

선행강우패턴을 고려한 화강풍화토 비탈면의 안정성 평가

Safety Factor Evaluation of the Granite Slope by Antecedent Rainfall Patterns

김현기*[†], 유민택*, 배호석**, 박승희**, 고가연***

Hyun Ki Kim*[†], Min Taek Yoo*, Ho Seok Bae**, Seung Hee Park**, Ga Yeon Ko***

Abstract Rainfall infiltration is one of the main causes in slope failure. It leads unstable condition of a slope because of increase of soil unit weight, strength reduction, variation of groundwater level etc. Generally the way how to set up a boundary condition of rainfall infiltration is very important to analyze slope stability. In Korea, engineers use IDF curve to set up a boundary condition of rainfall infiltration. It means constant rainfall intensity to be applied in a certain period. But, there is a rare case to consider rainfall patterns and antecedent rainfall. In this study, variations of slope stability under various rainfall patterns and effective rainfall concept are executed by numerical analysis. Factor of safety is affected by boundary conditions of rainfall infiltration and antecedent rainfall by effective rainfall. It is judged that regional rainfall condition and effective rainfall should be considered in slope stability analysis.

Keywords : Slope stability, antecedent rainfall, rainfall patterns, effective rainfall, safety factor

초 록

강우경계조건 변화(일정, 증가, 감소, 혼합)와 지표면 침투 수량변화(실효수량 적용)에 따른 비탈면의 안정해석을 수행함에 의하여 강우조건 변화에 따른 화강풍화토 비탈면의 안정성 평가방안을 검토하였다. 해석결과, 강우경계조건에 따라 안전율이 변화하고 있으며, 실효수량을 적용한 선행강우의 영향도 크게 받고 있어, 지역 강우특성을 반영한 강우경계조건 및 실효수량을 적용한 비탈면 안정해석이 요구된다고 판단되었다.

주요어 : 실효수량, 안정해석, 강우패턴, 비탈면

1. 서 론

철도는 세장한 구조물로 산악지형이 많은 우리나라에서는 필연적으로 비탈면을 수반하게 되며, 매년 반복되는 태풍, 집중호우 등 강우의 영향으로 비탈면 안정성은 위협받게 된다. 강우침투는 흙의 자중증가와 간극수압 증가, 겉보기 점착력 저하와 지하수위 변동 등을 유발하여 사면의 불안정성을 야기하게 된다. 국내 설계기준에서는 강우경계조건에 대한

† 교신저자: 한국철도기술연구원 고속철도 연구본부(hkkim@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도 연구본부

** 성균관대학교 공과대학 건설환경시스템공학과

*** 인천대학교 건설환경공학과

정의가 불명확하여 강우재현빈도곡선(IDF 곡선)을 이용하여 일정한 강우를 일정 시간동안 침투시키는 경계조건을 적용하여, 보수적인 해석결과가 산출된다. 본 연구에서는 강우패턴 변화에 따른 사면안정성 평가와 동시에 실효우량과 실강우량의 적용에 따른 사면안정성 평가를 진행하여 강우패턴과 실효우량 변화에 따른 사면안정성을 평가하고자 하였다.

2. 수치해석

본 연구에서 대상으로 설정한 해석 단면은 Fig. 1과 같고 Table 1과 Table 2는 수치해석에 사용된 불포화함수특성곡선(Soil Water Characteristic Curve;SWCC)과 지반물성을 제시하였고, SWCC는 Van Genuchten 공식을 사용하였다.

$$\theta(\psi) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left\{1 + [a(\Psi)^n]\right\}^m} \quad (1)$$

여기서, θ_r 는 포화체적함수비, Ψ 는 모관흡수력이고 a, n, m는 변수이다.

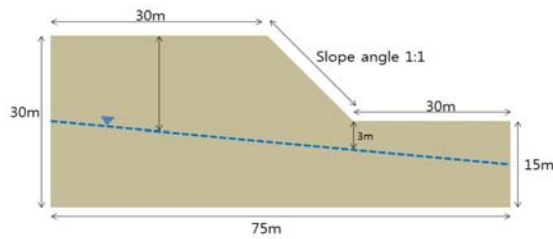


Fig. 1 Schematic geometry of a slope

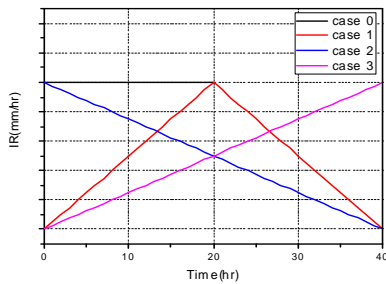


Fig. 2 Rainfall Patterns

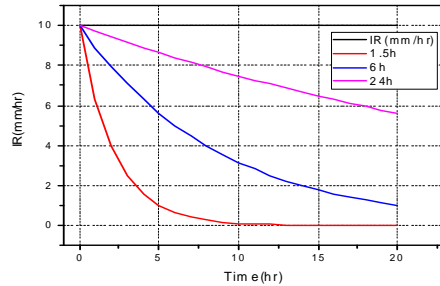


Fig. 3 Effective Rainfall

강우침투 사면안정해석은 강우침투해석을 시행하여 지반내 간극수압 변화를 유발하고, 사면안정해석을 연계하여 시간별 안정성을 평가하였다. 강우패턴은 Fig 2과 같이 시간강우량 10, 20, 30, 50mm/hr을 정하였으며, 각 시간강우량별로 동일한 누적강우량을 침투시켰다. 강우는 4가지 패턴으로 강우량 일정(case 0), 강우량 증가 후 감소(case1), 강우량 증가(case 2), 강우량 감소(case 3)로 구분하였으며, Fig 3과 같이 반감기를 적용한 실효우량을 적용한 사면안정해석과 침투해석을 진행하였다.

Table 1 Parameters for SWCC (by Van Genuchten)

a (Kpa)	n	m	Sat. vwc	Res. vws
22.48	1.37	0.27007	0.282	0

Table 2 Geotechnical Properties

Horizontal Permeability k_h (m / s)	ϕ_b	Unit Weigh γ_i (kN / m ³)	Saturated Unit Weight γ_{sat} (kN/m ³)	Cohesion c (kN / m ²)	Friction Angle ϕ
1.38E-06	10	19	20	10	34

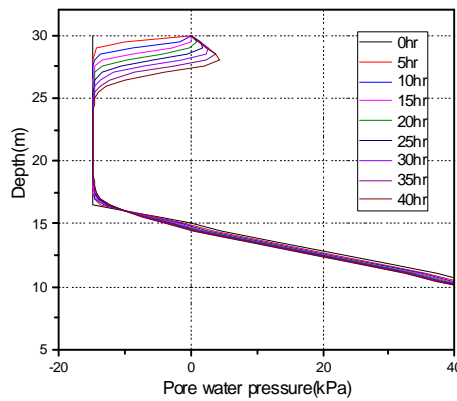


Fig. 4 Distribution of pore water pressure

3. 결과 분석 및 고찰

강우패턴 변화에 따른 침투해석을 시행한 결과 Fig. 4와 같은 간극수압분포를 얻을 수 있었다. 강우개시에 따라 시간별로 습윤전선이 하강하고 있으며, 이로 인하여 상부에 유사포화대가 형성되는 것을 확인할 수 있어, 강우침투에 따라 지반내 간극수압이 적정하게 분포하고 있다고 판단하였으며, 이를 기반으로 안정해석을 진행하였다. 사면안정해석결과는 Fig. 5에 보였다. 해석결과 40hr에서 하부사면의 간극수압이 가장 큰 case 3과 case 0 형태가 최종안전율이 가장 낮은 것으로 검토 되었고, case 0 형태가 case 1과 2에 비해서 안전율이 감소하기 시작하는 시간이 가장 빨랐다. case 1과 2는 비교적 빠른 시간에 안전율이 감소했지만 강우량이 감소함에 따라 안전율이 다시 증가하여 최종 안전율은 case 0과 case 3에 비해 높다는 사실을 확인할 수 있었다. 강우강도가 큰 패턴일수록 안전율이 감소하는 시간이 빨라졌고, 안전율의 변화폭 또한 더욱 큰 경향을 보였다.

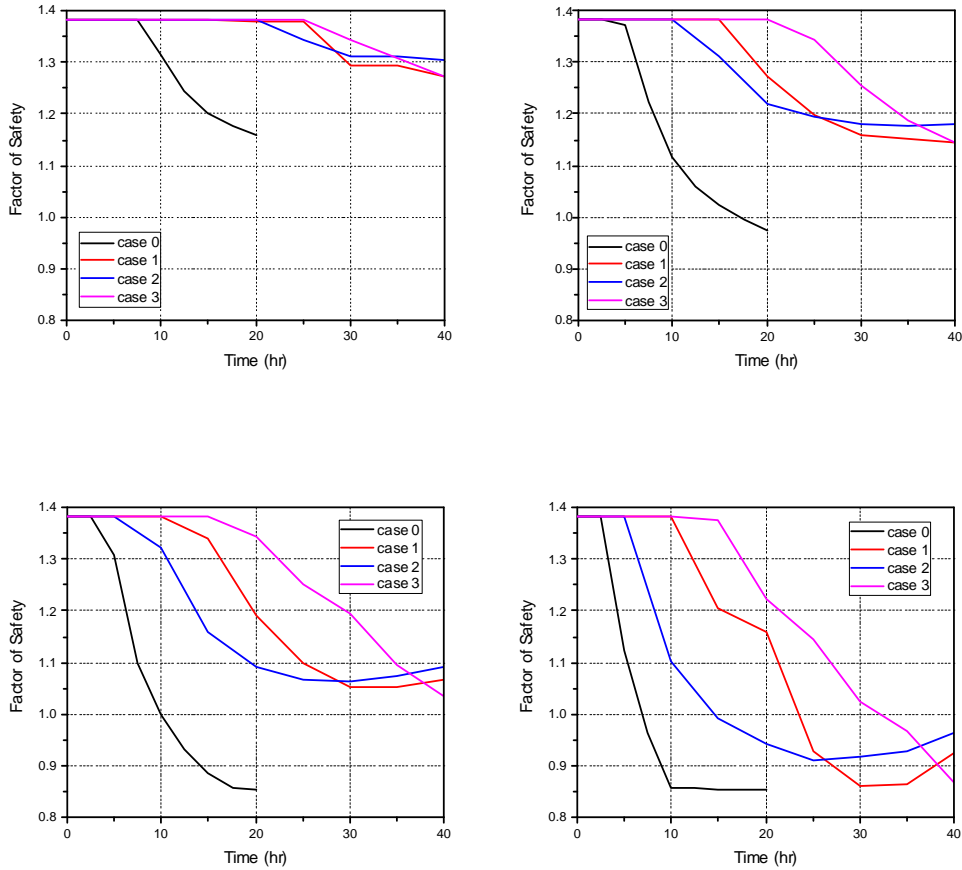


Fig. 5 Variation of factors of safety ; rainfall 10mm,20mm,30mm,50mm (left to right)

실효우량을 적용한 강우량에 따른 사면 안정성 평가 또한 위의 강우패턴 변화와 마찬가지로 4가지의 강우패턴을 반감기(1.5h, 6h, 24h)별로 적용하여 사면의 침투해석을 선행하고 안정해석을 진행하는 수순으로 하였다. 사면안정해석 결과를 Fig. 6에 보였으며, 해석결과 실제 강우를 그대로 침투시켰을 때와 실효우량을 적용한 결과가 현저히 차이가 나고 있음을 확인할 수 있었다. 안전율의 변화폭은 누적강우, 24h, 6h, 1.5h순으로 작아졌으며, 안전율이 감소하는 시간대 또한 위의 순으로 빨라지는 경향을 보였다. 이와 같이 강우패턴과 선행강우를 고려한 실효우량 적용에 따라 강우침투에 의한 사면안정성은 변화하고 있으며, 이를 고려한 안정해석이 필요하다고 판단된다.

3. 결론

본 논문은 강우패턴을 적용한 사면안전율 변화를 통해, 사면의 강우침투와 더불어 강우시 열차의 운전규제 기준과 연계하는 방안을 얻고자 검토하게 되었다. 기존 연구에 따른 기상청의 지역별 확률 강우강도가 아닌 실효우량을 도입한 강우강도를 사용하여 사면안정해석을 진행한 결과 일정한 강우량 형태일 때 보다 반감기를 매개로 실효우량을 적용한 사면의 안전율이 훨씬 높다는 사실을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 기존의 일정한 강우시의

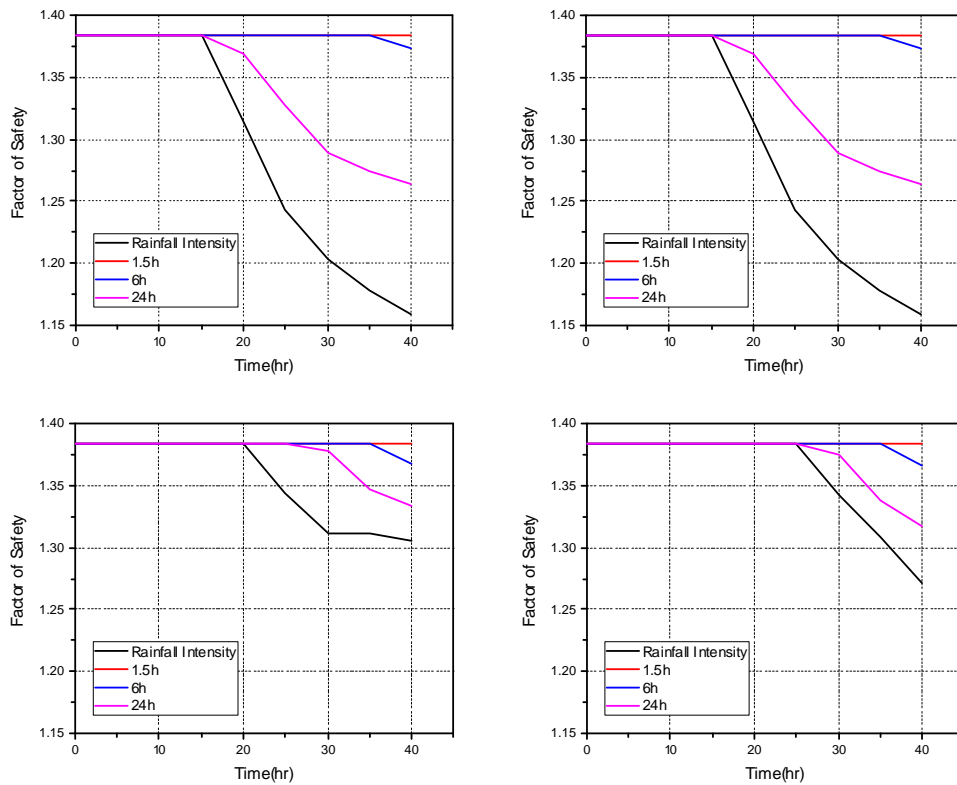


Fig. 6 Variation of factors of safety with effective rainfall(10mm/hr, case 0~case 3 clockwise rotation)

보수적인 설계, 점차 증가하는 강우 형태는 최종 안전율이 가장 낮았으므로 주의가 필요한 강우패턴으로 확인 된다. 강우패턴이 변화함에 따라 사면안전율 또한 변화하므로 기존의 일정 강우강도 조건의 사면안정해석이 아니라 강우특성을 적용하여 사면의 변화를 정확하게 예측하여 강우의 영향을 더 정확하게 나타낼 수 있다고 여겨진다.

참고문헌

- [1] Hyun-Ki Kim, Ki-Young Eum, Seong-Hyeok Lee, Ho-Seok Bae, Slope Saturation Depth Evaluation in Accordance with Effective Rainfall Application, 2015, Korean Society For Railway pp.588-591
- [2] A Study on Rainfall Alert Thresholds for each Hazard section in Conventional Railways, Korail(2012),
- [3] Shimamura M.(2000), The effective rainfall for rail transport operation control, JR-east report.