

팩드레인 공법에서 다양한 토목섬유 포대의 시공성 연구

A Study on the Applicability of Various Types of Geotextile Packs to the Pack Drain Method

정문경¹⁾, Moonkyung Chung, 조삼덕²⁾, Sam-Deok Cho, 이시한³⁾, Si-Han Lee, 고재만⁴⁾, Jae-Man Koh

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher, Geotech. Engr. Div., KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 수석연구원, Research Fellow, Geotech. Engr. Div., KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geotech. Engr. Div., KICT

⁴⁾ (주)대동기술연구소 토목연구팀 수석연구원, Chief Manager, Institute of Construction Technology, Deadong Construction Co. Ltd.

개요(SYNOPSIS) : Various types of woven and non-woven geotextile packs were made and their applicability to the pack drain method was evaluated through a field test. Various drain materials used include sand, tire chips, bottom ash, and rock powder. In installation of vertical drain columns, the conventional pack drain method and a modified pack drain method were used and their performance was evaluated with respect to the combinations of the packs and the drain materials. The performance of the two woven packs tested was found to be satisfactory with respect to the drain materials and the installation methods used. The non-woven packs underwent an excessive contraction in the pack diameter during filling the pack. The comparison between the conventional pack drain method and the modified drain method needs a more rigorous investigation in the future to draw a solid conclusion on their performance.

주요어(Key Words) : 팩드레인 공법, 수정 팩드레인 공법, 포대, 저회, 쇠석잔사, 페타이어

1. 서론

팩드레인 공법(pack drain method)은 국내에서 널리 사용되는 연약지반 압밀축진 배수 공법의 하나로, 일정 간격으로 압축성 점토지반에 수직 방향으로 설치된 토목섬유 포대속에 모래를 충전하므로써 점토내 간극수의 이동 거리를 줄여 배수를 촉진시키는 방법이다. 팩드레인 공법은 통상 직경이 약 0.12 m~0.13m인 4분 1조의 케이싱을 지반에 관입하고, 관형태의 토목섬유(goesynthetics) 포대를 케이싱내 설치한 후, 모래로 속채움하고 케이싱을 인발함으로써 배수기둥을 형성하는 것이다. 국내 팩드레인 공법에서는 포대 양쪽 부분을 종방향으로 열융합한 망포형 포대를 대부분 사용한다. 이것은 망포가 케이싱내 설치되었을 때 망포의 비틀림을 최소화할 수 있는 방안으로 이용되어 왔다. 토목섬유 포대의 주역할은 점토의 압밀과정에서 배수기둥에 종,횡 방향의 변형이 발생하였을 때, 배수기둥의 연속성을 유지하도록 하는 것이다.

팩드레인 공법은 당초 일본 치오다(千代田)사가 1960년대 말 개발하여 현재까지 포대 재료 및 직경, 케이싱의 크기, 케이싱 인발시 압출공기압 등에 변화가 있어왔다. 국내에서는 1990년대 초 팩드레인 공법이 도입된 후 연약지반개량공법으로서 많은 시공 실적이 축적되고 있다. 팩드레인 공법에 의한 배수기둥의 현장 품질 평가를 위해서 통상 시공이 끝난 배수기둥의 상부 끝부분을 수평배수층 표면으로부터

일정 길이만큼 돌출시킨다. 지표위 돌출길이가 과다하거나 혹은 배수기둥이 지반에 함몰되어 지표면위로 나타나지 않은 경우를 불량시공으로 규정한다. 불량시공은 망포 속채움시의 시공부주의, 불량포대의 사용, 포대의 비틀림, 케이싱 인발시 적절한 운전 실패 등 여러 가지 원인에 의해 발생할 수 있다(정문경 등 1996, 고재만 1996). 최근 팩드레인 공법에서 케이싱내 포대의 비틀림 혹은 꼬임을 방지함으로써 배수기둥의 시공성을 향상시킬 수 있는 방안이 국내에서 개발되었다. 이 방법은 기존 팩드레인 공법의 개량형태로서 케이싱 안벽에 용접으로 설치된 환봉의 걸림턱과 케이싱내 포대의 자유낙하를 돕기 위한 추역할을 하는 특수 고안된 안내판의 사용을 근간으로 한다.

2. 현장 시험 연구

2.1 직포 및 부직포 포대

본 연구에서는 폴리에틸렌(polyethylene, PE)을 원자재로한 망포 1종과 폴리에스터(polyester, PET)를 원자재로한 직포 1종 및 부직포 2종의 포대를 서울에 소재한 (주)세립지오테크로부터 주문, 제작하였다. 이상 네 종류 포대의 물리적 특성은 표 1에 나타난 바와 같다. 사용된 망포 포대의 직경은 126 mm이고 망포 종방향으로 한 쪽에 20 mm 두께로 양방향 열융합하였다. 직포 포대(GT1000)는 직경 126 mm와 132 mm 두 종류를 사용하였으며 포대의 종방향으로 한 쪽 부분만 폭 20 mm를 실로 봉합하였다. 표 1에 보이듯이 물성이 다른 두 종류의 부직포(GT150과 GT200)로 포대를 제작하였으며 각 종류별로 직경 126 mm와 132 mm의 두 종류를 만들었고, 포대 종방향을 따라 한 쪽 부분만 20 mm두께로 열융합하였다. 현장실험에서 모든 포대는 26.2 m 길이로 절단되었는데, 이는 지반에 관입되는 배수기둥의 설계 길이 25 m와 지표위 돌출부위 그리고 포대 하단에 모래를 조금 넣어 추로 만들때의 손실부분 1.2 m를 고려하였기 때문이다.

표 1. 시험에 사용된 포대의 재료별 물성표(세립지오테크 1996)

포대종류	항 목	값	포대종류	항 목	값
망 포	원재료	폴리에틸렌	직포 (GT1000)	원재료	폴리에스터
	밀도	880 본/m		인장강도	98.1kN/m (254kg/in)
	종방향인장강도	22.6 kN/m (115 kg/5cm)		인장신도	18 (10~30) %
	횡방향인장강도	17.7 kN/m (90 kg/5cm)		봉합강도	98.1kN/m (254kg/in)
			비중	1.1	
			중량	2.9N/m ² (300g/m ²)	
부직포1 (G150)	원재료	폴리에스터	부직포2 (G200)	원재료	폴리에스터
	인장강도	15.1 kN/m (39 kg/in)		인장강도	19.7 kN/m (51 kg/in)
	인장신도	80 (60-100) %		인장신도	80 (60-100) %
	중량	1.5 N/m ² (150 g/m ²)		중량	2.0 N/m ² (200 g/m ²)
	투수계수	$\alpha \times 10^{-5}$ m/s ($\alpha=1\sim9$)		투수계수	$\alpha \times 10^{-5}$ m/s ($\alpha=1\sim9$)
	인열강도	98.1 N (10 kg)		인열강도	147.2 N (15 kg)
봉합강도	382.6 N(39 kg)	봉합강도	500.3 N (51 kg)		

2.2 수직배수재

최근 산업폐기물을 재활용하여 경제적이며 시공 품질이 양호한 건설재료를 개발하는 노력이 국내외에서 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 기존의 모래 외에 페타이어 조각, 유연탄 연소 저회, 쇠석잔사(일명 석분) 등을 수직배수재로 사용하였다. 사용된 페타이어 조각은 경남 함안군 소재 우일산업으로부터 구입한 것으로 균질한 크기로 주문 제작하였다. 사용된 페타이어 조각은 비중이 2.6, 최대건조밀도가 0.6 g/cm³이며, 크기는 75 %가 직경 2.8 mm부터 2.0 mm사이에 있고 약 23 %가 직경 2.0 mm에서 1.4

mm사이 에 분포한다. 페타이어의 지반공학적 특성은 한국건설기술연구원(1995)에 나타나 있다. 사용된 저회(bottom ash)는 대구 염색공단 열병합 발전소에서 유연탄을 연소하여 발생한 부산물로서, 경상북도 경산시 소재 반송 및 수송 업체인 삼주산업으로부터 구입하였다. 사용된 저회는 비중 2.36, 최대건조밀도 1.51 g/cm³, 최대 입경이 10 mm이며 통일분류법에 의해 SW로 분류된다. 사용된 저회의 기타 물리, 역학적 특성은 박영목 등(1996)에 기술되어 있다. 사용된 쇄석 잔사는 최대직경이 10 mm이고 통일분류법으로 SP로 분류된다.

2.3 수직배수기둥 시공

수직배수기둥의 시공은 전술한 포대와 수직배수재의 조합에 대하여 팩드레인 공법의 수정공법과 기존 공법 두 가지로 시공하였다. 여기서 수정공법은 서론에서 언급한 바와 같이 케이싱 내벽에 종방향으로 용접되어 있는 직경 9 mm의 환봉형 걸림턱과 안내판을 사용하며 내경 132 mm의 케이싱과 직경 126 mm의 포대를 사용하는 공법을 지칭한다. 수정공법에서 사용하는 걸림턱과 안내판은 그림 1에 나타나 있다. 포대의 하단 모래추는 안내판을 관통하여 연결되어 있고 포대가 케이싱내 설치되어 속채움을 하는 동안 안내판의 회전이 걸림턱으로 인해 제한된다. 따라서 포대의 회전 및 비틀림이 방지됨으로써 직항성을 유지하여 배수기둥의 높은 완성도가 기대된다. 기존공법이란 수정공법에서 사용한 동일한 케이싱을 사용하나 안내판을 사용하지 않은 경우를 말한다. 여기서 본 논문에서 정의한 기존 공법과 국내에서 통상 시공되는 기존 팩드레인 공법과는 차이가 있음을 밝혀둘 필요가 있다. 현행 국내의 기존 팩드레인 공법에서는 포대에 담긴 수직배수기둥의 직경과 케이싱의 내경이 동일하나, 본 시험연구에서는 현장 장비 사정으로 수정공법에서 사용하는 케이싱을 기존 공법에도 적용하였으므로 환봉형 걸림턱이 케이싱 내벽에 존재하는 상태이다.

현장시험시공에서는 4 가지 배수재료, 4 가지 포대 종류, 2 가지 배수기둥 설치 방법에 따른 19 종류의 조합에 대하여 시공성을 평가하였고 조합 내용은 표 2에 정리되어 있다. 포대 제작의 시간적 여건으로 망포 포대는 직경 126 mm 규격만 사용하였고, 그 외 직포, 부직포1, 부직포 2는 직경 126 mm와 132 mm 두 종류를 제작하였으나 표 2에 나타나 있는 조합에 대해서만 현장시험시공을 실시하였다.



그림 1. 수정 팩드레인 공법에서 사용하는 케이싱의 걸림턱(케이싱 내벽에 용접되어 있는 환봉)과 비틀림 방지용 안내판

케이싱 인발시 작용하는 압출공기압으로는 채움재료에 따라 기존 팩드레인 공법에서 사용하는 약 687 kPa(=7 kg/cm²)~1177 kPa(=12 kg/cm²) 정도의 압력을 사용하였다.

표 2. 수직배수기둥 시험조건

시험 조건	공법	배수재	포대종류 (직경 mm)	공수	시험 조건	공법	배수재	포대종류 (직경 mm)	공수
1	수정공법	모래	망포 (126)	20	11	수정공법	쇄석잔사	직포 (126)	8
2	수정공법	모래	직포 (126)	16	12	기존공법	모래	망포 (126)	36
3	수정공법	모래	부직포1 (126)	4	13	기존공법	모래	직포 (132)	36
4	수정공법	모래	부직포2 (126)	4	14	기존공법	페타이어	망포 (126)	8
5	수정공법	페타이어	망포 (126)	8	15	기존공법	페타이어	직포 (132)	8
6	수정공법	페타이어	직포 (126)	4	16	기존공법	저회	망포 (126)	12
7	수정공법	페타이어	부직포1 (126)	4	17	기존공법	저회	직포 (132)	12
8	수정공법	저회	망포 (126)	12	18	기존공법	쇄석잔사	망포 (126)	12
9	수정공법	저회	직포 (126)	12	19	기존공법	쇄석잔사	직포 (132)	8
10	수정공법	쇄석잔사	망포 (126)	12					

3. 결과 및 분석

전술한 시험조건으로 부산광역시 명지지구 시험시공 현장에서 배수기둥을 설치한 후, 배수기둥의 지표위 돌출길지와 돌출부위의 충전성을 조사하였다. 지표면으로부터 25 m 깊이까지 배수기둥을 시공하였으므로 계산상의 돌출길지는 약 1 m이나, 서론에서 밝힌 시공상 여러 가지 영향요소들을 고려할 때 일반적으로 돌출길지는 0.5 m에서 2 m가 될 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 이 범주의 돌출길지를 정상시공이라 지칭한다. 돌출길지에 따른 정상시공률은 표 3에 요약되어 있다. 배수재의 충전성은 건조단 위밀도로 표시하여 각 수직배수 재료별 충전성의 범위를 밝혔다.

표 3. 돌출길이에 따른 정상시공률

시험조건	공 수	정상시공률 (%)	시험조건	공 수	정상시공률 (%)
1	20	100.0	12	36	91.7
2	16	75.0	13	36	61.1
5	8	75.0	14	8	87.5
6	4	50.0	15	8	87.5
8	12	83.3	16	12	75.0
9	12	91.7	17	12	91.7
10	12	75.0	18	12	91.7
11	8	87.5	19	8	87.5

비고: 정상시공이란 배수기둥의 지표 돌출길지가 0.5 m에서 2.0m사이에 속한 경우를 칭함.

부직포를 사용한 모든 경우에 정상시공률은 0 %.

3.1 모래

모래를 수직배수재로 사용한 시공결과는 그림 2, 3, 4, 5에 나타나 있다. 그림에서 돌출길지가 0 cm이하의 경우는 크기에 관계없이 함몰되었음을 말한다. 수정공법과 망포의 시험조건 1에서는 시행 공수 모두가 정상시공되었고 기존공법과 망포의 시험조건 12에서는 약 92 %가 정상 시공되었다. 수정공법과 직포의 시험조건 2에서는 정상시공률이 75 %이고 기존공법과 직포의 시험조건 13에서는 61 %가 정상시공되었다. 모래를 배수재로 사용한 경우에는 채택한 시공법과 관계없이 망포가 직포보다 시공성이 뛰어났다.

모래와 부직포 포대를 사용하여 배수기등을 시공하였으나(시험조건 3, 4), 본 시험에서 사용한 부직포 포대는 팩드레인 공법에 부적절한 것으로 나타났다. 배수기등의 시공은 포대를 케이싱안에 설치하고 포대의 상단을 호퍼(hopper)에 연결된 관 하단에 고정시키는 작업과 포대의 속채움 과정으로 이루어져 있다. 부직포 포대의 경우 속채움 과정에서 그림 6에서 보이듯이 포대 상단부의 직경이 좁아짐으로써 배수재의 충전이 어렵게 되고 결과적으로 포대 속채움의 시간이 길어진다. 부직포를 사용한 시험(시험조건 3, 4)에서는 케이싱을 인발하였을 때 모든 배수기등이 함몰되었다. 포대 직경의 축소현상은 모래가 충전됨에 따라 ① 포대에 인장응력이 가해지고 ② 시험조건에서 처럼 케이싱 내벽과 포대 주면 사이의 6 mm의 공간으로 포대가 횡적으로 팽창하였기 때문이다. 응력에 대한 변형율이 망포와 직포에 비해 상대적으로 큰 부직포의 특성 때문이다. 모래로 이루어진 수직배수기등의 건조밀도는 1.0 g/cm³에서 1.6g/cm³ 사이에 속한다.

본 시험시공에 사용한 직포와 부직포는 팩드레인용으로 개발된 것이 아니고 기존에 다른 용도로 적용되고 있는 두꺼운 재료를 그대로 사용하였고, 망포에 익숙해 있는 시공자들의 두꺼운 재료에 대한 포대 타설 및 압축공기압 조절기술 등의 적용미숙 등도 이들을 사용했을 때의 불량률이 높은 이유로 사료된다. 따라서 필터성이 우수한 직포와 부직포를 팩드레인 공법에 적용하기 위해서는 인장율이 작고 얇으며 경제적인 직포와 부직포의 개발연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 기타 수직배수재

시험조건 8, 9, 16, 17처럼 저회를 수직배수재로 사용한 경우 속채움의 시공성과 정상시공률은 모래와 유사하였다. 이 경우 수정공법이 기존공법보다 시공성이 약간 우수하게 나타났으나 그 차이는 크지 않다. 저회의 표준다짐시험법에 의한 최대건조밀도는 1.5 g/cm³인데(박영목 등 1996), 저회를 이용한 배수기등의 건조밀도는 0.9 g/cm³에서 1.0 g/cm³ 사이에 분포했다. 쇠석잔사를 이용한 시험은 시험조건 10, 11, 18, 19이다. 표 3에 나타난 바와 같이 비교적 높은 정상시공률을 보였다. 그러나 모래의 경우와는 상반되게 기존공법이 수정공법보다 직포가 망포보다 다소 높은 정상시공률을 나타냈다. 쇠석잔사의 건조밀도 범위는 1.4 g/cm³에서 1.8 g/cm³이었다.

페타이어 조각을 수직배수재로 사용한 시험은 시험조건 5, 6, 7, 14, 15에 해당한다. 페타이어 조각은 본 연구에서 사용된 수직배수재 중 가장 가벼운 재료임에도 불구하고 부직포 포대를 사용하였을 때(시험조건 7), 모래의 경우와 마찬가지로 부직포 포대의 신장으로 인한 포대의 상단부 축소 현상이 발생하여 페타이어 충전이 어려워지고 시공한 수직배수기등 모두가 함몰되었다. 페타이어 조각, 직포, 수정공법의 조합인 시험조건 6에서는 정상시공률이 50 %로 매우 낮았고 그 외의 시험조건 5, 14, 15에서는 정상시공률이 75 % 이상으로 비교적 양호한 시공성을 나타내었다. 수정공법에 의한 시공에서는 망포가 직포보다 시공성이 좋았고, 동일 포대 종류에 대해서는 기존공법이 수정공법보다 다소 우수한 시공성을 보였다. 페타이어 조각으로 시공한 수직배수기등 돌출부위의 건조밀도는 0.5 g/cm³에서 0.6 g/cm³ 사이에 분포했다.

그러나, 현재 적용되고 있는 기존 팩드레인 공법과 수정 팩드레인 공법은 모래를 대상으로 개발된 공법으로 보다 경량인 재료를 사용할 경우에는 속채움 진동시간과 압축공기압의 크기 등의 시공방법을 이러한 재료에 적합하도록 보완·조정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

직포와 부직포로 제작된 4종의 포대와 모래, 페타이어 조각, 저회, 쇠석잔사 등의 4종의 수직배수재를 이용하여 암밀축진을 위한 수직배수기등을 시공하였다. 배수기등 시공에는 기존 팩드레인 공법과 포대의 비틀림 방지 효과가 기대되는 수정 팩드레인 공법이 이용되었다. 포대, 수직배수재, 시공법의 종류에 따른 조합에 대하여 수직배수기등을 현장시공하고 시공성을 평가하였다.

(1) 저회와 쇠석잔사는 시공성의 측면에서 모래와 유사한 시공성을 보였으며, 모래 대체 재료로 기대된

다. 페타이어 조각은 재료의 경량성으로 불량시공의 비율이 상대적으로 높았다.

- (2) 망포와 직포의 시공성은 수직배수재와 시공법에 따라 일관되지 않은 결과가 나타났다. 모래와 페타이어 조각의 경우에는 망포가, 저회와 쇠석잔사의 경우에는 직포가 다소 정상시공률이 높았다. 모래와 저회는 수정공법이 기존공법보다, 페타이어와 쇠석잔사에서는 기존공법이 수정공법 보다 다소 시공성이 우수했으나 그 차이는 미약하다.
- (3) 부직포는 망포와 직포 대비 응력에 대한 변형율이 매우 커, 속채움과정에서 포대의 직경이 축소하는 현상이 발생하였으며, 그 결과 배수재 충전시간이 길어졌을 뿐만 아니라 시공된 모든 배수기둥은 지표면 아래로 함몰되었다.
- (4) 본 연구결과가 명확한 일관성이 다소 부족한 것은 팩드레인 공법에 작용하는 영향인자가 매우 많기 때문이나, 연구 수행 과정에서 시간과 조건별 시공수의 제약도 어느 정도 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 따라서 향후에 이와 같은 영향인자의 연구를 위한 추가적인 현장시험연구가 필요하다고 판단된다.

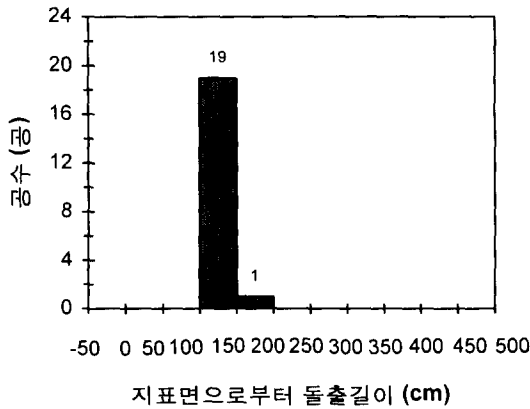


그림 2. 시험조건 1에 따른 시공성

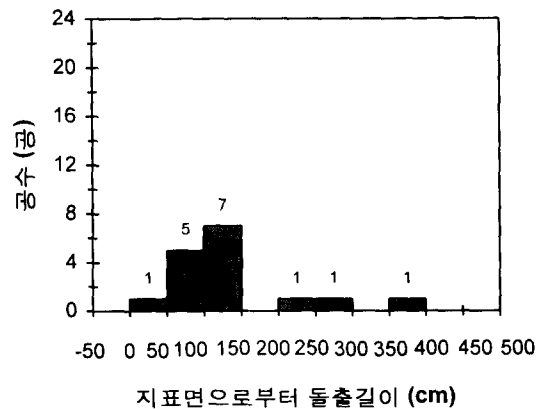


그림 3. 시험조건 2에 따른 시공성

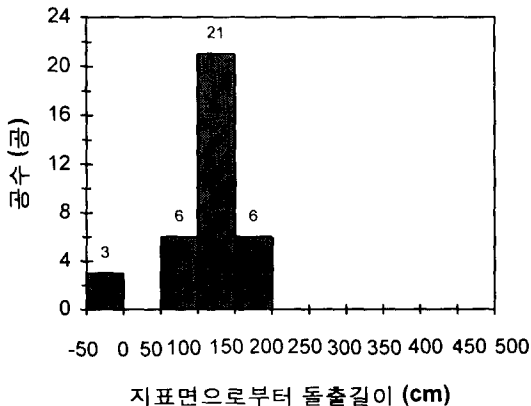


그림 4. 시험조건 12에 따른 시공성

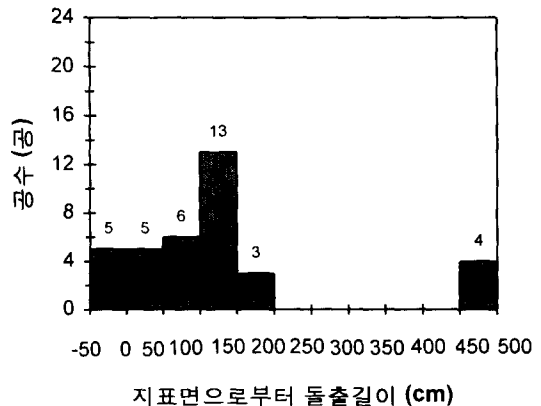


그림 5. 시험조건 13에 따른 시공성

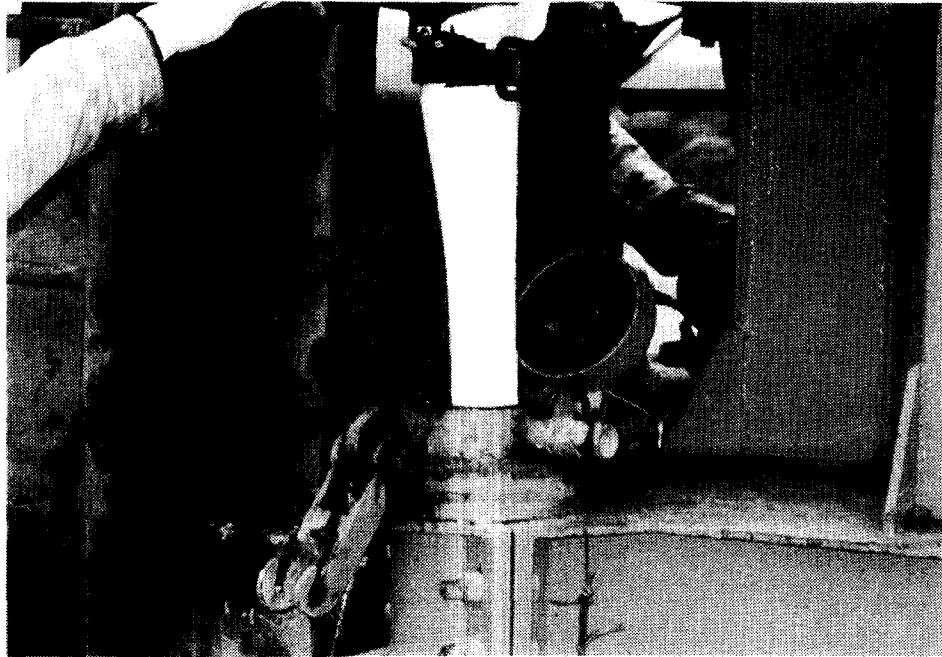


그림 6. 부직포 포대에 배수재로 속채움하는 장면

참고문헌

1. 정문경, 이성원, 우제윤 (1996), 연약지반 수직배수공법 효율개선에 관한 연구, 연구보고서 한국건설기술연구원, 서울.
2. 고재만 (1996), "PTC Drain 공법 소개", 양산 물금지구 현지 세미나 발표 및 공사현황 설명자료, 한국지반공학회, 서울, pp. 97-107.
3. 세립지오테크주식회사 (1996), 지오텍스타일 - 지오멤브레인, 지오신세틱, 책자형 홍보물, 세립지오테크주식회사, 서울.
4. 한국건설기술연구원 (1995), 폐타이어를 재활용한 건설재료 및 신공법 기술개발에 관한 연구, 1차년도 연차보고서, 한국자원재생공사, 서울.
5. 박영목, 우문정, 권혁문 (1996), 무연탄 연소재(크링커 형태)의 토목재료로서 활용 가능성에 관한 연구보고서, 대한토목학회 대구,경북지회.