보강토 옹벽과 침하

김 경 모
보강기술(주) 연구소장
kgmong@hotmail.com

이전 호에서는 보강토 옹벽의 지지력에 대해 살펴보았으며, 이번 호에서는 보강토 옹벽의 침하에 대해서 살펴보고자 한다.

1. 보강토 옹벽의 침하

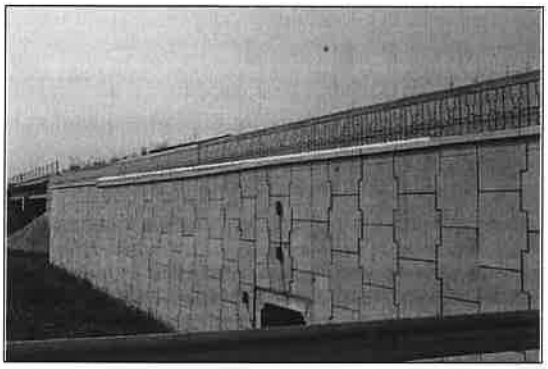
가. 개요

견고한 지반 위에 시공되는 보강토 옹벽은 구조물에 영향을 미칠 만큼 큰 침하가 발생하지 않지만, 하부지반이 연약한 경우에는 침하가 발생할 수 있으며, 보강토 옹벽은 RC 구조물과는 달리 연성구조물로서 하부지반에서 발생하는 상당한 크기의 침하에 대해서도 잘 견디기 때문에, RC구조물로서는 침하에 따른 피해가 예상되는 지역에서도 별다른 피해 없이 적용할 수 있다. 그림 1 (a)에서는 패널식 보강토 옹벽에서 약 20cm 정도의 부등침하가 발생한 사례를 보여주며, 그림 1 (b)에서는 하부지반 불량에 따른 블록식 보강토 옹벽의 침하사례를 보여준다.

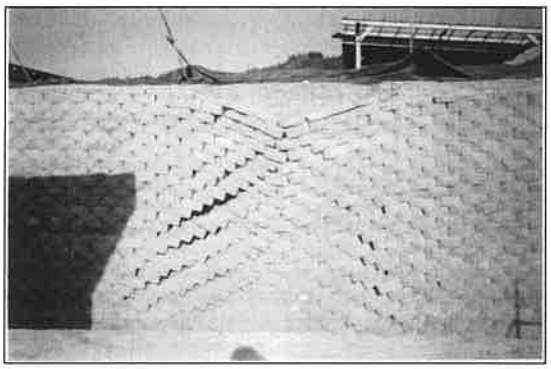
보강토 옹벽이 다른 구조물에 인접하여 시공되는경우에는 인접구조물과의 상호작용에 대해서도 고려해야 한다. 예로서 파일기초 위에 설치된 교대의 날개벽으로 보강토 옹벽을 시공하는 경우 교대와 보강토 옹벽 상에는 부등침하가 발생할 수 있으므로 주의해야 한다(그림 1 (c) 및 (d) 참조). 이러한 경우 두 구조물이 상호 잘 조화될 수 있도록 하기 위해서, 두 구조물을 개별로 설계하지 않고 복합구조물로 보고 설계해야 한다.

보강토 옹벽 전체 침하가 비록 보강토 옹벽 자체의 안정성이나 사용성에는 문제가 없다고 하더라고 인접구조물 또는 보강토 옹벽 위에 설치되는 구조물의 사용성에 영향을 미칠 수 있으므로 이러한 점도 고려해서 설계, 시공해야 한다.

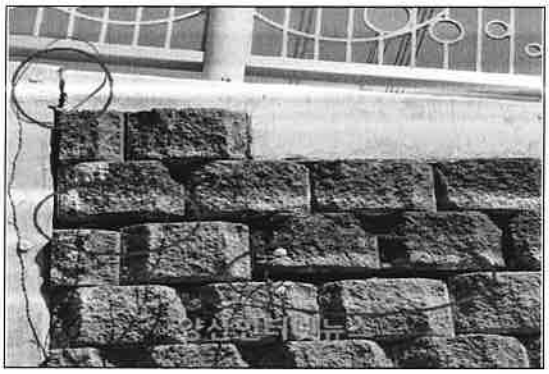
보강토 옹벽에 있어서, 침하발생의 근원은 크게 보강토 옹벽을 지지하는 기초지반의 침하와 보강토체 자체의 압축변형에 의한 침하로 나눌 수 있으며, 이러한 침하가 보강토 옹벽 전체에 대하여 균등하게 발생한다면 보강토 옹



(a) 패널식 보강토 옹벽 부등침하 사례



(b) 블록식 보강토 옹벽 부등침하 사례



(c) 구조물 접속부 침하 사례

(d) 구조물 접속부 침하 사례

그림 1. 보강토 옹벽의 침하발생 사례

벽 자체의 성능에는 문제가 없을 수 있다.

나. 기초지반의 침하

사실상 모든 지반은 보강토 옹벽이 시공되는 경우와 같이 과재하중이 증가하면 침하가 발생한다. 일반 RC옹벽의 경우에는 강성체로서 각변위에 따라 옹벽 저면의 접지압 분포가 고르지 않고 옹벽의 선단부에서 접지압이 크고 끝단부에서는 상대적으로 작은 분포를 보임으로서 침하량도 상당히 커질 수 있다. 그러나 보강토 옹벽은 연성구조물로서 옹벽 바닥면의 접지압이 비교적 고르게 분포하므로 접지압의 크기가 작고 따라서 하부지반의 침하가 일반 RC옹벽에 비하여 상대적으로 더 작게 발생할 수 있어 침하에 대해 더 유리하다.

이 외에도 보강토 옹벽은 그 자체로 기초지반의 침하에 잘 순응하기 때문에 전체침하에 대해서는 그 허용폭이 상당히 크며, 오히려 보강토체 자체의 압축에 따른 침하나 기초지반의 부등침하에 영향을 더 크게 받는다.

다. 보강토체 자체의 침하(압축변형)

보강토체 내부에서 발생하는 침하(압축)량의 크기는 성토재료의 특성, 다짐정도, 보강토체 내부의 수직응력 등에 영향을 받는다. 보강토 옹벽 뒤채움재 규정에 적합하고, 다짐규정에 따라 다짐된 보강토체는 자체의 압축에 의한 침하량이 무시할 만하다.

그러나 시방규정에 부적합한 재료를 사용하고 시방규정에 부적합하게 다짐한 경우에는 보강토체 자체의 압축변형이 커질 수 있으며, 이러한 경우 전면벽체(전면블록 또는 전면판)와 보강토체 사이의 부등침하에 의하여 전면벽체/보강재 연결부에 과도한 변형이 발생하고 이에 따라 연결부에 과도한 응력이 발생할 수 있으므로 주의해야 한다.

라. 부등침하

보강토 옹벽의 전체(균등)침하는 보강토 옹벽의 특정 기능에 영향을 줄 수 있지만, 보강토 옹벽의 전반적인 안정성에 미치는 영향은 크지 않다. 그러나 보강토 옹벽의 부등침하 또는 상대적인 침하는 완성된 보강토 구조물 자체에 심각한 영향을 미칠 수도 있다. 보강토 옹벽은 상대적으로 큰 부등침하에 대해서도 견딜 수 있지만, 이러한 부등침하의 한계는 사용하는 전면벽체의 종류 및 형상에 따라 결정된다. 보강토 옹벽 선형을 따른 부등침하의 발생이 보강토 옹벽에 미치는 영향은 다음 표 1에서와 같다.

2. 보강토 옹벽의 허용침하량

가. 전체침하

보강토 옹벽 시공중 또는 완료직후에 발생하는 즉시침하는, 부등침하량이 크지 않다면, 보강토 옹벽 시공완료후 보정할 수 있기 때문에 문제가 되지 않는다. 보강토 옹벽 완료후 장기간에 걸쳐 발생하는 침하는 다음 표 2에서 보여주는 바와 같은 보강토 옹벽 잔류침하량의 한계값 이내에 들도록 관리해야 한다.

몇 몇 보강토 옹벽의 경우 0.3 ~ 1.0m 이상의 침하가 발생한 후에도 그 성능에는 큰 이상이 없다고 보고된 사례가 있으나, 비록 균등한 침하의 발생에 따른 보강토 옹벽 자체의 사용성이나 안정성에는 문제가 없다고 하더라도 보강토 옹벽 위에 설치되는 도로, 기초구조물 또는 보강토 옹벽에 인접한 구조물은 영향을 받을 수 있으므로, 보강토 옹벽 보다는 인접한 구조물과의 상호관계에 따라서 침하에 대한 허용치가 결정되어야 할 것이다.

나. 부등침하(종방향)

부등침하란 한 측점과 다른 측점 사이의 침하량의 차이를 말하며, 일반적으로 두 측점 사이의 거리(L)에 대한 두 측점 사이 침하량 차이(Δ)의 비율로 나타낸다(그림 3 참

표 1. 부등침하에 따른 영향(BS8006-1:2010)

부등침하의 한계	설 명
1/1000	– 일반적으로 문제가 없음
1/200	– 전체높이패널(Full Height Panel)을 사용하는 경우, 줄눈 간격이 좁아지거나 넓어질 수 있음 – 일반적인 블록식 보강토 옹벽의 부등침하의 한계
1/100	– 일반적인 패널식 보강토 옹벽의 부등침하의 한계
1/50	– 반타원형(semi-ellip[tical) 금속전면판을 사용하는 경우의 부등침하의 한계 – 패널식 보강토 옹벽의 경우 줄눈간격에 더 좁아질 수 있음
> 1/50	– 연성벽면에 상당한 변형이 발생할 수 있음

표 2. 잔류침하량의 한계값(한국지반공학회, 2003)

검 토 항 목	잔류침하량
교량, 고가의 접속부에 있는 보강토 옹벽	10 ~ 20cm
상기 이외의 경우	15 ~ 30cm

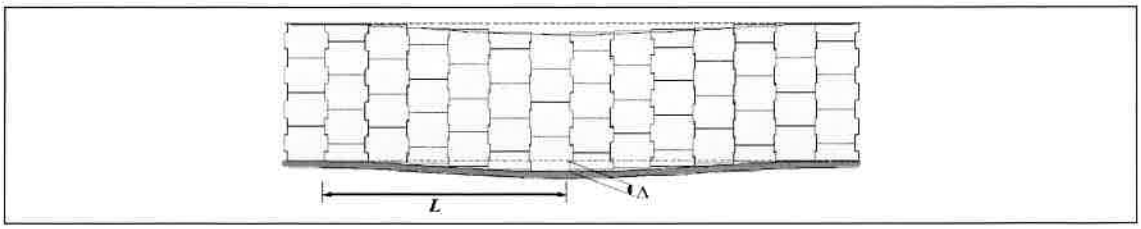


그림 3. 보강토 옹벽 길이방향 부등침하 개요도

조). 이러한 부등침하가 발생하는 원인은 기초지반의 지층 또는 물성치의 급격한 변화, 보강토 옹벽 높이 또는 구조물 기하형상의 급격한 변화 등이 있으며, 보강토 옹벽에 인접해서 강성이 큰 구조물(예, 파일기초위에 설치된 교대)이 있는 경우에도 인접구조물과 부등침하가 발생할 수 있다.

보강토 옹벽은 침하 및 부등침하에 대한 허용치가 크기 때문에, 기초지반의 조건 때문에 보강토 옹벽의 적용이 제한되는 경우는 드물다. 그러나 부등침하량이 상당히 커지는 경우에는 별도의 대책이 필요하며, 일반적으로 블록식 보강토 옹벽의 경우 1/200, 패널식 보강토 옹벽의 경우 1/100 이상의 부등침하가 발생하면 전면벽체에 균열이 발생하는 등의 피해가 발생할 수 있다. 용접강선망이나 토목섬유 포장형과 같은 연성의 전면벽체를 사용하는 경우의 허용 부등침하량은 1/50 정도 이다.

패널식 보강토 옹벽의 경우, 1/100 이상의 부등침하가 예상되는 경우에는 줄눈의 간격을 더 넓게 시공하거나 slip joint를 두는 등의 대책을 마련하면 부등침하에 따른 피해를 감소시킬 수 있다.

다. 부등침하(횡방향)

연약지반 상에 보강토 옹벽이 시공되는 경우에는 보강토 옹벽 선형에 대해 직각 방향 즉, 보강재 길이 방향의 부등침하가 발생할 가능성이 있으며(그림 4 참조), 이와 같이 전면벽체 보다 보강토체의 침하가 클 것으로 예상되는 경우에는 침하를 고려하여 보강재의 끝단부를 약간 높게 성토하여 설치하면 이러한 영향을 감소시킬 수 있다.

전면벽체와 보강토체 사이에 큰 부등침하가 발생하는 경우에는 전면벽체와 보강재 연결부에 추가적인 응력이 발생할 수 있으므로 연결부에서 극단적인 부등침하의 발생을 억제해야 한다.

보강토 옹벽의 횡단방향의 부등침하와 관련하여 미국 SCDOT Geotechnical Design Manual Appendix C MSE Walls에서는 "이러한 형태의 부등침하량이 1/10을 초과하는 경우에는 추가적인 정밀해석이 필요한지 검토해야 한다"라고 명기하고 있으므로, 보강토 옹벽 횡단방향 즉, 보강재 길이방향의 부등침하량의 한계를 1/10 정도로 보아도 좋을 것이다.

기하학적 조건으로부터 유추해 볼 때, 보강재 길이 방향으로 1/10 정도의 부등침하가 발생하면 보강토 옹벽 자체에는 상당한 변형이 발생할 수 있지만, 각 층별 보강재에는 약 0.5% 정도의 인장변형이 추가로 발생할 수 있어, 보강토 옹벽이 큰 무리 없이 수용할 수 있을 것으로 생각된다.

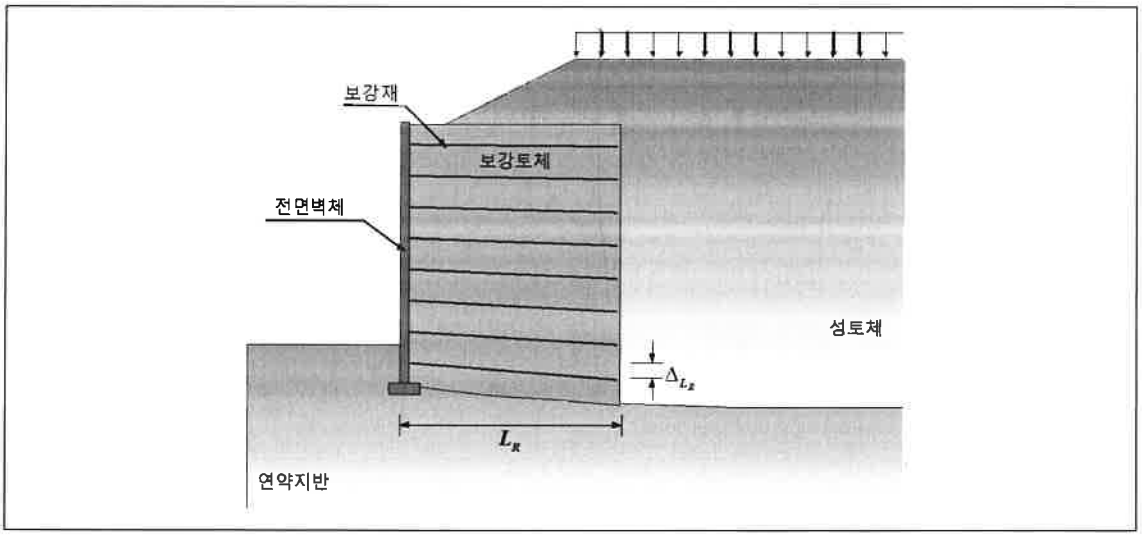


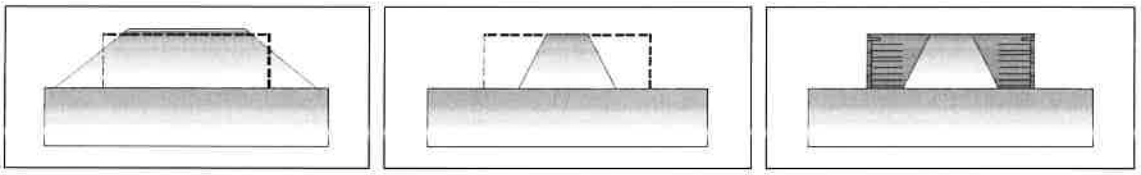
그림 4. 보강재 길이방향 침하 개요도

라. 프리로딩(Preloading)

연약지반을 개량하는 전통적인 방법으로 임시로 성토하여 침하를 발생시킨 다음 굴착한 후 보강토 옹벽을 설치하는 것이다(그림 7 참조). 프리로딩 공법은 성토, 압밀침하, 굴착, 보강토 옹벽 시공 등의 작업절차에 따라 진행되어 시간 및 비용이 많이 소요되는 단점이 있다.

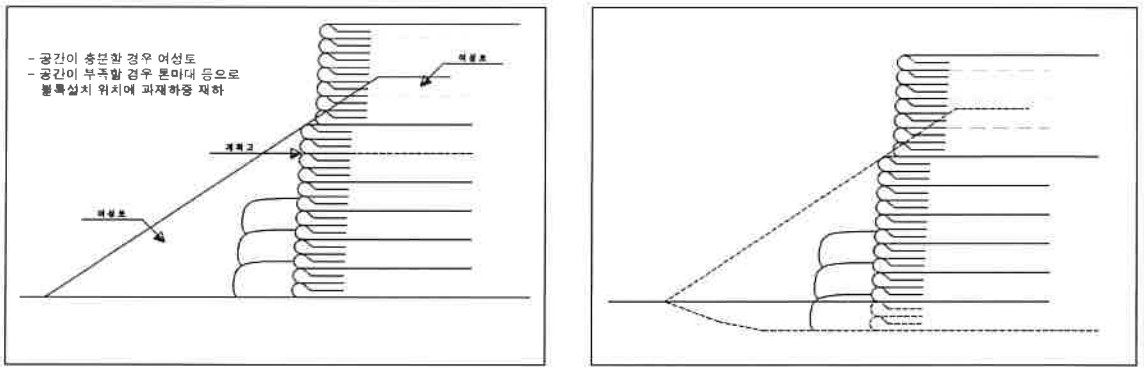
마. 단계시공(Staged Construction)

프리로딩 공법의 또 다른 대안으로 용접강선망이나 토목섬유 포장형 전면벽체와 같은 연성의 전면벽체를 사용하여 보강토체를 먼저 시공한 후, 압밀침하가 완료된 뒤에 전면벽체를 시공하는 단계시공(staged construction)법을 적용할 수 있다(그림 8 참조).

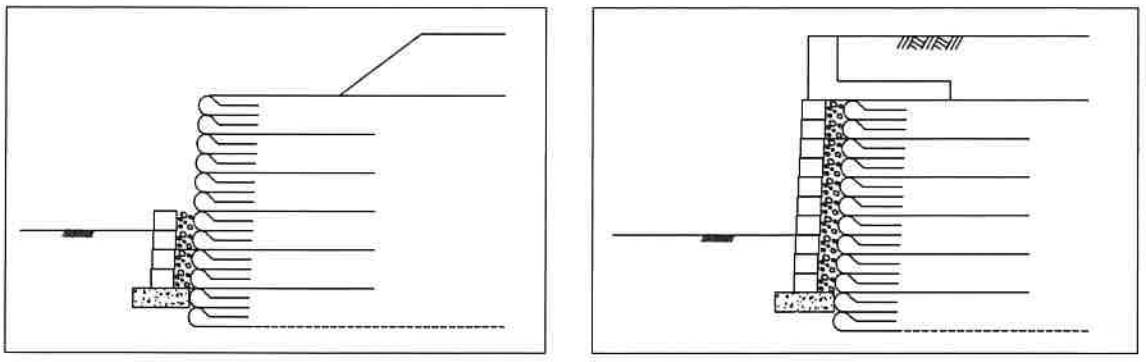


(a) 프리로딩 (b) 굴착 (b) 보강토 옹벽 시공

그림 7. 프리로딩에 의한 보강토 옹벽 시공 개요도



(a) 보강토체 및 여성토 (b) 압밀침하



(c) 블록 설치 (d) 상부구조물 설치 완료

그림 8. 단계시공(Staged Construction)에 의한 보강토 옹벽 시공 개념도

2900.

3. 침하에 대한 대책

가. 개요

보강토 옹벽 하부 기초지반의 지지력이 부족하거나 예상침하량이 큰 경우에는 기초지반의 특성을 개량하거나 보강토 옹벽의 침하에 대한 내성을 키워줄 수 있도록 별도의 대책을 마련해야 한다.

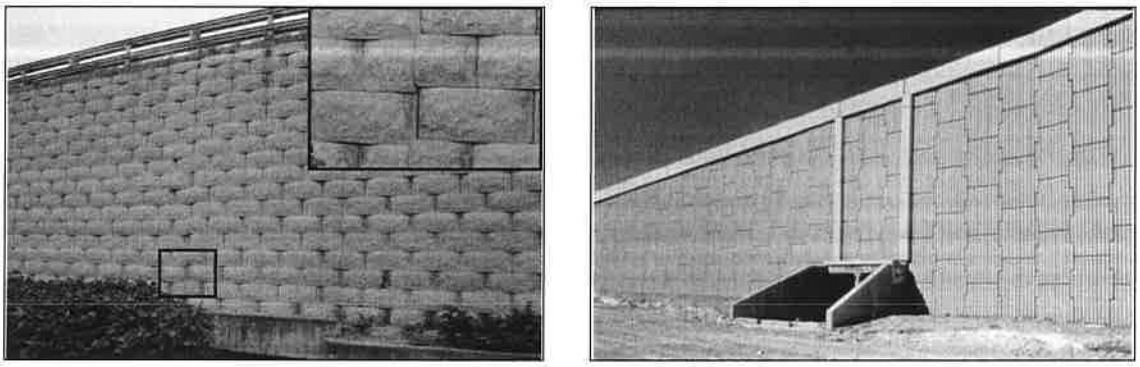
나. Slip Joint의 설치

패널식 보강토 옹벽의 경우, 1/100 이상의 부등침하가 발생하면 十자형 패널의 날개부분이 서로 맞닿아 파손되는 등의 피해가 발생할 수 있지만, 기초지반의 조건에 따라 일정 간격으로 Slip Joint를 설치하면 1/50 정도의 부등침하가 발생하는 경우에도 피해를 감소시킬 수 있다.

보강토 옹벽 하단부에 수로 또는 통로박스와 같은 구조물이 있는 경우, 보통 구조물은 침하가 발생하지 않도록 하부지반을 처리한 후에 시공하므로, 구조물 접속부에 부등침하가 발생할 수 있다. 이러한 경우 그림 5 (a)에서와 같이 Slip Joint를 설치하면 부등침하에 따른 피해를 감소시킬 수 있다.

다. 지반치환(Replacement)

기초지반을 보강하는 가장 단순한 방법은 연약한 토층을 제거한 후 양질의 재료로 성토하는 것이며(그림 6 참조), 이러한 치환 깊이는 하부지반의 상태와 보강토 옹벽에 의해 지반에 부과되는 하중에 달려 있다. 그러나, 치환 깊이가 2~2.5m를 초과하는 경우 또는 지하수위가 지표면 근처에 있는 경우에는 치환작업이 불가능하거나 비경제적일 수 있다.



(a) (b)

그림 5. Slip Joint 적용예

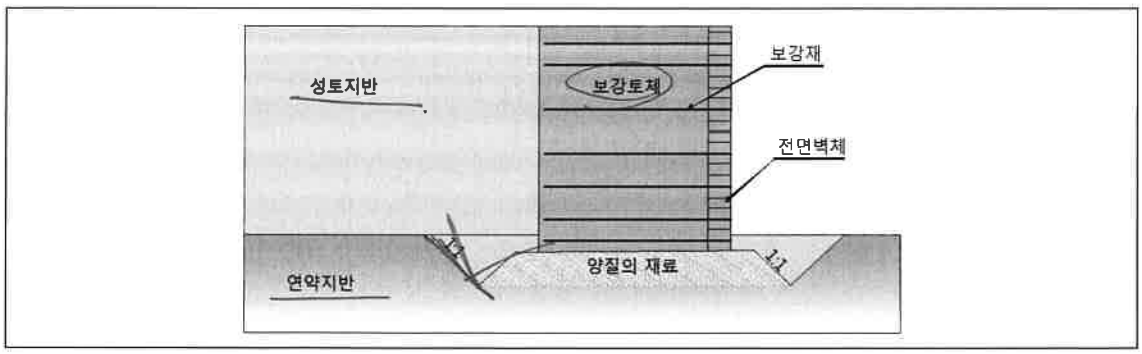
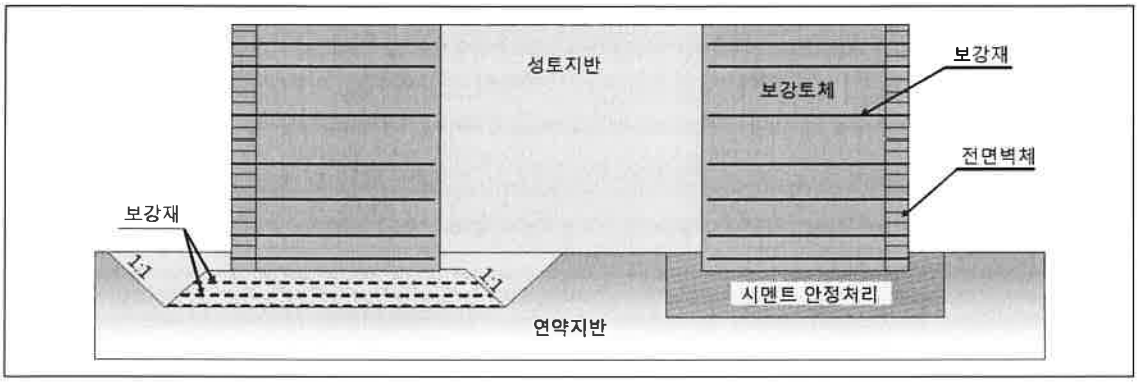


그림 6. 지반치완에 의한 보강토 옹벽 시공 개요도



(a) 보강재에 의한 지반보강 (b) 시멘트안정처리 등에 의한 지반보강

그림 9. 지반보강에 의한 보강토 옹벽 시공 개요도

바. 지반보강(Reinforcement)

지반보강은 보강토 옹벽 하부, 연약지반 위에 양질의 재료를 층다짐 하면서 토목섬유 보강재 등을 설치하여 보강된 토층을 1~1.5m 두께로 설치하거나(그림 9 (a) 참조), 연약지반 1~1.5m 깊이에 대하여 시멘트 안정처리 공법(그림 9 (b) 참조) 등을 적용하는 것이다.

사. 기타

보강토 옹벽에 의하여 하부지반에 부과되는 하중을 하부의 지지층까지 전달하기 위하여 스톤컬럼(stone column), GCP, SCP 등과 같은 연약지반 보강공법을 적용하여 지반을 보강할 수 있다.

4. 맺음말

이상과 같이 보강토 옹벽의 침하 및 부등침하에 대하여 살펴보았으며, 비록 보강토 옹벽이 RC 옹벽과 같은 강성 구조물에 비하여 침하 및 부등침하에 대한 내성이 크기는 하지만, 침하 또는 부등침하가 커지면 보강토 옹벽 상부 또는 인접하여 설치되는 구조물에는 그 안정성 및 사용성에 영향을 미칠 수 있으므로, 이들 인접한 구조물과 함께 평가되어야한다.

보강토 옹벽에 과도한 침하가 발생할 것으로 예상되는 경우에는 프리로딩 공법과의 병행시공, 지반치환, 지반보강 등의 방법을 적용하여 하부지반의 지지력 및 침하에 대한 안정성을 확보할 수 있으며, 보강토체를 먼저 시공한 후 전면벽체를 설치하는 단계시공(staged construction) 법을 적용하면 시간과 비용을 절감할 수 있으므로, 현장여건에 맞는 보완방안을 적용하여 피해가 발생하지 않도록 해야할 것이다.

참고문헌

1. (사)한국지반공학회 (2003), 건설교통부제정 구조물 기초설계 기준 해설
2. BS8006-1:2010, Code of Practice for Strengthened/reinforced Soils and Other Fills, BSI.
3. SCDOT (2010), Geotechnical Design Manual Appendix C MSE Walls.