

준설매립지반 표층건조처리를 위한 트렌치 굴착시 간극수의 침투해석 Analysis of seepage in trenching for surface desiccation of dredged soft ground

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 오인규²⁾, In-Kyu Oh, 이용길³⁾, Yong-Gil Lee, 이승원⁴⁾, Seung-Won Lee, 이영남⁵⁾, Young-Nam Lee

- 1) 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Dept. of Civil Eng., KICT
- 2) 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng., KICT
- 3) 현대건설 기술연구소 주임연구원, Assistant Senior Researcher, Dept. of Civil Eng., HICT
- 4) 현대건설 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Dept. of Civil Eng., HICT
- 5) 현대건설 기술연구소 소장, President, Hyundai Institute of Construction Technology

SYNOPSIS : The purpose of this paper is to present and discuss some of flow and drain observed in modelling results. Because dredged fill ground of Yul-Chon located in the south coast of Korea is very soft, this ground should be improved after operation of surface stabilization. There are surface stabilization method such as chemical stabilization, desiccation, horizontally vacuum drain, replacement, and geosynthetics. In Yul-Chon, PTM(Progressive Trenching Method) is adopted to provide the necessity condition of surface desiccation. In the case trench in the dredged soft ground is formed by PTM equipment, pore water in the ground is drained through trench. There, drain and desiccation of surface ground increase, and bearing capacity is improved.

In this research, when trench in the dredged soft ground is formed by PTM equipment, permeable characteristics and drain efficiency of pore-water are analyzed using SEEP/W software package. Results show variation of total head, pressure head, flux, hydraulic gradient, and flow quantity.

Key words : trench, dredged, PTM, drain

1. 서 론

남해안의 경우 준설매립지반은 초연약하여 표층처리를 실시한 후에 연약지반을 개량하여야 한다. 준설매립지반의 표층처리방법에는 고화처리, 건조처리, 수평진공, 보강재포설, 토사포설 등의 방법이 있다. 전남울촌 현장에서는 PTM(progressive trenching method) 장비를 이용하여 표층을 건조처리하는 공법이 시행되고 있다. PTM 장비를 이용하여 준설매립지반내에 트렌치를 형성하는 경우 준설매립지반내의 간극수는 트렌치내로 침투되어 유출되게 된다. 따라서 표층내 간극수의 유출 및 증발이 극대화되어 표층지반이 강화되게 된다.

본 연구에서는 SEEP/W 침투해석 프로그램을 이용하여 PTM 장비에 의하여 준설매립지반내에 트렌치를 형성하는 경우 간극수의 침투특성을 분석하였다. 본 침투해석에서는 트렌치 주변 간극수의 전수두, 압력수두, 플럭스, 동수경사, 유출량 등의 변화를 고찰하였다.

2 시험방법

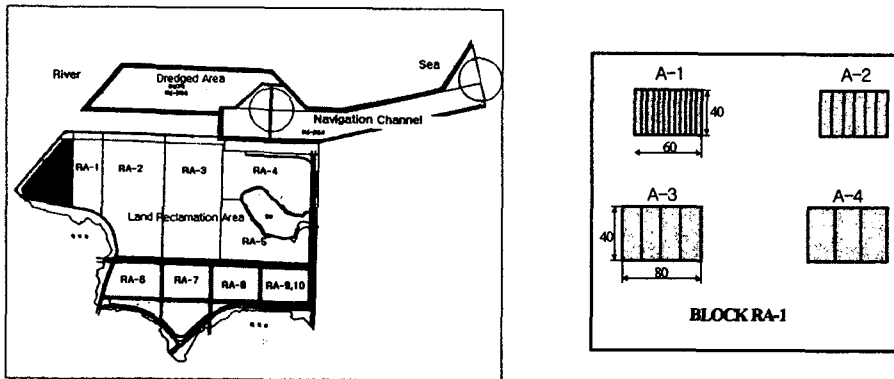
2.1 실험방법

대상 현장인 울촌 제1 지방산단 조성공사(이하 울촌 현장으로 표기)는 전라남도 순천시, 여천군 및 광양시 일원의 해면을 매립하여 약 9,000,000m²의 산업단지를 조성하는 현장으로 울촌산단 전면의 항로 준설시 발생하는 준설점토를 주 매립재료로 이용하여 부지를 조성하도록 계획되었다. 시험대상지역은 아래와 같다.

시험조건은 트렌치 간격을 달리하여 40×30m²인 A-1, A-2, A-3, A-4를 분할하여 표 1과 같은 시험조건으로 6개월간 현장시험을 수행하였다. 대상지반의 기본물성치는 표 2에 나타내었다. 트렌치 형성은 그림 2의 PTM트렌치 장비(Amfirol)를 주행시켜 표층에 트렌치를 형성하였고 트렌치 형성상태는 그림 3에 나타내었다.

트렌치 시공장비는 트렌치 시공장비 밑에 장착된 오거롤이 회전하면서 추진력을 받아 이동할 수 있고, 또한 얇은 트렌치를 형성할 수 있다. 이후 주판알 형태의 디스크휠을 장착하여 트렌치 깊이를 증가시키는 작업을 할 수 있으며, 마지막으로 자체적으로 회전하는 디치커터를 장착하여 더욱 트렌치 깊이를 증가시킨다.

트렌치 성형상태는 PTM 적용 초기는 수두에 의한 간극수 배출과 표면수의 배수를 원활하게 하기 위해 트렌치를 형성하는 사진이고, 중기는 압밀수와 우수, 말기는 우수배출을 위해 트렌치를 형성한 사진이다.



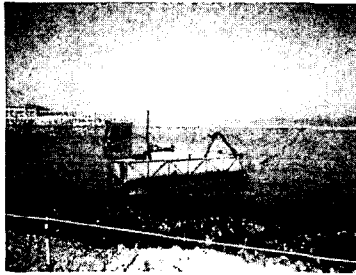
(a) 현장현황도 (b) 시험시공 분할도
 그림 1. 울촌 제1 지방산단 조성공사 현장 현황도 및 시험시공 분할도

표 1. 시험시공 조건

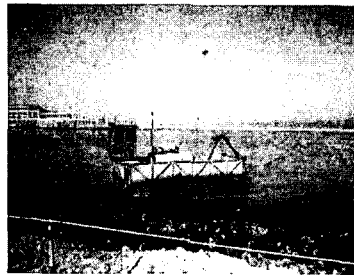
구분	트렌치 간격	면적	트렌치 운행주기
Case A-1	5m	40 X 60 m ²	2회/월
Case A-2	10m	40 X 60 m ²	
Case A-3	20m	40 X 80 m ²	
Case A-4	30m	40 X 80 m ²	

표 2. 대상지반의 기본물성시험

비중	액성한계	소성한계	소성지수	자연함수비	#200통과량	흙의분류
2.65	69	36	33	100	88	CH



a) Amfirol



b) Disk Wheel

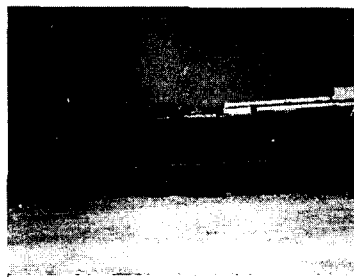


c) Ditch Cutter

그림 2. 트렌치 장비



a) PTM 적용 직후



b) PTM 적용 4개월후



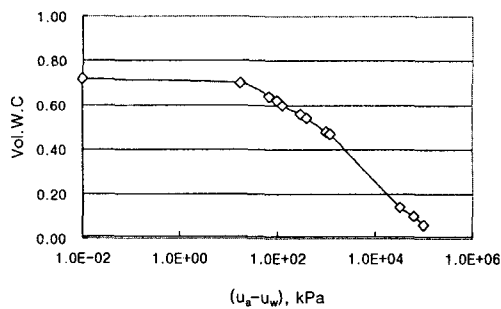
c) PTM 적용 9개월후

그림 3. 트렌치 성형상태

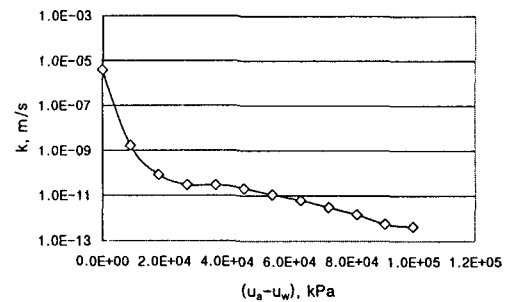
2.2 침투해석방법

트렌치가 형성되었을 때 지하수두차에 의한 간극수 배출량을 해석하기 위하여 GEO-SLOPE사의 SEEP/W를 사용하여 분석하였다.

SEEP/W에서는 포화, 불포화토의 침투해석이 간극수압과 체적함수비의 관계를 이용하여 연속적으로 이루어진다. 포화토에서 투수계수는 간극비에 따른 함수가 되지만 불포화토에서는 간극수압에 따라 투수계수가 크게 변한다. 따라서 간극수압에 따른 투수계수 변화를 고려하여야만 불포화토의 침투를 해석할 수 있으나 직접적으로 간극수압-투수계수의 관계를 구하기는 시간적, 경제적으로 어려워 간극수압-체적함수비 관계를 이용하여 간극수압-투수계수를 추정하는 것이 일반적이다. 본 해석에 사용된 간극수압과 체적함수비 관계곡선(홍-수분 특성곡선)은 다음과 같다(현대건설, 2000). 이 그래프를 이용하여 SEEP/W에서는 간극수압과 투수계수의 관계를 추정하게 되는데 아래의 간극수압-투수계수의 그래프와 같다. 이 그래프는 불포화토 해석을 위해서는 필수적이고 SEEP/W에서는 재료특성의 하나로 투수함수로써 입력되어진다. SEEP/W에 사용된 간극수압-체적함수비, 간극수압-투수계수 관계는 다음의 그래프와 같다.



a) 체적함수비 vs. 간극수압



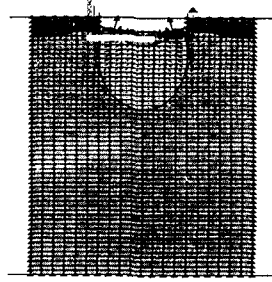
b) 투수계수 vs. 간극수압

그림 4. 간극수압과 체적함수비 및 투수계수 곡선

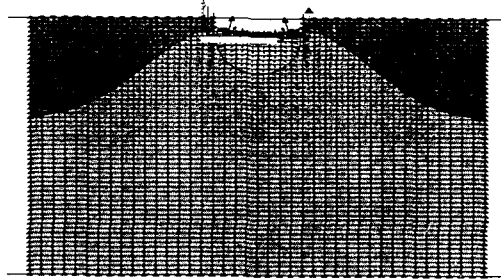
3 시험결과 및 분석

3.1 침투해석결과

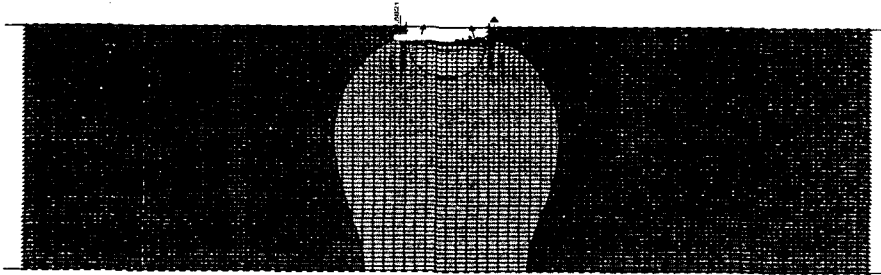
트렌치가 형성된 블록 A-1, A-2, A-3, A-4 지반의 단면을 모델링하여 트렌치가 형성된 단면의 유량을 계산하였다. 트렌치너비는 2m, 트렌치깊이는 37.5cm, 지반깊이는 7m로 모델링하였다. 한 트렌치 당 유입되는 간극수의 범위는 A-1, A-2, A-3, A-4의 트렌치간격에 맞추어 각각 5m, 10m, 20m, 30m로 하였다. 모델링 결과는 다음과 같다.



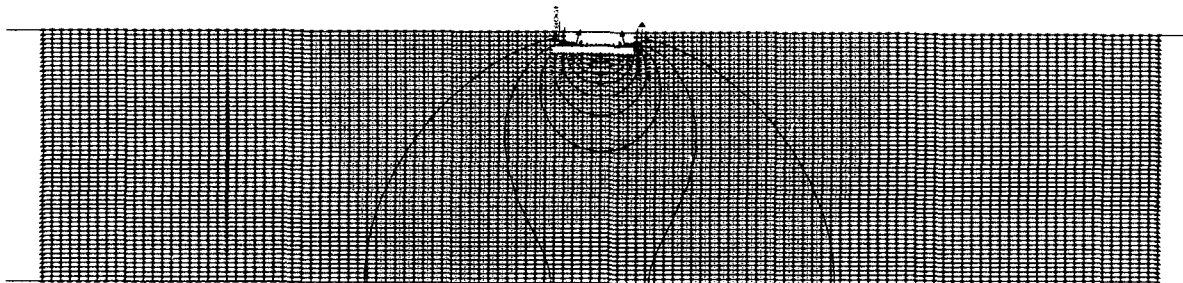
a) 블록 A-1의 모델링 결과



b) 블록 A-2의 모델링 결과



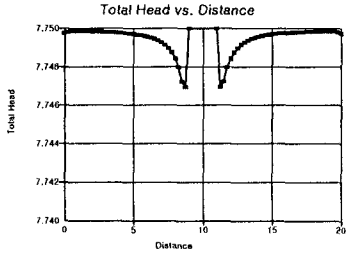
c) 블록 A-3의 모델링 결과



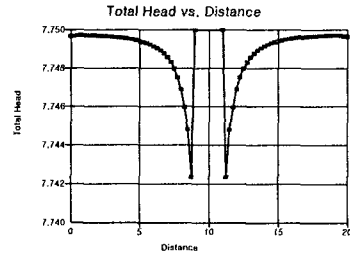
d) 블록 A-4의 모델링 결과

그림 5. 각 시험조건의 모델링 결과

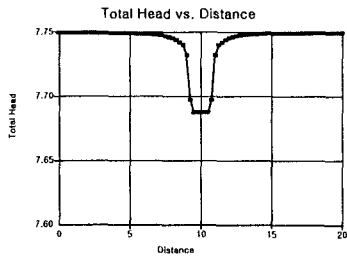
다음은 블록 A-1 단면의 전수두, 압력수두, 플럭스, 동수경사의 변화를 분석하였다. 블록 A-2, A-3, A-4 단면도 비슷한 분포를 나타낸다. 전수두, 압력수두는 트렌치부분에서 낮은 값을 나타내고 있으며 플럭스, 동수경사는 트렌치 부분에서 급하게 변하여 큰 값이 나타났다. 트렌치 주변 간극수의 전수두, 압력수두, 플럭스, 동수경사의 변화는 다음 그림과 같다.



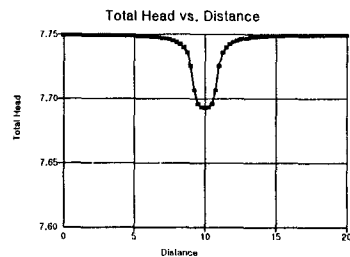
a) 깊이 12.5 cm 단면의 전수두



b) 깊이 25cm 단면의 전수두

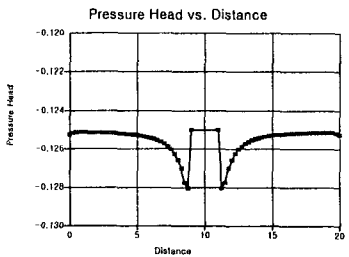


c) 깊이 37.5cm 단면의 전수두

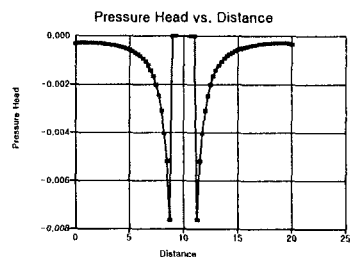


d) 깊이 50cm 단면의 전수두

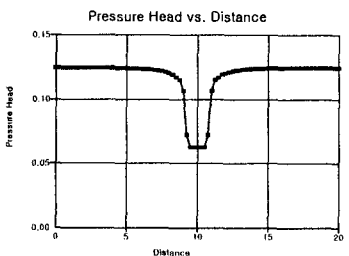
그림 6. 블록 4의 깊이별 전수두의 변화



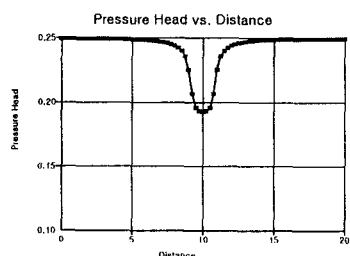
a) 깊이 12.5cm 단면의 압력수두



b) 깊이 25cm 단면의 압력수두

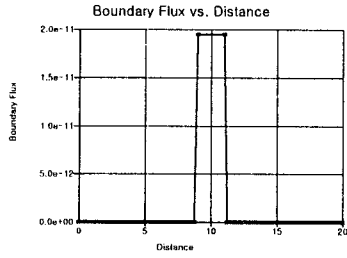


c) 깊이 37.5cm 단면의 압력수두

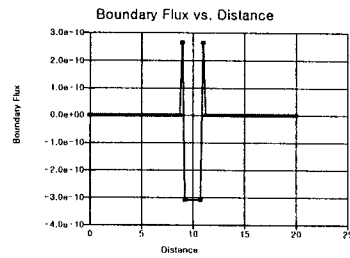


d) 깊이 50cm 단면의 압력수두

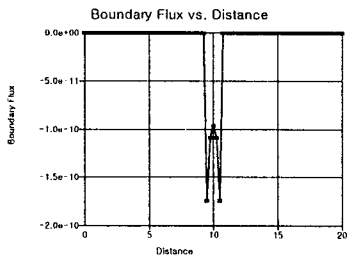
그림 7. 블록 4의 깊이별 압력수두 변화



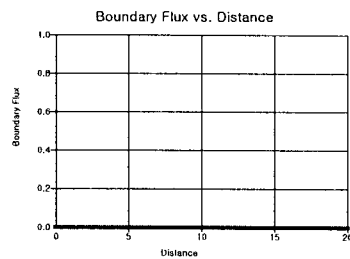
a) 깊이 12.5cm 단면의 플럭스



b) 깊이 25cm 단면의 플럭스

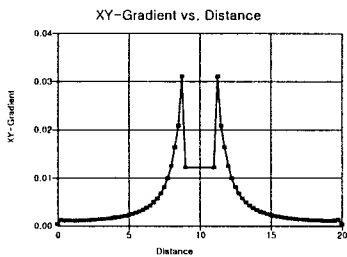


c) 깊이 37.5cm 단면의 플럭스

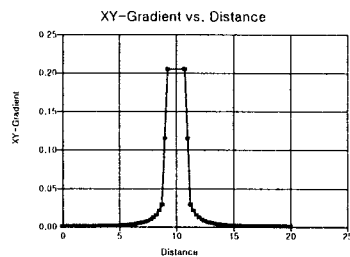


d) 깊이 50cm 단면의 플럭스

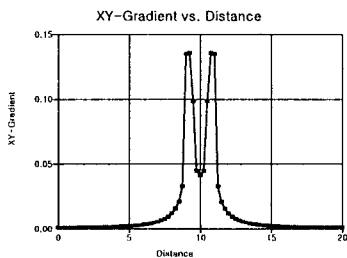
그림 8. 블록 4의 깊이별 플럭스 변화



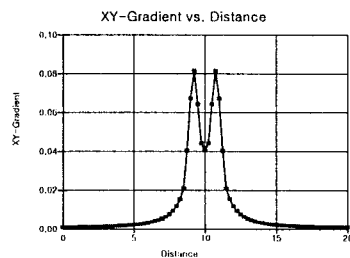
a) 깊이 12.5cm 단면의 동수경사



b) 깊이 25cm 단면의 동수경사



c) 깊이 37.5cm 단면의 동수경사



d) 깊이 50cm 단면의 동수경사

그림 9. 블록 4의 깊이별 동수경사 변화

3.2 트렌치를 통한 간극수 배출효과

트렌치 간격이 넓어졌을 때 넓은 단면의 간극수가 트렌치를 통해 배출되는 효과는 크게 나타나지는 않았다. 트렌치를 통한 간극수 배출효과는 블록 A-1, A-2, A-3, A-4가 각각 $5.29e-10m^3/s$, $6.60e-10m^3/s$,

6.88e-10m³/s, 6.91e-10m³/s로 나타났다. A-1, A-2, A-3, A-4블록을 각각 실제현장규모(1000m×500m)의 크기로 시공하였다고 가정하여 하루의 유출량과 증발량을 계산하여 보면 다음과 같다. 유출량은 각 블록의 시공 가능한 트렌치 개수×(트렌치 길이 500m)×(모델링에서 계산한 초당 유출량)×(하루로 환산하기 위한 값 60×60×24=86400)을 곱하여 계산하였다. 이의 계산을 다음 표에 나타내었다.

표 3. 1000m×500m 규모에 시공한다고 가정했을 때의 유출량 및 증발량

블록	A-1	A-2	A-3	A-4
초당 유출량(m ³ /s)	5.29E-10	6.60E-10	6.88E-10	6.91E-10
시공가능한트렌치 개수(n)	200	100	50	33
유출량(n×m ³ /day)	4.57E+00	2.85E+00	1.49E+00	9.85E-01

트렌치가 형성된 블록 A-1, A-2, A-3, A-4 지반의 단면을 모델링하여 트렌치가 형성된 단면의 간극수 유출량을 계산하면 표 3과 같다. 실제적으로 트렌치 간격이 넓어질수록 1개의 트렌치에 모이는 간극수의 범위가 넓어져 유출량이 증가한다. 그러나, 일정한 면적(예를 들어, 1000m×500m)에 PTM 공법을 적용하고자 하면 트렌치 간격이 좁을수록 일정한 면적에 더 많은 트렌치를 형성할 수 있어 총 간극수 유출량은 많아진다. 트렌치 간격이 5m에서 20m로 늘어날 때 시공가능한 트렌치 개수는 크게 줄어드는 반면 트렌치 1개당 간극수 유출량은 크게 늘어나지 않기 때문이다. 트렌치 1개만을 고려했을 때 유출량은 트렌치 간격이 5m에서 10m로 넓어질 때 간극수 유출량이 크게 늘어나지만 트렌치 간격이 10m 이상이 되면 유출량 증가는 크게 일어나지 않는다.

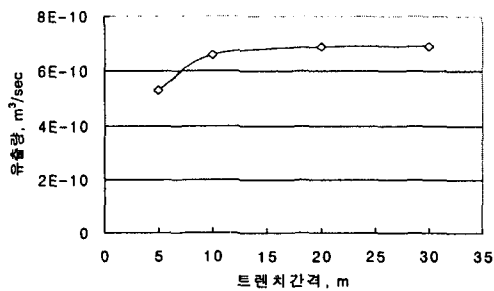


그림 10. 트렌치 1개당 유출량

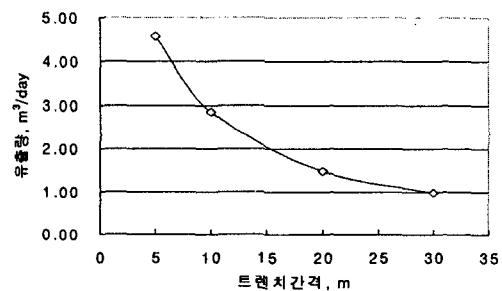


그림 11. 1000m×500m 지반에 시공 시 유출량

4 결론

본 연구에서는 SEEP/W 침투해석 프로그램을 이용하여 PTM 장비에 의하여 준설매립지반 내에 트렌치 간격을 변화시켜 간극수의 침투특성을 분석하여 최적 트렌치 간격을 분석하였다. 이의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) PTM 운용에 따른 트렌치 간격별 모델링해석을 통하여 트렌치 및 주변지반의 전수두, 압력수두, 플럭스, 동수경사의 변화를 분석하였다.
- 2) 모델링해석결과 트렌치 1개만을 고려했을 때 유출량은 트렌치 간격이 5m에서 10m로 넓어질 때 간극수 유출량이 크게 늘어나지만 트렌치 간격이 10m 이상이 되면 유출량 증가는 크게 일어나지 않았다.
- 3) 일정한 면적에 트렌치를 형성할 때 트렌치 간격을 좁게 하면 간극수 유출량은 늘어나지만 시공비용이 상승하게 된다. 이러한 해석결과로 볼 때 PTM 운용효율상 트렌치 간격은 10~20m 전후가 적당한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 현대건설(2000), "매립지반의 표층고화공법 연구"
2. 현대건설(1999), "울촌공단 준설성토지반 쾌속처리공법 연구"
3. 건설교통부, 한국건설기술연구원(2001), "해양공간 개발을 위한 표층안정처리기술개발", '99 산·학·연 연구개발사업 2차년도 연구보고서, R&D/99 토목Ⅱ-03
4. 건설교통부, 한국건설기술연구원(2001), "준설매립지반의 표층건조처리를 위한 PTM 개선기술 개발에 관한 연구".
5. Fredlund, D. G., and Rahardjo, H.(1993), "Soil mechanics for unsaturated soils", John Wiley & Sons,
6. GEO-SLOPE Ltd., "SEEP/W for finite element seepage analysis - Getting Started Guide"