

조립식 강재틀 옹벽의 현장적용성 분석

In-Situ Behaviors of Steel Frame-type Retaining Walls

박종배¹⁾, Jong-Bae Park, 임해식²⁾, Hae-Sik Lim, 박용부¹⁾, Yong-Boo Park, 나승민³⁾, Seung-Min La
정형식⁴⁾, Hyung-Sik Chung

- ¹⁾ 대한주택공사 주택도시연구원 선임연구원, Senior Researcher, Housing & Urban Research Institute, KNHC
²⁾ 대한주택공사 주택도시연구원 과장, Deputy Manager, Housing & Urban Research Institute, KNHC
³⁾ 포항산업과학연구원 선임연구원, Senior Researcher, Research Institute of Industrial Science & Technology
⁴⁾ 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

SYNOPSIS : Steel frame-type retaining walls(SFRW) are constructed by on site bolting of prefabricated steel frames and internal filling of materials such as rocks with the size of 150~300mm. Easy & fast construction, superior drainage performance and structural performance to rigorous site conditions are some of the merits of applying the SFRW to various construction sites. After the development of the structural details, a test construction of SFRW, with the height of 6m and 30m in length, was carried out at an apartment site. After completion, several months of monitoring was carried out on the structure to check displacement, tilting, settlement, soil pressures and drainage characteristics. The results of the structural behavior of SFRW along with its construction methods are presented in the paper.

Keyword : Retaining Wall, Steel Frame, Test Construction, Monitoring

1. 서 론

급속한 사회발전으로 고지가의 시대에 있는 현실에서 사람들의 생활영역은 점점 더 밀도 있고 복잡하게 되었다. 이로 인해 국토의 보다 효과적인 활용을 위하여 설치하는 옹벽은 가장 일반적인 건설 구조물로서 토지의 최적이용을 추구하며 계속되는 발전으로 옹벽이 설치되는 현장여건은 보다 복잡하고 난이하게 되었다. 복잡한 현장여건, 협소한 시공공간, 연약지반과 같은 불안정한 원지반 등으로 인하여 구조물의 보다 나은 구조성능을 요구하기에 이르렀으며 대부분의 옹벽은 배수구를 따로 설치하여 구조물에 작용하는 수압이 없도록 설계하고 있으나 이러한 배수구는 구조물 완성후 몇 년후에는 막힘현상이 발생하여 구조물 붕괴의 원인이 되기도 한다.

조립식 강재틀 옹벽이란 공장 제작된 강재틀을 현장에서 볼트체결에 의해 조립하고 강재틀 내부에 150~300mm의 호박돌로 채움우는 중력식 옹벽이며 투수계수가 매우 큰 내부채움재에 의해 전단면 배수가 되기 때문에 2002년 태풍 루사에 의해서와 같은 급격한 배면지하수위의 상승에도 안전성을 확보할 수 있다. 강재틀 옹벽은 집중강우에 의한 산사태 및 토사유실 방지효과가 큰 것으로 검증된 철강재 사

방댐 구조와 유사하며 옹벽으로 적용하기 위해서 신규 단면 및 구조사양 개발에 의한 경제성 향상, 스크린 사양/방향 변경 및 식생기법이 가능한 구조형식에 의한 미관향상, 전면 경사를 통한 구조적 안정성 향상 및 심리적인 안정감 확보 등의 추가적인 구조변경을 수행하였다.

개발된 강재틀 옹벽은 실제 구조물의 구조성능, 거동특성, 배수특성, 미관 등을 분석하기 위하여 의정부 송산의 아파트 공사현장에 높이 6m, 길이 30m로 시험시공하였다. 안전성을 평가하기 위해서는 설계 단계에서 전산해석을 수행하였고 장마기를 걸친 약 2개월간의 계측을 수행하여 구조물의 성능을 분석하고 평가하였다.

2. 강재틀 옹벽의 구조 특성

강재틀 옹벽은 두께 3.2~4.0mm의 강판을 구조성능과 경제성을 최대화할 수 있는 단면으로 성형하고 단면 550g/m²의 아연도금을 한 후 현장에서 볼트 체결하여 조립하는 형태이다. 강재틀의 각 부재별 세부사양은 수치해석, 실험, 경제성 분석 등을 통하여 신규 개발된 단면을 사용하였으며 2차레에 걸친 가조립, 시공성 평가 및 실물시험을 거친 후 시험시공 현장에 적용되었다.

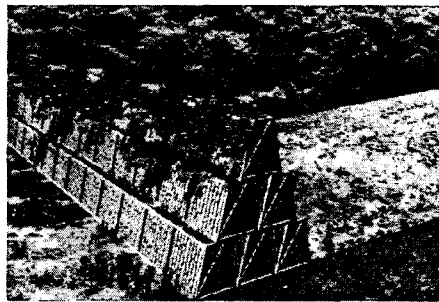


그림1. 강재틀 옹벽의 개념도

기존 공법중의 하나인 돌망태(gabion)의 경우 철선을 이용하여 틀을 조성한 후 내부에 인력에 의해 내부채움을 수행하여 외부하중에 대하여 내부채움재의 전단강도에 의해 저항하는 구조인 반면에 강재틀 옹벽의 경우에는 강재틀의 인장강도와 내부채움재의 전단강도에 의해 외부하중에 저항하는 구조이다. 실제 강재틀 구조에 대한 실물시험을 수행한 결과 내부채움재의 전단강도는 강재틀 인장강도의 30%내외 수준으로 나타났으며 강재틀의 인장강도에 의해 저항한 후 브레이싱재와 같은 직접적인 하중을 받는 부재의 탄성영역을 벗어나면서 내부채움재의 전단저항이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 강재틀 구조는 경화형 탄소성 거동을 나타내며 내부채움재가 있을 경우에 1차 탄성영역이 증가하는 것을 알 수 있었다.

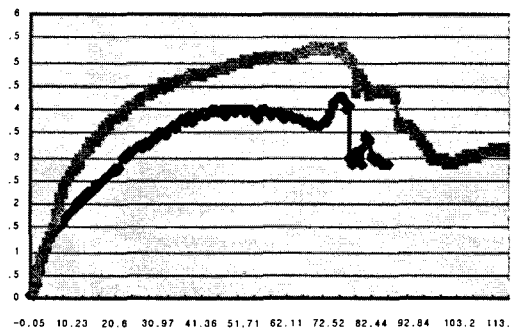
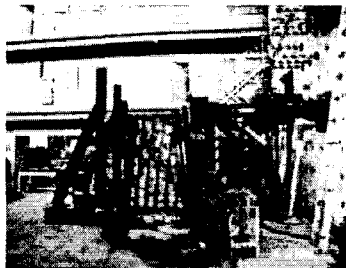
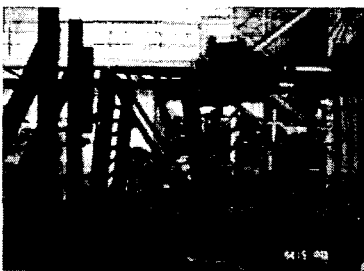


그림 2. 강재틀 구조 실물시험 전경

—●— 강재틀 —■— 강재틀+내부채움

150~300mm 크기의 호박돌을 내부채움재로 활용하는 강재틀 옹벽은 내부채움재의 전단강도에 의한 강도 증가외에 대부분의 옹벽의 파괴 원인이 되는 배수에 대해서도 원활히 대응할 수 있다. 일반적으로 옹벽 구조물에 대해서는 수압에 대하여 고려하지 않고 설계를 수행하며 차후 발생할 수 있는 배면수압에 대해서는 배수구를 통하여 구조물에는 수압이 발생하지 않도록 시공하고 있다. 그러나 이러한 배수구는 유지관리가 원활히 수행되지 않을 경우에는 시공 완료 후 몇 년 뒤에는 막힘현상이 발생하고 이로 인해 구조물에 수압이 작용하게 되어 구조물에 외부하중이 증가하여 파괴까지 이르게 된다. 강재틀 옹벽에서는 별도의 배수구가 없이 직경 150~300mm의 내부채움재 사이로 전단면 배수가 된다. 이러한 구조는 사력댐에서 구조물 내측하단부에 파이핑을 방지하기 위해서 사석 필터링층을 설치하는 것과 동일한 개념이며 이는 구조물의 안정성 외에 옹벽 배면에 존재하는 사면의 안정성 확보에도 기여한다.

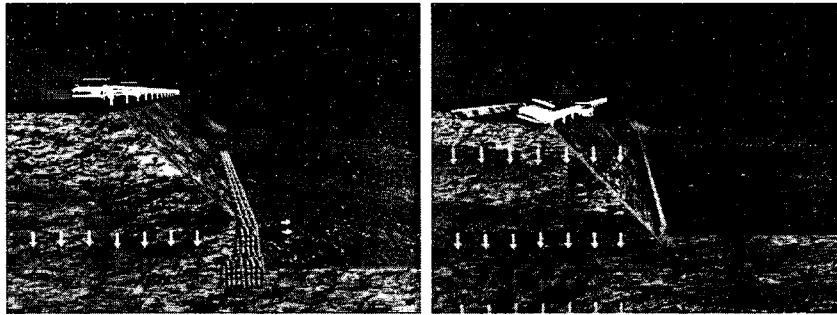


그림 3. 강재틀 옹벽과 RC 옹벽간의 배수성 비교(개념도)

3. 시험시공

강재틀 옹벽의 실질적인 시공성과 구조성능을 분석하기 위하여 2002년 6월에 의정부의 아파트 공사현장에 높이 6m, 길이 30m의 옹벽을 시험시공 하였다. 시험시공이 수행된 현장은 주변 구조물의 시공이 완료되어 있어 작업공간이 협소하였으며 기존 RC 옹벽 배면에 강재틀 옹벽을 추가 시공하여야 하기 때문에 기존 옹벽의 안정성 확보가 주 관건이었다. 그림 4는 본 현장에서의 강재틀 옹벽의 단계별 시공과정이다.

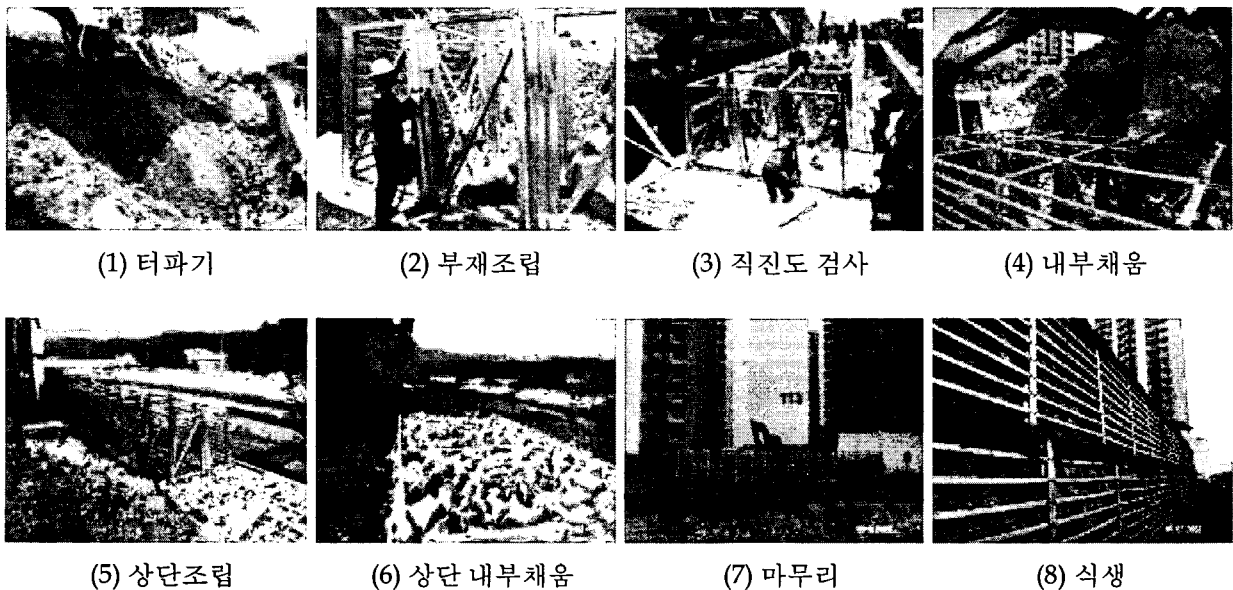


그림 4. 강재틀 옹벽 시공순서

기존 RC 옹벽에 대한 안정성을 확보하기 위하여 강재틀 옹벽의 하단부를 RC 옹벽의 저판 상부에서 부터 설치하였으며 추가 침하 및 RC 옹벽에 대한 하중저하를 위하여 30~60cm의 사석층을 형성하였다. 강재틀 옹벽은 이에 대한 수치해석과 설계검토를 걸쳐서 안정성 확보가 가능하도록 설계되었다. 공사는 기초 터파기, 부재조립, 내부채움, 소요높이까지의 반복작업, 마누리의 순으로 진행되었으며 시험시공은 총 15일 동안 진행되어서 기존 타 옹벽형식 대비 공기가 1/3~1/2 정도 수준인 것으로 나타났다. 총공기에는 미관을 중시하는 아파트 옹벽의 특성상 각종 식생공정도 포함되었다.

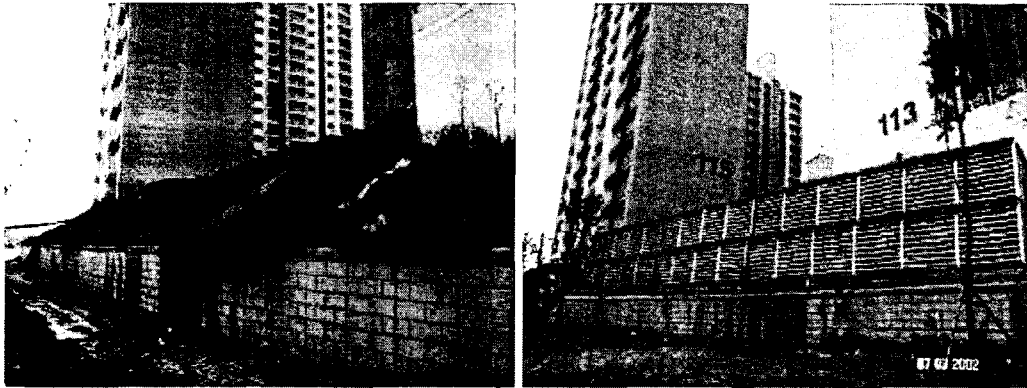


그림 5. 강재틀 옹벽의 시공전후 전경

4. 수치해석

강재틀 옹벽 및 RC 옹벽을 안정성을 해석하기 위해서 범용 지반해석프로그램인 PLAXIS를 사용하였다. 해석은 그림 6과 같이 옹벽 배면의 상태에 따라 두 가지 해석단면(단면 162, 155)에 대해서 수행하였으며 162단면은 옹벽배면 거리가 충분히 확보되어 있으며 155단면은 옹벽배면에 주차장 건물이 가까이 위치하고 있다.

요소망은 2차원 평면변형을 삼각형 요소를 사용하였으며 주요 경계부위만 지정하고 요소는 자동 발생 시킨 것이다. 지반은 RC 옹벽 하단부 기초바닥과 뒷채움 성토체, 강재틀 내부에 채우는 사석재 및 강재틀 옹벽 하단부에서 기초 바닥선까지 보강하는 사석기초로 나누었다. RC 옹벽과 강재틀 옹벽은 탄성 범 요소로 모델링하였다.

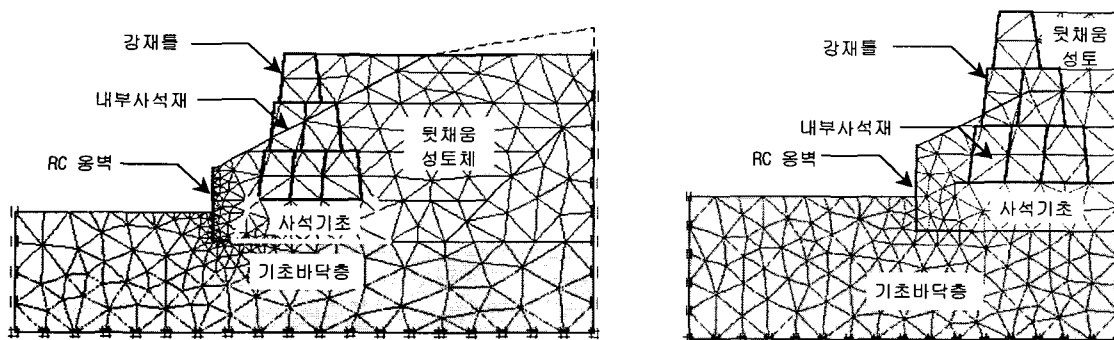


그림 6. 단면162(좌) 및 단면 155(우) 수치해석 모델

기존 옹벽 배면부에 강재틀 옹벽이 추가 시공되었을 때의 안정해석결과는 다음 표1과 같다. 해석은 기존 RC 옹벽과 강재틀 옹벽을 3단 6m 높이로 시공하고 강재틀 하단부터 RC 옹벽 바닥선까지 사석으로 기초처리를 한 두 가지 경우에 대해 전산해석을 수행하였다. 155 단면은 RC옹벽 배면 약 7.1m에 65

대 주차장 구조물이 있어 토압 경감효과가 있을 것으로 판단되었다.

표1에서 옹벽의 안정성을 분석하기 위해서 RC옹벽에 작용하는 모멘트와 토압 및 변위를 요약하여 나타내었으며 옹벽을 포함한 사면의 안전율도 나타내었다. 비교분석을 위해 표에서는 RC 옹벽 배면에 강재를 옹벽을 시공하기 전 상태에서의 당초설계(수계산) 결과도 나타내었다.

표1. 강재를 옹벽 및 RC옹벽 안정성 전산해석결과

단면 번호	모멘트(t·m/m)			주동토압(t/m ²)			사면안전율	변위(mm)	
	강재를 시공전		강재를 시공후	강재를 시공전		강재를 시공후		옹벽상부	
	수계산	전산해석		수계산	전산해석		수평	수직	
162	4.94	2.13	3.16	2.43	3.29	2.49	3.41	3.08	-1.07
155	4.94	1.31	3.06	2.43	2.83	1.93	3.46	2.22	-1.37

강재를 옹벽의 추가시공에 대한 안정성 분석에서 중요 검토사항은 기존 옹벽에 증가된 모멘트이다. 기존 옹벽은 수계산에 의하여 4.94t·m/m의 모멘트에 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 전산해석결과 강재를 옹벽 시공전 상태의 RC 옹벽에서 162지점은 2.13t·m/m의 모멘트가, 155지점은 1.31t/m²의 모멘트가 옹벽 하단부에 작용하는 것으로 나타났으며 이는 수계산에 의한 설계모멘트인 4.94t·m/m 보다 2~3배 작은 값이다. 또한 기존 옹벽 배면에 강재를 옹벽이 시공되었을때에도 162지점과 155지점에서 각각 3.16, 3.06t/m²의 최대 모멘트가 작용하여 모멘트 증가가 있었으나 설계 모멘트 보다 작게 나타나 강재를 옹벽을 시공하더라도 기존 옹벽의 안전성에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

5. 모니터링 결과

강재를 옹벽에 토압이 작용하였을 때의 안정성 및 기존 RC 옹벽에 미치는 영향을 분석/평가하기 위하여 토압계, 지중경사계, 지하수위계, 틸트메타를 사용하여 계측하였다. 되메우기한 토사에 의하여 강재를 옹벽에 작용하는 토압과 강재를 옹벽의 하중 및 되메우기 토사에 의해 작용하는 하중을 측정하기 위하여 토압계를 강재를 및 RC 옹벽 배면에 설치하였으며 강재를 옹벽 배면에는 지중경사계와 지하수위계를 설치하였고 RC 옹벽에는 강재를 옹벽 공사중에 받는 영향을 분석하기 위하여 틸트메타를 설치하였다(그림 7 참조).

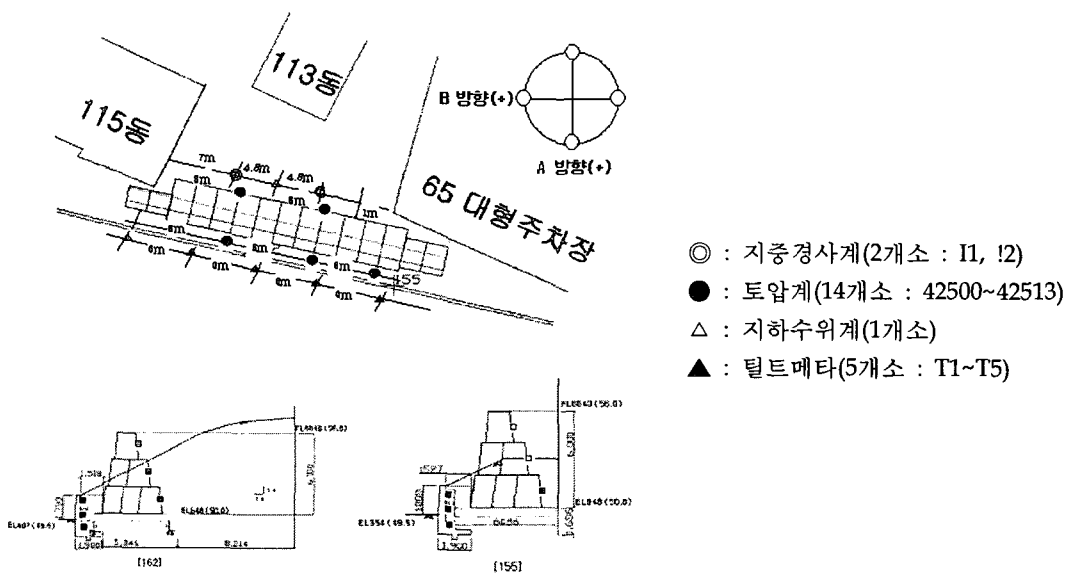


그림 7. 계측기 설치도

5.1 토압계 계측결과

토압계는 강재틀 옹벽 배면에 6개, 기존 RC 옹벽 배면에 8개를 설치하였다. 그림 8에서 토압의 날짜별 진행 상황을 보면 토압은 1단 강재틀 옹벽이 설치되는 5월 25일부터 3단 강재틀 옹벽의 내부채움이 완료되는 시점인 6월 4일까지 꾸준히 증가하고 그 후에 서서히 수렴하는 경향을 나타내고 있다. RC 옹벽은 높이가 3m이고 배면에 6m 높이의 강재틀 옹벽이 시공되어 있다. RC 옹벽에 작용하는 최대 토압은 162 단면에서는 2.49t/m^2 이, 강재틀 옹벽 배면에 주차장 구조물이 있는 155 단면에서는 주차장이 지지역할을 하여 토압이 줄기 때문에 최대 1.93t/m^2 의 토압이 작용하는 것으로 해석되었다. 실제 계측에서는 3m 높이의 RC 옹벽을 1m 간격으로 상/중/하로 나누어 측정된 결과 하부가 대체로 제일 큰 토압을 나타내었고 최대 토압분포는 162 단면(RC 옹벽 8m 및 16m 지점)의 경우 $1.39 \sim 3.06\text{t/m}^2$ 을 나타내어 전산해석과 유사한 토압측정결과를 나타내었다. 전산해석에서 155 단면(RC 22m 지점)은 강재틀 옹벽에 의한 상재하중의 영향을 많이 받아 사다리꼴 분포를 나타내었으나 실제 계측에서는 위로부터 0.51, 1.96 및 3.83t/m^2 의 삼각형 토압분포를 나타내었고 최대 토압의 크기가 전산해석결과(1.93t/m^2) 보다 크게 나타났다. 이 지점은 강재틀 옹벽을 시공하기 전부터 기존 RC 옹벽에 균열이 발생해 있는 지점이었다. 이 지점에서의 토압측정값이 전산해석결과와 다르게 나타난 원인으로서는 편토압의 작용으로 보이며 강재 옹벽의 시공이 완료된 6월 4일 이후에는 토압이 수렴하는 경향을 나타내고 배면 지중변위나 벽체 기울기 등의 측정결과에는 이상 징후가 없어 옹벽의 안정성에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

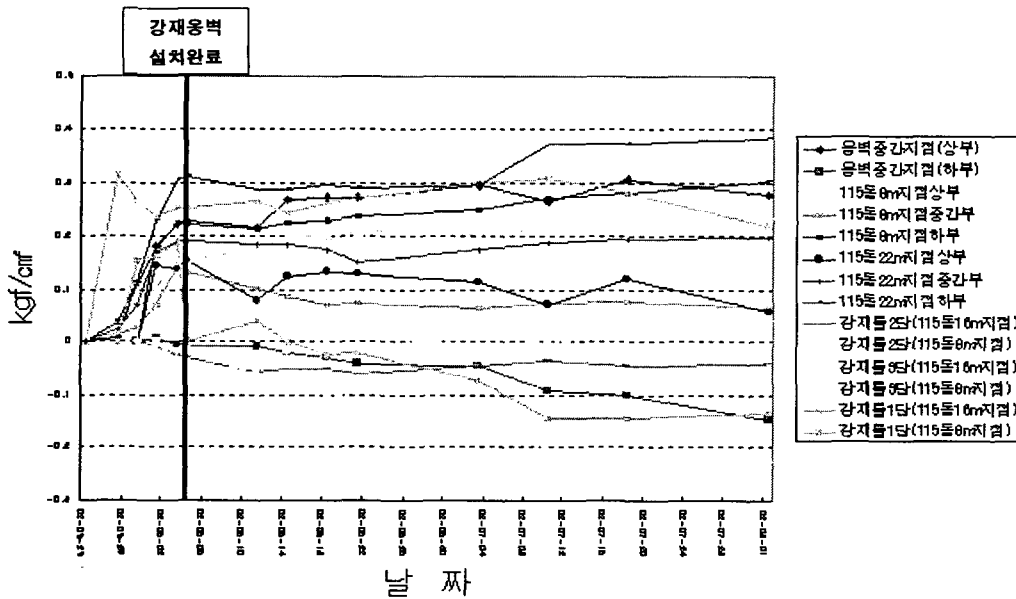


그림 8. 토압(전체) 계측결과

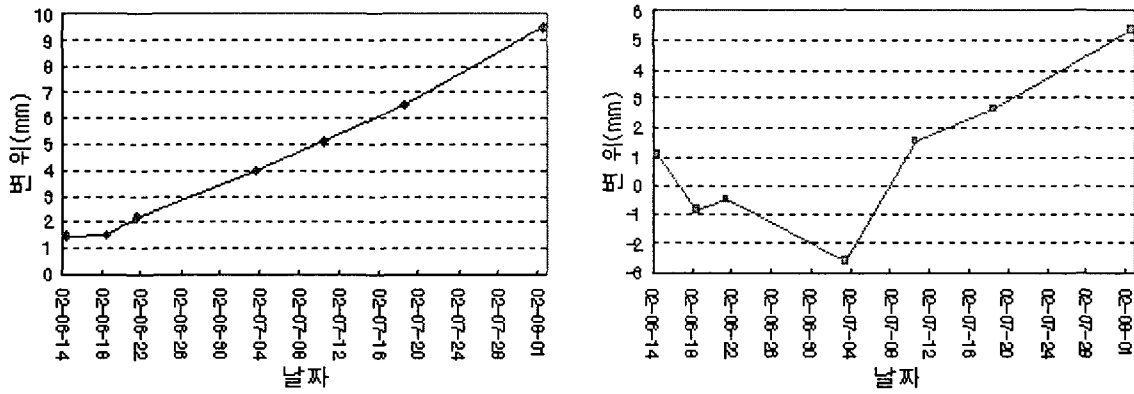
5.2 지중경사계 계측결과

지중경사계는 6월 5일에 설치하였으며 계측기 및 지반이 안정된 6월 11일부터 8월 1일까지 계측을 수행하였으며 지중경사 계측은 옹벽의 종방향(A방향)과 횡방향(B 방향) 두 방향에 대해 실시하였다(그림 7 참조). 계측결과를 살펴보면, A 방향으로 I1 및 I2 계측기에서 옹벽 전면쪽으로 9.39mm 및 6.81mm의 변위가 발생한 것으로 나타났고 B 방향으로는 I1은 115동 방향으로 5.35mm, I2는 이와 반대로 65대형 주차장 방향으로 7.98mm 변위가 발생하였다.

지중경사계에 의한 계측은 2002년 6월 4일에 지중경사계를 설치하고 경사계가 안정화된 뒤인 6월 14일에 초기치를 측정하였다. 변위양상을 보면 설치후에 별다른 변위거동을 보이지 않다가 6월 22일을 전

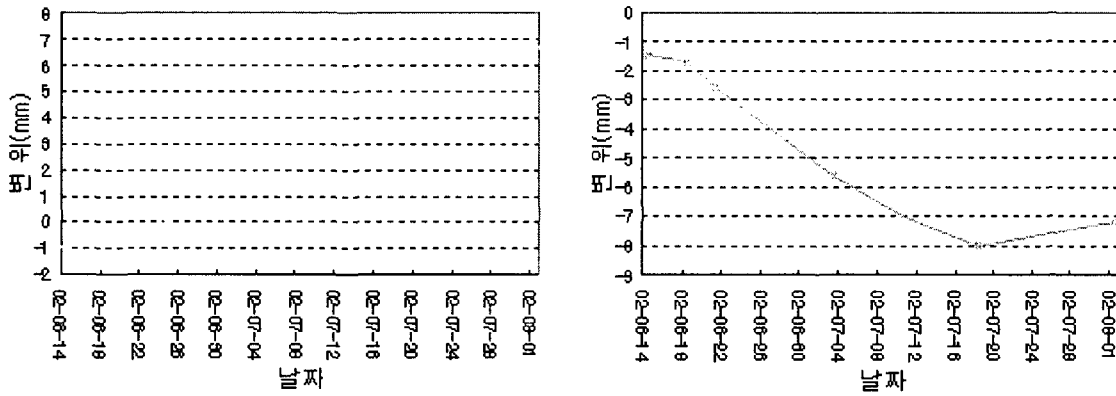
후해서 변위가 크게 발생하기 시작하는 것으로 나타나고 있으며 지중경사계 I2의 B방향을 제외하고는 계측을 종료한 8월 1일까지 지중변위가 계속 증가하고 있는 것으로 나타나고 있다. 이는 강재틀 옹벽 공사로 인한 변위는 안정되었으나 강재틀 옹벽 상부에 놀이터를 시공하기 위하여 추가 토공과 땅고르기 등의 작업등의 후속 작업이 진행되었기 때문으로 판단된다.

그리고 발생한 변위의 최대값이 10mm 미만의 작은 변위량이고 계측된 토압이 7월 12일 이후에 안정되고 있는 추세이기 때문에 강재틀 옹벽 및 RC 옹벽의 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되고 변위도 곧 진정될 것으로 판단된다. 또한 전산해석에서 전체 옹벽에 대한 안전율을 검토한 결과 강재틀 옹벽의 뛰어난 강성에 의하여 안전율이 3.4 이상의 매우 높은 안전율을 나타내었기 때문에 계측결과와 전산해석결과를 종합해 볼 때 옹벽은 안전한 것으로 판단된다.



(a) A 방향 (b) B 방향

그림 9. 최대 지중변위점 변위진행 상황(I1 - 115동에서 7m 지점)



(a) A 방향 (b) B 방향

그림 10. 최대 지중변위점 변위진행 상황(I2 - 115동에서 16m 지점)

5.3 틸트메타 계측결과

RC 옹벽의 변위를 측정하기 위하여 설치된 틸트메타도 옹벽 종방향(A 방향)과 횡방향(B 방향)의 2방향에 대해 5월 3일 초기치를 측정하였고 8월 1일에 계측을 종료하였다. 틸트메타는 RC 옹벽 배면 터파기 전(5월 19일 ~ 5월 21일) 전의 원래 옹벽 상태에서부터 계측을 시작하여 공사의 전단계에서 RC 옹벽의 변위를 계측하였다. 틸트메타에 의한 RC 옹벽의 변위계측결과 최대 변위는 대부분 3단 강재틀까지 시공이 완료된 이후에 발생하였다. 최대 변위의 방향은 A 방향의 경우 T1만 옹벽 전면 방향으로 발생하

였고 나머지는 옹벽 배면 방향으로 최대 2.1mm까지 발생하였다. 옹벽배면 방향으로 변위가 발생한 것은 전산해석결과와 일치하며 전산해석에서는 최대 3.08mm까지 변위가 발생하는 것으로 해석되었으나 실제 변위는 이보다 작게 측정되었다. 특히 전산해석에서는 155단면의 RC 옹벽이 옹벽배면 방향으로 0.57mm의 변위가 발생하는 것으로 나타났는데 실제 계측에서도 배면쪽으로 0.53mm의 변위가 측정되어 계측과 전산해석결과가 잘 일치하였다.

RC 옹벽이 배면쪽으로 변위가 발생한 것은 강재틀 옹벽 및 사석기초가 RC 옹벽의 기초 인접 부위에 위치하고 있어 강재틀 옹벽의 자중이 RC 옹벽 기초지반을 배면쪽으로 회전하게 하는 역할을 하기 때문이다. 그림 11 및 12의 날짜별 변위진행경향을 보면 RC 옹벽의 변위가 6월 20일을 전후해서 거의 수렴하는 것으로 나타났다.

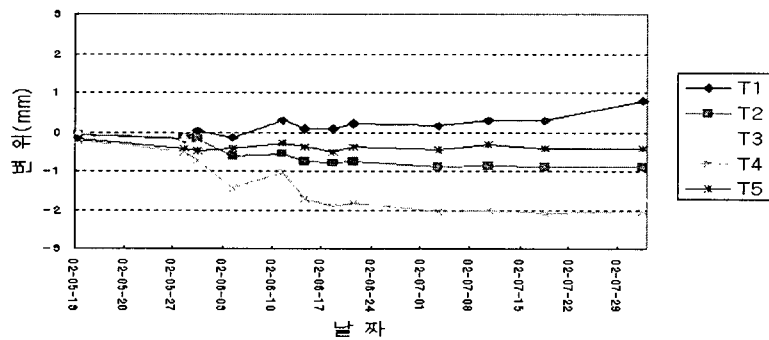


그림 11. RC 옹벽 변위 진행상황(A 방향)

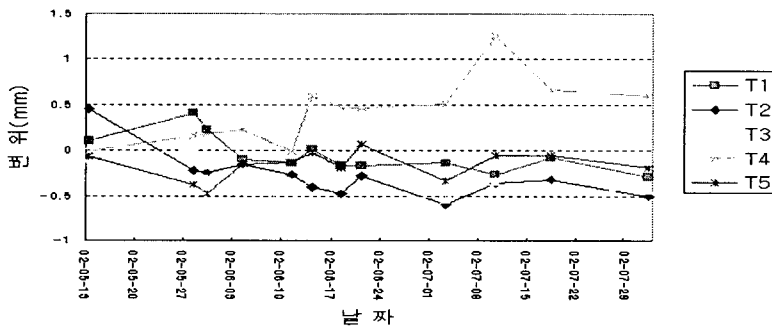


그림 12. RC 옹벽 변위 진행상황(B 방향)

5.4 지하수위계 계측결과

지하수위 계측은 RC 및 강재틀 옹벽의 안정성 계산에 필요하고 또한 강재틀 옹벽의 배수성을 판단하기 위하여 필요하다. 그림 13은 02년 5월 28일부터 02년 8월 1일까지 측정된 지하수위 계측값이고 그림 14는 같은 기간에 서울 지역에 내린 강우량을 표시한 것이다. 지하수위는 강재틀 옹벽 상부마감면(EL. 56.0m)에서 아래로 측정하였으며 지하수위는 계측기간 동안 -10.19 ~ 9.25m의 분포를 보였다. 계측시작 후 7월 3일까지는 지하수위가 줄어드는 경향을 보이다가 7월 3일을 기점으로 지하수위가 상승하여 계측 종료일까지 0.94m 상승하였다. 이는 7월 2일부터 장마가 시작되어 8월 1일까지 244.3mm의 강우량을 나타내었다. 한달간 244.3mm의 많은 양의 강수를 보였음에도 급격한 지하수위의 증가는 나타나지 않아 강재틀 옹벽의 배수성은 양호한 것으로 판단된다.

