

# 열차모의하중에 대한 단섬유 보강토체의 침하특성

## Settlement Characteristics of Short-fiber Reinforced Soil under Simulated Railroad Loading

박영곤\*      김정기\*\*      김현기\*\*      황선근\*\*\*  
Park, Young-Kon   Kim, Jung-Ki   Kim, Hyun-Ki   Hwang, Seon-Keun

---

### ABSTRACT

To analyze the settlement characteristics of short-fiber reinforced soil(SFRS), which will be used as a new backfill material of reinforced retaining wall, under simulated railroad loading, a series of tests with loading condition of 5 Hz frequency and 500,000 cycles were performed. The materials used for tests are soils with SM or ML type, and polypropylene short-fibers with mono-filament(PPM) or fibrillated type(PPF).

From the tests, average plastic settlement is low at PPF38(0.3%)(abbreviation of PPF with 38mm length and mixing ratio 0.3%), PPF38(0.5%), PPM60(0.2%) for SFRS using SM soil and at PPF38(0.3%), PPF60(0.2%) for SFRS using ML soil. Elastic settlement is low at PPM60(0.2%) for SFRS using SM soil and at PPM60(0.5%) for SFRS using ML soil.

Key words : *Short-fiber Reinforced Soil, Reinforced Retaining Wall*

---

### 1. 서 론

흙구조물은 재료 구득의 용이성, 시공 및 보수의 편의성으로 고대부터 오늘날까지 전 세계적으로 사용되고 있는 구조형식 중의 하나이다. 그러나 이와 같은 흙 구조물은 경사가 급하거나 제한된 선로부지 또는 기복이 심하거나 환경적 제약이 있는 지표면에서는 시공상 어려운 점이 많은데, 이와 같은 문제를 해결하기 위해 배면 토체의 강성을 증가시키는 보강토 공법이 연구되어 왔다.

지금까지 개발된 대표적인 보강토 공법은 프랑스의 테르아메 공법과 TEXOL 공법, 일본의 RRR (Reinforced Railroad/Road with Rigid facing) 공법, 미국의 MSEW (Mechanically Stabilized Earth Wall) 공법과 MBW (Modular Block Wall) 공법 등을 들 수 있는데, 이들 대부분의 공법은 배면 토체에 강성 또는 연성 보강재를 삽입하여 취약한 흙의 인장력을 보완하고, 강성을 증가시킨 것이다. 현재 전 세계적으로 경사가 완만한 제방 또는 재래식 옹벽은 이와 같은 보강토 공법의 적용으로 수직 또는 거의 연직에 가까운 벽체로 이루어진 구조물로 급속히 탈바꿈되고 있다.

- 
- \* 한국철도기술연구원 선임연구원
  - \*\* 한국철도기술연구원 연구원
  - \*\*\* 한국철도기술연구원 주임연구원
  - \*\*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원

현재 국철에 있어 흙 구조물은 교량, 터널 등의 다른 구조물에 비해서 건설비가 저렴하기 때문에 많은 개소에서 이용되어 왔고, 그 대부분이 1900년대 초에 건설되어 약 94.6%를 차지하고 있으며, 현재 건설 중인 경부고속철도도 29.3%가 흙 구조물로 구성되어 있다. 또한 기존선의 개량 및 확폭 또는 신설선의 경우 속도향상을 위한 구배나 선형 조정의 필요성으로 인해 교량 등을 대체할 수 있는 경제적인 보강토 구조물의 시공수요가 증가되고 있지만 강, 콘크리트 구조물에 비해 보수 또는 안전 측면에서 문제가 생기기 쉬운 구조물이라는 선입견으로 인해 경원시 되고 있는 실정이다.

그러나 고속철도 개통에 따른 도시철도 건설 수요의 증가에 대비하여 향후 역세권을 중심으로 한 선로연변의 공간을 최대한 활용하고, 기존선 복선화에 따른 용지매입의 어려운 점을 해소하며, 향후 신설되는 선로에 영구적인 구조물로서 보다 안전하고 경제적인 새로운 형태의 보강토 구조물을 개발, 적용하는 것이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 철도분야에의 보강토 용벽 적용에 대한 인식을 획기적으로 전환하고, 배면토체에 단섬유를 적용한 새로운 형태의 철도보강용벽 공법을 개발하기 위해 그 선행연구로써 단섬유 보강토체를 배면토체에 형성하였을 경우 열차하중에 대한 침하특성을 규명하고자 하였다.

## 2. 재료 및 시험

열차모의하중에 대한 단섬유 보강토체의 침하 특성을 파악하기 위해 모형토조(직경 47.5cm, 높이 50cm)를 제작하였고 여기에 SM, ML 흙시료를 최대건조밀도의 90% 다짐도로 다져 반복재하시험을 수행하였다. 이때 다짐시료의 총 높이는 36cm이며, 다짐도 관리를 위해 4cm씩 9층으로 다졌다(그림 1 참조). 또한 도표 1과 도표 2는 본 연구에 사용된 흙시료와 섬유의 물성치를 보여준다.

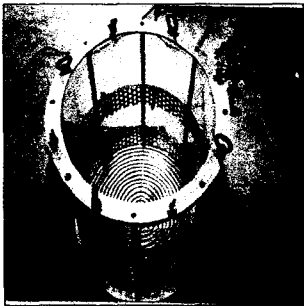


그림 1. 다짐몰드

도표 2. 사용된 흙시료의 물성치

위치	비중	액성한계 (%)	소성지수 (%)	통일분류법	최적함수비 (%)	최대건조단위중량 ( $tf/m^3$ )	90% 다짐도에서 최적함수비 (%)	90% 다짐도에서 최대건조단위중량 ( $tf/m^3$ )
수원	2.75	N.P	N.P	SM	23.0	1.61	17.9	1.45
의왕	2.73	32.97	8.79	ML	20.2	1.70	15.0	1.53

도표 2. 폴리프로필렌 섬유의 특성

비중	0.90~0.92
열진도율	6
내균성	우수
밀도	0.89 $t/m^3$
색상	흰색
흡수율	0
인장강도	5.2~7.7 $kg/cm^2$
발화점	538℃
용융점	163℃
탄성계수	3.5~3.8×104 $kg/cm^2$
전기전도성	낮음
분산성	양호
알카리 저항도	양호
산 저항도	양호
직경	0.084mm
Denier( $g/9000m$ )	45

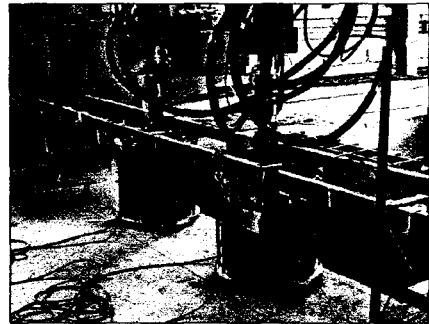


그림 2. 하중재하 모습

시험에 사용된 하중크기와 반복재하 횟수는 도표 3과 같고, 반복재하시험은 도표 4와 같이 각각의 흙시료에 대해 9회씩 총 18회 실시하였다.

도표 3. 하중의 크기 및 재하 횟수

하중 산정조건	시험에 사용된 열차모의하중			재하횟수 (회)
	재하형식	하중/응력		
		최대	최소	
<ul style="list-style-type: none"> <li>설계속도 : 120km/h</li> <li>축중 25tonf (245kN)</li> <li>윤중 12.5tonf (122.5kN)</li> <li>축간 거리 2.5m</li> <li>대차중간거리 12.5m</li> </ul>	반복하중	2.28tonf/1.29kgf/cm <sup>2</sup> (22.3kN/126.4kPa)	0.1tonf/0.06kgf/cm <sup>2</sup> (0.98kN/5.88kPa)	500,000

도표 4. 반복재하시험 시험계획

No.	시료조건	시료종류	섭유조건		비고	
			섭유형태/길이	섭유양(%)		
1	soil only	SM시료/ ML시료				
2	soil+단섭유			PPF19	0.3	
3					0.5	
4				PPF38	0.3	
5					0.5	
6				PPF60(망사)	0.2	
7					0.5	
8				PPM60(단사)	0.2	
9					0.5	

### 3. 단섭유 보강토체의 침하특성

#### 3.1 평균 소성침하량

본 시험에서는 단섭유의 종류, 단섭유의 혼합비를 달리한 보강토체의 침하특성을 규명하는 것이 주목적이다. 침하량은 각 재하횟수에 따라 변위센서를 이용하여 다짐면에서 측정하였다. 계측데이터는 재하횟수에 대한 평균값을 사용하여 정리하였다.

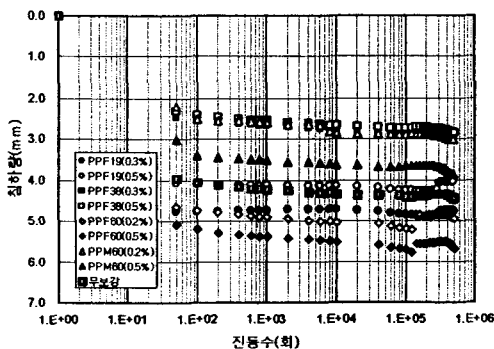


그림 3 반복재하횟수에 따른 단섭유 보강토체의 침하량 I (SM시료)

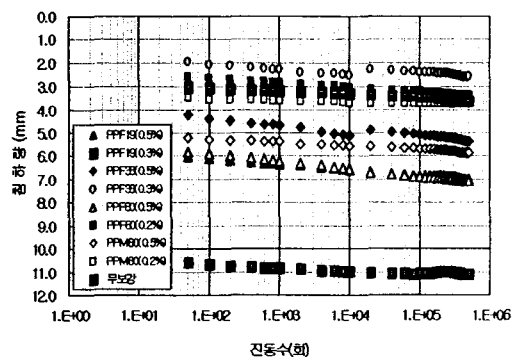


그림 4 반복재하횟수에 따른 단섭유 보강토체의 침하량 II (ML시료)

그림.3에서 섬유유 조건에 따른 침하 정도는 PPF38(0.3%), PPF38(0.5%), PPM60(0.2%)에서 가장 작게 나타났고, PPF60(0.5%)에서 가장 크게 나타났다. 이는 망사 38mm의 섬유유를 혼합하였을 경우 0.3% 또는 0.5%는 거의 동일한 경향을 보여주기 때문에 0.3% 혼합이 상대적으로 경제적임을 알 수 있으며 길이 60mm인 경우는 망사보다는 단사의 형태가 단섬유 보강토체의 침하억제에 더 효과적임을 알 수 있다. 실제 60mm 단사 혼합에 있어 기계혼합을 할 경우 섬유유 분산성이 다른 여타 혼합토에 비해 아주 좋게 나타났으며 다짐 작업도 크게 뛰어났다. 또한 무보강된 시료보다 더 큰 침하를 보인 것은 PPF19(0.3%), PPF60(0.2%), PPF60(0.2%)으로, 이는 섬유유가 오히려 침하에 (-) 효과를 준 것으로 사료된다. 19mm 섬유유의 경우 0.3% 혼합시 섬유유의 양이 극히 미미하고, 길이가 짧아 섬유유의 인장력이 제대로 발휘되지 않았기 때문으로 판단되며, 60mm 망사 섬유유의 경우에는 단사와는 달리 섬유유와의 혼합에 있어 분산성이 좋지 않고, 섬유 자체가 영겨 있는 경우가 많았기 때문으로 사료된다.

ML시료와 단섬유를 혼합한 경우는 그림 4에서 알 수 있듯이 침하 정도는 PPF38(0.3%), PPF60(0.2%)에서 가장 작게 나타났고, PPF19(0.3%)에서 가장 크게 나타났다. 여기서 ML시료 역시 PPF38(0.3%)인 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다. 무보강된 시료보다 더 큰 침하를 보인 것은 PPF38(0.3%), PPF60(0.2%)를 제외한 모든 경우로, SM 시료와 마찬가지로 섬유유가 오히려 침하에 (-) 효과를 준 것으로 사료된다. 또한 19mm 망사 섬유유의 경우 0.3% 혼합시 그리고 60mm 망사 섬유유의 경우 0.5% 혼합시 SM 시료와 마찬가지로 이유로 침하가 많이 발생한 것으로 사료된다. 특히, SM 시료의 경우에 좋은 효과를 보여준 PPM60(0.2%)은 무보강인 경우보다 약간 나쁜 것으로 나타났다.

### 3.2 탄성침하량

탄성침하량은 반복하중에 의해 발생하는 침하량으로, 토체의 영구변형을 일으키는 소성침하량과는 다르다. 재하횟수에 따른 각 조건별 탄성침하량을 정리한 결과는 도표 5와 같다.

도표 5. 하중재하횟수에 따른 각 조건별 탄성침하량 (단위 : mm)

시료조건		하중재하횟수(회)						비고
시료종류	혼합비(%)	1,000	10,000	60,000	100,000	300,000	500,000	
SM Soil	-	0.262	0.234	0.244	0.238	0.220	0.208	
SM Soil	0.3	0.180	0.175	0.174	0.171	0.145	0.150	
+PPF19	0.5	0.310	0.304	0.289	0.286	0.282	0.279	
SM Soil	0.3	0.157	0.177	0.149	0.137	0.125	0.116	
+PPF38	0.5	0.367	0.363	0.325	0.315	0.302	0.280	
SM Soil	0.2	0.260	0.238	0.221	0.235	0.202	0.193	
+PPF60	0.5	0.631	0.530	0.493	0.491	0.469	0.456	
SM Soil	0.2	0.184	0.177	0.155	0.154	0.141	0.110	
+PPM60	0.5	0.411	0.380	0.353	0.349	0.342	0.354	
ML Soil	-	0.384	0.279	0.253	0.238	0.214	0.249	
ML Soil	0.3	0.400	0.387	0.363	0.351	0.349	0.318	
+PPF19	0.5	0.481	0.473	0.425	0.416	0.366	0.378	
ML Soil	0.3	0.452	0.490	0.413	0.374	0.348	0.346	480,000회
+PPF38	0.5	0.337	0.389	0.356	0.330	0.291	0.303	"
ML Soil	0.2	0.419	0.355	0.362	0.351	0.327	0.318	"
+PPF60	0.5	0.522	0.468	0.411	0.396	0.373	0.366	"
ML Soil	0.2	0.377	0.383	0.372	0.366	0.355	0.347	
+PPM60	0.5	0.295	0.335	0.272	0.241	0.184	0.184	

상기 표에서 SM 시료의 경우 가장 작은 침하량을 보여 주는 것은 혼합비가 0.2%인 PPM60이며, 가장 큰 침하량을 보여주는 것은 혼합비 0.5%의 PPF60이다. 또한 ML 시료의 경우 가장 작은 침하량은 PPM60(0.5%)이며, 가장 큰 경우는 PPF19(0.5%), PPF60(0.5%)이다.

대부분의 경우 무보강토와 마찬가지로 10,000회 이전에 침하가 거의 완료되었으며 하중재하에

따른 다짐물드의 영향은 0.1mm를 넘지 않았다. 그림 5는 재하횟수에 따른 다짐물드의 영향을 보여준다.

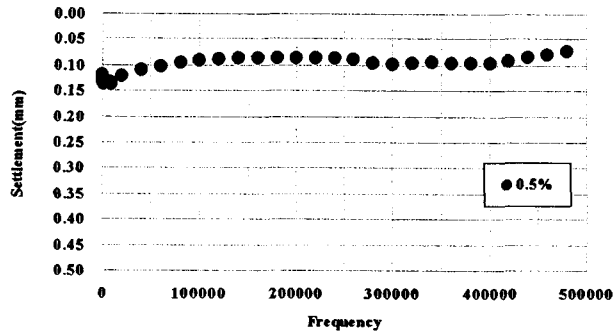


그림 5. 재하횟수에 따른 다짐물드의 침하량

#### 4. 결 론

단섬유 보강토체의 침하 특성을 분석하기 위해 모형토조를 제작하였고, 단섬유 보강토체에 5Hz의 재하주파수를 가진 하중을 50만회 반복재하한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) SM시료에 단섬유를 보강한 보강토체의 평균 소성침하량은 PPF38(0.3%), PPF38(0.5%), PPM60(0.2%)에서 가장 작게 나타났고, PPF60(0.5%)에서 가장 크게 나타났다. 또한 ML시료의 경우에는 PPF38(0.3%), PPF60(0.2%)에서 가장 작게, 그리고 PPF19(0.3%)에서 가장 크게 나타났다.
- 2) SM시료의 경우 무보강된 시료보다 더 큰 평균 소성침하를 보인 것은 PPF19(0.3%), PPF60(0.2%), PPF60(0.2%)이며 ML시료의 경우에는 PPF38 (0.3%), PPF60(0.2%)를 제외한 모든 경우에서 무보강된 시료보다 더 큰 침하를 보였다. 이는 섬유가 오히려 침하에 (-)효과를 준 것으로 사료된다.
- 3) SM 또는 ML 무보강토의 진동횟수에 따른 탄성침하량은 재하횟수 4,000회~6,000회 이전에 침하가 거의 완료되었으며 최종 탄성침하량은 SM 시료의 경우 약 0.21mm 그리고 ML 시료의 경우 0.24mm 정도였다. 또한 단섬유 보강된 SM시료의 경우에는 혼합비가 0.2%인 PPM60가 가장 작은 침하를 그리고 가장 큰 침하량은 PPF60(0.5%)이었고, ML시료의 경우 가장 작은 침하량은 PPM60(0.5%), 가장 큰 경우는 PPF19(0.5%), PPF60(0.5%)이었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산학연 공동연구개발사업의 일환으로 건교부의 연구지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 건교부, 2002, 배면토체에 단섬유 보강 매트릭스를 적용한 철도 보강옹벽 공법 개발, 2001년 산학연 공동연구개발사업 1차년도 연차보고서(안)
2. 박영곤, 장병욱, 2000, 재성형된 단섬유 보강점토의 구성과 보강 효과, 한국지반공학회는논문집, 16(6), pp.87-95
3. Maher, M.H., 1988, Static and dynamic force response of sands reinforced with discrete, randomly distributed Fibers", Ph.D. The University of Michigan
4. 三木博史, 林義之, 森邦夫, 加津憲章, 1994, 纖維混合土の利用技術の開発, 土と基礎 42-11(442), pp.11-16