

블록식 보강토 옹벽의 하자발생 사례 분석

Lessons Learned from Failure of Geogrid-Reinforced Segmental Retaining Wall

신은철¹⁾, Eun Chul Shin, 오영인²⁾, Young In Oh, 김종인²⁾, Jong In Kim

¹⁾ 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, University of Incheon

²⁾ 인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 박사과정, Ph. D. Student, Dept. of Civil & Environmental System Engineering, University of Incheon

SYNOPSIS : The numbers of geogrid-reinforced walls are widely used in Korea. This papers present the results of two failure case histories of geogrid-reinforced segmental retaining walls. The geological background of the construction sites, detailed construction sequences, and the amount of rainfall were examined. The failure of these reinforced walls are caused by the improper drainage system and foundation treatment, too sharpened curvature of corner work, and too high height of wall.

Keywords: segmental retaining wall, drainage system, foundation treatment, corner work, case history of failure

1. 서론

1960년대 말 프랑스의 기술자 Vidal에 의하여 체계적인 이론이 제시된 보강토 공법은 시공성, 경제성, 구조적 안정성 등을 장점으로 하여 전 세계적으로 널리 보급·시공되고 있다. 또한, 1980년대 후반부터 지오그리드(Geogrid)와 블록을 사용한 블록식 보강토 옹벽(Segmental Retaining Walls) 공법이 보급되기 시작하였으며, 국내에서는 1990년대 이후 시공 시 탁월한 효율성과 자유로운 형상조절을 통한 수려한 외관으로 시공이 증가하고 있는 추세이다. 국내에서 사용되고 있는 블록식 보강토 옹벽의 설계법은 NCMA설계법과 FHWA설계법이 사용되고 있으며, 이러한 설계법은 상당히 안전측으로 설계가 이루어지고 있다. 그러나, 실제 현장에서 시공되고 있는 블록식 보강토 옹벽구조물들은 시공 중 및 시공 후에 다양한 문제점으로 인하여 상당한 양의 변위가 발생하거나, 국부적인 파괴가 발생되고 있다. 특히, 응력이 집중되는 곡선부는 대부분의 보강토 옹벽에서 균열발생 및 국부적 변위가 발생하는 위치가 된다. 즉, 설계방법의 문제점 및 적용가능성의 문제보다는 현장에서의 시공조건 및 시공방법의 적용상에서 문제가 발생하는 것으로 판단된다.

본 논문에서는 곡선부 시공이 포함된 두 현장의 하자발생 사례를 분석하였다. 첫 번째 하자발생은 곡선부의 지지력 부족 및 부등침하로 인하여 대용량의 변위가 발생하였다. 두 번째 하자 발생사례는 배면 상단부의 용지활용도를 높이기 위하여 블록식 보강토 옹벽을 시공한 현장으로 현재 곡선부에서 큰 변위가 발생하여 상단부의 시공이 중지된 현장이다. 첫 번째 시공현장은 현재 대책공법이 적용되었으며, 두 번째 현장은 현장조건 및 경제성을 고려한 대책공법이 검토 중에 있다.

2. ○○아파트 재개발 현장 시공사례

2.1 현장개요

첫 번째 하자발생 사례현장은 서울 “○○아파트 재개발 공사현장”으로 산과 인접한 재개발 지역이므로 부지이용의 효율성과 시공시 수려한 외관을 고려하여 지오그리드를 활용한 블록식 보강토옹벽의 시공이 채택된 현장이다. 본 사례현장은 ○○산과 ○○산의 서측 산악지형을 재개발하는 산악지형에 계단

식으로 절·성토 및 옹벽을 설치하여 부지를 확보하였다. 특히, 본 사례분석 대상인 보강토 옹벽이 설치되는 지형은 계곡부 원지반을 절토하여 Soil Nailing으로 절토 배면을 보강한 후, 확보된 부지를 재성토하여 2단의 보강토 옹벽을 설치하도록 되어 있다. 보강토 옹벽의 지반구성의 횡단도는 그림 1에 나타난 바와 같으며, 그림 2는 Soil Nailing 시공 및 배수공 시공장면을 나타낸 것이다.

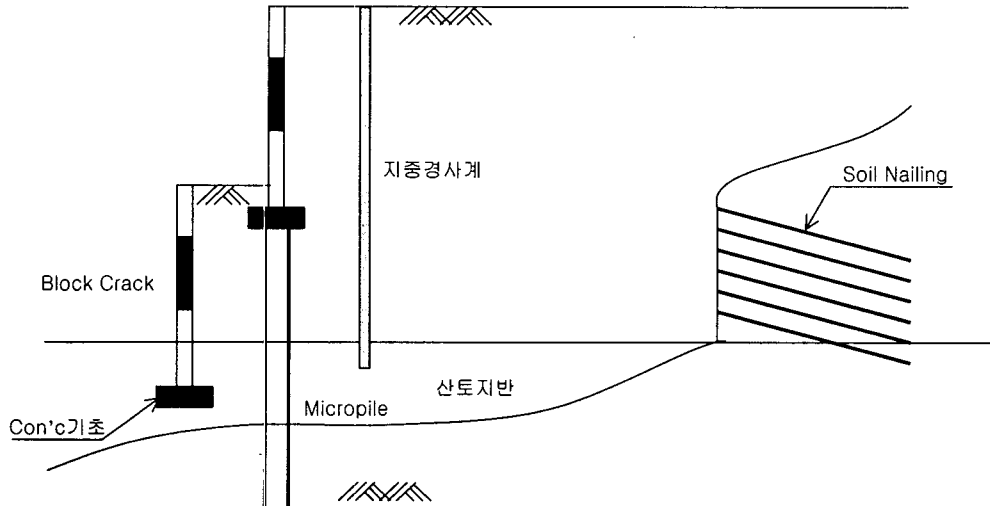
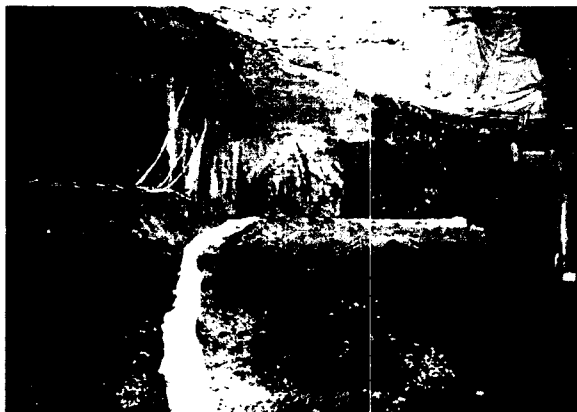


그림 1. 보강토 옹벽 부지의 횡단면도



(a) Soil Nailing의 시공장면



(b) 배수공의 시공

그림 2. Soil Nailing의 시공 및 배수공의 시공장면

2.2 보강토 옹벽의 설계사항

2.2.1 설계개요

성토지반 위에 설치되는 옹벽은 총 높이 22.1m의 2단 옹벽으로, 1단 옹벽의 높이는 12.7m이며, 2단 옹벽은 9.9m로 설계되었다. 1단 옹벽과 2단 옹벽 사이의 소단폭은 1.5m이며, 배면경사는 1, 2단 옹벽 모두 3.0° 을 유지하도록 되어 있다. 그림 3은 보강토 옹벽의 설계 평면도를 나타낸 것으로, 1단 옹벽과 2단 옹벽의 전면 부분만 소단을 두었으며, 측벽 부분과 만나는 부분은 곡선처리 되어 합쳐지도록 설계되었다. 그림 4는 보강토 옹벽의 측면도를 나타낸 것이다.

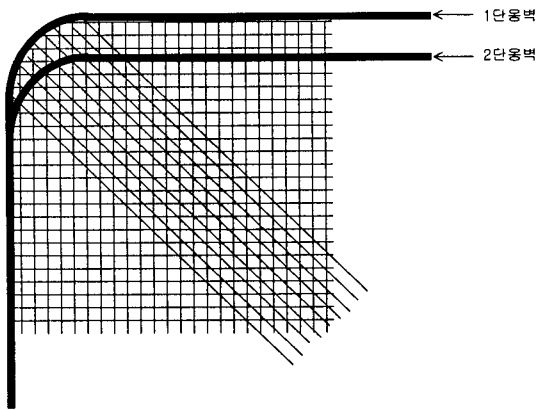


그림 3. 보강토 옹벽의 평면도

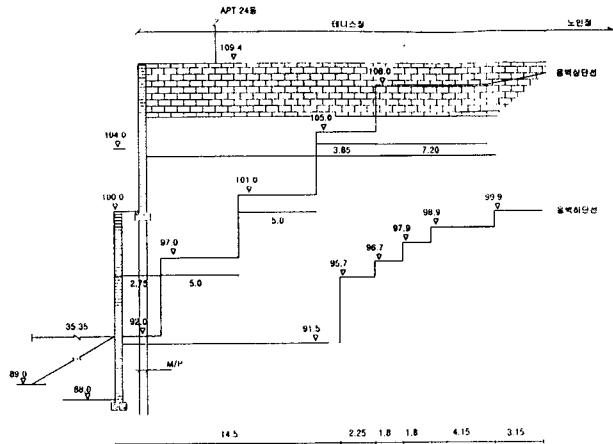


그림 4. 보강토 옹벽의 측면도

2.2.2 기초처리 방법

보강토 옹벽의 기초처리는 원지반의 지형이나 용도, 구조 시공방법에 관계없이 항상 수평이 되도록 시공하여야 한다. 일반적으로 토목섬유 보강토 옹벽의 기초는 전면벽이 조립식 콘크리트 판넬인 경우에는 콘크리트 기초로, 조립식 콘크리트 블록이나 포장형인 경우에는 쇄석층 위에 양질의 모래층을 포설하는 형식으로 되어 있으나 비교적 높이가 높은 조립식 콘크리트 블록식 보강토 옹벽에서는 콘크리트 기초를 추천한다.

(1) 1단 옹벽의 기초처리

보강토 옹벽의 1단 기초처리는 최대직경 75mm 이하의 쇄석기초를 사용하여, 폭 1.15m의 잠석기초를 설치하는 것으로 설계되었으나, 기초지반의 보강으로 위하여, 정면 직선부분은 폭 1.5m의 콘크리트 기초를 설치하였다. 옹벽의 곡선부분은 시공의 편의상 정면 직선 부분과 다르게 별도의 기초처리를 하지 않았다.

(2) 2단 옹벽의 기초처리

2단 옹벽은 1단 옹벽의 뒤채움 지반을 기초지반으로 하여 시공된다. 따라서, 1단 옹벽의 뒤채움 다짐이 시방기준에 적합하게 시공된다 하더라도, 장기적인 침하가 발생하여, 옹벽의 안정성에 영향을 미칠 수 있으므로, 별도의 기초처리를 실시하였다. 장기적 안정성 확보를 위한 2단 옹벽의 기초처리는 Epoxy Coating 처리된 마이크로 파일 HD29를 설치하고, 마이크로 파일 상단에 철근콘크리트 기초를 설치하였다. 그림 5와 그림 6은 2단 옹벽의 기초처리장면을 나타낸 것이다.

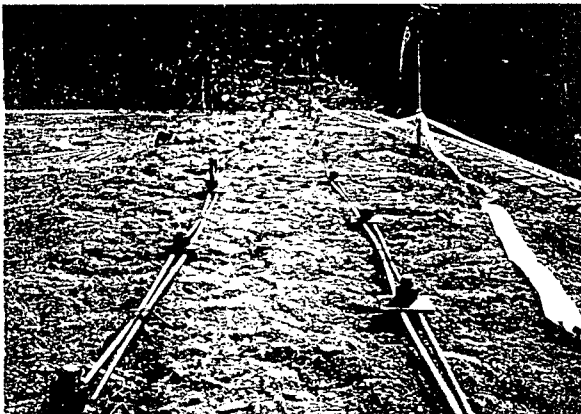


그림 5. 마이크로 파일시공

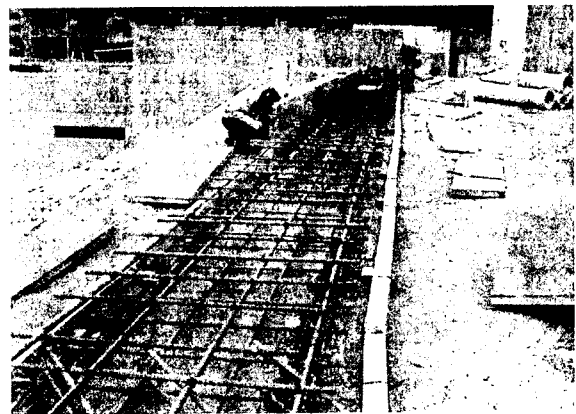


그림 6. 철근 콘크리트 기초

2.3 보강토 옹벽의 현황

2.3.1 공사진행 현황

보강토 옹벽의 공사진행 현황은 12.7m의 1단 옹벽의 시공을 완료한 후, 마이크로 파일을 시공하여 2단 옹벽의 기초처리를 실시하였으며, 현재 9.9m의 2단 옹벽을 5.0m까지 시공한 상태였다. 그림 7은 옹벽의 현재까지의 시공현황을 나타낸 것이다. 그러나, 최종 5.0m까지 시공한 후, 2001년 7월 15일 서울 경기 지역에 30년 빈도의 최고 집중호우(약 273.4mm, 기상청 자료)로 인하여, 1단 옹벽 곡선 측벽부에 대량의 누수현상이 발생하였다. 누수발생 이후, 1단 옹벽의 곡선부 시점과 2단 옹벽의 곡선부에 블록균열과 국부적인 변위가 발생되었다. 그림 8은 1단 옹벽의 곡선 측벽부에서 발생된 누수장면을 나타낸 것이다.

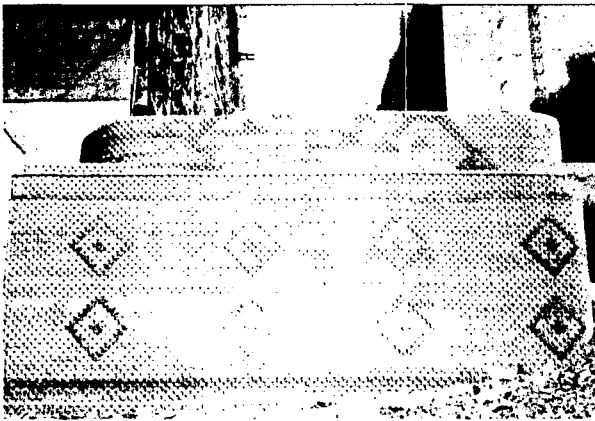


그림 7. 보강토 옹벽의 공사진행 상황

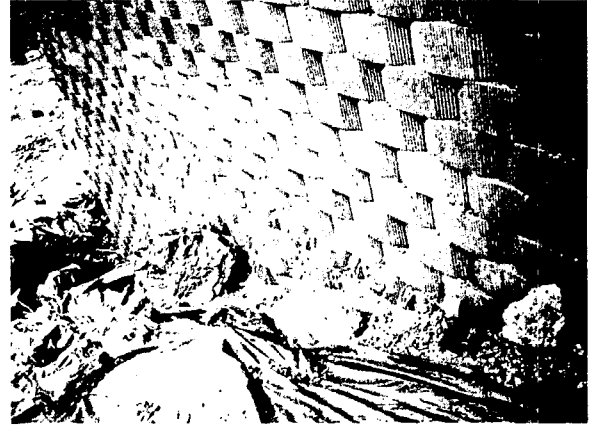


그림 8. 1단 옹벽 측벽부의 누수현상

2.3.2 변위 발생 현황

집중호우로 인한 보강토 옹벽의 변위는 공사진행 현황에서 기술한 바와 같이 1단 옹벽의 곡선부 시점과 2단 옹벽의 곡선부에서 발생되었다. 그림 9는 1단 옹벽의 변위 발생위치와 발생현황을 나타낸 것이며, 2단 옹벽의 경우는 그림 10에서 보는 바와 같이, 블록과 블록 사이에 균열이 발생하였으며, 균열 사이로 뒤채움 토사가 유실되어 공동이 발생되었다.

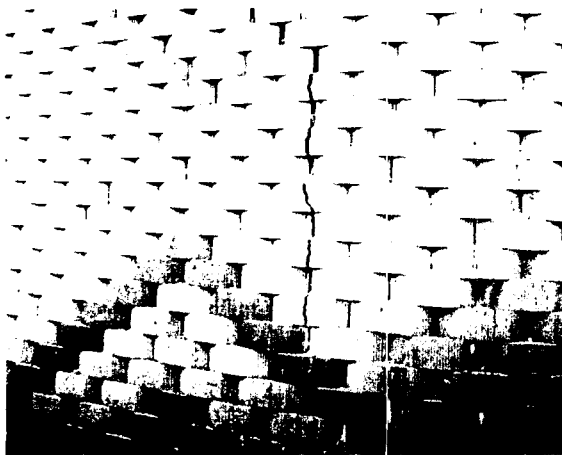


그림 9. 1단 옹벽의 변위발생 현황

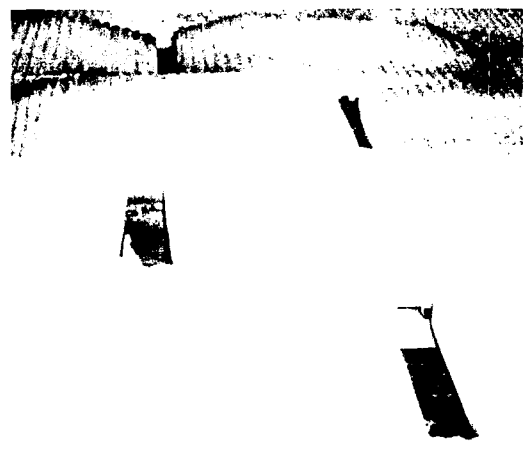


그림 10. 2단 옹벽의 변위

2.3.3 변위발생 원인분석

보강토 옹벽의 설계 및 기초지반 처리 등의 시공조건으로 인한 변위발생 원인에 대하여 분석하면 다음과 같다.

- (1) 보강토 옹벽의 부지는 산의 계곡부에 위치하여, 강우발생에 따른 우수가 모여 계곡 저지대로 흘러 내리는 지역이다. 따라서, 2001년 7월 15일의 집중호우와 같은 강우 발생시, 대용량의 우수가 계곡을 가로막고 있는 옹벽의 부지로 집중되었기 때문에 간극수압의 증가로 인하여 옹벽의 변위가 발생되었다.
- (2) 일반적으로 보강토 옹벽에서 곡선부분은 전면벽체 부분과 측벽부에서 전달되는 응력이 집중되는 구간이다. 그러나, 본 보강토 옹벽의 경우, 곡선부의 기초처리와 측벽부의 기초처리가 충분하게 수행되지 못한 것으로 나타났다. 즉, 1단 옹벽의 측벽부 기초처리가 수행되지 않았으며, 2단 옹벽의 기초처리시 마이크로 파일이 곡선부까지 시공되지 않은 상태에서 2단 옹벽이 축조되었기 때문에 지지력 부족으로 인한 부등침하와 수평변위가 발생되었다.
- (3) 2001년 7월 15일의 집중호우(273.4mm) 발생시, 일차적으로는 표면수가 보강토 옹벽토체 내로 유입되어 보강토 옹벽내에 유로가 형성되었으며, 이차적으로 보강토 옹벽 내에 배수공의 처리가 원활하지 못하여, 측벽부로 누수되는 현상이 발생되었다. 따라서, 측벽부에서의 누수와 누수로 인한 토립자의 유출로 인하여 변위가 발생되었다.

2.4 보강공법 검토 및 시공

상기 기술한 변위 발생의 원인을 정리하면 지형적인 원인, 기초처리문제, 배수처리문제 등으로 정리할 수 있다. 따라서, 향후 지속적인 변위 발생을 방지하고 장기적으로 본 보강토 옹벽의 안정성을 확보하기 위한 보강공법은 기초처리 부분을 보완하며, 배수처리를 원활히 할 수 있는 방안이 되어야 한다.

보강토 옹벽의 곡선부분 변위 발생의 가장 근본적인 원인은 측벽부의 기초처리를 수행하지 않아, 측벽부 기초지반 지지력이 확보되지 않은 상태에서 상부 옹벽이 시공되고, 집중호우로 인한 보강토체 내부로 유입된 우수로 지지력이 약화되어 부등침하가 발생된 것으로 판단된다. 따라서, 기초지반의 보강은 1단 옹벽의 측벽부와 곡선부에 대한 기초보강이 필요하다. 일반적으로 구조물이 시공되어 있는 기초지반을 보강할 경우, 가장 많이 사용하는 보강공법은 그라우팅 공법이 있다. 그라우팅 공법은 적용방법 및 적용지반에 따라 다양한 종류가 있으며, 시공방법에 따라, 화학적 그라우팅, 고압 그라우팅, 시멘트그라우팅 등의 방법을 적용할 수 있다. 본 하자발생 사례현장에서의 보강공법은 그라우팅 공법이 적용되었다. 그림 11은 그라우팅 공법을 통한 기초지반 보강 개념도이며, 그림 12는 기초지반 보강을 위한 그라우팅 시공장면을 나타낸 것이다.

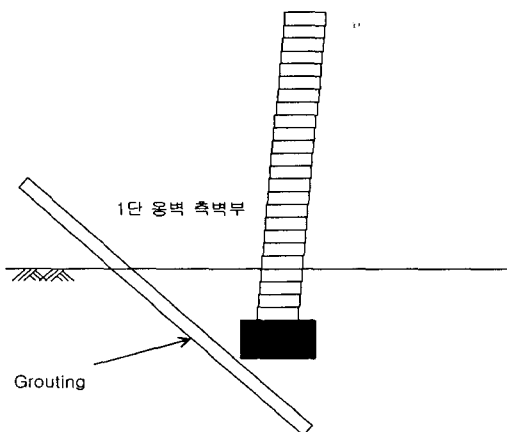


그림 11. 기초지반 보강 개념도



그림 12. 그라우팅 시공장면

3. ○○매립지 보강토 옹벽의 시공사례

3.1 현장개요

두 번째 하자발생 사례현장은 블록식 보강토 옹벽을 폐기물 매립장에 적용한 사례로, 기존의 제방에서 매립용지를 확대하기 위하여 보강토 옹벽을 채택하였다. 첫 번째 시공사례와 마찬가지로 곡선부에서 블록균열 및 국부적인 변위가 발생하였다. 그림 13은 ○○매립지 블록식 보강토 옹벽의 개요도를 나타낸 것이다. 일반적으로 국내의 폐기물 매립장은 곡간매립지 형태로 계곡과 계곡사이를 매립하는 방법으로 폐기물을 매립한다. 본 사례현장도 곡간매립지로 유로가 형성되는 계곡부에 위치하고 있으며, 그림 13에서 보는 바와 같이 기존의 폐기물 매립을 위한 제방을 경계로 하여, 매립부지 확장을 위하여 블록식 보강토 옹벽을 시공하였다.

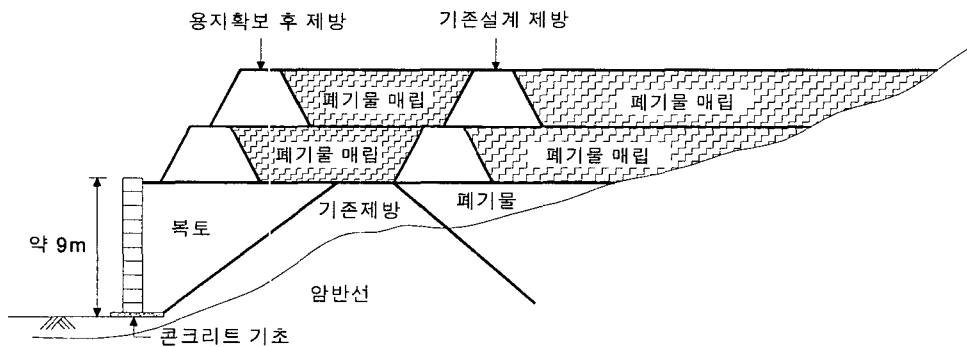


그림 13. ○○매립지 보강토 옹벽 개요도

3.2 설계 및 시공개요

본 하자발생 사례현장의 블록식 보강토 옹벽은 총 높이가 9.1m의 1단 옹벽으로 설계되었으며 배면경사는 약 15°을 유지하도록 되어있다. 블록식 보강토 옹벽에 사용된 재료는 핀(Pin)타입의 블록과 PP지오그리드가 사용되었으며, 하부기초처리는 배수를 위한 유공관을 매설한 후, 콘크리트기초를 설치하도록 설계되었다. 그림 14는 ○○매립지 보강토 옹벽의 평면 배치도를 나타낸 것으로 침출수 처리동 진입도로를 경계로 곡선부가 포함되어 있다. 또한, 본 폐기물 매립지의 보강토 옹벽은 향후 폐기물 매립을 통한 상재하중의 증가에 따른 사면안정해석을 수행하여 설계하였다. 그림 15는 공사진행 현황 및 측벽부 사면을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 배면의 시공은 기존의 사면을 따라 약 1:1.5경사로 시공되었다.

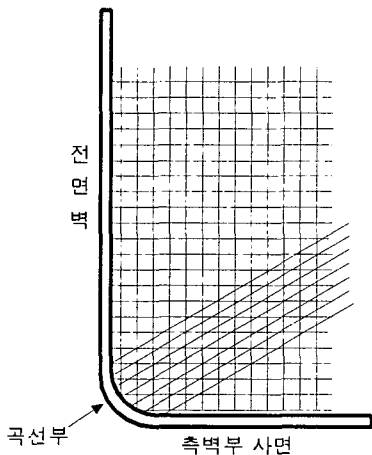


그림 14. 보강토 옹벽 평면도

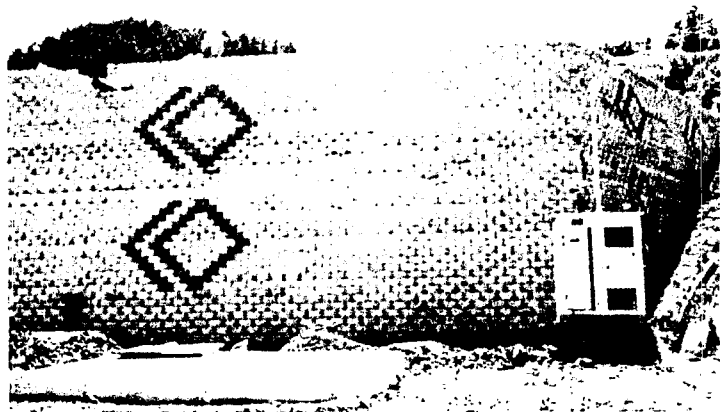


그림 15. 공사진행 현황 및 측벽부 사면

3.3 변위 발생 현황 및 원인

폐기물 매립장의 매립용지 확보를 위하여 설치한 블록식 보강토 옹벽의 변위는 전면벽과 측벽부 사면의 경계면인 곡선부분에서 발생하였으며, 그림 16은 변위 발생위치를 나타낸 것이다. 곡선부에서 발생한 균열 및 변위는 미세한 균열 및 블록파손을 포함하여 부등침하로 인한 블록 경계면의 벌어짐 현상이 복합적으로 발생하였다. 그림 17은 블록파괴 및 경계면 변위 발생현황을 나타낸 것이다.

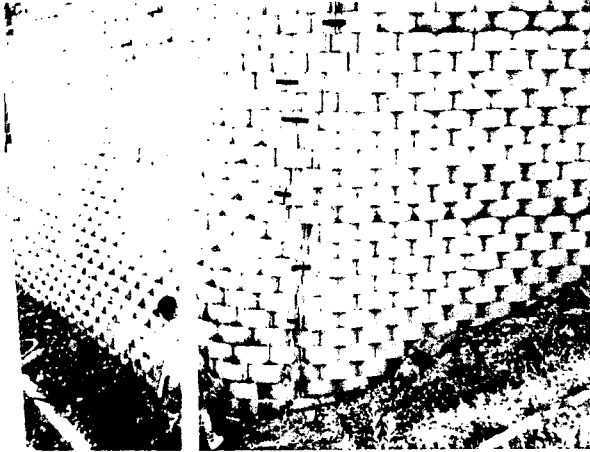


그림 16. 변위 발생위치(곡선부)



그림 17. 변위발생 현황

본 사례검토 현장에서 발생한 블록식 보강토 옹벽의 곡선부 파괴는 첫 번째 시공사례와 유사한 원인에 의하여 발생하였다. 사례분석에 따른 본 현장의 변위 발생원인은 다음과 같다.

- (1) 상기 기술한 바와 같이, 국내의 대부분의 폐기물 매립장은 계곡부에 폐기물 매립하는 곡간 매립장의 형태를 취하고 있다. 따라서, 폐기물 매립장의 매립용지 확보를 위하여 계곡부를 가로질러 설치된 본 사례현장의 보강토 옹벽은 집중호우와 같은 강우 발생 시, 대단위의 우수가 집중되게 된다.
- (2) 전면벽체와 측벽이 경계면을 이루는 곡선부의 경우, 양 방향에서 발생하는 응력이 집중되는 구간으로 충분한 기초처리와 배수관리가 필요하다. 그러나, 본 사례현장의 경우, 배면에 설치되어 있는 기존의 제방과 배면 뒤채움재와의 불연속면이 형성되어, 응력집중과 더불어 지반 불균질에 의한 부등침하가 발생된 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 2001년 7월 15일 전 후의 장마와 집중호우로 인하여 곡선부에 파괴가 발생한 두 곳의 시공사례를 분석하였다. 첫 번째 사례현장은 아파트 재개발을 위한 용지확보를 위하여 블록식 보강토 옹벽이 채택된 현장이며, 두 번째 사례현장은 폐기물의 매립용지를 확보하기 위하여 블록식 보강토 옹벽을 채택한 현장이다. 두 사례현장에 대한 검토결과, 블록 균열과 부등침하로 블록파괴 및 벌어짐 현상 등의 파괴양상이 유사한 형태로 발생되었다. 두 사례현장의 공통적인 파괴원인은 일차적으로 전면부와 측벽부의 경계에서 응력이 집중되는 곡선부를 포함하고 있으며, 부등침하로 인하여 곡선부에 파괴가 집중되어 있다. 또한, 집중호우와 같은 강우 발생 시, 대용량의 우수가 집중되는 계곡부에 위치하고 있다. 즉, 두 사례현장의 블록식 보강토 옹벽의 파괴사례를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

- 1) 응력의 집중되어 블록 균열 및 국부적인 변위가 발생할 가능성이 큰 곡선부의 경우, 충분한 기초처리를 통하여 응력 집중에 저항할 수 있도록 지지력을 확보하며, 특히, 부등침하가 발생하지 않도록 충분한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

- 2) 집중호우 및 장마로 인하여 우수가 집중되는 계곡부에 블록식 보강토 옹벽을 설치할 경우, 복합적인 배수 시설을 설치하여야 한다. 또한 시공 중에도, 배면부의 간극수압 증가 및 누수가 발생하지 않도록 철저한 배수관리를 수행하여야 한다.
- 3) 마지막으로, 두 사례현장 모두, 산지에 위치한 현장으로 부족한 용지를 확보하기 위하여 블록식 보강토 옹벽을 채택하였으며, 그에 따라, 전체 보강토 옹벽의 높이가 상당히 높게 설계 및 시공되어 있다. 즉, 과도하게 옹벽높이를 높게 설치하기보다는 적당하게 소단을 설치하는 것이 전체적인 보강토 옹벽의 안정성 확보와 균열 및 국부적인 변위를 방지하기에 효율적인 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국지반공학회(1998), “토목섬유”, 구미서관.
2. Bathurst, R. J.(1990), "Instrumentation of Geogrid -Reinforced Soil Walls", *Transportation Research Record, No. 1277*, Soils, Geology, and Foundations, Modern Geotechnical Methods; Instrumentation and Vibratory Hammers 1990, pp. 102~111.
3. Bathurst, R. J., Benjamin, D. J.(1990), "Failure of a Geogrid-Reinforced Soil Wall", *Transportation Research Record No. 1288*, Washington, D.C., pp. 109~116.
4. Ingold, T. S.(1982) "*Reinforced Earth*" Thomas Telford Ltd.
5. Koerner, R. M.(1997), "*Designing with Geosynthetics*" Prentice Hall.
6. Wetzal, R. A., Buttery, K. E., McCullouth, E. S.(1995), "Preliminary Results from Instrumented Segmental Retaining Wall", *Geosynthetics '95 Conference Proceedings*, Nashville, Tennessee, USA, Vol. I , pp. 133~146.