

침투량에 따른 사면재해의 특성 및 지하수위 분석

Analysis of the Groundwater level and Characteristic of the Slope-related Disasters according the Infiltration

문영일*, 신동준**, 오근택***, 신흥건****, 이수곤*****

Moon, Young Il / Shin, Dong Jun / Oh, Keun Taek / Shin, Heung Kun / Lee, Su Gon

요 지

우리나라에서 발생하는 사면재해는 7월~9월, 즉 태풍 및 집중호우가 발생하는 시기에 대부분 나타나며 이를 통해 강우는 사면재해를 유발시키는 가장 중요한 요인임을 알 수 있다. 사면재해는 매우 짧은 시간에 일어나며, 큰 피해를 발생시키는 특징을 가지고 있다. 따라서 강우 발생시 사면의 안정성을 검토하는 경우에 보다 합리적으로 강우의 특성을 적용할 수 있다면 강우로 인해 발생할 수 있는 사면재해를 미리 예측하고 이에 대비할 수 있을 것이라 판단된다.

사면 해석시 강우에 대한 인자는 강우강도를 적용하며, 이는 사면에 거의 모든 강우가 침투된다고 가정하여 지하수위를 산정하지만, 이는 유출을 고려하지 않은 결과이다. 본 논문에서는 지하수위 예측 프로그램인 SEEP/W 프로그램을 이용하여 침투량에 따른 사면의 지하수위 변화를 예측해 보았다. 이를 위해 기상청 산하 서울 지점의 1961년부터 2005년까지의 시간 강우량 자료를 이용하여 확률강우량을 산정하였고, 산정된 값을 해석적 침투모형에 의하여 침투량을 계산하여 합리적으로 침투량을 해석단면에 적용하여 지하수위가 시간에 따라 어떻게 변화하는 지를 연구하였다.

핵심용어 : 사면재해, SEEP/W, 침투

1. 서 론

사면재해는 매우 짧은 시간에 일어나고 큰 피해를 발생시키는 특징을 가지고 있다. 또한 강우 발생 시에는 지중침투수에 의한 간극수압의 상승, 표면유수에 의한 침식, 흙의 포화로 인한 활동토층의 단위중량 증가 등에 의해 사면을 붕괴시키려는 활동력이 증가된다. 사면 붕괴에 저항하려는 저항력은 감소되고 사면의 안정성은 극도로 저하된다. 따라서 강우시 사면의 안정성을 검토하는 경우에 보다 합리적으로 강우특성을 적용할 수 있다면 차후에 강우로 인해 발생할 수 있는 사면재해의 발생을 미리 예측하고 이에 대비할 수 있을 것이다. 사면 해석시 강우에 대한 인자는 강우강도를 적용하며, 이는 사면에 강우가 모두 침투된다고 가정하기 때문에 과도한 지하수위가 산정되는 오류를 범하고 있다. 이는 유출을 고려하지 않은 결과이다. 본 논문에서는 다양한 해석적 침투모형을 이용하여 합리적으로 침투량을 산정하여 해석단면에 적용하여 지하수위가 시간에 따른 변화하는 양상을 연구하고자 한다.

* 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr
** 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : dj11111@uos.ac.kr
*** 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : civil798@naver.com
**** 정회원 · (주)현대산업개발 현장소장 · E-mail : shkun@hanmail.net
***** 정회원 · 서울시립대학교 토목공학과 부교수 · E-mail : sglee@uos.ac.kr

2. 연구 방법

본 논문은 지하수위 예측 프로그램인 SEEP/W 프로그램을 이용하여 침투량에 따른 사면의 지하수위 변화를 예측하고자 한다. 이를 위해 먼저, 기상청 산하 서울지점(108)의 1961년부터 2005년까지의 시간 강수량 자료를 이용하여 확률강우량을 산정하고자 한다.

산정된 확률강우량을 해석적 침투모형 중 Horton 모형을 이용하여 시간에 따른 침투량을 산정하고 산정된 침투량 값을 대상 사면에 적용하고자 한다. Horton 모형은 토양형에 따른 초기침투능과 종기침투능 값이 제시되어 있기 때문에 적용성이 뛰어나다며 표.1은 토양형에 따른 침투능값을 나타낸다.

표 1. 침투량 계수

구분	SCS 토양형			
	A	B	C	D
종기침투능 f_c (mm/hr)	25.4	12.7	6.4	2.5
초기침투능 f_0 (mm/hr)	254	203	127	7.6
Horton 공식에서 k	2	2	2	2

3. 이론적 배경 및 단면구성

3.1 이론적 배경

침투율은 시간에 따라 지수적으로 감소하여 거의 일정한 값에 도달한다. 즉

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (1)$$

여기서 f 는 시간 t 에서 침투율(mm/h), f_0 는 강우 초기에 최대인 초기침투율이고 이는 침투가 계속됨에 따라 감소하여 토양이 포화되었을 때 일정치인 종기침투율 f_c 에 이른다. k 는 감쇠상수(decay constant)이다. 식(1)은 $t=0$ 에서 $f=f_0$ 이고 $t=\infty$ 이면 $f=f_c$ 가 된다. 매개변수 f_0 , f_c , k 는 침투위 관측자료로부터 결정된다. 식(1)의 적분은 시간 t 에서 누가침투량을 제공한다.

$$F = f_c t + \frac{f_0 - f_c}{k} (1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

t 가 크게 되는 경우 k 는 다음의 식으로부터 구할 수 있다.

$$k = \frac{f_0 - f_c}{F_c} \quad (3)$$

여기서 $F_c = F - f_c t$ 로써 그림1.에서 사선부분의 면적이다. Horton모형은 호우기간동안 $i_s \geq f_p$ 일 때 적용된다. i_s 는 강우강도를 나타내며, f_p 는 침투능을 나타낸다. 매개변수를 결정하는 간단한

방법은 침투자료에 곡선을 적합시키는 것이다. t 에 대한 f 값을 도시할 경우 f 값이 거의 일정하게 될 때 f 는 f_c 값을 제시한다. 따라서 미지수는 f_0 와 k 에 관한 2개의 식을 얻는다. f_0/f_c 의 값은 대략 5정도이다. 다른 방법은 다음식의 양변에 대수를 취한다.

$$\ln(f - f_c) = \ln(f_0 - f_c) - kt \quad (4)$$

반대지수상에 위식을 도시하면 직선을 나타내므로 경사(-k)와 절편 $\ln(f_0 - f_c)$ 을 쉽게 얻는다. f_c 는 f 가 거의 일정하게 되는 값이고 $f - f_c$ 는 $t=0$ 에서 $f_0 - f_c$ 가 된다.

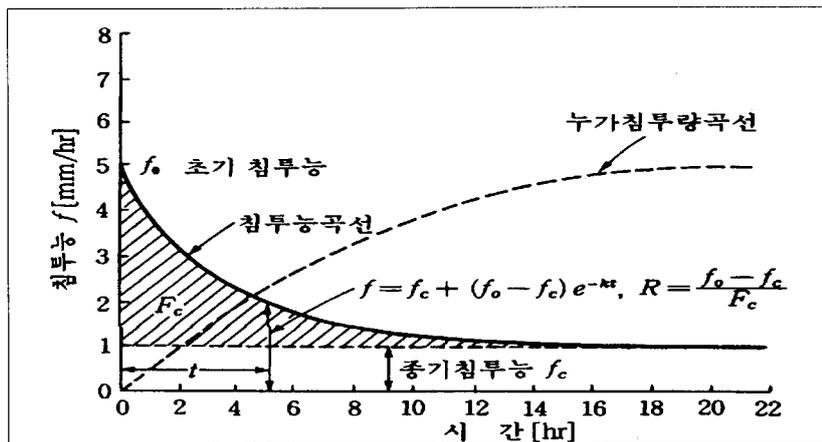


그림 1 침투율과 누가침투율의 곡선

3.2 단면구성

기본 단면은 Sandy Loam의 토양을 기초로 지표면에서 2m 떨어진 지점에서부터 암반이 위치하며, 지하수위는 5m에 위치한다. 2m 아래의 암반에 경계조건을 두어 강우량 및 침투량을 고려하여 지하수위를 산정하였다. 다음 그림2.은 Sandy Loam의 기본 단면을 나타낸다.

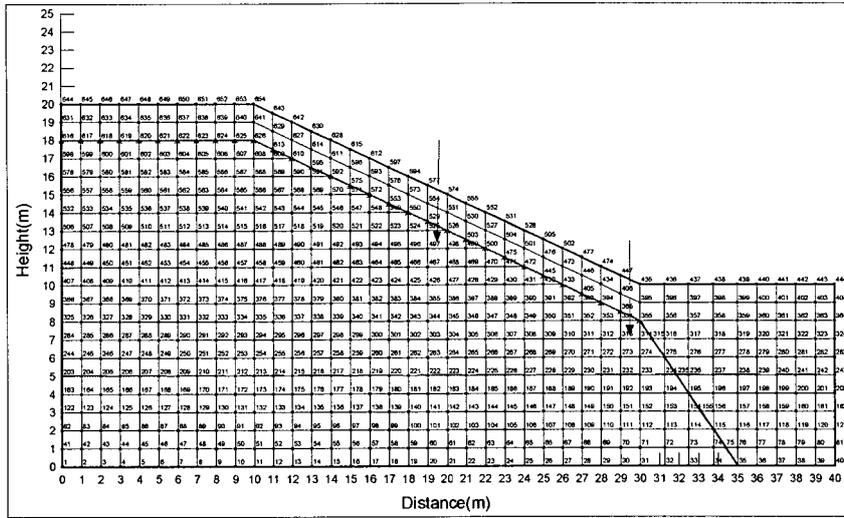


그림 2. Sandy Loam 기본단면

4. 지하수위 산정

4.1 강우강도와 침투량 비교

사면해석시 강우에 대한 인자는 강우강도를 적용하여 지하수위를 예측하지만 이는 강우전체가 지면을 통하여 흡수된다고 가정하기 때문에 과다한 지하수위가 산정된다. 또한 강우강도 적용에 있어서도 현재 일정강우강도를 일률적으로 적용하고 있는데 이는 초기에 과다하게 강우를 적용하기 때문에 과다한 지하수위 상승의 결과를 가져온다. 그림3.에서 보면 Huff 분포를 이용하여 지하수위를 산정하였고, 또 그림4.는 이와 비교하기 위하여 침투량이 가장 큰 A형 토양에 동일강우에 대하여 침투량을 산정하여 지하수위를 산정하였다. 그 결과 Huff 분포를 통하여 지하수위를 산정한 경우 2m이상의 지하수위 상승을 가져왔고 경사면도 완전포화를 시켰다. 하지만 침투량에 따른 지하수위 산정시 1.8m정도 지하수위 상승을 가져왔고 경사면은 완전포화 되지 않았다.

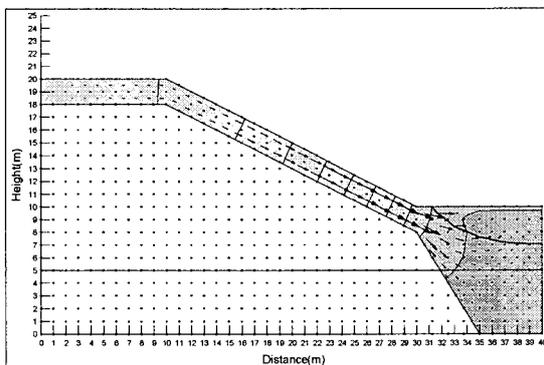


그림 3. Huff분포에 따른 지하수위 산정

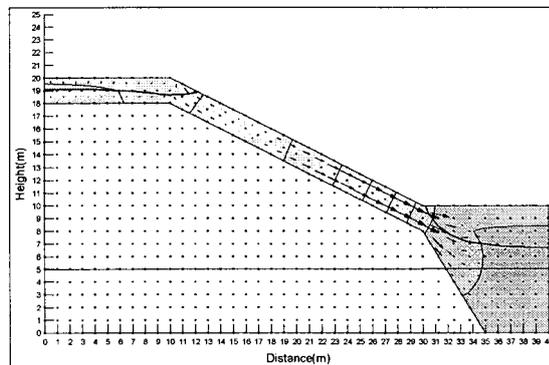


그림 4. 침투량에 따른 지하수위 산정

4.2 토양형에 따른 지하수위 산정

본 논문에서는 침투량에 따른 지하수위 결과를 해석하고자 한다. 침투량을 산정하는 해석적 모형중에 국내 적용성이 뛰어난 Horton 모형을 이용하여 A, B, C, D의 토양형별로 침투량에 따른 지하수위를 산정하고자 한다. A형, B형, C형, D형 토양형으로 갈수록 투수계수가 작아져, 침투량

값은 적어지고 유출이 증가되기 시작한다. 그러므로 토양형에 따라 적절한 침투량값을 산정하여야 사면의 안정에 중요한 역할을 하는 지하수위를 정확히 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

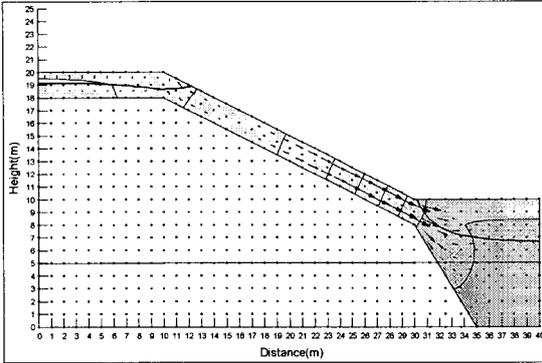


그림 5. 토양형에 따른 지하수위 산정(A)

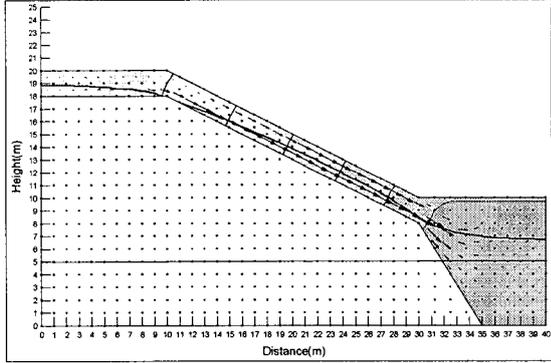


그림 6. 토양형에 따른 지하수위 산정(B)

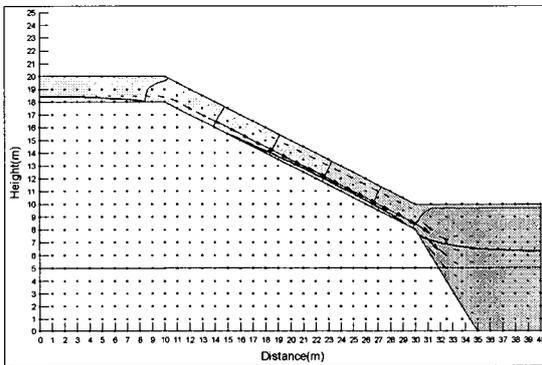


그림 7. 토양형에 따른 지하수위 산정(C)

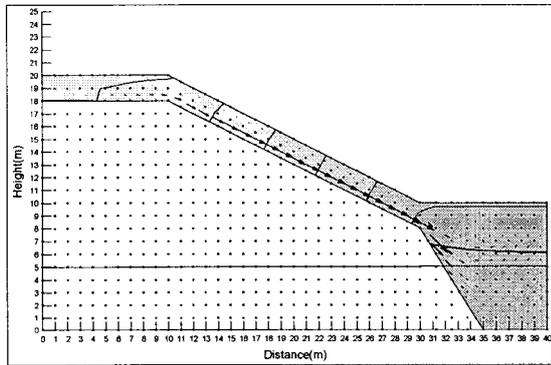


그림 8. 토양형에 따른 지하수위 산정(D)

그림5.~8.들은 토양형에 따른 지하수위 변화를 나타낸다. 서울지(108)점의 50년 확률강우량을 이용하여 침투량 값을 토양형별로 산정하여 하루동안 침투시켰고 이로부터 5일 후 지하수위 변화를 관찰하고자 한다. 침투능이 가장 큰 A형 토양이 가장 침투량이 많이 발생하여 지하수위 상승이 클 것이고 그뒤로 B, C, D 순으로 지하수위가 상승 될 것이다.

5. 결론

본 논문에서 시간분포에 따른 지하수위 변화와 침투량에 따른 지하수위 변화를 관찰한 결과 Huff분포를 이용하여 지하수위를 결정한 결과가 과다하게 산정 되었다. 그러므로 사면해석시 강우를 적용할 때 침투량을 고려하여 사면해석에 이용하여야 할 것이다.

또한 토양형에 따른 침투능에 따른 지하수위 상승에서 A형에서 D형 순서로 지하수위가 상승되는것을 보았다. 이는 투수계수 값이 큰 A형의 경우 B, C, D형의 경우보다 큰 결과로 사료된다. A형의 경우 5일이 지난 이후에 사면을 포화시키게 되면 사면 및 도로에 피해를 줄 수 있을것으로 사료된다. 본 논문에서는 강우강도의 변화에 따른 지하수위와 침투량과 토양형에 따른 지하수위 예측에 관하여 연구를 실시하였다. 차후 연구에서 예측된 지하수위를 이용하여 안정해석을 실시하여 강우강도 및 제현기간에 따른 사면제해 특성을 분석하고자 한다.

감 사 의 글

본 연구는 자연재해저감기술개발사업(3단계) 『사면붕괴예측 및 대응기술개발』 1차년 연구의 일환으로 수행 되었으며, 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김영목 외, 2001, “호우시 성토사면의 불안정해석”, 대한토목학회 2001년 학술발표회 논문집, pp.1-4
2. 김상규, 김영목, 1991, “강우로 인한 사면 불안정”, 한국지반공학회지, Vol. 7 No.1, pp.53-64
3. 김재홍, 정상섭, 2000, “ 강우시 불포화 사면의 안정성 분석”, 대한토목학회 2000년도 학술발표회 논문집(II), pp.611-614
4. SEEP/W, 2002, User's Guide, GEO-SLOPE International Ltd.
5. APPLIED HYDROLOGY , 1988, Ven T Chow, pp108-120
6. Horton, R. E., The rule of infiltration in the hydrologic cycle, Trans. Am. Geophys. Union, vol.14, pp. 446-460,1933