 활동모멘트

M_{rc} ; 점착력에 의한 저항모멘트

M_{rt} ; 보강재에 유발되는 최대인장력(T_{max})에 의한 저항모멘트

전면부 콘크리트 블록이 순차적으로 설치완료된 상태에서, 선단파괴에 대한 내적안정 검토절차(그림 3. (b))는 전면부 콘크리트 블록 자체 자중에 의한 활동모멘트 등이 추가되는 점 이외에는, 앞에서 기술한 1차 시공시의 경우와 동일하다.

전면부 블록이 설치된 2차 시공완료단계에서는, 활동모멘트(M_{TD}) 및 저항모멘트(M_{TR}) 산정에, 블록 자중에 의한 활동모멘트(M_{db})와 블록과 지반 사이의 마찰에 의한 저항모멘트(M_{rb})가 추가로 고려된다.

$$FS_m = \frac{M_{TR}}{M_{TD}} \quad (4)$$

여기서, $M_{TD} = M_{dw} + M_{dq} + M_{du} + M_{db}$

$M_{TR} = M_{rc} + M_{rt} + M_{rb}$

3. 시공 및 계측 사례

3.1 시공사례

(1) Site A : 경기도 화성군 팔탄면 시험시공

경기도 화성군 팔탄면소재 공장부지 내에 축조된 시험시공 보강토옹벽(사진 1)이며, 보강기술(주)에서 개발한 ES-Grid(100 kN) 와 ES-Block을 사용하여 시공되었다. 시험시공 옹벽은 높이 7.2 m 연장 53.2 m로 축조되었으며, 축조시 토압계, 스트레인게이지, 경사계 등의 다양한 계측기기를 매설하여 현장계측을 실시하였다.(그림 4)

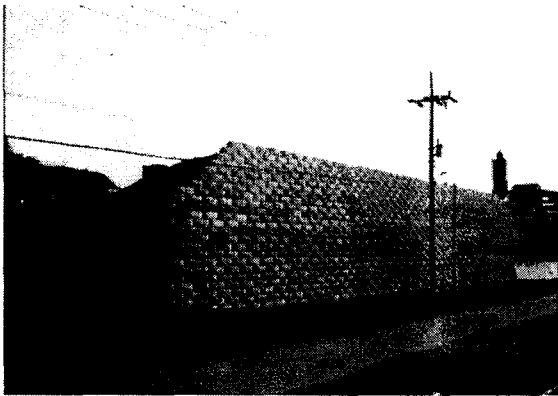


사진 1 KORESWall 시험시공(경기도 화성군)

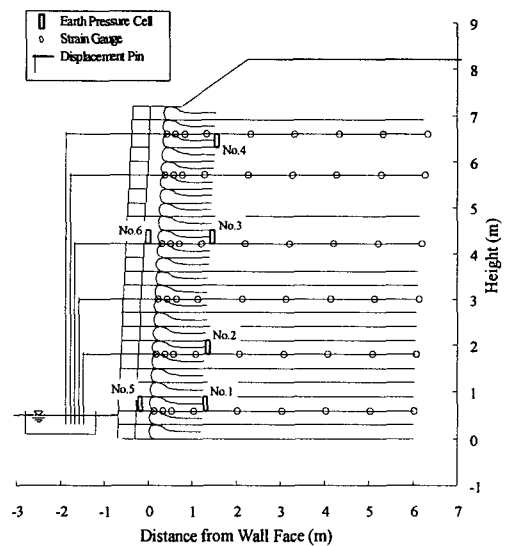


그림 4 시험시공 KORESWall의 설계단면

(2) Site B :대전 금병로 시공사례

화성에서의 성공적인 시험시공결과를 바탕으로 대전 금병로에 7.4m의 실 시공(사진 2)을 실시하였으며, 그 거동 및 효과를 검증하기 위한 현장계측을 실시하였다. 계측기의 위치는 그림 5와 같다.



사진 2 대전 금병로 KORESWall

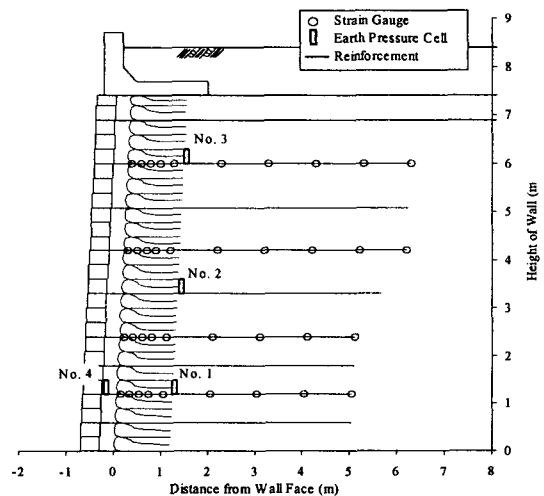


그림 5 계측기 설치 단면도

3.2 계측결과 및 분석

(1) 토압의 크기

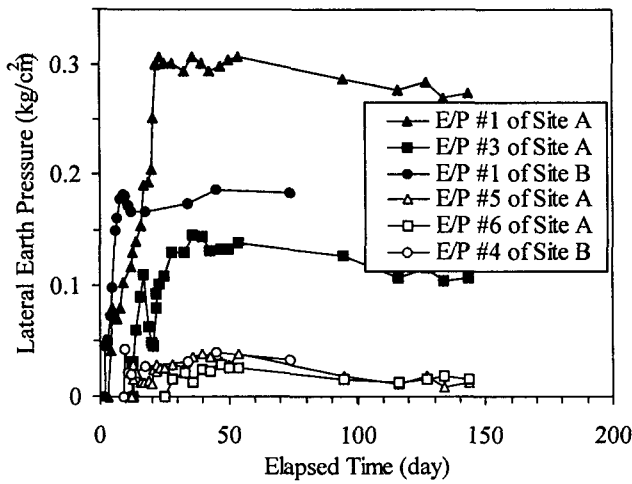


그림 6 토압의 변화(Site A, B 종합)

토체의 토압은 옹벽이 축조되는 동안 꾸준히 증가하다가 그림 6과 같이 시공 후 일정한 값에 머물러 있음을 알 수 있다. 시공이 완료되었을 때의 토압은 0.05-0.3 kg/cm²이었다. 반면 전면 블록 바로 뒤에서 측정된 값은 블록 축조 중에는 약간 증가하다가 0.03 kg/cm²에서 일정한 값을 나타냈다. 이는 토압의 약 10%정도가 전면 블록으로 전달되었음을 뜻한다. 이로부터 KORESWall 시공방법으로 인해 상당량의 토압 감소효과가 있다는 것을 알 수 있다.

(2) 토압분포 및 수평변위

그림 7 및 8은 각각 Site A의 경과시간에 따른 토체의 토압분포 및 수평변위를 나타낸다. 그림 7에서 벽체 상부에서 측정된 토압은 Rankine의 주동토압 보다 약간 크게 나타났으며, 중간부분에서는 두 개의 토압계에서 비슷한 값을 나타내었고, 하부에서 커지는 경향을 나타내고 있다. 이러한 경향의 토압분포는 성토체 내에 보강재를 삽입함으로써 토체의 토질특성이 변화하였기 때문으로 판단된다.

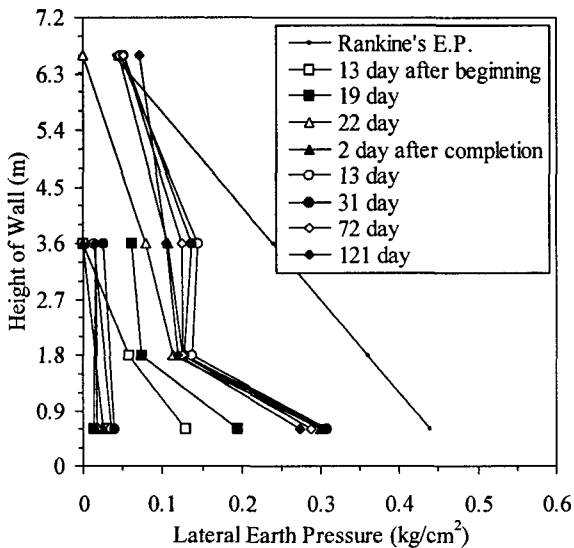


그림 7 토체 내부의 토압 분포

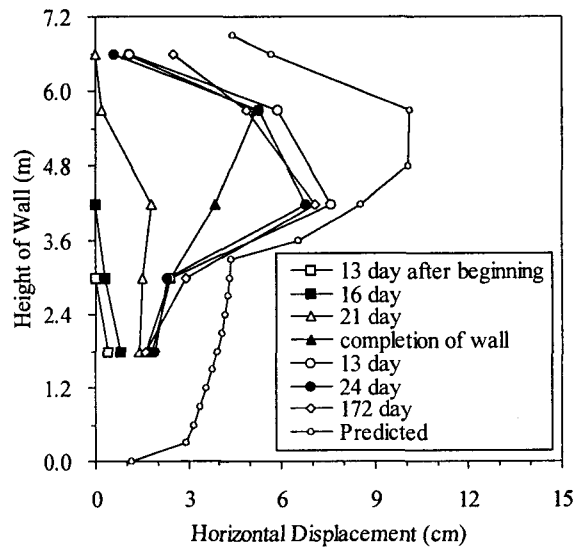


그림 8 토체의 수평 변위

그림 8.에서는 옹벽의 수평 변위를 나타낸 것으로 구조계산 프로그램에 의해서 예측된 변위를 함께 나타내었다. 이 그림에서 보면 벽체 전면의 변위는 벽체 높이의 상반부에서의 변위가 하반부에서 보다 크게 나타났으며, 0.3 m 지점과 0.8 m 지점에서 발생변위의 차이의 거의 없는 것으로 나타났다. 또한 벽체의 변위형태는 프로그램에 의하여 예측된 변형형태와 유사한 경향을 보인다. 또한 그림으로부터 수평 변위의 약 80%가 전면블록을 축조하기 전 보강토체의 완성시기에 나타나는 것을 알 수 있는데, 이로부터 전면벽체가 완성된 후에는 약 20%의 수평변위 만이 발생한다는 것을 알 수 있다.

(3) 보강재의 최대 인장 변형을

그림 9는 각 층의 지오그리드 보강재에 발생하는 인장 변형을 분포를 나타낸다. 이 그림으로부터 최대인장변형율의 범위는 0.37-0.75%로서 설계허용 인장 변형율 1% 이내인 것으로 측정되어 보강토체가 안정된 상태임을 나타낸다.

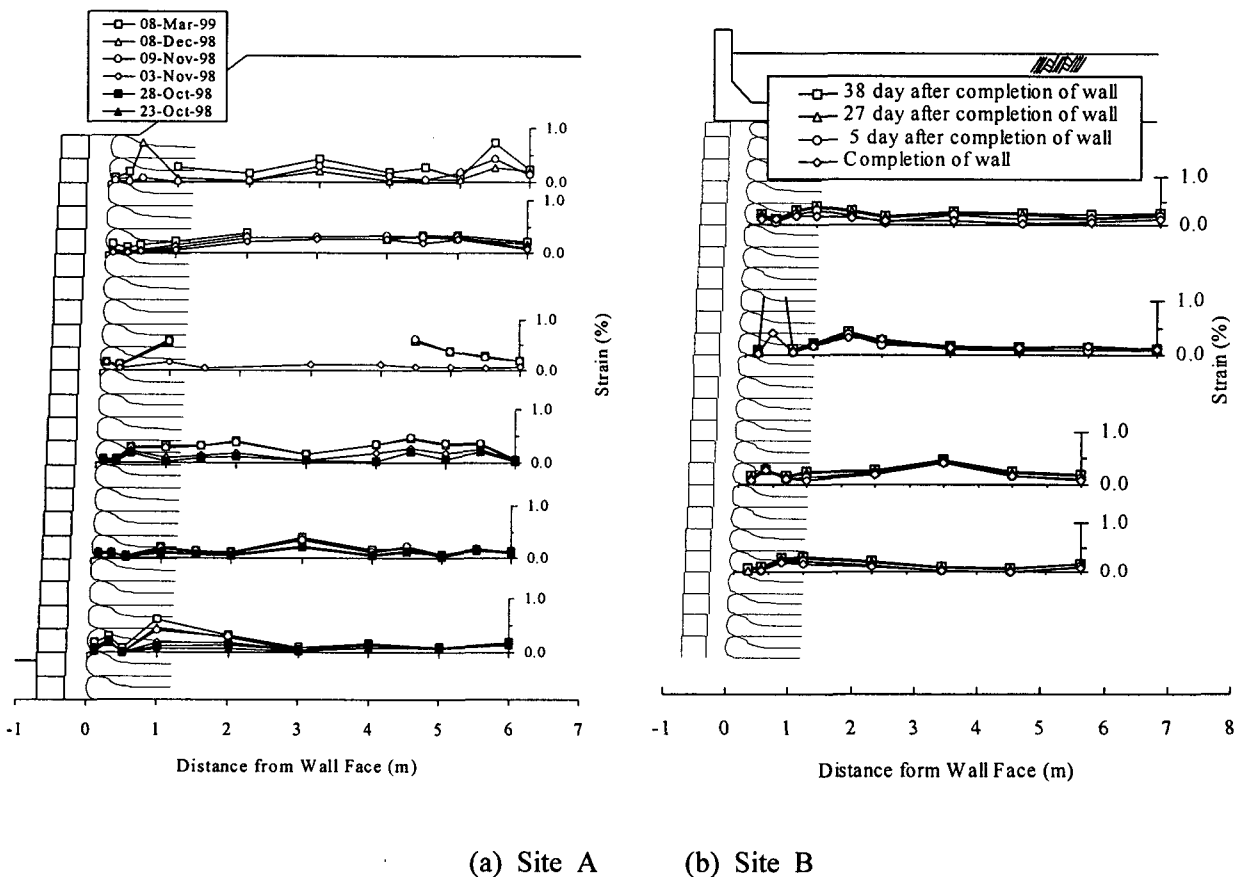


그림 9 보강층별 보강재의 인장 변형율 분포

보강재의 인장변형율은 전반적으로 상부층에서 더 크게 나타났으며, 이는 벽체 상부의 수평변위가 하부의 수평변위 보다 큰 벽면의 수평변위 측정결과와 잘 일치한다.

각 층 보강재의 유발최대인장변형율은 구조계산시 적용된 예상파괴선(최대인장력선)을 기준으로 보았을 때에는 저항영역 내에 위치하게 되어 설계조건과는 차이를 보인다. 이러한 원인은 현재 보강재에 작용하는 응력상태가 한계평형으로 가정한 설계 적용 보강재 응력상태와는 서로 다른 데에서 기인한 것으로 판단되며, 파괴시에는 최대인장력선은 더 앞쪽으로 이동될 것으로 예상되어 설계시의 가상파괴면이 가까워질 것으로 예상된다.

4. 결론

기존의 보강토옹벽의 시공방법상 불가피한 문제였던 뒷채움 다짐유발 누적 수평변위 문제를 해결하기 위해 고안된 분리형 보강토 옹벽의 시험시공 및 실시공 현장계측 결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현장계측결과 분리형 보강토공법의 새 시공법으로 인해 뒷채움 다짐에 기인한 누적 수평변위가 전면벽체에 영향을 미치지 않음이 확인되었다.
2. 보강토체의 최대토압은 랭킨 값의 67%로 조사되었으며, 이중 10%의 잔류 토압만이 전면벽체로 전달되는 것으로 나타났다.
3. 분리형 보강토옹벽 시공법으로 인해 시공중 발생하는 수평변위의 약 80%가 감소되었으며, 이를 현재의 일반 보강토공법과 비교해 볼 때는 매우 현저한 감소효과가 있다고 판단된다.
4. 보강재에 발휘되는 최대 인장변형율의 범위는 0.37~0.75 % 이고, 이 것은 허용값인 1%이내로서 안정한 것으로 판명되었다.

참고문헌

1. 김영운 (1999), '분리형 보강토 옹벽의 수평변위에 관한 연구', 석사학위논문, 연세대학교, Seoul, Korea
2. 김홍택, 김화주, 송병용 (1996), "섬유보강토체의 현응력해석법", 대한토목학회 학술발표회 논문집.
3. 김홍택, 이은수, 송병용 (1996), "섬유 보강토 벽체의 인장력 평가 및 변형예측", 한국지반공학회지, 제 12 권, 제 4 호, pp. 157~176.
4. 조삼덕, 신은철 (1999), "Application of geosynthetics and earth reinforcement technique in Korea", *Special Volume for Proc. of the 11th Asian Regional Conference on SMGE*, pp. 43-49, Seoul, Korea
5. E& S Engineering (1998), Technical Report of KORESWall System, E&S Eng. Co. Ltd., Seoul, Korea
6. Jewell, R. A. (1985), "Limit Equilibrium Analysis Reinforced Soil Walls", *Pro. of 11th ICSMFE, San Francisco*, Vol. 3, p. 1705.
7. Kim, H.T., Kang, I.K., Lee, E.S. and Bang, Y.K.(1996), Internal Stability analysis and Deformation Prediction for Fabric Reinforced Earth Structure , Earth Reinforcement, *Proc. Of the International Symposium on Earth Reinforcement*, Fukuoka, Kyushu, Japan, November, pp. 389-394
8. Nakajima, T., Toriumi, N., Shintani, H., Miyatake, H. and Dobashi, K.(1996), Field Performance of a Geotextile Reinforced Soil Wall with Concrete Facing Blocks , Earth Reinforcement, *Proc. Of the International Symposium on Earth Reinforcement*, Kyushu, Japan, November, pp.427~432.
9. Shin, E.C. and Choi, C.Y. (1998), "Improved Effects of Reinforced Wall with Types of Connection Methods", *J. of Korean Geotechnical Society*, Vol.14, No.5 pp. 67-76.

10. Tajiri, N., Sasaki, H., Nishimura, J., Ochiai, Y. and Dobashi, K. (1996), "Full-scale failure experiments of geotextile-reinforced soil walls with different facings", Earth Reinforcement, Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka, Kyushu, Japan, 12~14 November, 1996, pp. 525~530.
11. Wright, S. G. and Duncan, J. M., "Limit Equilibrium Stability Analysis for Reinforced Slopes", Transportation Research Record 1330.