

페타이어를 이용한 토류구조물에 관하여

김 홍 택*

1. 개 요

자동차 산업의 급속한 발전으로 페타이어(waste tyres)의 양은 매년 늘어나고 있으며 이의 처리 또한 심각한 환경문제로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 토목공사에 이를 일부 활용하는 방안으로, 영국 및 미국에서는 페타이어를 옹벽이나 가파른 사면에 적용하는 방법을 개발하여 시행하였다.

타이어 옹벽(tyre retaining wall)은 미관상의 문제점이 있긴 하나 페타이어를 이용함으로써 공사비를 절감시킬 수 있고, 기초지반이 연약한 경우에도 설치가 가능하며 또한 시공이 간편하여 공기를 크게 단축시킬 수 있는 잇점이 있다. 이외에도, 고강도 강재(high tensile steel) 및 다양한 공업섬유(fabrics)를 포함한 페타이어는 재질의 내구성이 우수하여 관련 구조물의 수명이 거의 반영구적인 것으로(대략적으로 100년 이상) 평가되고 있다. 본 고에서는, 영국 Bradford 부근의 자동차 전용도로 사면의 보강으로 페타이어를 이용한 시공사례³⁾ 및 미국 캘리포니아 Plumas 지역의 삼림도로 주변을 페타이어를 이용해 보강한 예¹⁾를 각각 소개하고자 한다.

2. Case 1³⁾

2.1 현장상황

영국 Bradford 부근의 M62와 M606 자동차

전용도로 교차 지점의 서쪽 출구에 위치한 15m 높이의 도로사면에서 활동(slip)이 발생하였다. 활동이 발생한 직후 교차 지점의 서쪽 출구에 직접적인 이상은 없었으나, 안전을 위해 위험표지판을 설치해 두었다. 활동이 발생한 도로사면의 아래쪽에는 염색공장이 인접하여 있었으며, 급한 쪽의 사면경사는 대략적으로 1V : 1.4H 정도 이었다(그림 1 및 2 참조).

활동이 발생한 도로사면 상부쪽의 가장자리(top edge)는 나무를 심기 위해 파놓은 구덩이를 가로 지르고 있었는데, 구덩이는 겨울동안 그대로 방치된 상태로 있었으며 따라서 지표수가 구덩이를 통해 도로사면 내부로 쉽게 침투했을 것으로 판단되었다.

2.2 분 석

현장에서 채취한 시료로부터 측정된 토질정

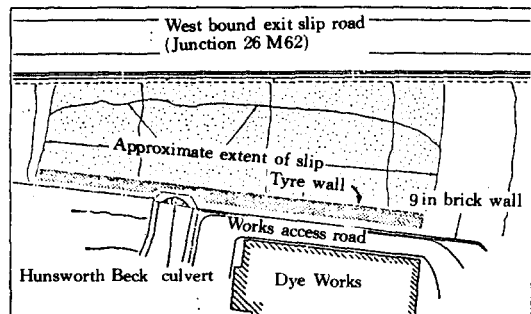


그림 1. M62 도로사면의 개요

* 정희원, 홍익대학교 공과대학 토목공학과 조교수

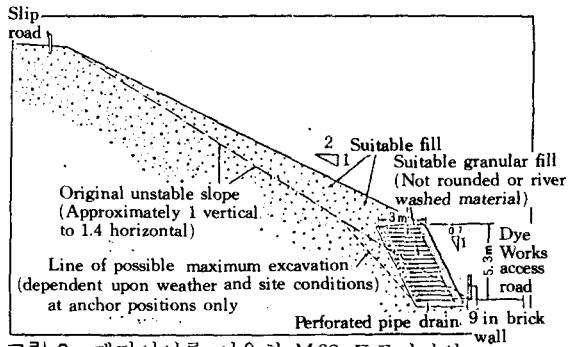


그림 2. 페타이어를 이용한 M62 도로사면의 보수 계획

수 및 마찰원법을 토대로 사면안정해석을 한 결과 간극수압을 고려하지 않았을 경우에 안전율이 1.08이었다. 그러나, 간극수압을 고려했을 경우에는 안전율이 0.97로 계산되었으며 또한 지속적인 활동이 일어날 것으로 판단되어, 이에 대한 장기적인 안정대책이 요구되었다.

2.3 보수대책의 검토

적절한 안전율을 확보하기 위해서는 활동이 일어난 도로사면 기하학적 형상의 변동이 불가피 하였으며, 또한 사면의 선단(toe) 부분에 인접한 염색공장을 고려할 때 옹벽 등의 벽체 또는 가파른 제방을 설치하여 도로사면의 경사를 IV: 2H 정도로 유지하는 보수 대책이 적절할 것으로 판단되었다(그림 2참조). 그러나, 사면 선단에 옹벽을 설치할 경우 기초지반이 연약하여 말뚝으로 보강해야 하는 문제점이 예상되었으며 또한 공사비용이 고가인 점도 문제점으로 지적되어, gabion⁴⁾ 또는 페타이어를 이용하는 방안이 적극 검토되었다. 대략적인 검토 결과, 페타이어를 이용하는 경우가 gabion의 경우보다 £10,000정도 공사비의 절감 효과가 예상되었다.

2.4 설계 및 시공

사면의 선단에 시공된 타이어 옹벽의 설계는 CP2 규정³⁾에 따라 이루어졌으며, 전면타이어(face tyre)와 연결된 벨트(belt)를 통해 앵커

타이어(anchor tyre)로 전달되는 하중을 토대로 토압에 지탱하는 일종의 multi-anchor 형태의 구조물이다. 참고적으로 multi-anchor 구조물의 특징을 간략히 기술하면²⁾, 보강띠(reinforcing strip)와 사질토 뒤채움의 마찰에 의해 주된 저항력이 발휘되는 일반적인 보강토 옹벽의 경우와는 달리, 보강재의 재질 및 형상에 크게 제한을 받지 않으며 또한 점성(cohesive)이 있는 기존의 흙을 뒤채움 재료로 활용할 수 있는 장점도 지니고 있다. 여기서, 전면타이어, 벨트로 연결된 앵커타이어 및 뒤채움 재료로 구성된 타이어 옹벽은 일종의 중력식 옹벽으로 거동하게 된다.

앵커는 인발(pull-out) 또는 파단(fracture)에 저항할 수 있도록 설계가 이루어졌으며, 또한 도로사면 전체에 대한 외적안정 및 타이어 옹벽 자체의 내적안정은 multi-anchor 구조물의 안정해석법²⁾을 토대로 충분한 검토가 이루어졌다(그림 3 참조). 도로사면의 선단에 설치된 타이어 옹벽의 단면은 그림 4와 같으며, 시공 과정을 개략적으로 기술하면 아래와 같다.

- ① 원지반에서 1m 정도 아래쪽으로 굴착하여 전면타이어 및 앵커타이어를 설치하였다.
- ② 동시에 배수 파이프(perforated pipe drain)를 설치하였다.
- ③ 활동이 발생하기 이전에 기 존재하던 벽돌담은 제거하지 않았다.
- ④ 벨트를 이용해 전면타이어와 앵커타이어를 서로 단단히 연결하였다(엮은 형태는 그림 4 참조).
- ⑤ 여기서 뒤채움 재료를 쉽게 포설하고 또한 예상되는 타이어 벽체의 침하를 줄이기 위해 전면타이어의 경우는 한쪽면을 잘라내었다.
- ⑥ 타이어 설치 및 뒤채움 재료의 연속적인 포설이 이루어졌으며, 각 층을 tandem vibrating roller를 이용해 다졌다.
- ⑦ 2주에 걸쳐 높이 5.3m 길이 70m 정도의 타이어 옹벽을 포함한 도로사면 보수공사가

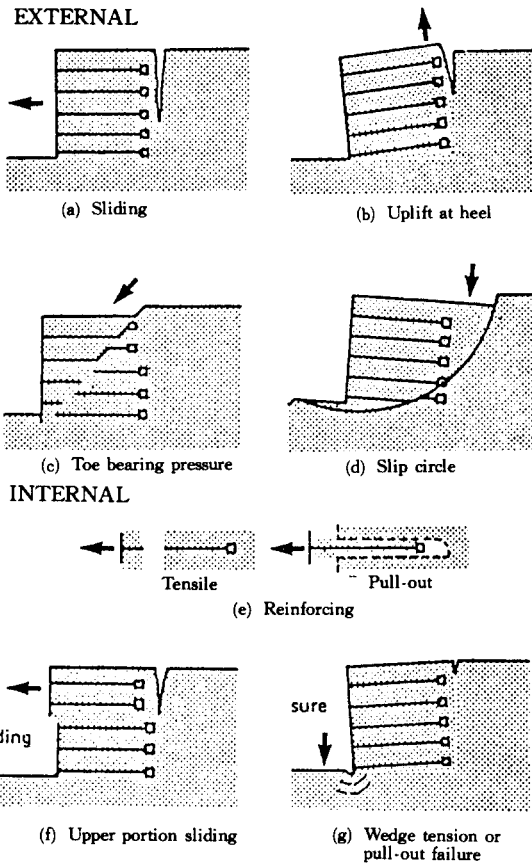


그림 3. multi-anchor 구조물의 내적안정과 외적안정

표 1 Costs of tyre wall on the M62

	£	Cost / vertical area of face £ / m ²
Materials		
Paraweb belting	293	0.83
Cut tyres (see notes below)	720	2.06
Drainage pipes and stone	300	0.86
Fill material-used for filling tyres and as backfill to the wall	9,471	27.06
Labour	3,349	9.57
Plant and haulage	3,169	9.05
Totals	17,302	49.43

Note: The following costs associated with the project are not included in the above table: embankment reinstatement above the tyre wall, replacing street furniture, temporary signing, etc.

The tyres were obtained free. The £ 720 was paid for cutting out the side walls.

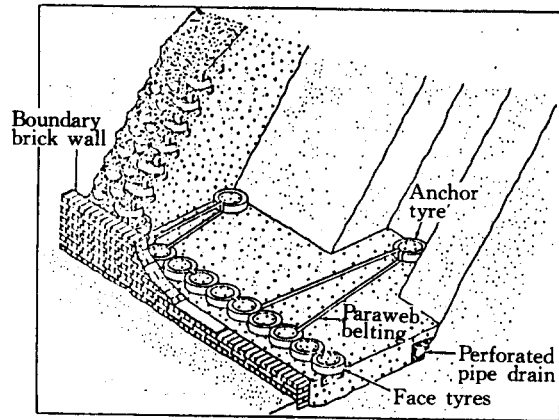


그림 4. type-anchored wall

완료되었으며, 뒤채움 재료는 직경 40mm 이하(타이어 용벽) 또는 직경 150mm 이하(타이어 용벽 뒷쪽의 도로사면)의 쇄석 (crusher-run material)을 사용하였다. 시공완료 직후 타이어 용벽을 포함한 도로사면의 전체 표면에 흙을 뿌렸으며 장차의 표면 보호 등을 목적으로 씨앗을 파종하였다.

2.5 공사비

위에서 기술한 도로사면의 보수에 소요된 공

사비의 내역은 표 1에 명시되어 있으며, 만약에 뒤채움 재료의 구입 및 운반 비용을 포함하지 않을 경우 대략적인 공사비는 £25/m² 정도로서 일반 옹벽을 시공하는 경우에 비해 대략적으로 75% 정도의 절감 효과가 예상되었다.

3. Case 2¹⁾

Case 1에서 기술한 multi-anchor 형태의 페타이어 옹벽과는 다소 다르지만, 미국 캘리포니아 Plumas 지역에서도 삼림도로 주변을 페타이어 및 지오텍스타일(slit-film woven geotextile)을 이용해 보강한 예가 있어 이를 간략히 기술하고자 한다. 개략적인 형태는 그림 5에 표시되어 있으며(tire-faced wall), 페타이어를 쌓아올린 높이는 10ft. 정도이었고 지오텍스타일로 이루어진 보강띠의 수직방향 설치간격은 15in.로 하여 시공이 이루어졌다. 벽체 전면의 경사는 4V: 1H 정도가 요구되었으며, 또한 타이어 자체의 구멍이나 타이어 사이의 틈으로 뒤채움 재료가 흘러 내리는 것을 방지하는 형태로 타이어의 설치가 이루어졌다. 뒤채움 재료를 다

지는 과정에서 타이어의 움직임은 거의 없었으며, 시공 완료후 2년 뒤에 측정된 최상단 타이어의 침하량은 1ft.(전체 높이의 10%) 미만이었으며, 삼림도로 표면의 변형은 전혀 없었다. 아울러, 미국에서 삼림도로 주변에 주로 이용되는 여러 종류의 토류구조물에 관해, 시공높이, 공

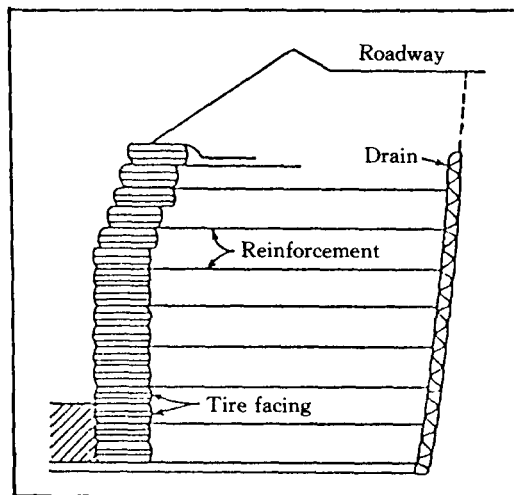


표 2 Alternative earth-retaining structures

Type of structure	Height (ft)	Cost (dollars per sq ft)	Advantages / disadvantages
Reinforced fills	15-50	4-12	Slope typically 1H: 1V, 1/2H:1V slope with extra measures
Tire-faced walls	10	12-17	Inexpensive, moderate face settlement, visually questionable
Timber-faced walls	18	14-19	Best wall considering cost, durable and attractive, easy to construct
Geotextile walls	10-20	15-25	Minimum material cost, good temporary structures, irregular and nondurable face
Lightweight walls	28	15-20	Special geotextile walls suited for landslide terrain, moderate settlement with sawdust
Chain link fencing	22	20-25	Similar to welded wire walls, requires a custom design, accommodates face settlement
Welded wire walls	6-30	20-29	Most common Forest Service wall, good construction support from manufacturing, standard designs available

사비 및 장단점 등을 서로 비교한 자료는 표 2에 명시되어 있다.

4. 결 론

타이어의 횡방향 움직임 또는 장기적인 침하 등을 억제할 수 있는 적절한 시공방법의 개발, 또한 지하수 및 침투수의 영향 등을 포함한 명확한 안정해석법의 제시가 이루어진다면, 본 고에서 기술된 시공사례의 여러가지 장점을 감안할 때 페타이어를 이용하는 토류구조물 공법의

폭 넓은 활동이 기대된다.

참고문헌

1. Civil Engineering Magazine(1990), 'Retaining Forest Roads'.
2. Dalton, D. C.(1980), "Reinforced Earth versus Multi-Anchor Structures", Ground Engineering.
3. Dalton, D. C.(1982), "Tyre Retaining Wall on the M62", Ground Engineering.
4. Failures in Earthworks(1985), Thomas Telford Ltd., London.