

강우강도에 따른 지하수위 특성에 관한 연구

A study on Characteristic of Groundwater level according to Rainfall Intensity

유 승 연* / 문 영 일** / 오 태 석*** / 신 동 준**** / 이 수 곤*****

You, Seung Yeon / Moon, Young-Il / Oh, Tae Suk / Shin, Dong Jun / Lee, Su Gon

Abstract

Slope-related disasters have occurred in the rainy season. It can be assumed that one of the most important factor slope-related disasters is rainfall intensity. Slope-related disasters occurred in relatively short time and had characteristics that lead to huge damage. Therefore, if rainfall characteristics were applied to estimate slope stability effectively, slope-related disasters could be predicted and prepared in advance. In this study, the SEEP/W program was used and the frequency rainfall estimated by using precipitation data(1961~2005) in Seoul was applied to analyze the change of groundwater level according to rainfall intensity.

keywords : slope-related disasters, SEEP/W, rainfall intensity

1. 서론

강우와 관련된 자연 재해는 전체 자연 재해의 77.2%로 강우로 인해 발생하는 자연 재해의 발생률이 매우 높다는 것을 알 수 있다. 우리나라는 전 국토의 70% 이상이 산지 지역으로 도로, 댐, 터널 등에 따른 인위적인 절취사면이 많이 존재하며, 이로 인해 급경사면이 많아 사면붕괴 발생 가능성이 많다고 볼 수 있다. 또한 강우가 계절적으로 집중되는 형태를 보이고 여름철에는 호우성 강우가 빈번하게 발생하고 있으며, 최근에는 이상 기후로 인해 국지성 집중호우 및 돌발홍수의 발생 빈도가 증가하고 있다. 사면재해는 7~8월의 태풍 및 집중호우가 발생하는 시기에 사면재해의 98%가 발생한다. 이를 통해 강우는 사면을 가장 불안정하게 만드는 요인 중 가장 중요한 원인이라고 볼 수 있다. 사면재해는 매우 짧은 시간에 일어나고 큰 피해를 발생시키는 특징을 가지고 있으며 또한 강우 발생 시에는 지중침투수에 의한 간극수압의 상승, 표면유수에 의한 침식, 흙의 포화로 인한 활동토층의 단위중량 증가 등에 의해 사면을 붕괴시키려는 활동력이 증가되고 사면 붕괴에 저항하려는 저항력은 감소되어 사면의 안정성이 극도로 저하된다. 따라서 강우시 사면의 안정성을 검토하는 경우에 보다 합리적으로 강우특성을 적용할 수 있다면 차후에 강우로 인해 발생될 수 있는 사면재해의 발생을 미리 예측하고 이에 대비할 수 있을 것이다.

2. 본론

사면재해에 가장 큰 영향을 주는 인자는 강우라는 것을 알 수 있다. 또한 기존의 연구에서도 강우가 사면붕괴 또는 산사태에 미치는 영향에 대해 다양한 논의가 이루어졌다. 강우가 발생하게 되면 사면의 특성에 따라 침투하게 되고, 침투되는 양이 사면에 내재되어 있는 지하수위에 영향을 끼치게 된다. 즉, 발생하는 강우강도

* 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 dpzh08@uos.ac.kr

** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 부교수 ymoon@uos.ac.kr

*** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 박사수료 taesuk79@uos.ac.kr

**** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 석사과정 dj11111@uos.ac.kr

***** 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 부교수 sglee@uos.ac.kr

에 따른 지하수위의 변화가 사면재해에 한 원인으로 작용하게 되는 것이다. 강우가 발생하게 되면 강우의 대부분은 지표 유출이 되어 단시간에 흘러나가며 일부분만이 지반내로 침투하게 된다. 이러한 지중침투량은 절대량이 작을지라도 간극수압의 상승, 표면유수에 의한 침식, 흙의 포화로 인한 활동토층의 단위중량 증가 등에 의해 사면을 붕괴시키려는 활동력이 증가하게 되고, 사면붕괴에 저항하려는 저항력이 감소하게 되면서 사면재해를 발생시키게 된다. 따라서 본 논문에서는 다양한 강우 조건에 따른 사면의 지하수위 변화에 대한 연구를 진행하고자 한다.

2.1 확률강우량 산정 및 강우의 시간분포

본 논문에서는 기상청 산하 서울 우량 관측소의 1961년 1월 1일부터 2005년 12월 31일까지의 시강우량 자료를 이용하여 확률 강우량을 산정하였다.

확률강우량의 산정에 있어서 가장 어려운 문제 중의 하나가 최적 확률 분포형을 채택하는 것이며, 확률분포형에 따른 확률강우량의 차이가 비교적 크기 때문에 최적 확률분포형의 채택이 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 「한국 확률강우량도 작성」(2000, 건교부)에 제시된 것과 같이 서울 지점에 대해 GEV 분포형을 적정 확률분포형으로 선정하였다. 매개변수 추정방법은 전통적인 방법인 모멘트법이나 최우도법에 비하여 매개변수의 추정에서 편의(bias)를 최소화할 수 있고, 보다 안정적인 결과를 주는 것으로 알려진(Greenwood 등, 1979; Landwehr 등, 1979) 확률가중모멘트법(Probability Weighted Moment)으로 추정하였다. 이러한 과정을 거쳐 GEV 분포형을 이용한 확률 강우량은 각 재현기간별, 지속시간별로 다음 표 1과 같이 산정되었다.

표 1. 확률강우량 산정 (매개변수 추정: 확률가중모멘트법, 분포형 : GEV)

지속시간 \ 재현기간	재현기간별 확률 강우량(mm)								
	2년	5년	10년	30년	50년	80년	100년	200년	500년
1시간	48.1	64.8	75.5	91.3	98.4	104.7	107.7	116.8	128.6
3시간	85.5	117.5	138.5	169.8	183.9	196.8	202.8	221.5	246.0
6시간	107.8	147.5	175.9	222.3	245.0	266.6	277.2	311.1	359.0
12시간	133.1	181.3	216.3	274.0	302.5	329.8	343.2	386.5	448.1
24시간	151.4	219.9	275.3	377.7	433.3	489.8	518.6	617.2	771.6

설계 강우조건에 따른 사면의 지하수위 특성을 고려하기 위하여 상기 빈도해석을 통해 산정된 확률강우량을 Huff 2분위에 대하여 지속시간(1hr, 3hr, 6hr, 12hr, 24hr)에 따라 분포 시켜 대상 사면에 적용하였다. 다음 그림 1은 Huff 2분위 50년 빈도에 대한 강우의 시간분포 결과이다.

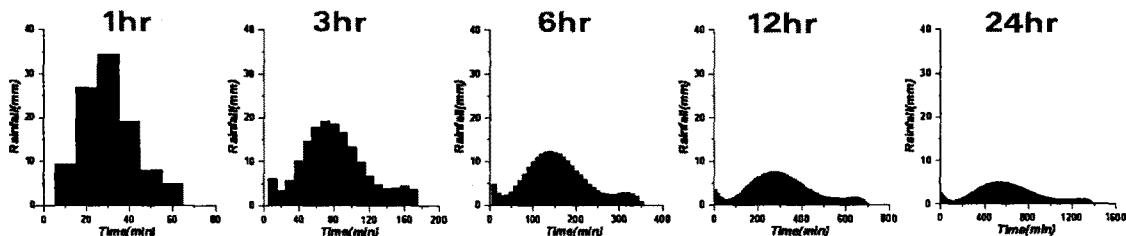


그림 1. 강우의 시간분포(Huff 2분위, 50년빈도)

2.2 간극수압에 따른 투수계수변화

강우에 의한 지하수위 변화를 파악하기 위해서는 우선 불포화토의 함수특성곡선 및 투수계수곡선이 정해져야 한다. SEEP/W 프로그램을 만든 GEO-SLOPE사에서는 다양한 실험을 통하여 간극수압에 대한 투수계수 함수 및 간극수압에 대한 체적함수량 함수 데이터베이스 결과 값을 제공하고 있다. 이 값들은 캐나다의 실험 규정이나 흙의 분류 등이 우리나라와 동일하지 않지만, 다양한 토양에 대한 지반 물성치를 제공하고 있다.

SEEP/W 모형에서 제공되는 Sand Loam의 간극수압의 변화에 따른 불포화투수계수의 변화와 간극수압에 따른 함수율은 그림 13과 같다. 이때의 포화투수계수가 $K_s = 5.83e^{-6}m/sec$ 이며, 포화함수율은 0.3812, 잔류함수율은 0.1606이다. 불포화토양에서의 물의 이동은 불포화투수계수를 이용하였으며, 불포화상태와 불포화투수계수의 관계식은 아래의 Mualem의 식을 이용하였다.

$\theta_d = (1/(1+(a_m\phi)^{n_m}))^{(1-1/n_m)}$ 여기서 θ 는 함수율이고, θ_r 는 잔류함수율이고, θ_s 는 포화함수율이고, θ_d 는 (θ/θ_s) 이고, ϕ 는 soil suction이고, (a, n, m)은 soil fitting parameters를 나타낸다. SEEP/W에서 제공되는 토양형별 실험자료를 이용한 Sandy Loam의 Mualem의 n값 2.3913이다. 본 논문에서는 해석단면을 두 가지 종류로 나누었는데 하나는 암반사면이 없이 Sand Loam의 단일 지층으로 구성된 도로의 절토사면이고, 다른 하나는 Sand Loam 지층에 경사진 암반사면이 존재하는 단면으로 구분하였다.

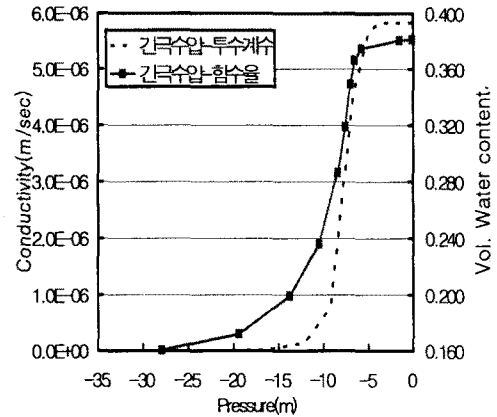


그림 2. Sand Loam의 함수율과 투수계수의 변화

2.3 강우강도에 따른 지하수위 예측 결과

본 연구에 적용된 확률강우량은 지속시간 1시간, 2시간, 6시간, 12시간, 24시간의 50년 빈도 강우량이다. 다음 그림은 1~10일의 지속시간일 때의 Sand Loam으로만 구성된 단면과 암반사면이 포함된 해석 단면의 지하수위 변화를 나타낸 결과이다.

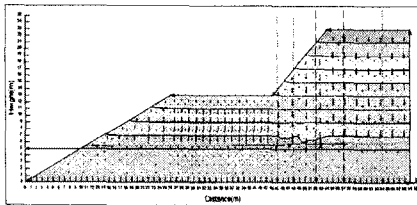


그림 3. 강우발생 1일 후의 지하수위 변화(Sand Loam)

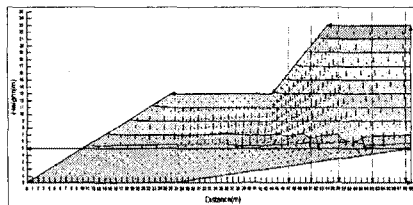


그림 4. 강우발생 1일 후의 지하수위 변화(암반사면 포함)

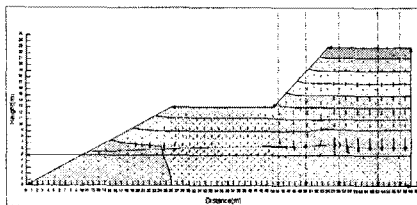


그림 5. 강우발생 3일 후의 지하수위 변화(Sand Loam)

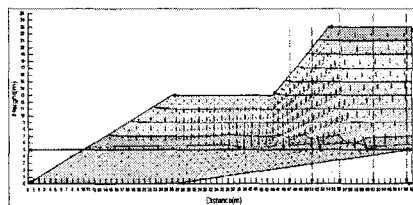


그림 6. 강우발생 3일 후의 지하수위 변화(암반사면 포함)

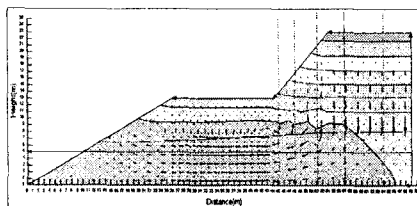


그림 7. 강우발생 10일 후의 지하수위 변화(Sand Loam)

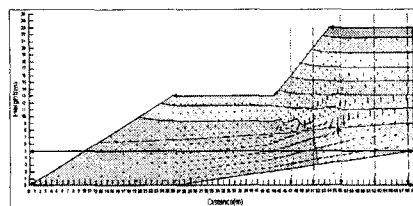


그림 8. 강우발생 10일 후의 지하수위 변화(암반사면 포함)

지속시간 1일인 강우가 발생하였을 때의 지하수위 변화를 살펴보면, 강우 발생이 끝나는 시점인 1일후의 지하수위는 기존 지하수위(Base groundwater table) 5m와 비교해 보았을 때 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 강우가 발생하고 난 다음 침투가 발생하기까지는 시간이 더 필요하다는 것을 의미한다고 판단된다. 암반사면이 존재하는 대상사면과 Sand Loam으로만 이루어진 대상사면의 강우가 끝나는 시점의 지하수위 변화는 크게 차이가 없는 것으로 보이나 암반사면이 존재하는 단면의 경우 Sand Loam으로만 이루어진 단면에 비해 침투방향이 더 불안정한 경향을 보이고 있다. 강우발생 1일후, 3일후, 10일후의 결과를 살펴보면 점차 지하수위가 증가하는 것을 볼 수 있는데 강우발생 10일 후의 지하수위 변화가 가장 큰 것으로 나타났다.

3. 결론

본 논문에서는 다양한 강우 조건에 따른 사면의 지하수위 변화에 대해 연구하였다. 이를 위해 SEEP/W 프로그램을 이용하여 지하수위를 예측하였다. 다양한 강우 조건을 사면에 적용하기 위하여 서울 지점의 강우를 지속시간 1시간, 6시간, 12시간, 24시간에 대한 재현기간 50년 빈도의 확률강우량을 Huff 2분위로 분포시켜 기존 연구의 강우강도 적용의 단점을 보완한 합리적인 강우를 사면에 적용하였다. 두 가지의 해석 단면을 모의한 결과 강우 발생이 끝나는 시점의 지하수위는 기존 지하수위(Base groundwater table)와 비교해 보았을 때 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 강우가 발생하여 침투가 발생하기까지는 시간이 더 소요된다는 것을 의미한다고 판단된다. 또한 암반사면이 존재하는 대상사면과 Sand Loam으로만 이루어진 대상사면의 강우가 끝나는 시점의 지하수위 변화는 크게 차이가 없는 것으로 보이나 암반사면이 존재하는 단면의 경우 Sand Loam으로만 이루어진 단면에 비해 침투방향이 더 불안정한 경향을 보이고 있다. 강우발생 1일후, 3일후, 10일후의 결과를 살펴보면 점차 지하수위가 증가하는 것을 볼 수 있는데 강우발생 10일 후의 지하수위 변화가 가장 큰 것으로 나타났다. 특히, 암반사면이 존재하는 대상사면의 경우 Sand Loam으로 이루어진 대상사면에 비해 지하수위가 조금씩 더 높아지는 것을 알 수 있다. 강우 지속시간에 따른 침투특성을 분석해 본 결과, 침투속도벡터는 강우 초기에는 수직방향으로 발생하다가 강우 발생 시간이 증가하면 점차 법면 방향으로 경사가 완만하게 발생하는 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(과제명 : 사면붕괴 예측 및 대응기술 개발) 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김경석, 정충기, 2006, "수치해석을 이용한 강우시 사면에 발생하는 지하수위에 대한 고찰", 2006 대한토목학회 정기학술대회, pp.227-230
2. 김경수 외, 2006, "지질조건에 따른 강우와 산사태의 특성 분석", The Journal of Engineering Geology, Vol.16 No.2, pp.201-214
3. 김영목 외, 2001, "호우시 성토사면의 불안정해석", 대한토목학회 2001년 학술발표회 논문집, pp.1-4
4. 김상규, 김영목, 1991, "강우로 인한 사면 불안정", 한국지반공학회지, Vol. 7 No.1, pp.53-64
5. 김재홍, 정상섭, 2000, "강우시 불포화 사면의 안정성 분석", 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(II), pp.611-614
6. Brand, E. W., 1985, "Predicting the performance of residual soil slopes", Proc., 11th ICSMFE, Sanfrancisco, pp.2541-2573
7. Nilson, T. H., and Tumor, B. L., 1975, "Influence of Rainfall and Ancient Landslide Deposit on Recent Landslides(1959-1971) in Urban Area of Contra Costa County", Col USGS Bull., 1388, pp.1-18
8. Olivier, M. Bell, R.G. and Jemy, C. A., 1994, The effect of rainfall on slope failure, with examples from the Greater Durban area, Proceedings 7th intern. Cong. IAEG. 3, pp.1629-1639
9. SEEP/W, 2002, User's Guide, GEO-SLOPE INternational Ltd.