

축소모형실험에 의한 지오백 축조노반의 공학적 특성 평가

Evaluation of Engineering Properties of Geobags Roadbed by Model Test

조삼덕¹⁾, Sam-Deok Cho, 이대영²⁾, Dae-Young Lee, 이광우²⁾, Kwang-Wu Lee

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Eng. Div., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Eng. Div., KICT

SYNOPSIS : A series of the experimental study were performed to evaluate engineering properties of geobag which is used to the urgent restoration of the failed roadbed. In this study, the suitable geobag size was proposed to the 44cm wide by 66cm long and the suitable filling ratio of geobag was proposed to the 80% based on the loading test. Also a series of the model test were carried out to investigate the characteristics of strain behavior and the distribution of earth pressure of the geobags roadbed.

Key words : geobag, roadbed, loading test, model test

1. 서 론

우리나라 철도선로의 영업선 총 연장은 2,579km에 달하고 있으며, 그 중 토공구간은 1,764km로 전체의 68.4%에 해당된다. 이와 같이 철도운행구간 및 신설건설구간에 많이 존재하는 절·성토 토공사면은 강우로 인한 유실 및 파괴에 크게 노출되어 있다. 특히, 하절기에 연평균강수량(1300mm~1500mm)의 2/3정도가 집중하는 기후 특성으로 인하여 해마다 여름철에 집중적으로 토사유실 등의 사면재해가 발생되고 있는 실정이다. 이러한 사면재해는 그 복구에 소요되는 비용손실의 문제 이외에도 철도 운행의 지연으로 인한 물류비용의 막대한 손실을 초래하고 있다. 따라서 여름철의 집중호우로 인해 발생한 자연재해로 인한 손실을 최소화시키는 한 방법으로, 선로의 복구기간을 최대한 단축시킴으로써 철도 운행지연으로 인한 간접손실을 최소화시키는 것이 중요하다.

지오백(geobags)공법은 토목섬유 콘테이너(geosynthetic containers) 공법의 일종으로 보통 제방축조 혹은 침식안정을 목적으로 사용되며, 토목섬유 포대 내에 준설토 또는 모래 등의 토사를 넣어 만든 규격화·모듈화된 지오백을 다수 사용하기 때문에 품질관리에 따른 유지보수 문제를 최소화하고, 쇄석채취로 인한 인근 석산의 파괴문제와 준설토의 처리문제 등을 자연스럽게 해결하며 더 나아가 시공시 환경오염을 최소화시킬 수 있어 자연·환경친화형 기술로 최근 들어 크게 평가받고 있다(조삼덕,2000). 따라서 이와 같은 공법을 강우로 인해 유실된 선로복구에 적합토록 개발하여 실용화할 경우 선로복구에 소요되는 공정을 간소화하고, 그 공기를 단축하며, 규격화·모듈화된 제품의 사용으로 기존의 마대 쌓기 등에 의해 발생하는 보수노반의 내구성 문제 등을 해결함으로써 열차안전 및 노반의 유지보수에 만전을 기하는데 크게 기여할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 강우로 유실된 철도노반의 긴급복구 방안으로 지오백을 사용한 복구시스템개발에 관한 연구를 위해 지오백 노반의 공학적 특성을 규명한다.

2. 지오백의 최적 크기 및 형상 검토

일반적으로 사용되고 있는 토목섬유 콘테이너는 크기와 형상에 따라 지오콘테이너(geocontainers), 지오투브(geotubes), 지오백(geobags) 등으로 구분된다(Sprague and Fowler, 1994). 일반적으로 지오콘테이너는 투수성 지오텍스타일로 제조된 거대한 베개(pillow) 모양의 구조체로서 호퍼(hopper)나 크랩셸 버킷(clamshell bucket) 등에 의해 기계적인 방식으로 모래나 준설토를 채운다(Heibaum, 1999). 지오콘테이너의 용량은 바지선의 바닥 개구부의 폭이 클수록 커질 수 있으며 보통 100~1,000m³ 정도이다. 지오투브는 일반적으로 투수성 지오텍스타일로 제조되며, 수리학적이나 기계적인 방식에 의해 모래 또는 준설토로 채워진다(Leshchinsky et al., 1996). 지오투브의 형상은 일반적으로 소시지 형태나 베개 모양이며, 직경과 길이는 현장조건과 설치가능성에 따라 달라지는데 보통 길이 50~600m, 폭 4~5m, 채움높이 1.5~2m 정도이다. 한편, 지오백은 용량이 0.3~0.5m³ 정도의 소형으로, 보통 모래를 채움재로 하여 제방 축조 혹은 침식안정을 목적으로 사용하며 소형 봉합기로 마무리 봉합한다..

본 연구에서 개발하고자 하는 노반복구시스템에 사용될 토목섬유 콘테이너의 경우는 지오백 형태로 고려하여야 할 것이며, 철도노반의 복구에 신속하고 안정적으로 적용될 수 있는 최적 크기 및 형상을 고려하여야 할 것이다. 지오백의 최적 크기 및 형상을 고려하는데는 두 가지 방안을 생각해 볼 수 있다. 첫 번째 안은 기존에 사용되던 마대와 동일한 형상(포대형)으로 제작하는 방안이고, 두 번째 안은 박스형으로 제작하는 방안이다. 이 두 방안의 장단점을 상대적으로 비교해 보면, 첫 번째 안의 경우는 지오백의 제작시 봉합(sewing) 부분을 최소로 할 수 있는 장점이 있는 반면에, 일정한 채움도를 가지는 지오백을 대량으로 생산하는데 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다. 또한 채움도가 클 경우 여러층으로 시공되는 지오백들 사이에 다소 많은 간극이 발생하는 문제가 있을 것으로 판단된다. 두 번째 안의 경우는 일정한 품질을 가지는 지오백의 생산이 용이하고 지오백 사이에 발생하는 간극을 최소화시킬 수 있는 장점을 가지는 반면에, 봉합 부분이 많아지게 되어 경제성에 문제가 있을 것으로 판단된다. 한편, 대부분의 철도제방의 경우는 현장 여건상 중장비의 접근이 용이하지 않기 때문에, 강우로 유실된 선로 복구를 위해 사용되는 지오백은 긴급복구시 1~2인의 인력에 의해 이동 및 시공이 용이해야 한다. 따라서 모래가 채워진 지오백의 무게는 50kg이하가 적정한 것으로 판단된다.

이상의 검토결과 강우로 유실된 철도노반의 긴급복구에 사용되는 지오백의 형상은 경제성적인 측면을 고려하여 포대형으로 제작하는 것으로 하고, 지오백의 적정 크기는 기하학적 안정성 및 시공성을 고려하여 66cm×44cm로 제안하였다. 또한 지오백의 측면 봉합을 없애기 위해 원통형으로 제작하며, 상부 봉합은 모래채움에 따른 상부 봉합면의 변형을 최소화 하기 위하여 그림 1과 같이 전체 상부 봉합면 중 모래 주입구가 들어갈 정도의 길이(약 15cm)를 제외한 길이로 사전에 봉합하도록 하였다.

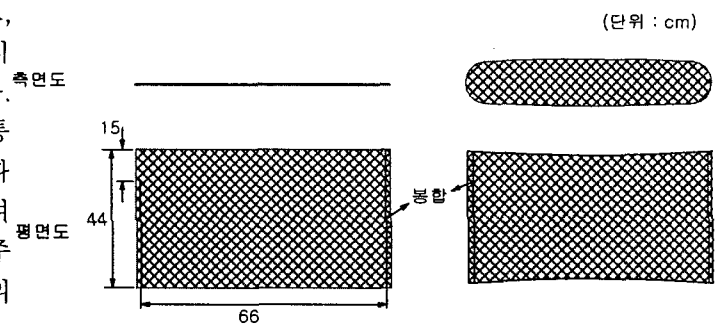


그림 1. 지오백 크기 및 형상

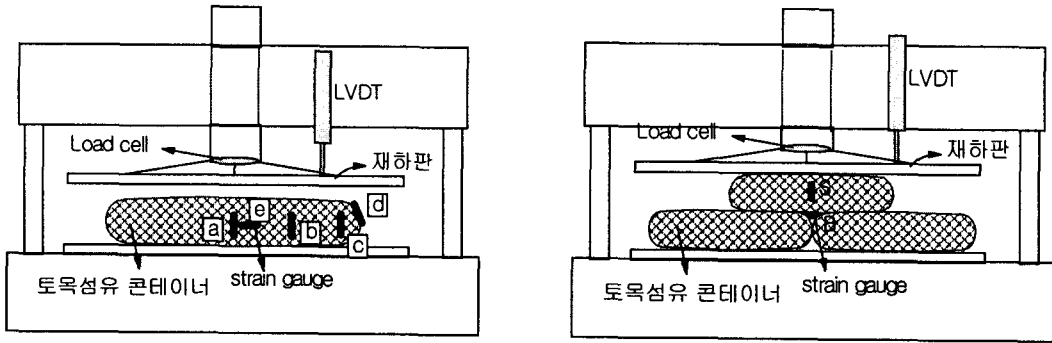
3. 채움도에 따른 지오백의 인장 및 체적변화 특성

3.1 하중재하실험 개요

지오백의 채움도에 따른 응력 및 체적변화 특성을 규명하기 위하여 두 가지 형태의 하중재하실험을 수행하였다. 즉, 연직하중 재하시 지오백의 채움도(75, 80 및 85 %)에 따른 응력 및 체적변화 특성을 분석하기 위하여 그림 2(a)에 나타낸 바와 같이 일련의 하중재하실험을 수행하였고, 추가로 여러층으로 설치된 지오백 사이에 발생하는 간극부의 응력집중 현상을 검토하기 위하여 그림 2(b)에 보인 바와 같이

지오백층을 형성시키고 연직하중을 재하하는 실험을 수행하였다. 여기서 채움도는 지오백에 채워진 모래의 하중을 지오백에 모래를 가득 채웠을 때의 하중으로 나눈 값이다. 본 하중재하실험에서 연직하중은 약 20ton까지의 하중을 재하할 수 있는 유압식 재하장치를 사용하여 3mm/min의 속도로 재하하였으며, 연직하중 재하시의 연직변위는 변위계(LVDT)를 이용하여 계측하였다.

한편, 지오백의 채움도에 따른 소요 모래량을 계산하기 위하여 66cm×44cm 크기의 지오백 포대에 진동 및 다짐을 가하며 모래를 가득 채웠을 때의 무게를 측정한 결과 50kg가 되었으며, 이를 채움도 100%로 하였을 경우에 지오백의 채움도가 75%, 80% 및 85%인 경우 지오백 포대에 들어가는 모래의 양은 각각 37.5kg, 40kg 및 42.5kg 로 산정 할 수 있었다. 본 채움모래로는 인천지역에서 채취한 해사를 건조시켜 사용하였다.



(a) 한 개의 지오백에 대한 하중재하실험
(b) 지오백층 사이의 간극부 응력 집중현상 검토를 위한 재하실험

그림 2. 하중재하실험 개요도

3.2 하중재하실험시 지오백의 요소위치별 인장 변형 거동

연직하중 재하시 지오백의 요소 위치별 인장변형거동을 평가하기 위하여, 채움도 85%인 지오백을 대상으로 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 5곳의 요소 위치에 스트레인 게이지(strain gauge)를 부착한 후 연직하중을 재하하는 실험을 수행하였다. 그림 2(a)에서 a는 지오백의 측면부 중앙에 하중재하방향과 동일한 방향으로 부착한 스트레인 게이지이고, b 및 c는 a로부터 각각 10cm 및 20cm 떨어진 위치에 하중재하방향과 동일한 방향으로 부착한 스트레인 게이지이다. d는 지오백의 측면부 중앙에 하중재하방향과 직각방향으로 부착한 스트레인 게이지 이고, e는 지오백에서 폭이 작은쪽(44cm 크기를 가지는 부분) 측면 중앙에 부착한 스트레인 게이지이다. 그림 3은 재하실험 결과를 연직하중 변화에 따른 지오백의 인장변형을 변화로 나타낸 결과이다. 그림 3에서 연직하중 재하시 지오백의 측면 중앙부에 부착한 스트레인 게이지 a에 의해 측정된 변형률이 동일한 하중 수준에서 가장 크게 발생됨을 알 수 있다.

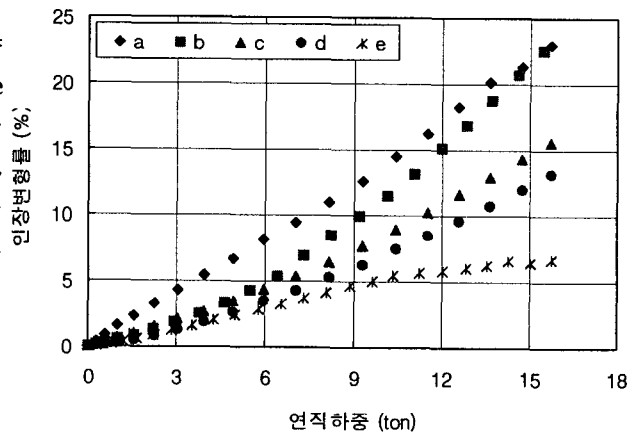


그림 3. 채움도 85%인 경우 지오백 요소 위치별 연직하중-인장변형률

3.3 채움도에 따른 지오백의 인장 변형 거동

지오백의 채움도를 75%, 80% 및 85%로 변화시키면서, 앞서 그림 3에 나타난 실험결과로부터 연직하중 재하시 가장 큰 인장변형이 발생하는 것으로 밝혀진 지오백의 측면부 중앙지점에 스트레인 게이지를 부착한 후 재하실험을 수행하였다. 본 실험은 각각의 채움도 별로 3회 이상씩 수행하였으며, 각 요소위치별 계측값을 평균한 결과를 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 지오백의 인장변형률은 채움도가 클수록 더 커지고, 연직하중 증가에 따른 인장변형률 증가 또한 채움도가 클수록 더 급속하게 커지게 됨을 알 수 있다. 특히, 채움도를 75%에서 80%로 증가시킨 경우보다 80%에서 85%로 증가시킨 경우에 인장변형률의 증가가 대략 5배 이상 크게 발생하는 것으로 나타났다. 한편, 지오백의 채움도는 어느 정도가 적정할 것인가에 대해서는, 경제성적인 측면을 고려할 경우 채움도를 크게 하는 것이 노반복구시 소요되는 지오백의 양을 감소시킬 수 있으므로 보다 효과적이나, 채움도가 너무 클 경우에는 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 열차하중재하에 의해 지오백에 작용하게 되는 인장응력이 과다해 질 수 있는 문제가 있을 뿐만 아니라, 채움도가 커질수록 지오백층 사이에 보다 많은 간극이 발생할 수 있기 때문에 안정성 측면에서는 채움도가 작을수록 유리하다. 이에 본 연구에서는 75%의 채움도에 비해 응력증가가 크게 발현되지 않은 80% 채움도가 경제적인 측면과 안정성에 있어서 적정할 것으로 판단하여 이후의 실험은 채움도를 80%로 하여 수행하기로 하였다.

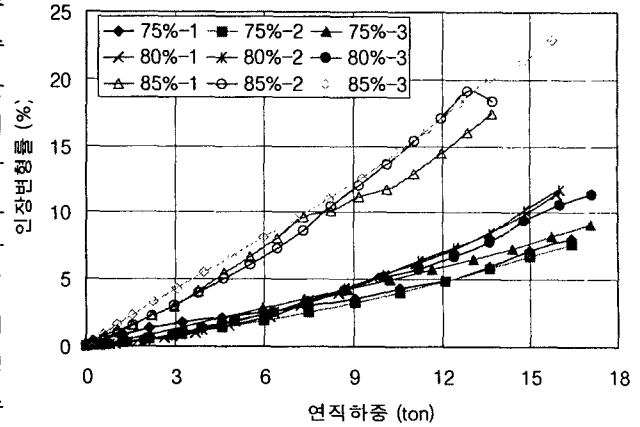


그림 4. 채움도별 지오백의 인장변형 특성

3.4 지오백층 사이의 간극부 응력집중 현상 검토

다층으로 설치된 지오백의 층간의 간극부에서 우려되는 응력집중현상을 검토하기 위하여 그림 2(b)에 나타냈던 바와 같이 수행한 하중재하실험 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 2(b)에 나타낸 바와 같이 S(숫자는 실험 횟수)는 상부층 지오백의 측면 중앙부에 부착된 스트레인 게이지이고, B는 상·하부층 지오백 사이의 간극부에 집중되는 응력으로 인한 지오백의 인장변형률을 측정하기 위해 상부층 지오백의 아랫면 중앙에 부착한 스트레인 게이지이다.

그림 5에서 지오백층간의 간극부에 부착한 스트레인 게이지 B의 측정값이 S의 측정값보다 6배 이상 크게 나타났다. 이는 연직하중 재하시 상부층 지오백 포대 내부의 모래에 입자 재배열현상이 일어나면서 이 모래가 하부층 지오백과의 간극부로 침투하려고 하는 힘이 응력집중현상으로 나타나기 때문인 것으로 판단된다.

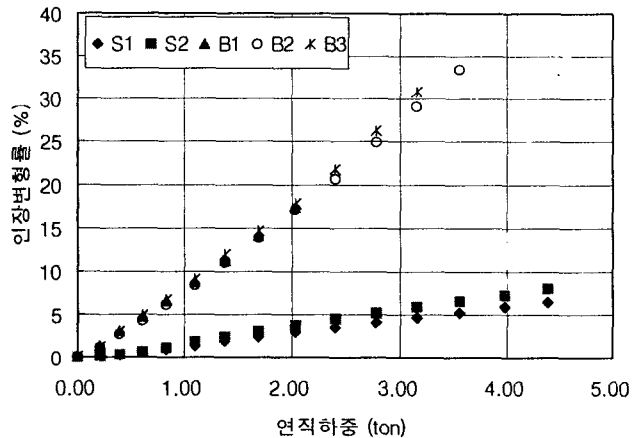


그림 5. 2층으로 설치된 지오백에 대한 하중재하실험 결과

4. 모형실험에 의한 지오백의 축조노반의 정적거동 평가

4.1 실내모형실험

4.1.1 실험 개요 및 과정

지오백 축조노반의 정적하중재하시 거동 특성을 평가하기 위하여 일련의 실내모형실험을 수행하였다. 본 모형실험은 기초지반의 지지력 변화와 지오백층 하부에 쇄석층이 존재하는지의 여부가 지오백 축조노반의 거동 특성에 미치는 영향을 검토하고, 지오백층의 하중분산효과를 평가하기 위하여 표 1에 나타

낸 바와 같이 총 5회를 수행하였다. 즉, 지오백층을 시공한 경우 기초층을 3가지 형태(다짐도 90%의 화강풍화토층, 다짐도 75%의 화강풍화토층 및 쇄석층)로 조성하여 모형실험을 수행하였고, 기초층으로 다짐도 90% 및 75%의 화강풍화토를 사용한 경우에 대해서는 지오백층의 하중분산효과를 평가하기 위하여 지오백층 대신 상대밀도 80%의 모래층을 조성한 경우에 대한 모형실험을 추가로 수행하였다. 그림 6은 모형실험 개요도이다. 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 30cm 두께의 화강풍화토나 쇄석을 지지층으로 하고, 지오백을 5층으로 형성한 후, 모래와 쇄석을 이용하여 17cm 두께의 도상층을 형성하였다. 다음으로 폭 20cm, 길이 100cm인 띠형 재하판에 연직하중을 가하면서 적절한 위치에 부착된 스트레인 게이지, 토압계 및 침하판에 의한 계측을 수행하였다.

4.1.2 실험 재료 및 장치

본 모형실험에서 사용한 지오백은 2장에서 제시한 66cm×44cm 크기를 1/2로 축소하여 33cm×22cm로 제작하였다. 모형토조는 축소된 지오백의 크기를 고려하여 내부치수를 140cm×100cm×100cm로 하고, 하중재하로 인한 토조의 변형을 방지하기 위해 강재를 사용하여 제작하였다. 기초지반 및 도상자갈에는 최대입경이 40mm인 쇄석을 사용하였고, 표 1에 나타난 MT4 및 MT5에서 노반층 재료로 사용한 모래는 지오백의 내부채움재로 사용한 모래와 동일하다. 기초지반 조성을 위한 화강풍화토는 경기도 수원시 인근의 목장에서 채취하였다. 본 화강풍화토는 200번체 통과율이 41.2%이고, 통일분류법상 SM으로 분류되는 실트질 모래이다. 또한 비중(G_s)은 2.75, 소성지수(PI)는 N.P이고, 최적함수비(OMC)와 최대건조밀도(γ_{dmax})는 각각 23% 및 1.61 t/m³이다.

한편, 정적하중 재하시 철도하중 모사를 위하여 폭 20cm×길이 100cm×높이 5cm인 띠형하중재하판을 고강도 합성수지를 이용하여 제작하였으며, 그림 6에 보인바와 같이 토조크기 및 노반깊이를 고려하여 토조벽면에서 40cm 떨어진 거리에 2~4층으로 설치하였다.

4.1.3 계측기 설치

모형실험시 계측기의 상세 설치위치는 그림 6에 나타난 바와 같다. 본 모형실험에서 사용한 스테레인 게이지는 길이가 5mm인 소성게이지로, 10만 strain까지 측정이 가능하다. 토압계는 직경이 50mm, 최대용량은 2.5kg/cm²이고, 변위계는 최대측정변위가 200mm이다. 침하판은 10cm×10cm 크기의 정방형으로 제작하고 직경이 5mm인 침하봉을 이용하여 변위계에 연결하였다.

스트레인 게이지 SNo.는 그림 7(a)에 나타난 바와 같이 한 개의 지오백 측면 중앙부에 두 개씩을 하중재하 방향과 동일한 방향으로 부착하였으며, BNo.는 그림 7(b)에 나타난 바와 같이 지오백 밑면 중앙에 두 개의 스트레인 게이지를 서로 수직 방향으로 부착하여 지오백의 길이 및 폭 방향으로 발생하는

표 1. 모형실험 계획

구분	노반층 재료	기초지반 재료
MT 1	지오백	SM (다짐도 75%)
MT 2		SM (다짐도 90%)
MT 3		쇄석
MT 4	모래	SM (다짐도 75%)
MT 5		SM (다짐도 90%)

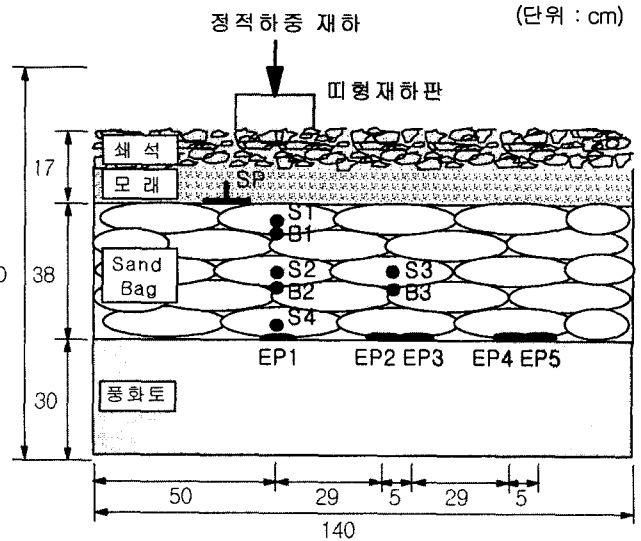
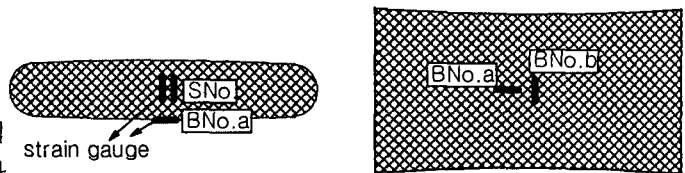


그림 6. 모형실험 개요도



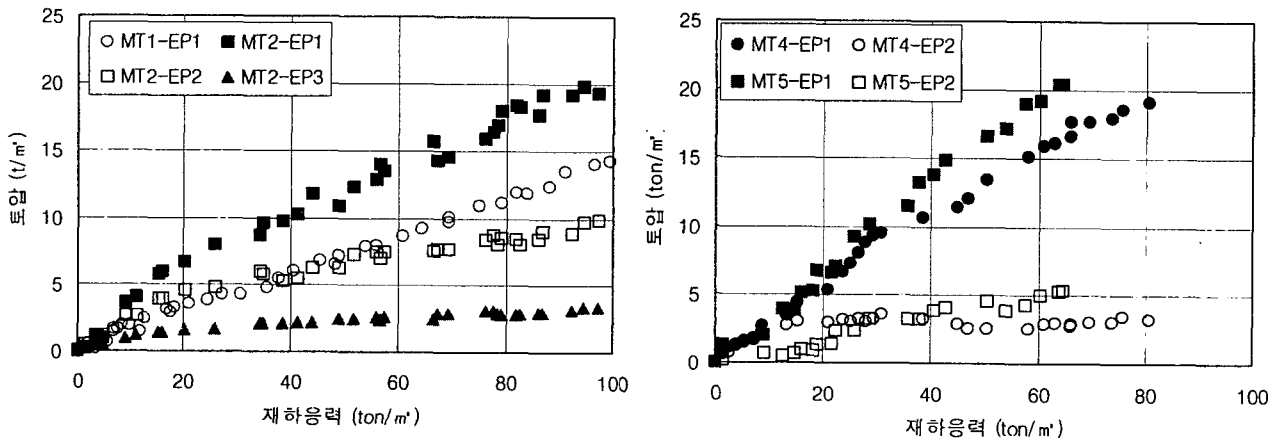
(a) SNo. 스트레인 게이지 (b) BNo. 스트레인 게이지
그림 7. 스트레인 게이지 부착 위치

인장변형을 각각 예측할 수 있도록 하였다. 토압계는 하중재하판 하부에 설치한 EP1 이외에, 지오백의 하중분산효과를 검토하기 위하여 EP1으로부터 29cm, 34cm, 63cm 및 68cm떨어진 위치에 EP2~EP5를 각각 설치하였으며, 침하판(SP)은 연직하중 재하시 지오백층의 침하량을 예측하기 위하여 띠형재하판 모서리 부분에서 가장 가까운 지오백 위에 설치하여 변위계와 연결하였다.

4.2 정적하중 재하시 지오백층의 하중분산 효과

본 모형실험에서 정적하중 재하시 지오백층의 하중분산 효과를 평가하기 위하여 설치한 토압계 예측 결과를 그림 8에 나타내었다. 지오백층 하부 기초를 쇠석으로 조성한 경우에 대한 MT3의 경우는 토압계를 설치하지 않았으며, 실험완료 후 쇠석층과 접한 지오백의 상태를 육안으로 관찰한 결과 편칭에 의한 손상은 발견되지 않았다.

본 모형실험에서는 그림 6에 나타낸 바와 같이 지오백층 하부에 총 5개의 토압계(EP1~EP5)를 설치하였으나, EP4 및 EP5의 경우는 모든 경우의 실험에서 그 예측값이 미소하였으며, EP3의 경우도 MT2의 경우를 제외하고는 그 측정치가 미소하여 그림 8에서 제외하였다. 한편, 그림 8(a)에 나타낸 MT1의 경우에는 EP2토압계가 실험도중 손상된 것으로 판단되어 제외하였다.



(a) MT1 및 MT2 예측결과

(2) MT5 및 MT5 예측결과

그림 8. 토압계 예측결과

지오백을 노반재료로 사용한 경우의 모형실험 결과를 나타낸 그림 8(a)에서 화강풍화토의 상대다짐도를 90%로 하여 조성한 MT2의 경우가 상대다짐도 75%인 경우에 비해 30%정도 더 큰 토압이 예측되었음을 알 수 있다. 또한 노반층을 상대밀도 80%인 모래를 사용하여 조성한 경우의 모형실험 결과를 나타낸 그림 8(b)에서도 콘테이너 축조노반을 사용한 경우와 동일하게 기초지반의 지지력이 큰 경우인 MT5의 토압계 예측값이 MT4의 경우에 비해 다소 크게 나타나고 있으나, 기초지반의 종류에 따른 토압계 예측값의 차이는 대략 10% 이내로 지오백 축조노반의 경우에서 보다 작음을 알 수 있다. 한편, 노반재료에 따른 토압특성은 그림 8에서 알 수 있는 바와 같이 모래를 이용하여 노반을 축조한 MT4 및 MT5의 경우가 MT1 및 MT3에서 보다 더 큰 토압 예측값을 나타내고 있다. 따라서 모래를 이용하여 노반을 조성한 경우보다는 지오백을 노반재료로 사용한 경우에 하중분산효과가 더 큼을 알 수 있다.

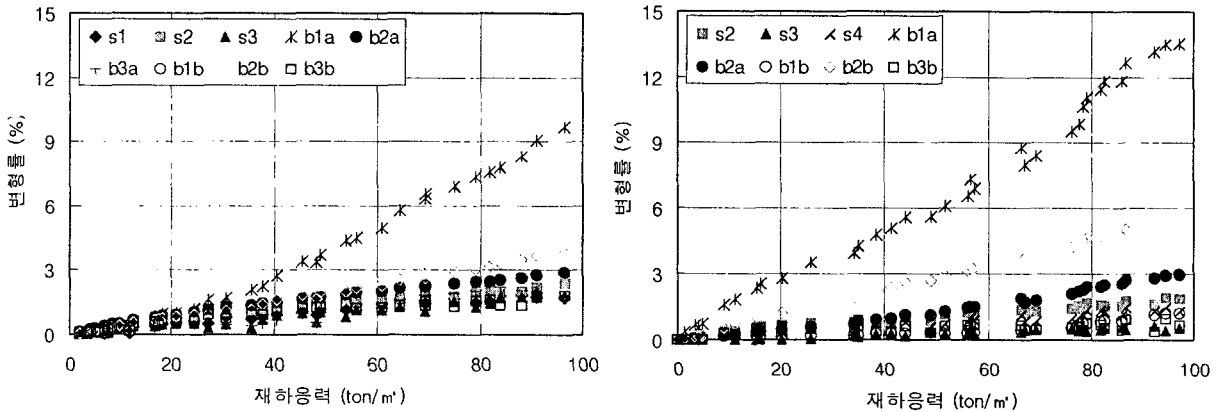
4.3 정적하중 재하시 지오백층의 응력-변형 거동

지오백층을 설치한 MT1 및 MT2 모형실험 결과, 스트레인 게이지 측정치를 재하응력에 따른 변형률로 그림 9에 각각 나타내었다. 그림 9의 범례에서 SNo. 및 BNo. a or b는 4.1절에서 설명했던 바와 같이 계측기 설치 위치를 의미한다.

일반적으로 기초지반의 지지력이 작은 경우 하중 재하시 기초지반의 침하와 더불어 지오백 축조노반

층의 변형이 유발되어 지오백의 인장변형률 또한 크게 계측될 것으로 예상하였으나, 본 실험에서는 그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 기초지반을 변화시키면서 수행한 실험결과 지오백의 인장변형률 계측치는 대체로 그 경향이 유사하게 나타났다. 한편, 지오백의 인장변형률은 재하 하중이 증가할수록 선형적으로 커지는 경향을 보이나, B1a, B1b 및 B2a를 제외하고는 대체적으로 그 크기가 약 100ton/m^2 의 정적 하중 재하시 3%를 넘지 않는 것으로 나타났다. 이와 같이 인장변형이 3장에서 설명한 하중재하실험결과에서와는 달리 대체적으로 작게 발생한 이유는 지오백층이 사방으로 구속되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 모형실험시에는 다수의 지오백을 모형토조안에 일정하게 배열하여 5개의 층으로 설치하였기 때문에 하중재하시 각각의 지오백이 상호간에 서로 영향을 미치게 되어 구속력이 작용하게 됨으로써, 지오백의 체적변형 발생이 억제되고 이로 인해 인장변형 발생이 미소했던 것으로 판단된다. 또한 지오백 층간 간극부의 응력집중현상을 검토하기 위하여 부착한 BNo.의 계측치는 지오백 측면부에 부착한 SNo. 계측치보다 상대적으로 크게 측정되어 이로부터 3.3에서 언급했던 바와 같이 지오백 포대 내부 모래의 입자 재배열 과정에서 응력집중현상이 발현됨을 확인할 수 있었다.

그림 9에서 BNo.a와 BNo.b를 비교해 보면 3회의 모형실험 모두에서 a의 경우가 b의 경우보다 대체로 2배 이상 큰 값을 보이고 있는데, 이는 재하판과 직각 방향을 이루는 지오백의 길이 방향으로 인장력이 더 크게 작용하게 때문인 것으로 판단된다. 따라서 지오백 포대 제작시에 길이방향의 강도를 폭방향 보다 더 크게 하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.



(a) MT1 실험결과

(b) MT2 실험결과

그림 9. 스트레인게이지 계측 결과

4.3 정적하중 재하시 지오백층의 침하특성

국내의 경우 국철의 경우 열차의 안전운행에 지장이 없도록 궤도변위에 대한 허용치를 철도청 보선업무자료의 궤도정비기준에서 제시하고 있다. 그러나 노반의 변위와 이에 대한 정비기준은 현장 경험에 의존하고 있는 실정이다. 한편, 일본의 경우는 철도총합기술연구소(RTRI)의 연구결과에 근거하여 통상 고속철도 노반의 허용침하기준을 2.5mm로 정하고 있으며, 이러한 허용침하량의 산정에는 노상의 안정, 탈선한계 및 승차감 등이 고려되어 있다.

정적하중 재하시 지오백 축조노반의 침하특성을 규명하기 위하여 수행한 침하판 계측결과를 그림 10에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 침하량은 재하응력이 커질수록 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 5회의 모형실험시 침하량 계측치는 크게 두 무리로 구분된다. 즉, 노반층 하부 기초

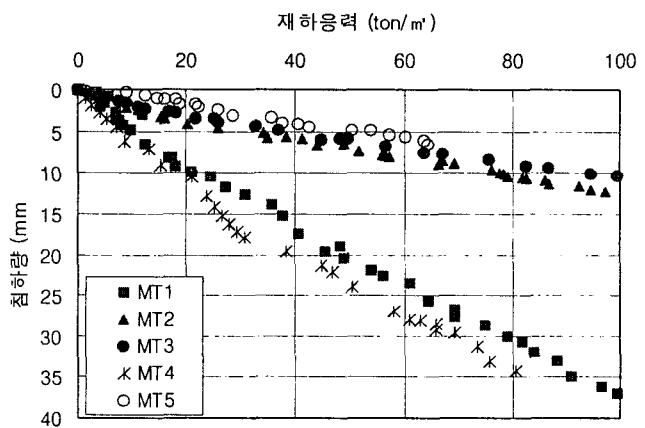


그림 10. 침하량 계측결과

지반을 상대다짐도 90%인 화강풍화토로 조성한 MT2 및 MT5의 경우와 쇄석으로 조성한 MT3의 경우는 재하응력의 증가와 더불어 침하량 또한 점진적으로 증가하여 60ton/m²의 재하응력으로 정적하중 재하시 침하량이 대략 5~8mm 발생한 것으로 계측되었고, 기초지반을 상대다짐도 75%로 조성한 MT1 및 MT4의 경우는 60ton/m²의 재하응력으로 정적하중 재하시 침하량이 대략 23~28mm 발생한 것으로 계측되었다. 또한 노반층 재료로 지오백을 사용한 경우와 상대밀도 80%인 모래를 사용한 경우 정적하중 재하시 침하특성은 유사한 경향을 보이고 있다. 한편, 일반적으로 레일에 작용하는 하중은 열차의 축하중에 약 40%정도이고, 침목과 도상자갈에 의해 하중이 분산되기 때문에 실제적으로 노반부에 작용하는 토압의 크기는 10t/m²이다. 본 모형실험에서 10t/m²의 응력으로 정적하중을 재하한 경우에는 MT2, MT3 및 MT5에서 계측된 침하량이 그림 10에서 알수 있는바와 같이 2.5mm 보다 작으며, 따라서 일본에서 제시한 허용침하량 기준 2.5mm 에 부합함을 알수 있다.

5. 결론

1. 대부분의 철도제방의 경우는 현장 여건상 중장비의 접근이 용이하지 않기 때문에, 강우로 유실된 선로 복구를 위해 사용되는 토목섬유콘테이너는 긴급복구시 1~2인의 인력에 의해 이동 및 시공이 용이해야 한다. 따라서 모래가 채워진 지오백의 무게는 50kg 이하가 적정한 것으로 판단된다.
2. 강우로 유실된 철도노반의 긴급복구에 사용되는 지오백의 형상은 경제적인 측면을 고려하여 포대형으로 제작하는 것으로 하고, 지오백의 적정 크기는 기하학적 안정성 및 시공성을 고려하여 66cm×44cm로 제시하였다.
3. 채움도 변화에 따른 지오백의 인장변형 거동 실험을 통해 지오백의 채움도를 80%로 하는 것이 경제성과 안정성을 고려할 수 있음을 알 수 있었고 따라서 적정 채움도를 80%로 제안하였다.
4. 일련의 하중재하실험 및 실내모형실험결과로부터 다층으로 설치된 지오백 층 상부에 하중이 재하될 경우 지오백 포대 내부에 채워진 모래의 입자 재배열에 기인하여 지오백 층간의 간극부에 응력집중 현상이 발생함을 확인하였다.
5. 정적하중 재하 모형실험 결과,
 - 다층의 지오백 축조노반의 경우 하중재하판에 바로 인접한 지오백을 제외하고는 인장변형의 발생이 미소하였으며 이는 각각의 지오백 상호간에 서로 영향을 미치게 되어 구속력이 작용하게 됨으로써, 지오백의 체적변형 발생이 억제되었기 때문인 것으로 판단된다.
 - 지오백 층간의 간극부에 지오백의 길이방향과 폭방향으로 각각 부착한 스트레인 게이지 계측값은 길이방향으로 부착한 스트레인 게이지 계측값이 더 크게 나타났으며, 이는 재하판과 직각 방향을 이루는 지오백의 길이 방향으로 인장력이 더 크게 발생하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 지오백 직조시에 길이 방향의 강도를 폭방향 보다 더 크게 하는 것이 합리적일 것으로 판단된다.
 - 노반부 침하량 계측치는 일본 RTRI에서 제시한 허용침하기준 2.5mm이내의 값을 보인다.

참고문헌

1. 조삼덕(2000), “지오택스타일 콘테이너공법의 현장적용 및 평가”, 2000 토목섬유 특별 세미나 논문집, 한국지반공학회 토목섬유기술위원회, 2000년 9월, pp. 17~31.
2. Leshchinsky, D., Leshchinsky, O., Ling, H.I. and Gilbert P.A.(1996), “Geosynthetics Tubes for Confining Pressurized Slurry: Some Design Aspects”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE,
3. Sprague, C.J. and Fowler, J.(1994), “Dredged Material-filled Geotextile Containers: Case Histories, Research and Upcoming Workshop”, Geotechnical Fabrics Report, Vol. 12, No.3, pp. 42-54
4. Heibaum, M.H. (1999), “Coastal Scour Stabilisation Using Granular Filter in Geosynthetic Nonwoven Containers”, Geotextiles and Geomembranes, 17, pp.341-352