

수치해석을 이용한 비탈면 수평배수공의 성능 분석

Performance of Horizontal Drainage in the Slope Using Numerical Analysis

김 상 윤¹⁾ · 반 호 기[†]
Sangyun Kim · Hoki Ban

Received: May 8th, 2024; Revised: May 21st, 2024; Accepted: June 11th, 2024

ABSTRACT : Due to the high proportion of mountainous terrain in Korean territory and the concentration of heavy rainfall during the summer season, concerns arise about the potential decrease in slope stability caused by rainfall. Installing slope drainage facilities mitigates the rise in groundwater levels due to infiltration, thus enhancing slope stability. Horizontal drains, classified as auxiliary facilities among drainage systems, lack established installation standards and related research. Slopes with installed horizontal drains have been confirmed to exhibit higher safety factors compared to those without. Furthermore, the safety factor of mimicking horizontal drains by increasing the permeability coefficient of the surrounding ground was compared with that of the conventional simulation method using the Drain function. As a result of the comparison, it was confirmed that the installation length showed better drainage performance than the installation angle in the drainage performance of the horizontal drainage hole, and it was judged that the installation length was a more important factor.

Keywords : Slope stability, Strength reduction method, Horizontal drainage, Drainage performance, Numerical analysis

요 지 : 우리나라 국토 특성 상 국토 면적에 산지가 차지하는 비율이 높고 연간 호우 발생이 하절기에 집중됨에 따라 강우로 인한 비탈면 안정성 저하가 우려된다. 이에 대비하고자 비탈면에 배수시설을 설치하여 지반 침투수에 의한 지하수위 상승을 낮춰 비탈면 안정성을 증대시킬 수 있다. 하지만 배수시설 중 수평배수공은 부대시설로 분류되어 설치 기준과 관련 연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 상용지반해석 프로그램인 Plaxis-2D를 이용하여 수평배수공의 배수성능에 영향을 미치는 요소들을 검토하여 수평배수공의 길이, 설치 각도 등의 경계조건에 따른 수평배수공의 배수성능을 수치해석적으로 분석하였다. 수평배수공을 미설치한 지반보다 수평배수공을 설치한 지반에서 안전율이 높음을 확인하였으며, 수평배수공이 위치한 지반의 투수계수를 높여 수평배수공을 모사한 경우와 기존 모사방식인 Drain 기능을 활용한 경우에서의 안전율을 비교하였다. 지반투수계수를 6배 높였을 때의 안전율이 Drain 기능을 활용한 경우와 일치하여, 지반 투수계수를 6배 높여 수평배수공을 모사한 경우를 Drain 기능의 대안으로 판단하고 투수성능을 확인하였다. 비교 결과, 수평배수공의 배수성능에 있어서 설치각도보다 설치길이가 더 원활한 배수성능을 보임을 확인하여 설치 길이가 더 주요한 요인이라고 판단하였다.

주요어 : 비탈면 안정, 강도감소법, 수평배수공, 배수성능, 수치해석

1. 서 론

우리나라 국토 특성인 국토면적의 약 70%로 구성된 산지와 연간 호우 발생의 80% 이상이 하절기에 집중됨에 따라 (Kim, 1996) 강우로 인한 비탈면 안정성 저하에 대한 대비가 필수적이다. 강우는 비탈면 안정성 감소의 내·외적 요인을 포함하는 대표적 요인으로, 지반 침투수로 인해 지반의 포화도를 증가하므로 중량 증가와 토사의 전단강도가 감소하여 비탈면의 안전율 저하와 붕괴 등의 문제가 발생할 수 있다. 실제로 국내 비탈면 붕괴 사례는 하절기에 가장 많이

발생하였으며, 이는 집중강우 시기와 동일함을 확인하였다. 이러한 강우로 인한 비탈면 안정성 저하를 방지하고자 수평배수공, 산마루측구와 같은 배수시설을 설치하여 비탈면 내의 지하수위를 낮출 수 있다. Noh et al.(2006)은 비탈면 수평배수공 유무에 따른 비탈면 안전율 변화에 관한 연구를 위한요소 해석프로그램인 Scep/w를 이용하여 수행하였다. 15mm/day의 강우강도로 24시간 지속강우에 의한 해석 결과, 수평배수공이 설치되지 않은 비탈면의 안전율은 1.126, 수평배수공이 설치된 비탈면의 안전율은 1.276으로 수평배수공이 지하수위를 낮춰 비탈면의 안전율을 증가시킬 수 있음

1) Ph.D. Student, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University

† Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Kangwon National University (Corresponding Author : hban@kangwon.ac.kr)

을 보고하였다. Kwon et al.(2021)은 Panel을 부착한 비탈면에 형성되는 불투수층을 고려하여, 수치해석을 통해 배수시스템이 우기 시 비탈면 안정성에 미치는 영향에 대하여 비교 분석하였다. 수평배수공을 수치해석적으로 모사하여 0.5day 동안 305.9mm/day의 강우강도를 적용하였으며, 수치해석 결과 불투수층이 있을 때 수평배수공이 미설치된 비탈면의 안전율은 1.197이고 수평배수공이 설치된 비탈면의 안전율은 1.849로 증가함을 확인하였다. 연구를 통해 수평배수공이 비탈면 내의 수압을 낮춰 안전율의 증진 효과가 있다고 보고하였다. Kang & Ban(2022)은 상용 지반해석 프로그램인 Plaxis-2D를 이용하여 원지반 부착식 판넬 옹벽(Top-down) 공법을 적용한 비탈면에 수평배수공을 설치하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석 결과, 수평배수공을 설치한 비탈면의 안전율이 1.384로 사면이 안정함을 확인하였다. Fawaz et al.(2014)은 레바논의 Dahr Elbaidar 인근 비탈면에서 도로굴착 작업 중 발생한 비탈면 붕괴의 원인을 상용 지반해석 프로그램인 Plaxis-2D를 이용하여 수치해석적 모델링을 통해 분석하였다. 수치해석 결과, 비탈면 붕괴는 지반 내 함수량이 높아져 지반 내 단위중량의 증가로 인한 지반 강도의 저하를 원인으로 판단하였다. 또한 비탈면에 완전한 배수가 이루어진다면 별도의 보강이 필요 없을 것으로 판단하였으며, 부분 배수 시 추가적인 보강이 필요할 것이라고 보고하였다. Arifin et al.(2017)은 인도네시아 South Kalimantan 지역의 붕괴사면을 비탈면 안정성 검토 프로그램인 Slide를 이용하여 수치해석을 수행하였으며, 수평배수공이 비탈면 안정성에 미치는 영향을 확인하였다. 붕괴사면의 설계 당시 안전율은 1.3 이상으로 설계하였으나 집중호우와 장기간의 강우로 인하여 두차례에 걸쳐 비탈면 붕괴가 발생하였다. 강우로 인한 추가 피해를 방지하고자 비탈면에 수평배수공을 설치하였으며, 수치해석을 통해 지하수위 저하와 비탈면 안정성에 이상이 없음을 보고하였다.

이와 같이 수평배수공이 비탈면 안정성에 어떻게 작용하는지에 대한 연구는 진행되었으나, 수평배수공은 부대시설로 분류되어 수평배수공의 설치 위치, 간격, 각도 등 그와 관련된 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수평배수공의 유무가 비탈면 안정성에 미치는 영향을 확인한 후 1) 상용 지반해석 프로그램인 Plaxis-2D로 일반적으로 수평배수공을 모사할 때 사용하는 기능인 Drain과 2) 원지반

투수계수를 높여 수평배수공을 모사하는 방식을 비교하여 길이(5, 8m), 설치각도(5, 10°)에 차이를 두어 수평배수공의 배수성능을 비교 및 분석하였다.

2. 수치해석 조건

2.1 수치해석에 사용한 비탈면과 지반 물성

Fig. 1은 수치해석에 사용한 임의의 비탈면으로 국토해양부(2009)의 쌓기 비탈면 기준 안전율인 건기 시 1.5, 우기 시 1.2 이상을 충족할 수 있게 설정하였다. 비탈면의 크기는 폭 58m, 높이 25m이며, 상부로부터 풍화토와 풍화암으로 이루어져 있다. 비탈면의 경사각은 35°이며, 지하수위가 지반 높이의 2/3 지점에 있다고 가정하였다. 수평배수공은 국토교통부(2020)의 도로 배수시설 설계 및 관리지침을 참고하여 설치 각도를 상향 5, 10°, 설치 길이를 5, 8m, 설치 간격은 1.5m로 3단 설치하였다. 물성치는 일반적인 풍화토와 풍화암의 값을 사용하여 Table 1에 나타냈다.

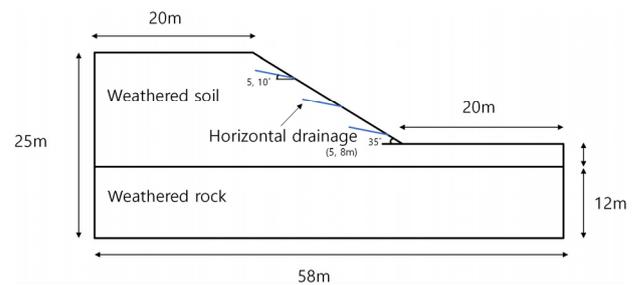


Fig. 1. Schematic diagram of a slope

2.2 수치해석 경계조건

각 Case 별 해석조건은 수평배수공의 수치해석적 모사방법, 설치 길이, 설치 각도를 달리하여 수평배수공의 배수성능을 비교하였으며, Table 2에 나타냈다. 수치해석을 수행하기 위해 상용 지반해석 프로그램인 Plaxis-2D를 이용하였으며, 수평배수공을 수치해석적으로 모사하기 위해 1) 일반적으로 수평배수공을 모사할 때 사용하는 기능인 Drain 기능의 활용과 2) 원지반 투수계수를 높여 수평배수공을 모사하는 방식을 사용하였다. Drain 기능을 활용하는 방법은 지하수

Table 1. Material properties of soils

	Unit weight (kN/m^3)	Modulus of deformation (kPa)	Poisson's ratio	Cohesion (kPa)	Friction angle ($^\circ$)	Permeability coefficient (m/day)
Weathered soil	19	20,000	0.30	15	30	8.64E+00
Weathered rock	20	200,000	0.30	45	30	5.53E-03

Table 2. Cases for numerical simulations

	Boundary conditions for horizontal drainage		
	Numerical simulation method	Length (m)	Angle (°)
Case 1	No horizontal drainage installation	-	-
Case 2	Plaxis-2D : Drain	5	10
Case 3	Adjustment of soil permeability coefficient	5	10
Case 4	Plaxis-2D : Drain	8	10
Case 5	Adjustment of soil permeability coefficient	8	10
Case 6	Adjustment of soil permeability coefficient	5	5

의 유동계산을 위해 Plaxis-2D에서 제공하는 기능으로 설치 지점의 수압을 감소시켜 지반 응력을 안정화하는 방식이다. 이 과정에서 지반 침투수를 배수시켜 수평배수공과 같은 역할을 할 수 있다.

강우 조건은 국가 수자원 관리 종합 정보 시스템의 확률강우량을 사용하여 경상북도 울진군의 100년 주기 24시간 확률강우량인 305.8mm/day로 30일간의 강우 침투 해석을 실시하였다. Fig. 2는 해석에 사용한 울진군의 확률강우량을 그래프로 나타낸 Intensity Duration Frequency(I.D.F.) 곡선이다.

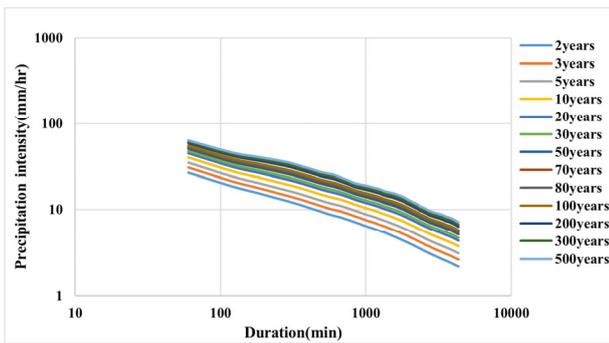


Fig. 2. Intensity duration frequency curve of Uljin county

3. 수치해석 결과

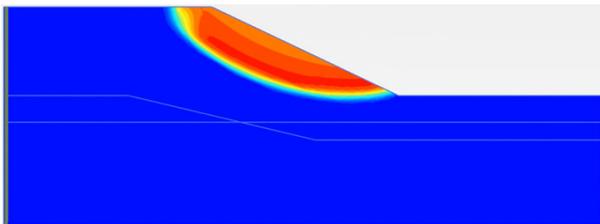
3.1 수평배수공 유무에 따른 안전율 비교·분석

강우 시 수평배수공 유무에 따른 비탈면의 안전율 비교를

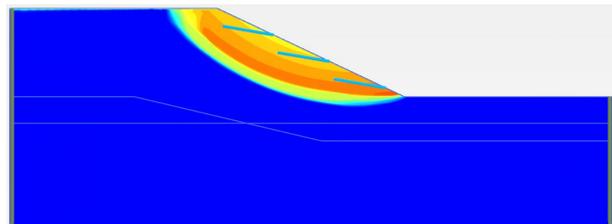
위해 수평배수공이 설치되지 않은 원지반(Case 1)과 상용 지반해석 프로그램인 Plaxis-2D 내의 Drain 기능을 이용하여 수평배수공을 모사한 경우(Case 2)에 대한 수치해석 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 해석 결과, Case 2의 안전율이 1.763으로 Case 1보다 높은 것을 확인하였다. 따라서 수평배수공이 설치된 경우, 지반 침투수를 배수시킴으로써 비탈면 안전율이 높아짐을 알 수 있다.

3.2 안전율 비교를 통한 Drain 기능 대안 지반 투수계수 선정

상용 지반해석 프로그램인 Plaxis-2D를 이용한 수평배수공의 모사는 일반적으로 프로그램 내 Drain 기능을 적용하여 모사한다. Drain 기능은 기압을 이용하여 수평배수공으로 지반 침투수의 배수를 유도하는 방식이다. 해당 부분의 기압을 대기압보다 낮추어 상대적으로 높은 기압인 주변부의 지하수를 유도한다. 해당 기능이 없는 타 수치해석 프로그램에서도 수평배수공을 모사할 수 있도록 안전율 비교를 통해 Plaxis-2D의 Drain 기능이 지반 투수계수를 얼마나 조정하였을 때와 유사한지 비교하여 Fig. 4에 나타냈다. 비교 결과 Drain 기능을 이용한 경우의 안전율은 1.763이며, 수평배수공이 설치된 지반의 투수계수를 6배 증가시켜 수평배수공을 모사한 경우의 안전율이 1.764로 Drain 기능을 적용한 경우와 근사한 결과를 나타낸다. 따라서 지반 투수계수를 6배 증가시켜 수평배수공을 모사한 경우가 Drain 기능을 적용한 경우와 차이가 없다고 판단하여 Drain 기능의 대안



(a) Case 1 (F.S. = 1.250)



(b) Case 2 (F.S. = 1.763)

Fig. 3. Comparison of F.S. between with and without horizontal drainage

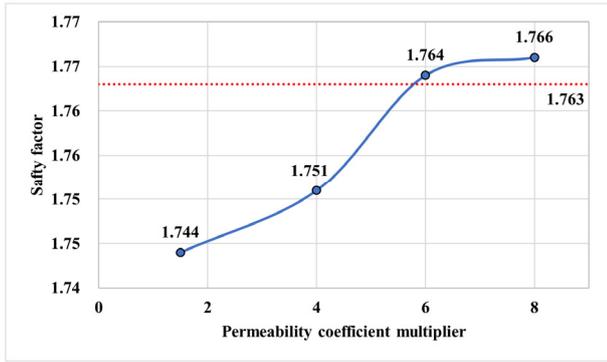


Fig. 4. Comparison of safety factors for the determination of soil permeability coefficient

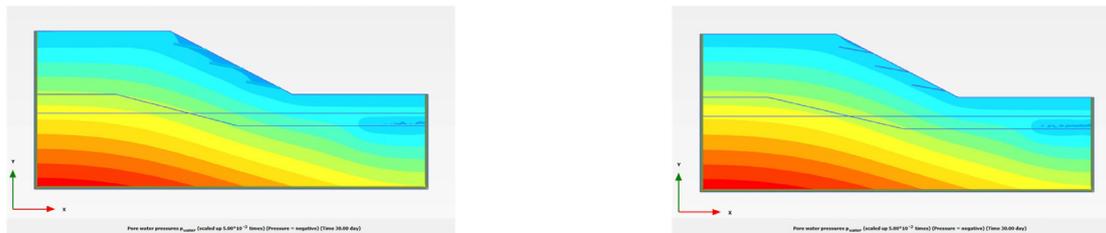
으로써 수평배수공 길이, 각도에 따른 투수량 비교를 위한 수치해석을 수행하였다.

3.3 수평배수공의 경계조건에 따른 투수량 비교

3.3.1 수평배수공 모사방식에 따른 수치해석 결과 (Case 2 vs. Case 3)

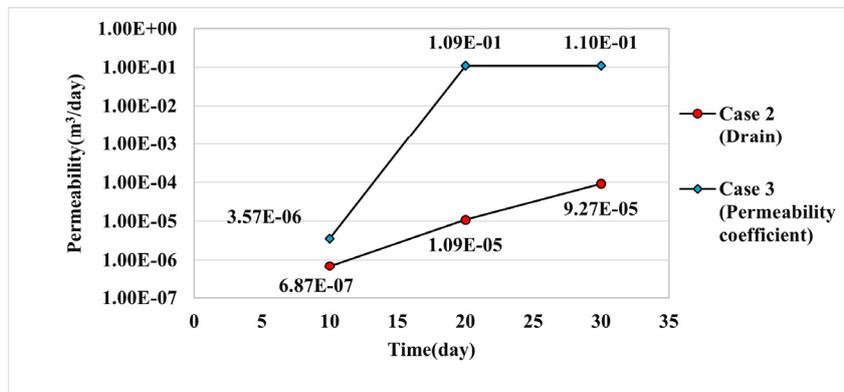
수평배수공의 모사방법에 따른 투수량을 비교하고자 Case 2와 Case 3을 비교·분석하였다. Case 2는 Drain 기능을 이용하여 수평배수공을 모사한 경우이며, Case 3은 수평배수공을 모사하기 위해 지반 투수계수를 6배 증가시켰다. 수평배수공의 설치 길이는 5m, 설치 각도는 상향 10°이며, 1.5m 간격으로 3단 설치하였다.

Fig. 5는 Case 2, 3의 수치해석 결과이다. Fig. 5(a), (b)는



(a) Case 2

(b) Case 3



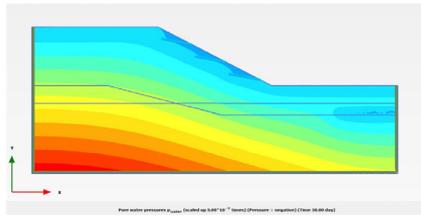
(c) Permeability comparison over time

Fig. 5. Results for simulations (Case 2 vs. Case 3)

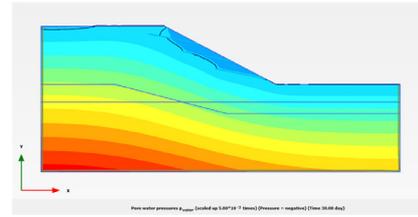
지반 내의 간극수압을 나타냈으며, Fig. 5(c)는 시간에 따른 투수량을 비교하여 그래프로 나타냈다. Fig. 5(c)를 보듯이, Case 2의 투수량은 시간이 경과함에 따라 비교적 균일하게 증가하는데 반해, Case 3은 20일 차부터의 투수량 변화가 거의 없음을 확인하였다. 이는 20일 차부터 강우가 비탈면을 충분히 포화시켜 수평배수공의 투수 성능 최대치에 도달하였음을 의미한다. 이를 토대로 지반 투수계수를 조정하여 수평배수공을 모사한 경우가 Drain 기능을 이용하여 수평배수공을 모사한 경우보다 투수량이 높게 측정된다고 판단한다.

3.3.2 Drain을 이용하여 수평배수공을 모사한 경우의 길이 따른 수치해석 결과(Case 2 vs. Case 4)

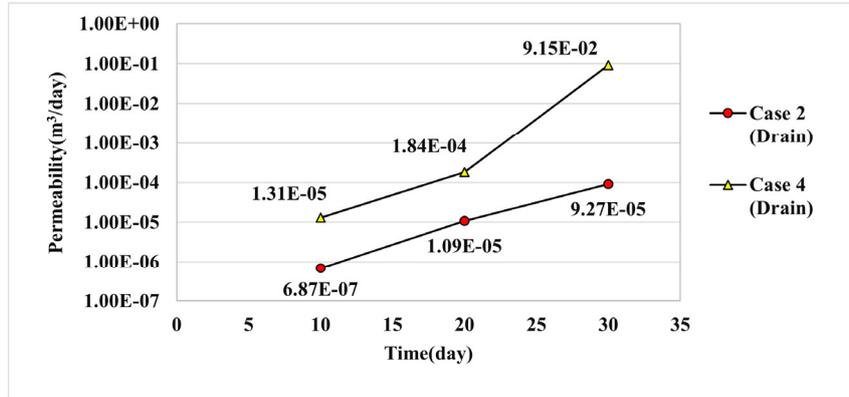
Case 2와 Case 4는 Drain을 이용하여 수평배수공을 모사한 경우이다. 수평배수공의 설치 개수와 각도는 3개, 10°로 동일하지만 설치 길이는 5, 8m로 차이가 있다. Case 2와 Case 4의 수치해석 결과를 Fig. 6에 나타냈다. Fig. 6(a), (b)는 지반 내의 간극수압을 나타냈으며, Fig. 6(c)는 시간에 따른 투수량을 비교 및 분석하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림을 보듯이 수평배수공의 길이에 따른 투수량이 Case 2보다 Case 4에서 높음을 확인하였으며, 30일 차의 투수량 차이는 9,14E-02 m³/day만큼 더 높은 것을 확인하였다. 따라서 Drain을 이용하여 수평배수공을 모사한 수치해석결과, 수평배수공이 길어질수록 배수성능이 향상되며, 강우가 지속될수록 배수 성능 차이가 커짐을 확인하였다.



(a) Case 2



(b) Case 4



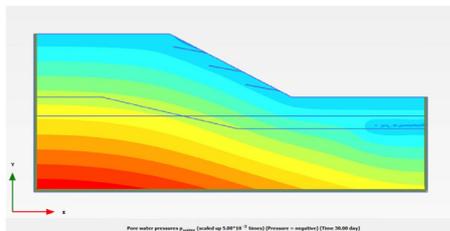
(c) Permeability comparison over time

Fig. 6. Results for simulations (Case 2 vs. Case 4)

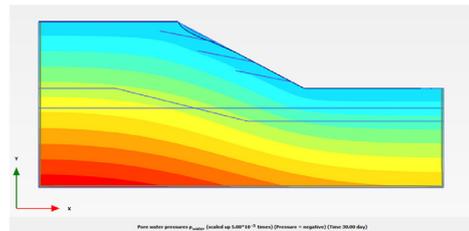
3.3.3 지반투수계수를 이용하여 수평배수공을 모사한 경우의 길이에 따른 수치해석 결과(Case 3 vs. Case 5)

Case 5의 경우 Case 3과 동일하게 지반투수계수를 6배 증가시켜 수평배수공을 모사하였으며, 설치 각도는 10°로 동일하지만 수평배수공의 길이를 5m에서 8m로 증가시켰다.

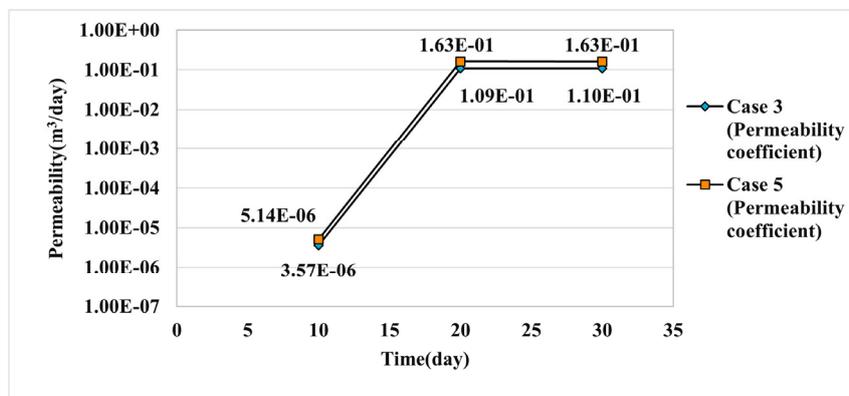
Fig. 7은 Case 3과 Case 5의 수치해석 결과이다. Fig. 7(a), (b)는 지반 내의 간극수압을 나타냈으며, Fig. 7(c)는 시간에 따른 투수량을 비교·분석하여 그래프로 나타냈다. 그림을 보듯이 두 Case 모두 강우로 인하여 충분히 포화된 20일 차부터의 투수량이 30일 차와 비슷하다. 수평배수공의 최대 투수



(a) Case 3



(b) Case 5



(c) Permeability comparison over time

Fig. 7. Results for simulations (Case 3 vs. Case 5)

성능에 도달하였기에 이와 같은 결과가 나타났다고 판단한다. 또한 수평배수공의 길이가 8m로 더 긴 Case 5에서 Case 3보다 시간에 따른 투수량이 더 높음을 확인하였다. 이를 토대로 투수계수를 조정하여 수평배수공을 모사한 수치해석결과, 수평배수공의 설치 길이가 배수성능에 영향을 미침을 확인하였다.

3.3.4 지반투수계수를 이용하여 수평배수공을 모사한 경우의 설치 각도에 따른 수치해석 결과 (Case 3 vs. Case 6)

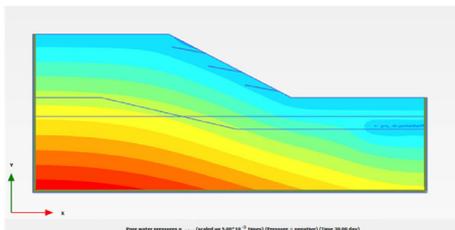
수평배수공 설치 각도에 따른 수평배수공의 성능을 확인하였다. Case 3과 Case 6은 지반 투수계수를 6배 증가시켜 수평배수공을 모사한 경우이다. 수평배수공의 길이와 설치 개수는 5m, 3개로 동일하지만 Case 2의 설치 각도는 상향 10°이고 Case 6의 설치 각도는 상향 5°이다. Fig. 8은 Case 3과 Case 6의 수치해석 결과를 나타냈다. Fig. 8(a), (b)는 지반 내의 간극수압을 나타냈으며, Fig. 8(c)는 시간에 따른 투수량을 비교 및 분석하여 그래프로 나타냈다. Fig. 8(c)를 보듯이 수평배수공의 설치 각도가 5°인 Case 6의 경우 설치 각도가 10°인 Case 3보다 10일 차에는 6.49E-07m³/day만큼 투수량이 적지만 30일 차에는 1.91E-03m³/day만큼 투수량이 높음을 확인하였다. 이는 Case 6에서 수평배수공의 설치각도가 낮아짐에 따라 수평배수공과 지표면과의 거리가 멀어지고, 그만큼 지하수위에 가깝게 위치함을 원인으로

판단한다. 따라서 지반 투수계수를 조정하여 수평배수공을 모사한 수치해석 결과, 강우 지속시간이 길어질수록 수평배수공의 설치각도를 낮게 설치함이 투수성능에 유리하지만 그 차이가 근소하여 설치 각도에 따른 투수성능에는 큰 차이가 없다고 판단하였다.

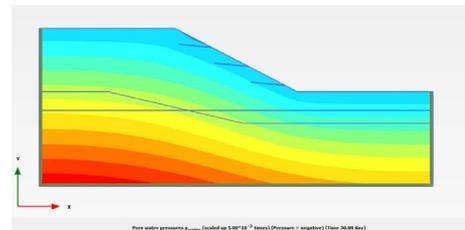
4. 결 론

본 연구에서는 상용 지반해석 프로그램을 이용하여 수평배수공의 성능 분석을 진행하였다. 수평배수공의 수치해석적 모사방법과 설치 길이, 각도에 따른 배수성능을 비교하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

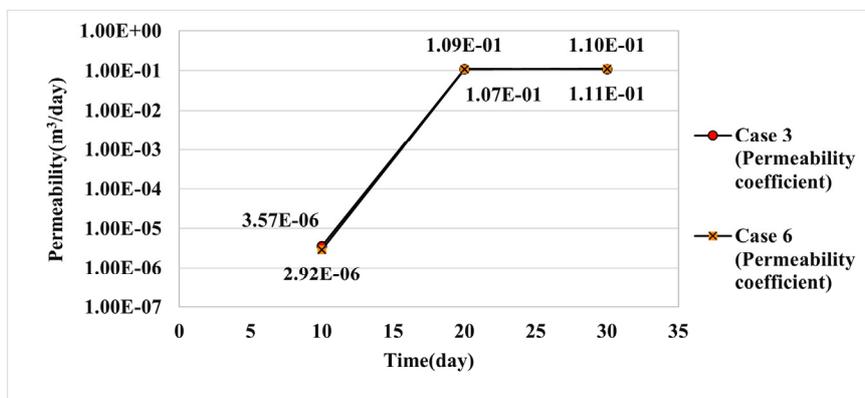
- (1) 30일간의 강우 조건에서 수평배수공이 설치되지 않은 경우의 안전율은 1.250이며, 상용 지반해석 프로그램 내의 Drain 기능을 이용하는 방법으로 수평배수공을 설치한 경우의 안전율은 1.763으로 수평배수공을 설치하지 않은 경우에 비해 0.513만큼 안전율이 높은 것을 확인했다. 따라서, 우기 시 비탈면 내의 수평배수공의 유무가 비탈면 안정성에 영향을 미치며, 수평배수공이 설치됐을 경우 비탈면의 안정성을 높이는 것을 확인하였다.
- (2) 수평배수공 모사방법에 따른 수치해석 결과, 30일간의 강우조건에서 투수량은 원지반의 투수계수를 조정한 경우인



(a) Case 3



(b) Case 6



(c) Permeability comparison over time

Fig. 8. Results for simulations (Case 3 vs. Case 6)

Case 3이 $1.10E-01m^3/day$ 로 Plaxis-2D 내의 Drain 기능을 이용한 방법인 Case 2의 투수량인 $9.27E-05m^3/day$ 보다 $1.09E-01m^3/day$ 만큼 높은 투수량을 보였다.

- (3) Drain을 이용하여 수평배수공을 모사한 경우의 설치 길이에 따른 투수량 비교 결과, 설치 길이가 8m인 Case 4의 투수량이 $7.66E-04m^3/day$ 로 설치 길이가 5m인 Case 2의 투수량인 $9.27E-05m^3/day$ 보다 $6.73E-04m^3/day$ 만큼 투수량이 높은 것을 확인하였다.
- (4) 투수계수를 조정하여 수평배수공을 모사한 경우의 설치 길이에 따른 투수량 비교 결과, 설치 길이가 8m인 Case 5의 투수량이 $1.63E-01m^3/day$ 로 설치 길이가 5m인 Case 3의 투수량인 $1.10E-01m^3/day$ 보다 $5.35E-02m^3/day$ 만큼 투수량이 높은 것을 확인하였다.
- (5) 수평배수공의 설치 각도에 따른 투수량 비교 결과, 30일 간의 강우조건에서 투수량은 수평배수공 설치 각도가 10° 인 Case 3의 경우 $1.10E-01m^3/day$ 이며, 설치 각도가 5° 인 Case 6의 투수량이 $1.11E-01m^3/day$ 으로 그 차이가 미미하다. 따라서 설치 각도에 따른 투수량 차이는 없다고 판단한다.
- (6) 본 연구를 통해 수평배수공의 투수량에 영향을 미치는 요인인 설치 길이와 각도 중, 수평배수공의 설치 길이가 더 주요한 요인임을 확인하였다.
- (7) 비탈면에 수평배수공을 설치한 경우, 수평배수공을 통해 지반 내 침투수가 배수됨을 확인하였다. 이는 비탈면의 지하수위 저감으로 이어지며, 비탈면의 안정성 확보를 위해 수평배수공 설치가 필수적이라 판단한다.
- (8) 본 연구에서는 안전율 비교를 통해 지반투수계수를 6배 높여 수평배수공을 모사한 경우를 Drain 기능의 대안으

로 사용하였지만, 다른 형태의 사면과 지반 물성을 적용한 해석을 통해 추가 검증이 필요하다.

References

1. Arifin, Y., Kurniawan, S. and Nurmelani, E. (2017), "Effectiveness of horizontal drain for slope stability of coal mining, case study of slope failure in tambang guntur, South Kalimantan, international conference on QIR (Quality in research)", pp. 93~100.
2. Fawaz, A., Farah, E. and Hagechade, F. (2014), "Slope stability analysis using numerical modeling", American Journal of Civil Engineering, Vol. 2, No. 3, pp. 60~67.
3. Kang, J. and Ban, H. (2022), "Numerical approach to evaluate the behavior of concrete panel considering construction method", Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 23, No. 12, pp. 17~23. (In Korean)
4. Kim, S. (1996), "The characteristics and forecast status of heavy rainfall in our country", The magazine of the Korean society of civil engineers, Vol. 44, No. 9, pp. 17~21. (In Korean)
5. Kwon, Y., Lee, J., Hwang, Y., Ban, H. and Lee, M. (2021), "Evaluation of drainage capacity of precast concrete-panell retaining wall attached to in-situ ground using numerical analysis", Journal of the Korean geotechnical society, Vol. 37, No. 3, pp. 43~50. (In Korean)
6. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (2020), "Guidelines for Design and Management of Road Drainage Facilities", Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, pp. 106~122. (In Korean)
7. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2009), "Design Criteria for Slopes in Construction", Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, pp. 105~115. (In Korean)
8. Noh, H., Lee, S., Hwang, Y. and Chun, S. (2006), "A study on variation of slope stability ratio by slope horizontality drainage existence", Korean Geo-Environmental Conference 2006, pp. 395~400. (In Korean)