

지역별 강우 및 토양특성을 고려한 경사면에서의 지하수위 변동분석

Analysis of Groundwater Level Change at Slops considering Regional Precipitation and Soil Characteristic

이일주*, 최병규**, 김경욱***, 문영일****

Il-Ju Lee, Byung Kyu Choi, Kyoung Wook Kim, Young-Il Moon

요 지

본 연구에서는 과거부터 다양한 형태로 발생한 산사태의 주요 원인을 파악하고 우리나라에서 산사태 발생을 유발시키는 요인과 그 특성을 분석하기 위해 현재까지 발생한 산사태의 붕괴 지역을 조사하고 주요 원인을 강우, 토양, 침투, 경사의 4가지 경우로 나누어 이에 대한 지역별 특성을 조사 분석하였다. 분석방법으로는 지역별 확률 강우량 산정 후, 이를 토대로 침투량과 유출량을 분리하여 경사면에서의 침투거동과 지하수위 변화양상을 살펴 보기 위해 SEEP/W를 이용하여 지역별 산사태 붕괴원인을 분석하였다. 그 결과, 일부지역을 제외한 대부분 지역에서 강우량이 증가함에 따라 지하수위가 선형적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 피해형태는 사면의 위치별로 다르게 나타나고 있어 지역별로 산사태 붕괴원인에 따른 적합한 대처가 필요한 것으로 분석되었다.

핵심용어 : 지하수위, 침투량, 유출량, 침투거동, SEEP/W

1. 서 론

최근 예측할 수 없는 극한강우가 빈번하게 발생함에 따라 수공구조물의 설계빈도를 넘어서는 경우가 증가하고 있다. 기후변화는 단순히 강우량의 증가를 말하는 것이 아니라 강우의 형태나 계절적인 변화를 의미한다. 이러한 강우패턴의 변화로 인해 수공구조물 뿐만 아니라 자연사면이나 인공사면에 영향을 끼쳐 다양한 피해를 일으키고 있다. 더욱이 우리나라는 대부분 지역이 산지로 구성되어 있어 다양한 형태의 사면이 존재하는 지형적 특성이 피해를 증가시키는 원인이 되고 있으며, 2차적으로 하천으로 토사를 유출로 인해 통수능을 감소시켜 막대한 피해를 일으키는 원인이 되기도 한다. 본 연구에서는 지역별로 발생하는 산사태 붕괴의 주요 원인인 강우와 토양특성으로 인한 경사면에서의 침투거동 및 지하수위 변동 분석을 위해 확률강우량을 산정하고 이를 토대로 해석적 침투모형별 침투량과 유출량을 분리하여 SEEP/W를 통해 지역별 사면의 경사에 따른 침투거동 및 지하수위 변화를 분석하였다.

2. 위험지역 선정 및 토양 분석

과거부터 우리나라는 지속적으로 산사태가 진행되어 왔다. 시대별로 산사태의 원인이 각각 다르게 나타나고 있지만 강우와 지형특성으로 인해 피해는 계속되고 있다. 더욱이 강우도 계절적인 영향으로 여름

* 정회원 · (주)삼안 수력부 사원 · E-mail : ijlee@samaneng.com

** 정회원 · (주)삼안 수력부 부사장 · E-mail : bkchoi@samaneng.com

*** 정회원 · (주)삼안 수력부 상무 · E-mail : kwkim1@samaneng.com

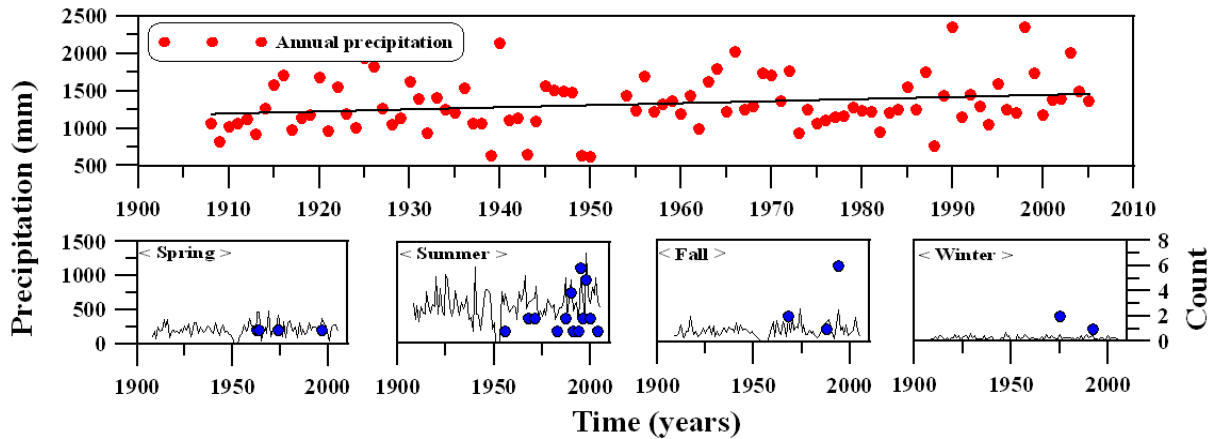
**** 정회원 · 서울시립대학교 공과대학 토목공학과 교수 · E-mail : ymoon@uos.ac.kr

에 집중되어 재해의 위험성을 배가 시키고 있다. 이처럼 피해빈도와 지형적 특성으로 인해 피해가 발생했던 지역을 24개 지역 48개 지점을 선정하여 지역별로 갖고 있는 토양과 수문학적 토양형, 암반깊이를 조사·분석 하였다. 지역별 토양분석 결과 토양은 Loam이 42.97%로 가장 많은 분포를 보였으며, Sandy loam이 그 뒤를 이었다. 또한, 수문학적 토양형에서는 A형과 B형이 각각 37.4%와 39.7%의 비율로 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이렇게 피해가 일어나고 있는 지역을 선정하고 그 지역이 갖고 있는 토양특성을 분석하여 추후 침투거동 및 지하수위 분석시 기초자료로 사용하고자 한다.

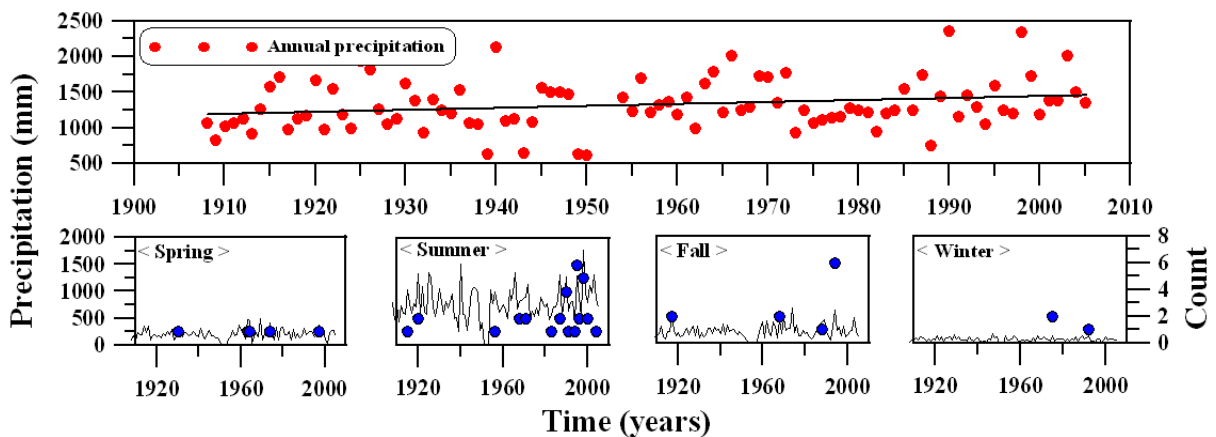
3. 계절별 강우와 사면재해관계 분석 및 강우-유출분리

3.1 계절별 강우와 사면재해관계 분석

강우와 산사태피해는 밀접한 관계를 갖고 있기 때문에 과거부터 현재까지의 관계를 분석하고 연강우량을 이용한 관측시점부터 현재까지의 강우패턴과 우리나라의 강우특성을 효과적으로 분석하기 위해 계절별 구분에 따른 강우패턴을 분석하여 계절에 따른 피해 횟수와 강우사상과 비교하였다.



<그림 3.1> 계절별 강우사상과 산사태피해 관계 (서울)



<그림 3.2> 계절별 강우사상과 산사태피해 관계 (강릉)

서울과 강릉지역의 강우패턴과 산사태 피해횟수를 분석한 결과, 연강우량에 의한 강우패턴은 증감을 반복하는 형태로 과거부터 현재까지 지속되고 있지만 최근에 그 반복 주기가 짧아지고 있어 최근에 극한호우에 의한 영향이라 판단된다. 결국, 과거보다 극한호우 사상이 빈번하게 일어날것으로 예측되며,

이에 대한 피해역시 예측과 대책이 이루어지지 않는 한 증가할 것이라 판단된다.

3.2 사면에서의 침투및 유출 관계

일반적으로 지표하의 침투거동이나 지하수위 변동 양상을 살펴보기 위하여 SEEP/W를 이용할 때 모든 경우가 침투된다는 가정하에 강우강도를 적용하게 된다. 하지만 강우를 100% 침투된다고 가정하면 지하수위 산정과 경사면의 안전성에 있어서 과대 산정될 가능성이 크다. 따라서 침투량의 과대 산정을 방지하기 위해서 해석적 침투모형을 이용하여 침투량을 산정한 결과 서울, 인천, 양평, 제천, 서산, 강릉, 인제, 군산, 목포, 포항, 하동, 부산지역에서 많은 침투량이 산정되었다. 강우와 침투능의 관계에서 침투능에 따라 강우의 초과 강우량과 침투능을 구분할 수 있는데, NRCS 모형의 경우 선행함수조건과 수문학적 토양형으로 산정할 수 있어 침투능으로 인해 누적 침투량이 산정되어지는 Horton 모형과 Green-Ampt 모형과는 다른 형태로 산정된다. <표 3.1>과 같이 모형별로 경사면에서의 유출시점과 강우강도를 산정할 수 있는데 지역과 모형별로 다른 유출시점을 나타내고 있는것을 확인 할 수 있다.

<표 3.1> 강우강도와 유출시점 (서울)

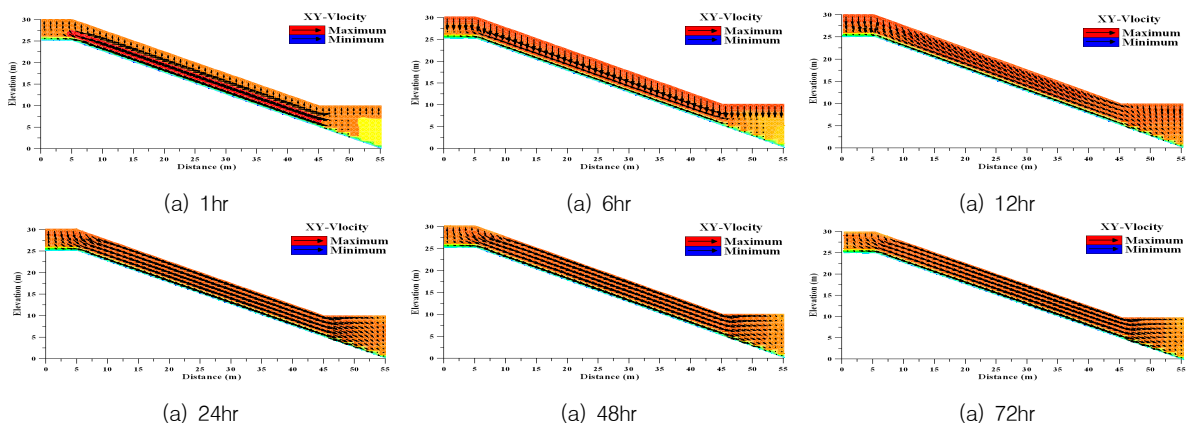
지역	강우강도	NRCS				Horton				Green-Ampt			
		A	B	C	D	A	B	C	D	S·L (I)	S·L (II)	L	C·L
서울	강우강도 (mm/h)	35.71	13.50	5.60	2.81	33.32	11.50	3.26	1.14	13.50	12.49	4.94	3.26
	유출시점 (hr)	9.50	5.50	4.00	3.16	8.83	5.16	3.33	2.16	5.50	5.33	3.83	3.33

S·L (I) - Sandy loam / S·L (II) - Silty loam / L - Loam / C·L - Clay loam

4. 침투거동 모의 및 지하수위 변화분석

4.1 침투거동 모의

앞의 결과에서 보듯이 사면에서 강우에 의한 침투와 유출과의 관계는 시간에 따라서 달라지게 된다. 이처럼 지속시간은 사면의 위험성에 있어서 많은 영향을 끼치고 있다. 지속시간별 침투거동을 살펴보기 위해서 실제 침투량이 많이 발생한 1:2.0 경사를 기준으로 경사면에서의 X, Y방향에 대한 유속의 크기와 흐름의 양상을 살펴보았다. <그림 4.1>은 1:2.0 경사에서 10년 빈도의 지속시간별 유속변화 양상을 나타낸다.

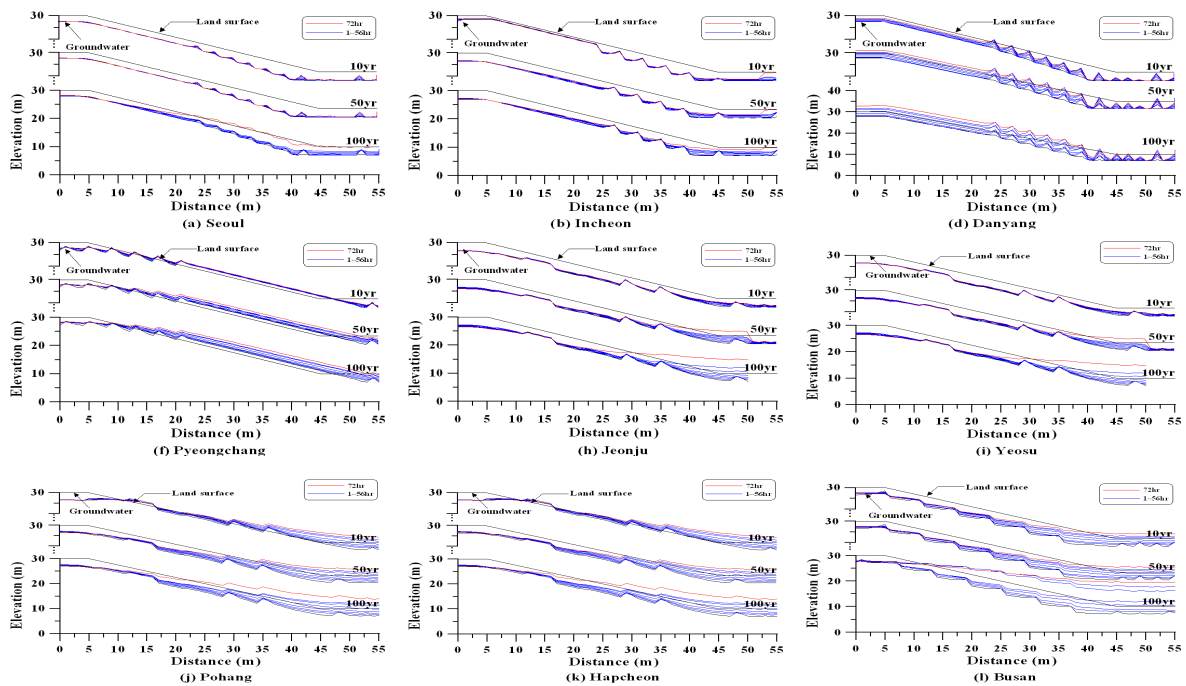


<그림 4.1> 지속시간별 유속변화

경사면에서의 유속 변화를 통해서 지속시간마다 흐름의 양상을 쉽게 구분할 수 있으며, 지속시간 초기에는 강우에 의해 침투가 지배적인 흐름을 보이며, 시간이 지날수록 유속이 커져 사면내에서 전체적인 흐름이 침투에서 유출로의 변화를 보이고 있다. 또한, 깊이별로 총 5m 깊이 중 토양층으로 구성된 4m 깊이에서 빠른 흐름을 보이며, 암반층과의 경계부분에서는 비교적 흐름이 느린 것을 알 수 있다.

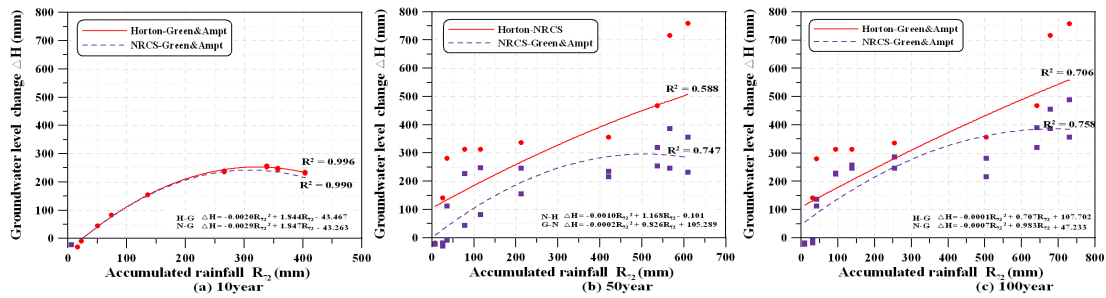
4.2 지하수위 변화분석

24개 지역에서 다양한 토양적 분포와 더불어 지역마다 유사한 특성을 나타내는 토양도 있었지만, 유사한 토양특성을 지니고 있어도 지역마다 나타나는 강우특성이 다르기 때문에 지역마다 침투나 지하수위 변화가 다르게 나타난다. 또한, 토양의 지반 성질에 근거하여 암반의 깊이를 다르게 설정하였으며, 모든 단면의 지하수위는 3m 이상으로 하였다. 24개 지역 중 시·도별로 가장 많은 지하수위를 보이는 지역을 각각 1개 지역씩 선정하였다. 다음 <그림 4.2>는 시·도별 가장 높은 지하수위를 나타낸 주요지역을 나타낸 결과이다.



<그림 4.2> 지하수위 변화양상

강우에 따른 지하수위 관계를 살펴볼 때, NRCS 모형의 경우 다른 두 침투모형의 비는 최소 7.4%에서 최대 241.6%로 지역마다 모형별 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 모형에 대한 침투량은 토양의 성질에 따라 크게 2배 이상 차이는 지역이 있을 정도로 모형에 대한 편차는 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 결국, 다양한 토양과 수문학적 토양을 가진 지역적 침투량을 산정하기 위해서는 적합한 모형의 선택이 중요하다 할 수 있는데, Surendra Kumar Mishra (2002)에 따르면, 미국의 경우 토양에 따른 모형의 적합성을 판단하기 위해서 Nash와 Sutcliffe (1970)가 해석적 침투모형과 실제 침투량의 측정을 이용해서 모형의 효용성을 판단하고 있지만 현재 우리나라에서는 지역별 적합하게 적용할 수 있는 침투모형의 적용이 되고 있지 않다. 결국 지역별로 모형별 비교를 통해 적합한 해석적 침투모형을 적용할 필요가 있다. 다음 <그림 4.3>은 대표적으로 서울지역 모형별 상관관계를 비교한 결과이다.



<그림 4.3> 강우-지하수위 관계 (서울)

<그림 4.3>을 정리한 결과 모형별 상관계수의 경우 가장 침투량이 많은 Horton모형이 다른 모형보다 많은 지하수위 증가량을 보이고 있어 Horton 모형과의 상관관계는 낮아지고, NRCS와 Green & Ampt의 상관관계는 비교적 높은 것으로 나타났다.

<표 4.1> 모형별 상관관계식 (서울)

지역	빈도	모형	곡선식	R ²
서울	10yr	H-G	$\Delta H = -0.0020R_{72}^2 + 1.844R_{72} - 43.367$	0.996
		N-G	$\Delta H = -0.0029R_{72}^2 + 1.847R_{72} - 43.263$	0.990
	50yr	N-H	$\Delta H = -0.0010R_{72}^2 + 1.168R_{72} - 0.101$	0.588
		G-N	$\Delta H = -0.0002R_{72}^2 + 0.826R_{72} + 105.289$	0.747
	100yr	H-G	$\Delta H = -0.0001R_{72}^2 + 0.707R_{72} + 107.702$	0.706
		N-G	$\Delta H = -0.0007R_{72}^2 + 0.983R_{72} + 47.233$	0.758

5. 결 과

본 논문은 우리나라에 발생하는 산사태 피해지역을 중심으로 지역별 강우와 토양특성을 반영한 지역별 사면에서의 침투거동과 지하수위 변화양상을 살펴보았는데, 지역별로 각기 다른 형태의 침투거동과 지하수위 변화량을 나타내고 있으며, 강우와 토양특성이 경사면의 피해를 지배하는 주요 요인임을 알 수 있다. 이러한 위험요소는 경사면의 위치별로 각기 다르게 나타났으며, 이러한 특정 위치의 위험요소는 증가하는 피해형태에 있어서 효율적으로 대처하고 방지할 수 있는 방안으로 제시할 수 있을 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 기상청, (1997-2007). “기상연보”
2. 김용호, 배상근 (2003). “지표상태별 강우 침투특성의 검토”, 한국수자원학회 학술대회지, pp. 105~108
3. 임동균, 여홍구, 김규호, 강준구 (2006). “제방 침투 수치해석 모형의 적합성 분석”, 한국수자원학회 논문집, 한국수자원학회, 제 39권, 제 3호, pp.241 ~ 251.
4. GEO-SLOPE INternational Ltd, (2002). “SEEP/W User's Guide”
5. Surendra K.M., Vijay P.S., (2004). “Validity and extension of SCS-CN method for computing infiltration and rainfall-excess rates”, *Hydrol. Process.* 18, pp3323-3345.