

철도노반 보수용 지오텍스타일 백의 재료특성분석

Geotechnical Characteristics of Geotextile bag for Rehabilitation of Railroad Bed

신은철 *
Shin, Eun-Chul

이명호 **
Lee, Myeng-Ho

최진영 **
Choi, Jin-Young

ABSTRACT

The heavy downpour caused by unusual weather has destroyed a railroad bed. It caused a large amount of soil loss due to soil erosion. Hence, there is necessary to rehabilitate the destructed railroad bed as quickly as possible. Application of geotextile bag can standardize the rehabilitation process. Geotextile bag method can be more stable, faster, and more economical. In this study, the stress to geotextile bag was estimated to select the appropriate geotextile material. Geotechnical characteristics of geotextile were also determined.

1. 서 론

최근 기상이변 현상인 국지성 집중호우로 인해 철도의 선로와 노반의 유실이 속출하고 있다. 철도의 유실은 막대한 물류 손실에까지 영향을 미치므로 이를 긴급 복구하는 것이 중요하다. 그러나 현재의 복구방법은 비용이 많이 들고 복구 후 이를 영구 구조물로 사용하기에는 곤란한 실정이다. 이에 지오텍스타일 백을 이용하여 시공을 규격화하여 품질을 높이고 신속한 복구를 하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 지오텍스타일 백에 이용할 재료의 특성시험과 장기인장강도의 산정법과 지오텍스타일 백의 안정설계에 관하여 연구를 수행하였다.

지오텍스타일의 재료특성시험은 크리프시험, 내구성시험, 내후성시험, 유효입경시험, 전단마찰특성시험, 투수성시험 등이 있으며, 장기인장강도는 GRI GT7에 의해 산정 하였다.

지오텍스타일 백의 안정성은 RTRI에 제시된 방법에 의해 철도하중을 고려하여 도상(Ballast)의 수직분포하중을 계산하고, 이 하중에 안정한 지오텍스타일 백을 선정하여 유실된 철도 노반의 복구에 이용될 재료를 선정하려 하였다.

2. 토목섬유의 선정

2.1 토목섬유의 종류

현재 사용되고 있는 토목섬유는 그 용도와 적용분야에 따라 여러가지가 있다. 토목섬유를 크게 분류하면, 지오텍스타일, 지오그리드, 지오멤브레인, 지오랩, 지오넷, 지오매트, 지오셀, 지오컴포지트가 있으며, 그 용도로는 배수, 필터, 분리, 보강, 치수, 침식제어, 충격흡수 기능 등이 있다.

* 인천대학교 공과대학 토목환경시스템공학과 교수, 정희원

** 인천대학교 대학원 토목환경시스템공학과 석사과정

2.2 토목섬유의 선정

여러 종류의 토목섬유에서 백으로 이용할 것은 지오텍스타일로서 부직포와 직포가 있는데, 이것들의 물리적 특성과 경제성 등을 고려하여 백 재료를 선정할 필요가 있다. 다음 표2.1은 국내 생산 지오텍스타일을 비교한 것이다.

표 2.1 국내 생산 지오텍스타일의 비교

	부직포	직포	
		PET	PP
신율(%)	50 ~ 120	20 ~ 30	10 ~ 20
인장강도(tonf/m)	1 ~ 17	5 ~ 32	1 ~ 15
미립분 통과	No. 120 ~ 140 이하	No. 60 ~ 100 이하	
두께(mm)	3 ~ 12	1 ~ 2	
무게(g)	1000 ~ 2500	200 ~ 500	
경제성(원/m ²) 약 10tonf/m 기준	4000	2000	
작업성	두께문제로 재봉이 곤란하고 효율이 낮음	재봉 용이	

백의 용도로 쓰일 지오텍스타일은 신율이 적고, 채움재의 유실량이 적으며, 작업효율이 좋고 경제성이 있어야 한다. 국내에서 생산되고 있는 3종류의 지오텍스타일을 표 2.1과 같이 비교·검토한 결과 직포 PP(Polypropylene)가 적합하다고 판단된다.

3. 지오텍스타일의 재료 특성 분석 시험

3.1 인장강도 시험 (ASTM D 5035)

선정된 PP(Polypropylene)의 인장강도 시험의 결과는 다음과 같다.

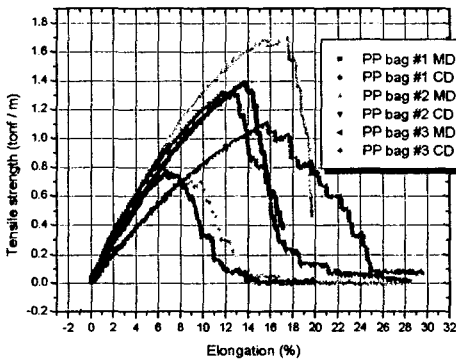


그림 3.1 3가지 일반 포대의 인장강도

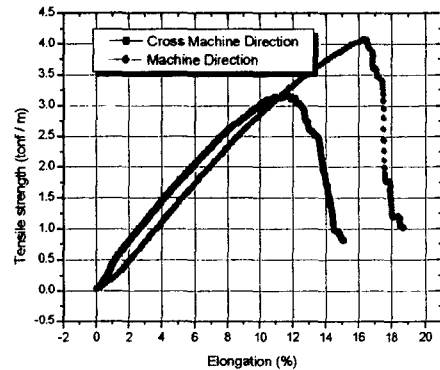


그림 3.2 인장강도 시험 결과

그림 3.1은 현재 흔히 사용하고 있는 3가지의 포대에 대하여 인장강도 시험을 수행한 것이다. 지오텍스타일 백의 필요 인장강도가 2.5 tonf/m이므로, 일반 포대는 적합하지 않다는 것을 알 수 있다. 그림 3.2의 지오텍스타일은 CD(Cross Machin Direction)의 강도가 약 3.2 tonf/m로서 필요 인장강도 2.5 tonf/m를 만족하고 있다. PP는 자외선에 취약하므로 carbon black으로 안정처리를 하여 그 약점을 보완한다.

3.2 내후성 시험 (GRI GT3)

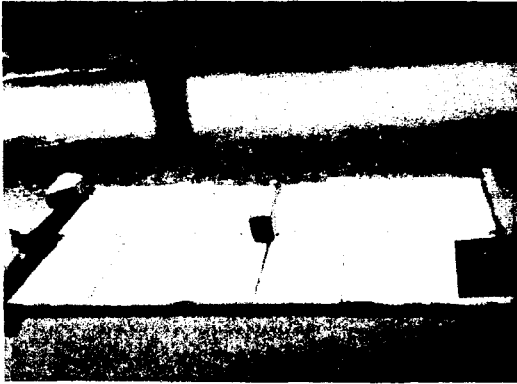


그림 3.3 내후성시험

토목섬유의 내후성 실험(Outdoor Exposure Resistance Test)은 토목섬유가 흠 속에 묻혀 있지 않고 노출되어 있는 경우에 대한 인장강도 특성 변화정도를 평가하기 위한 실험이다. 내후성은 태양광선, 바람, 강우 등의 대기중 노출영향에 대한 내구성을 의미하는 것으로 아직까지 합리적인 시험방법이 규격화되어 있지 않다. 그래서 내후성 실험을 위하여 건물옥상에 토목섬유를 방치시키고 자외선, 비, 바람 등의 자연 조건에서 방치하여 시간경과에 따라 시료를 채취하여 인장강도 시험을 실시하고 원시료의

인장강도와 비교하여 시간경과에 따른 인장강도의 감소율을 측정할 수 있다.

보통 PP(Polypropylene)는 PET(Polyester)에 비하여 내후성 시험에 의한 강도감소가 크다. 특히 자외선의 영향을 많이 받기 때문에 백의 재료로 PP를 선정했을 때는 자외선 안정처리가 필수적이다.

3.3 내화학성 시험

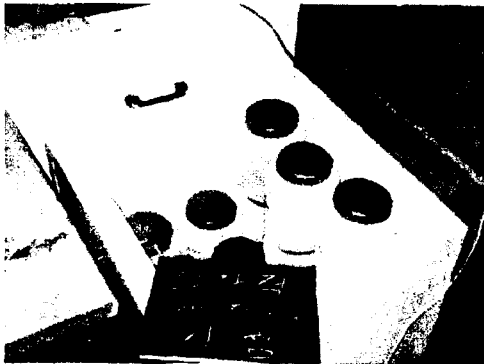


그림 3.4 내화학성 시험

내화학성시험(Cheical Resistance Test)은 현장에 포설된 토목섬유 시료가 주위의 화학적 환경과 접촉되었을 때 토목섬유가 손상되는 정도 및 인장특성의 변화정도를 평가하기 위해 수행한다. 시험방법은 토목섬유 시료를 화학용액 속에 각각 1, 2, 3, 4개월 동안 침지 시킨 후 채취하여 인장강도시험을 수행하여 원 시료의 인장강도와 비교한다. 시험 시 사용하는 화학용액은 현장여건을 고려하여 결정하며, 그렇지 않은 경우는 표준화학용액을 참조하여 결정한다.

3.4 유효구멍크기(EOS, Effective Opening Size) 시험 (ISO 12956)

필터로서의 주된 성능은 흡입자의 보유성과 동시에 물에 대한 투과성이고, 이런 성능을 좌우하는 인자는 토목섬유의 구멍(Opening)이나 Pore의 크기분포이다. 토목섬유는 이용되는 곳의 흠의 입도 분포에 따라서 분리, 여과 및 배수기능을 고려하여 적합한 구멍크기를 가져야 하고 산출 방법은 입경 또는 입경분포를 미리 알고 있는 유리구슬 또는 흠 입자를 이용하여 체분석을 통해 얻어진 분포곡선으로 토목섬유의 구멍크기를 추정하고 그 값을 유효구멍 크기(Effective Opening Size)로 나타낸다. 본 연구에서는 유효구멍크기 실험이 건식과 습식 두 가지가 있으나 건식은 부정확한 결과가 도출되는 경우가 많으므로 습식을 사용한다.

3.5 Creep성 시험 (ASTM D 5262)



그림 3.5 크리프시험

크리프 시험(Unconfined Tension Creep Test)은 일정한 온도조건에서 지속적인 인장하중이 작용할 때 토목섬유의 불구속 인장 크리프거동을 평가하여, 장기 설계인장강도 산정 시 고려되는 크리프에 의한 인장강도 감소계수를 결정하기 위해 수행한다. 표준 시험방법은 크리프시험기에 장착되어 있는 상부 클램프와 하중 재하장치가 붙어 있는 하부 클램프 사이에 토목섬유 시료를 설치하고, 시료 중심부 10cm에 인장변형 측정치한 후 하중을 재하하여 시간경과에 따른 인장변형을 측정한다.

3.6 투수성 시험

3.6.1 수직투수성 시험방법 (ASTM D 5493)

시험의 목적은 지오텍스타일의 수직투수능력을 측정하는 것이며, Darcy법칙을 사용한 투수계수(k-value)가 보편적으로 사용되었다. 그러나 이 방식은 시료의 두께에 의해서 투수계수가 좌우된다. 다음 시험방법은 시료의 두께에 의해서 영향을 받지 않는 대표적인 지오텍스타일의 수직투수계수 측정 방법이다.

1. 압축하중이 적용되지 않는 지오텍스타일의 수직투수성 측정
 - 정수두법: 수두차를 일정수위로 유지시키고 단위시간당 단위면적을 통과한 물의 량
 - 변수두법: 시간에 따른 수두의 변화를 측정하여 수직투수성을 계산하는 방법
2. 압축하중이 가해진 상태에서의 지오텍스타일의 수직투수성 측정

압축하중이 증가함에 따라서 두께가 감소되고 수직투수성이 변한다.
ASTM D 5493-93 압축하중이 가해진 상태에서 정수두 방식으로 수직투수성을 측정한다.

3.6.2 수평투수성 시험방법 (ASTM D 4716)

규정된 동수경사(Hydraulic Gradient)와 수직용력 하에서 규정시간동안 시험편을 통과하는 물의 양을 측정하여 계산한다.

압축하중의 범위는 10kpa에서부터 약 350kpa 정도까지 적용한다.

동수경사(i: 물이 흐르는 거리에 대한 수두차) 적용은 현장조건에서 가깝게 적용되며 일반적으로 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 등이 적용된다.

4. 인장강도의 검토

4.1 철도하중의 검토

철도 동하중 재하시 작용 하중에 따른 적정 토목섬유 컨테이너의 인장강도를 결정한다. 철도의 차륜으로부터 침묵에 전달되는 하중의 전달 매커니즘을 고려하기 위해 일본에서 사용되는 경험적인 방법(RTRI, 1996)을 이용하였다. 다음 그림 3.1.은 철도궤도의 개략적 평면도이다.

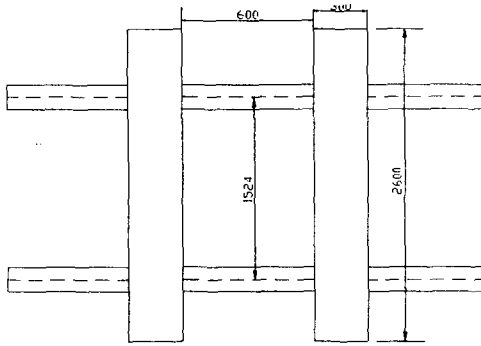


그림 4.1 철도 궤도의 평면도

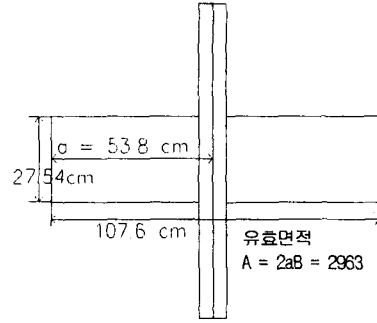


그림 4.2 침목에 작용하는 유효하중면적

열차속도를 $V = 200 \text{ km/hr}$, 정적 유효하중을 $P_w = 11 \text{ tf}$ 로 하면, 동적 등가유효하중 $P'_w = 22.9 \text{ tf}$ 이다. 이 열차의 유효하중은 인접한 침목에 40 ~ 60% 정도가 전달된다. 안전측으로 설계하기 위하여, 등가 동하중이 인접한 침목에 전달되는 하중을 $0.6P'_w$ 라고 하면 실제 현장에서 침목에 작용하는 반복 동하중의 최대값 $q_{d(\max)}$ 는 다음과 같다.

$$q_{d(\max)} = 0.6 \frac{P'_w}{A} = \frac{(0.6)(22.9)}{(2963 \times 10^{-4})} \approx 4.64 \text{ t}$$

$q_{d(\max)}$ 가 25cm의 balast층을 통하여 지오텍스타일 백의 상부에 작용하는 하중으로 환산하면 다음과 같다.

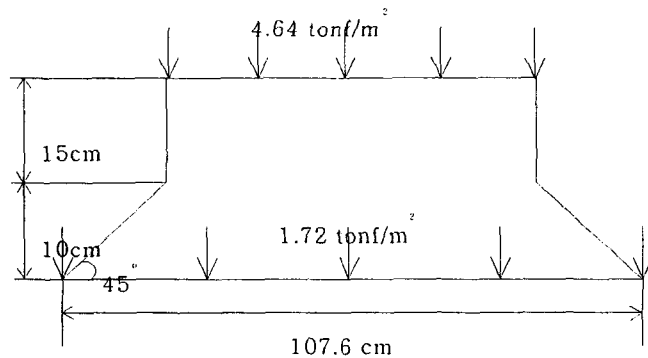


그림 4.3 지오텍스타일 백 상부의 하중분포

4.2 프로그램을 이용한 지오텍스타일 백의 필요강도의 결정

이 프로그램을 이용한 해석에서 토목섬유의 인장강도는 약 2 t/m 가 예상된다. 그러나 이 프로그램에는 내화학성 및 내생물학적 실험의 안전율을 고려하지 않았으므로 각각의 안전율 1.1, 1.1을 고려하여 계산하면, $2 \text{ t/m} \times 1.1 \times 1.1 = 2.42 \text{ t/m}$

그러므로, 안전율을 고려한 필요 인장강도는 2.5 t/m 정도가 적당하다.

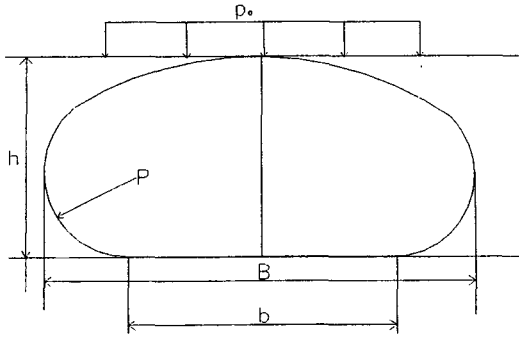


그림 4.4 토목섬유 백의 인장력 산정

표 4.1 프로그램에 사용된 감소계수

프로그램에 이용한 감소계수	
시공시 손상에 의한 감소계수	1.3
내후성에 따른 감소계수	1.5
크리프에 의한 감소계수	1.7
길이방향 봉합에 의한 감소계수	1.7
직각방향 봉합에 의한 감소계수	1.7

5. 결론

본 논문에서는 유실된 철도노반의 긴급보수를 목적으로 지오텍스타일 백을 이용함에 있어 장기인장강도를 설계하고 그에 적합한 지오텍스타일의 종류와 강도 등을 결정하여 선정된 지오텍스타일의 재료특성을 분석하는 방법을 제시하였다.

1. 국내에서 생산되고 있는 지오텍스타일의 검토결과, 배수가 용이하고 신율이 크지 않으며, 채움재의 유실량이 적으며, 작업효율이 좋고 경제성이 있는 재료는 PP(Polypropylene) 직포로 나타났다.
2. 설계 철도하중에 의해 지오텍스타일 백의 상부에 작용하는 하중은 1.72 ton/m^2 로 나타났다.
3. 프로그램을 이용하여 강도 감소계수를 고려한 지오텍스타일 백의 소요 강도는 약 2.5 tonf/m 로 나타났다.
4. 현재 흔히 쓰이고 있는 포대의 인장강도 시험 결과, 철도노반 보수를 위한 지오텍스타일 백의 용도로는 부적합하며, 선정된 PP(Polypropylene)의 결과는 토목섬유 백의 설계 인장강도 2.5 tonf/m 를 만족함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김두환(1999), "지오그리드로 보강한 철도노반의 반복하중에 대한거동", 석사학위논문, 인천대학교.
2. 이규진(2001), "반복하중 하에서 지오그리드로 보강된 연약지반상 얇은기초의 거동", 박사학위논문, 충북대학교.
3. 한국지반공학회(1998), 지반공학시리즈 9 "토목섬유", 구미서관.
4. Coenraad Esveld(2001), "Modern Railway Track" 2nd edition, MRT-Production.
5. ASTM(1999), "Annual Book of ASTM Standards", ASTM.
6. Ernest T. Selig and John M. Waters,(1994), "Track Geotechnology and Substructure Management", Thomas Telford.
7. Krystian W. Pilarczyk(2000), "Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering", Vol. 1, A.A.Balkema.