

빈도해석에 의한 합천관측소의 강우침식인자 산정 연구

A Study on Estimation of Rainfall Erosivity Using Frequency Analysis for Hapcheon Gauging Station

안정민* · 이근숙** · 류시완***

Ahn, Jung Min · Lee, Geun Suk · Lyu, Si Wan

요 旨

RUSLE는 강우침식, 토양침식, 지형적 특징, 경작관리 등과 같은 유역 토양유실량 산정에 널리 사용되어 왔다. RUSLE 관련 매개변수 중 강우침식인자는 가장 민감도가 큰 요소로 그 신뢰성을 높이는 것은 정확한 유역 토양유실량 산정을 위한 필수조건이다. 국내에서는 유역의 토양침식을 조절하고 토양유실량 산정을 위한 강우침식인자 산정에 대한 명확한 기준이 마련되어 있지 않고 연평균 강우량과 침식인자의 관계식을 이용하거나 TRB에서 제안한 방법을 이용하고 있다. 본 연구에서는 빈도분석을 이용하여 강우침식인자를 산정하는 절차를 제안하였다. 다양한 재현빈도와 지속기간에 대해 계산된 강우침식인자는 지속시간에 따라 정규분포 형태로 나타났기 때문에 확률분포함수를 이용해서 강우침식인자를 산정할 수 있도록 적합분포함수를 제안하였다. 본 연구에서 제안한 방법을 통하여 유역의 토양유실을 효과적으로 조절하고 구조물에 대한 설계토양유실량을 계산하기 위한 최적의 강우침식인자를 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : RUSLE, 강우침식인자, 빈도분석, 회귀 분포함수

Abstract

RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation) has been widely used to estimate the soil loss amount of watersheds from rainfall erosivity, soil erodibility, topographic features and cropping management condition. Rainfall erosivity is the most dominant and sensitive factor among these so that the determination of reliable rainfall erosivity is essential to estimate the soil loss of watershed. Since there has been no criterion to determine the rainfall erosivity in Korea, the empirical values, determined from the relation between the annual average rainfall and erosivity or suggested by TBR(Transport Research Board), have been used for designing the erosion control structure and controlling the soil erosion for watersheds. In this study, the procedure for estimating the rainfall erosivity using frequency analysis is proposed. The most fitted distribution function, with calculated rainfall erosivities with various frequencies and durations, has been also selected. The suggested procedure can be used to estimate the optimal value of rainfall erosivity for RUSLE in order to design soil erosion structures and control the soil erosion in watersheds effectively.

Keywords : RUSLE, rainfall erosivity, frequency analysis, fitted distribution function

1. 서 론

전 세계적으로 이상기후 및 기상이변으로 인한 자연재해 발생빈도가 높아지고 있으며 도시가 고도화 되고 자연이 개발될수록 재해 발생 시 피해 규모는 증가되고 있다. 국내에서는 대표적으로 2010년 한강수계에 발생한 기습폭우로 인해 많은 인적 물적 피해를 발생시켰

다. 특히, 토사유출로 인한 피해가 가장 컸으며 토사 유출은 강우 시 유출수와 함께 유출되기 때문에 배출량의 변화가 크고, 예측이나 정량화가 힘들다(최한규 등, 2010). 토사유출은 강우와 밀접한 관련이 있기 때문에 장마 또는 태풍이 내습하는 6~8월에 집중되며 동일한 강우에도 개발에 따른 침식능, 사면경사, 피복식생 등의 변화로 인해 토사유출량을 증가시킬 수 있다. 토사

2012년 8월 29일 접수, 2012년 10월 29일 수정, 2012년 12월 11일 채택

* 정희원 · 창원대학교 토목공학과 박사과정(Member, Department of Civil Engineering Changwon National University, ahnjm80@gmail.com)

** 정희원 · 농어촌공사 차장(Member, Korea Rural Community Corporation, lgs9051@hanmail.net)

*** 교신저자 · 창원대학교 토목공학과 부교수(Corresponding author, Department of Civil Engineering Changwon National University, siwan@changwon.ac.kr)

유출량의 증가는 하천의 통수단면의 감소를 유발하여 하천범람으로 인한 피해를 발생시킬 수 있으며, 하천 유수력의 증가에 따라 각종 수리시설물의 파괴를 초래하는 원인이 되기도 한다. 또한 토사유출로 인한 기존 댐의 수위-저수용량의 변화는 댐의 용수공급 및 홍수조절 능력을 변화시키기 때문에 안정적인 운영·관리를 위해서는 퇴사량 예측의 불확실성을 감소시킬 필요성이 있다. 국내에서는 국립방재연구소(1998a;1998b)에서 토사유출의 물리적 화학적 기구특성에 대한 기초적 연구 및 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구가 수행되었고 소방방재청(2005)에서 재해영향평가를 수행하기 위한 지침을 마련한 바 있다. 국내에서는 토사유출량 산정을 위한 방법으로 USLE/RUSLE, 비유사량법 그리고 원단위법을 주로 이용하고 있으나, 침식조절을 위한 대책, 토양관리, 농작물 및 식생의 관리에 대한 검토는 침식에 대한 영향인자 및 침식과정에 대한 검토, 침식에 따른 손비산정, 토양침식의 예측모형 및 측정기법 등에 대한 검토가 선행되어야 한다(국립방재연구소, 1998b). 환경부(2012)에서는 토양환경보전법 제6조 2 및 같은 법 시행규칙 제5조의 2에 따라 토양유실량을 산정하기 위한 모형으로 RUSLE를 채택하고 있으며 표토의 침식 현황 조사 및 대책 등에 관한 사항을 표준화하기 위해 의견 수렴 중에 있다. USLE 및 RUSLE는 강우에 의한 연평균 토양유실량을 평가하는데 광범위하게 적용되고 있으며 특히 강우침식인자는 토양 유실을 계산하기 위한 중요한 수치이다(Wischmeier, 1959). 강우침식인자는 분석자료, 호우사상의 분류방법, 운동에너지공식, 30분 최대강우강도 산정방법 등에 따라 다른 결과를 나타낸다. 국외에서는 많은 연구자들에 의해 다양한 지역의 토양유실과 강우침식인자의 상관관계가 연구되었다(Wischmeier, 1959; Wischmeier and Smith, 1978; Renard and Freimund, 1994; Bagarello and Ferro, 2004). 국내에서는 강우침식인자를 산정하기 위해 정필균 등(1983), Jung et al(2004), 박정환 등(2000)이 우리나라 전국적 규모의 연평균 강우침식인자 산정을 시도하였다. 하지만, 김창완 등(1999)은 연평균 강우침식인자는 건설현장에서 단일호우에 의한 토양유실량 추정에 직접 사용하기는 곤란하다고 하였으며 손광익(2001)은 연평균 강우침식인자를 사용하여 일년간의 토사유출량을 산정하고 침사지 규모를 결정하는 것은 타당하지 않다고 평가하였다. 국내외적으로 단일호우에 대한 재현기간과 지속시간에 대한 뚜렷한 선정기준이 없는 실정이며 TRB(1980)에서는 단일호우에 의한 토사유출량 산정을 위해 지속시간 24시간 강우를 단일호우자료로 사용하였

고 소방방재청(2005)에서도 통상 30년 빈도, 지속시간 24시간, 3분위를 주로 채택한다고 언급하였다. 강우침식인자는 지표면을 강타하는 전체 강우운동에너지와 강우의 곱에, 관측된 30분 최대강우강도와외의 경험적 관계식에 의해 계산된다(Wischmeier and Smith, 1978). 토양침식은 빗방울 튀김에 의한 토립자의 토사체 이탈과 유출에 의한 토립자 이송에 의해 발생되므로 강우강도에 가장 큰 영향을 받기 때문에 연평균 강우량을 이용한 강우침식인자 산정이 아닌 확률강우량 산정방법을 이용한 단일호우 사상에 대한 강우침식인자 산정이 필요하다.

환경부(2012)에서는 토양유실을 산정하기 위한 강우침식인자로 Jung et al(2004)이 제시한 값을 활용하고 있다. 본 연구에서는 강우의 침식능을 정량화하기 위해 Huff 분위, 강우 지속시간, 재현기간별 강우침식인자를 산정하고 Jung et al(2004)이 제안한 연평균 강우량에 의한 강우침식인자와 비교 분석하였다. 또한, 표본의 누적확률분포와 가설로 설정된 모집단의 누적 확률분포를 상호 비교하여 표본의 분포가 가정한 확률분포에 적합한 것인지를 결정하여 지속시간에 따른 빈도별 강우침식인자를 산정할 수 있는 표본식을 제안하고자 한다.

2. 연구의 방법

토사침식은 강우에 대한 민감도가 크고 강우의 발생 크기, 시기, 지속시간에 따라 다른 결과를 나타낸다. 또한, 일반적으로 유량은 빈도별로 지속시간 18~24시간에서 침투유량이 발생하는 것으로 알려져 있지만 강우침식인자는 이와 다를 수 있다. 우리나라의 경우 이와 관련된 특별한 적용기준이 없고 연평균 강우량에 따른 회귀식을 토대로 연평균 토사유출량을 계산하는 강우침식인자를 산정하거나, TRB(1980)에서 적용하고 있는 3분위 24지속시간을 이용해서 일괄적으로 강우침식인자를 산정하고 있다. 특별한 규정 없이 획일화된 강우침식인자를 적용하면 토사유출량을 과대 또는 과소 산정할 수 있다. 토사유출량을 과대산정하면 설계비용이 증가할 것이고 토사유출량을 과소산정하면 토사에 따른 위험성이 증가할 것이다. 토사 방지 및 저류시설과 관련된 수공구조물 설계 시 설계빈도, 지속시간에 따른 적절한 설계기준이 제시되어야 하고, 제시된 설계기준을 바탕으로 각 강우사상에 따른 강우침식인자를 산정해야 한다. 황창수 등(2010)은 토양유실량 결과는 강우강도와 강우량에 따라 큰 영향을 받기 때문에 많은 연구가 필요하다고 언급하였다. 따라서, 본 연구에서는 합천강우관측소를 대상으로 단일호우 사상에 대한 강

우침식인자를 산정하였다. 대상관측소에서 관측된 시강우량 자료를 토대로 IDF식을 유도하고 각 지속시간별, 재현기간별, 확률강우량을 산정하였다. 확률강우량을 산정하기 위한 강우강도식은 General 식을 이용하였으며 Huff(1967) 방법을 이용하여 강우를 분포시켰다. 각 단일호우 사상에 대한 30분 최대강우강도, 강우운동에너지를 산정하여 Huff 분위별 지속시간별 재현기간별 강우침식인자를 계산하였다. 단일호우에 대한 강우침식인자를 평가하고 기존 연구자들이 제안한 연평균강우량에 기반한 강우침식인자와 비교·검토하였다. 또한, 확률분포를 이용해서 Huff 분위별, 빈도별, 지속시간별로 강우침식인자를 산정할 수 있는 표본식을 제안하였다.

3. 연구 내용

3.1 확률강우량 및 강우분포

임의지점의 지속시간별, 재현기간별 확률강우량은 빈도해석 절차를 통해 산정하며 건설교통부(2000)에서 수자원관리를 위한 확률강우량 작성에 대해 일반화 하였다. 본 연구에서는 합천 우량관측소의 관측 강우자료를 바탕으로 국립방재연구소의 강우빈도 분석 프로그램인 FARD(Frequency Analysis of Rainfall Data)와 울춘코퍼레이션에서 개발한 HySim(Hydrological Simulator)을 이용하여 빈도별 강우분석을 수행하였다. 지속시간은 60분, 120분, 180분, 240분, 360분, 540분, 720분, 1080분, 1440분, 2160분, 2880분, 4320분, 재현기간은 2년, 3년, 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 70년,

80년, 100년, 200년, 300년, 500년의 확률 강우량을 산정하였다. Fard는 매개변수 추정을 위해 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법을 중복선택할 수 있으며, 적합도 검정 방법에서는 x^2 -검정, Kolmogorov-Smirnov 검정, Cramer von Mises 검정, PPCC 검정을 중복선택할 수 있다(국토해양부, 2012). 매개변수 추정 및 적합도를 검사한 결과, 확률강우 모멘트법에 의한 Gumbel 분포를 채택하였다. 확률강우량 산정 후 IDF곡선을 도시하고 분석한 결과 장단기 구분이 필요 없는 것으로 판단되어 본 연구에서는 장단기 구분 없이 IDF 곡선을 작성하였다. 국내외에서 지금까지 주로 적용되어 온 Talbot형, Sherman형, Japanese형(Gubo)형, Semi-Log형으로 확률강우강도식을 유도하고, 결정계수(R^2)을 고려한 결과, General 형이 가장 높은 결정계수를 나타냈기 때문에 General 형을 강우강도식으로 채택하였다 (Table 1). General 형으로 강우강도식을 구하면 식 (1)과 같은 형태의 강우강도식을 얻게 되며 Table 1과 같은 각 빈도별 지속시간에 따른 강우강도식을 산정하였다.

$$I(mm/hr) = \frac{a}{(t^n + b)} \tag{1}$$

여기서, I는 강우강도, t는 지속시간(min), b와 n은 지역에 따라 변하는 지역상수이다.

강우의 시간분포라 함은 시간에 따른 강우 깊이 또는 강우강도의 변화를 말한다. 설계홍수량 산정시 첨두유량뿐 아니라 유출용적이나 유출수문곡선이 고려됨에 따라 강우의 시간분포 부분은 매우 중요하게 고려되고

Table 1. General formula of rainfall intensity at Hapcheon rainfall gauging station

frequency	a	b	n	R ²	duration(min)												
					60	120	180	240	360	540	720	1080	1440	2160	2880	4320	
2	2897	48.26	0.85	0.99	36.14	27.43	22.45	19.14	14.97	11.46	9.37	6.96	5.6	4.08	3.25	2.34	
3	3418	48.46	0.85	0.99	42.52	32.3	26.43	22.55	17.64	13.5	11.04	8.21	6.6	4.81	3.83	2.76	
5	3967	48.03	0.84	0.99	49.7	37.73	30.87	26.34	20.6	15.77	12.9	9.59	7.71	5.63	4.48	3.23	
10	4668	47.76	0.84	0.99	58.72	44.57	36.47	31.1	24.33	18.62	15.23	11.33	9.11	6.65	5.29	3.82	
20	5373	48.06	0.84	1.00	67.3	51.1	41.82	35.68	27.91	21.36	17.47	12.99	10.45	7.63	6.07	4.38	
30	5739	47.69	0.84	1.00	72.3	54.87	44.9	38.3	29.96	22.93	18.76	13.95	11.22	8.19	6.52	4.7	
50	6435	49.92	0.85	1.00	78.32	59.6	48.82	41.66	32.6	24.95	20.4	15.16	12.19	8.89	7.07	5.09	
70	6956	51.95	0.85	1.00	82.16	62.67	51.39	43.88	34.35	26.29	21.49	15.96	12.83	9.34	7.42	5.34	
80	7192	52.96	0.85	1.00	83.71	63.91	52.43	44.78	35.06	26.82	21.93	16.28	13.07	9.52	7.56	5.44	
100	7469	53.43	0.85	1.00	86.34	65.96	54.12	46.22	36.19	27.69	22.63	16.8	13.49	9.82	7.8	5.61	
200	8566	57.01	0.86	1.00	94.25	72.27	59.4	50.77	39.78	30.44	24.87	18.44	14.8	10.75	8.53	6.12	
300	9198	58.73	0.86	1.00	98.9	75.97	62.48	53.43	41.87	32.04	26.17	19.4	15.56	11.29	8.95	6.42	
500	10011	60.83	0.87	0.99	104.7	80.63	66.38	56.78	44.51	34.05	27.81	20.6	16.51	11.98	9.49	6.79	

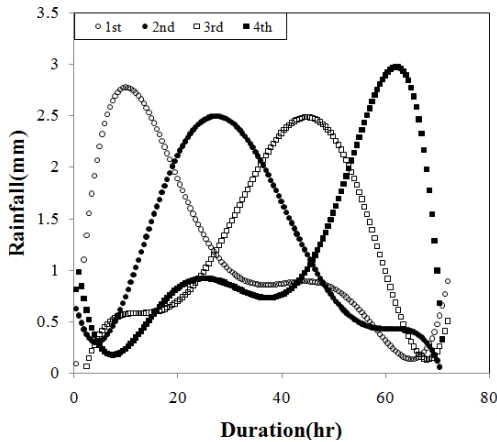


Figure 1. Example of rainfall distribution for the duration(2 year frequency, 4,320 min)

있는 실정이다. 그러나 지속시간별 확률강우량은 강우 총량만을 나타내므로 홍수량 산정 시 강우의 시간적 분포, 즉 유출에 기여하는 설계 확률 강우주상도를 결정하여 첨두홍수량이나 홍수수문곡선을 산정해야 한다. 본 연구에서는 Huff(1967) 방법을 이용하여 설계강우의 시간분포를 결정하였다. TRB(1980)에서는 강우침식인자를 산정을 위한 최소 강우지속시간 간격으로 30분을 적용하고 있기 때문에 설계강우에 대해 30분 단위로 강우를 분포시켰다(Figure 1).

3.2 강우에너지와 강우침식인자 산정

강우는 토양침식에 직접적인 영향을 미친다. 특히, 강우의 운동에너지는 토립자의 이탈을 유발하며 강우로 인해 발생하는 흐름은 이탈 토립자를 연행시킨다. 따라서 토양침식을 예측하는데 있어 강우의 영향을 나타내는 지표의 설정은 중요하다(박정환 등, 2000). 강우침식계수는 분석자료, 호우사상의 분류방법, 운동에너지 공식, 30분 최대강우강도 산정방법 등에 따라 연구자별로 결과 값이 상이하다. 특히 강우침식계수를 산정하기 위해서는 운동에너지 공식을 선택해야한다. 국외 많은 연구자들은 강우특성에 대해 분석을 진행하여 운동에너지를 산정하는 공식을 제안하였다. 운동에너지는 강우가 지표면을 강타하는 힘으로써 강우량의 곱으로 정의된다. 강우의 운동에너지는 빗방울 각각의 질량의 합과 낙하속도의 제곱에 비례하며, 강우강도의 함수로 나타낼 수 있다. 빗방울의 크기와 속도, 운동에너지에 대한 실험적 연구를 토대로 Laws and Parsons(1943)는 빗방울 d_{50} 의 크기 특성에 따라 강우강도가 변화되는 것을 발견하였다. 이에 착안하여 Wischmeier

and Smith(1958)은 Laws and Parsons(1943)의 연구결과에 기반하여 식 (2)를 제안하였다. Houze et al(1979)는 Marshall and Palmer(1948)에 의해 기술된 강우의 빗방울 크기 분배를 고려하여 식 (3)을 제안하였다. Jung et al(2004)은 연평균 강우침식인자를 산정하기 위한 운동에너지 공식으로 Wischmeier and Smith(1958)이 제안한 공식을 이용하였으며 소방방재청(2005)과 환경부(2012)에서는 Brown and Foster(1987) 공식을 이용하여 강우침식인자를 산정하고 있다. Wischmeier and Smith(1958)가 제안한 운동에너지 공식은 식 (4)이고, Brown and Foster(1987)공식은 식 (5)이다. McGregor et al(1995)와 Yu(1999)는 단위 운동에너지공식과 강우임계값은 산정된 강우침식인자 R에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 연구한 바 있다. 산정된 운동에너지는 각 강우량과의 곱에 의해 식 (6)과 같이 강우총에너지가 산정되고, 식 (7)과 같이 강우침식인자는 강우총운동에너지와 30분 최대 강우강도와 곱으로 산정된다(Brown and Foster, 1987). 본 연구에서는 대표적으로 K. Meusburger et al(2012)와 M. Angulo-Martinez et al(2009) 등 많은 연구자들에 의해 적용되었고 소방방재청(2005)과 환경부(2012)에서 채택하고 있는 Brown and Foster(1987) 공식인 식 (5)를 이용하여 강우침식인자를 계산하였다.

$$e = 0.0119 + 0.0873 \log_{10} I \tag{2}$$

$$e = 0.0895 + 0.0844 \log_{10} I \tag{3}$$

$$e = 0.0119 + 0.0873 \log_{10} I \tag{4}$$

$$e = 0.29(1 - 0.72 \exp^{-I/20}) \tag{5}$$

$$E = \sum e \cdot \Delta P \tag{6}$$

$$R = \sum E \cdot I_{30} \tag{7}$$

여기서, I는 강우강도(mmh-1)이고 e는 운동에너지(MJha-1mm-1), E는 강우총에너지(MJha-1), ΔP 는 강우지속시간 구분시 간격당 강우증가량(mm), I_{30} 는 설계재현기간의 30분 강우강도(mmh-1), 강우침식인자 R은 (MJmmha-1h-1)이다.

4. 결과 및 검토

본 연구에서는 단일호우사상에 대해 Huff 분위, 강우지속시간, 재현기간별 강우침식인자를 산정하였다(Figure 2). Jung et al(2004)은 연평균강우량에 의한 강우침식인자를 합천의 경우 414.5 Jmm-1ha-1hr-1로 산정한 바 있다. 김창완 등(1999)은 5년 빈도, 지속시간 24시간의

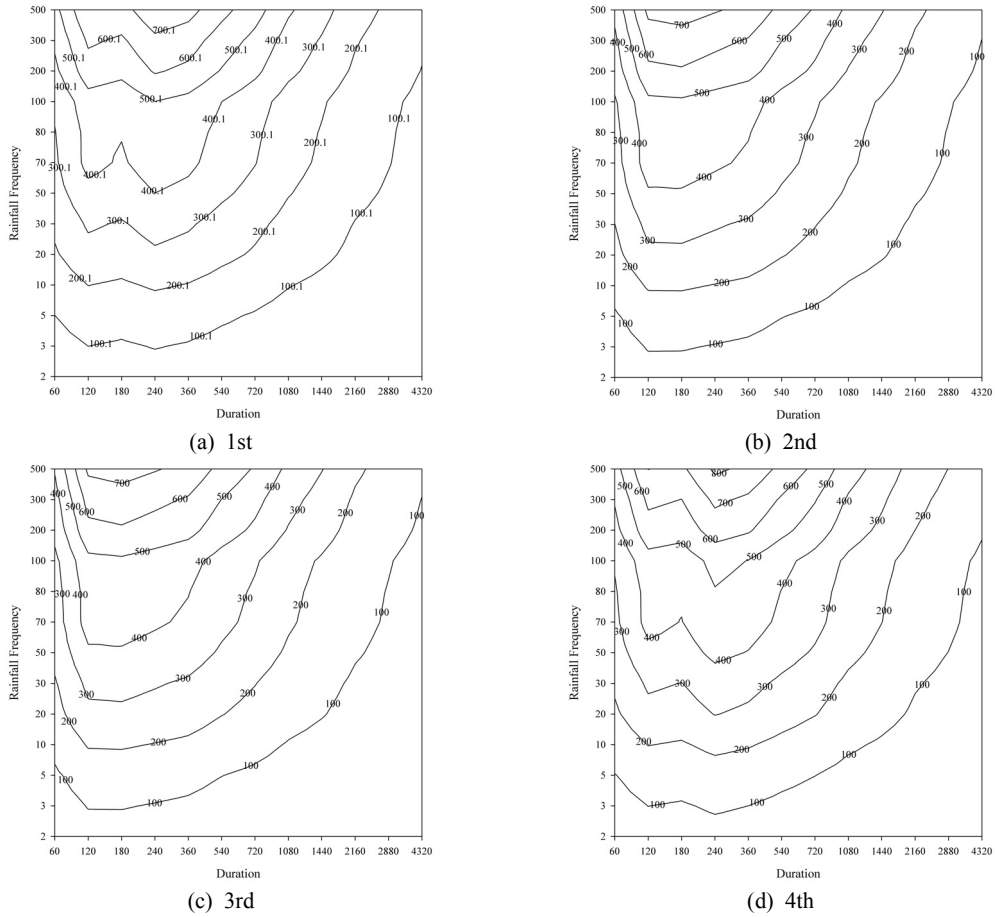


Figure 2. Results of estimated rainfall erosivity factor (Unit : Jmm-1ha-1hr-1)

강우침식인자가 Jung et al(2004)이 제시한 연평균 강우침식인자와 매우 유사하다고 하였으나, 본 연구에서 산정한 강우침식인자는 지속시간에 따라서 다른 결과가 나타났다. Figure 3과 같이 Jung et al(2004)이 산정한 연평균 강우침식인자와 본 연구에서 산정한 강우침식인자를 분석해 볼 때, 강우침식인자는 분위별, 빈도별, 지속시간에 따라 다른 범위를 가지는 것으로 판단된다. 특히, Figure 3에 도시한 바와 같이 연평균 강우에 대한 강우침식인자와 단일호우에 대한 강우침식인자를 비교해 보면, 강우침식인자는 Huff 분위, 강우 지속시간, 재현기간에 따라 다른 강우침식인자 값을 가지며, 소방방재청(2005)에서 채택하고 있는 강우침식인자 산정 방법인 30년 빈도, 지속시간 24시간, 3분위를 이용하면 강우침식인자가 269.09 Jmm-1ha-1hr-1로 산정되어 Jung et al(2004)이 제시한 강우침식인자 보다 과소 산정된다. 강우침식인자는 강우강도에 큰 영향을

받기 때문에 강우 재현기간이 증가할수록, 강우지속시간이 짧을수록 강우침식인자는 크게 산정되었다. 강우침식인자는 Huff 4분위 500년 빈도에서 818.33 Jmm-1ha-1hr-1으로 가장 큰 강우침식인자가 산정되었으며 Huff 1분위와 4분위는 강우 지속시간이 240분에서, Huff 2분위와 3분위는 120분에서 강우침식인자가 가장 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 초기에 강우가 집중될 때 강우침식인자가 크게 산정되었기 때문에 기존 실무에서 사용하던 Huff 3분위, 18시간, 혹은 24시간 지속시간 대신 본 연구에서 산정된 결과를 토대로 각 분위별 지속시간별 재현기간별로 침사지 수공구조물 설계량에 따라 해당하는 단일호우사상을 적용해야 할 것으로 판단된다. Huff 분위 별로 산정된 강우침식인자 분석결과, 상대적으로 2분위, 3분위의 I_{30} , 강우침식인자 크기가 1분위, 4분위에 비하여 작은 값을 보였으며, 1분위와 4분위는 상대적으로 큰 값에서는 1분위가, 작

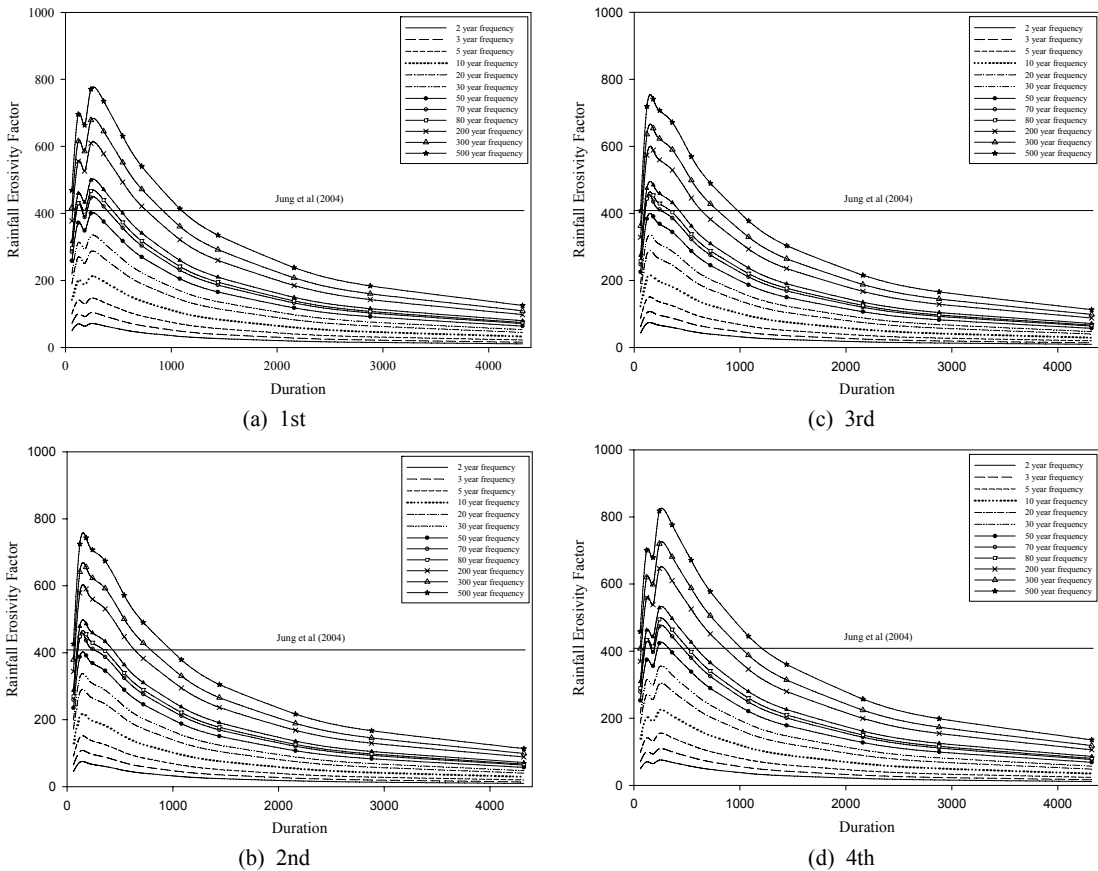


Figure 3. Comparison between annual average and estimated rainfall erosivity factor

은 값에서는 4분위가 큰 값의 결과를 보이는 특성을 나타냈다. 따라서 재해 등의 극한 상황에 대비하기 위해 1분위를 적용하는 등, 각종 분석 목적에 따라 1분위와 4분위를 각각 적용해야 할 것으로 사료된다. 지속시간에 따른 강우침식인자는 왼쪽으로 집중된 정규분포형태로 나타났기 때문에 지속시간을 24시간으로 고정해서 산정하는 것 보다 정규분포함수 형태의 회귀식을 통해 강우침식인자 추정식을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 Figure 4와 같이 Four-parameter Log-Normal 분포를 이용해서 각 분위별, 재현기간별로 회귀 분석을 수행하였다. 통상적으로 수문자료는 왜곡된 분포를 가지므로 정규분포처럼 평균값을 중심으로 대칭되지 않는다. 따라서 정규분포는 직접 사용되지 않고 주로 Log-Normal 분포형태로 사용된다. Khongor Tsogt et al.(2011)은 Sigmaplot에 내장되어 있는 경험적 분포함수의 적합성을 검증하기 위해 Kolmogorov-Smirnov normality test(K-S)와 Constant Variance test(CV)를

기반으로 분석하였다. Exponential decay, Log-Normal, Gaussian, Piecewise linear 분포를 적용하여 적합성 검증을 수행한 결과, Four-parameter Log-Normal 분포가 상대적으로 신뢰성이 가장 높은 것으로 판단했으며 추천 한 바 있다. Four-parameter Log-Normal 분포 공식은 식 (8) 같으며 각 분위별 빈도별로 산정된 매개변수는 Table 2~5이다. 상관계수 결과가 0.98 이상 도출되었기 때문에 적합한 것으로 판단되며 도출된 결과를 적용하여 강우침식인자를 산정한다면 토사유출량을 산정하는데 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

$$y = y_0 + a \times \exp \left[-0.5 \left(\frac{\ln \left(\frac{x}{x_0} \right)}{b} \right)^2 \right] \quad (8)$$

여기서, y는 R, x는 duration, a, b, x₀, y₀는 매개변수이다.

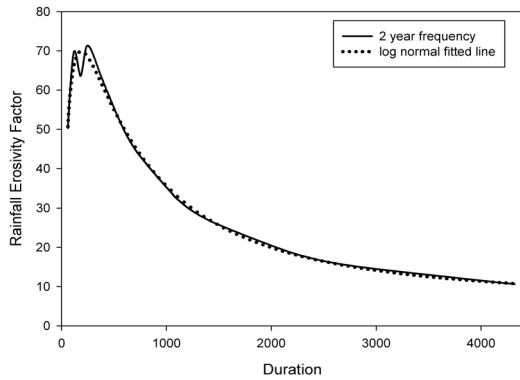


Figure 4. Example of regression analysis using Log-Normal distribution(1st, 2 year frequency)

Table 2. Results of parameter for the Log-normal distribution(1st)

Frequency	a	b	x0	y0	Rsqr
2	63.2	1.34	187.45	6.75	0.9884
3	91.80	1.34	193.45	9.42	0.9884
5	130.15	1.34	198.26	12.95	0.9883
10	188.27	1.35	204.24	18.08	0.9881
20	254.12	1.35	210.07	23.89	0.9879
30	296.28	1.36	212.59	27.67	0.9878
50	355.39	1.36	217.38	32.51	0.9877
70	399.55	1.35	217.15	36.60	0.9840
80	414.93	1.35	222.19	37.19	0.9877
100	444.14	1.35	223.75	39.63	0.9876
200	542.34	1.35	229.69	47.62	0.9876
300	604.21	1.35	232.60	52.55	0.9875
500	686.77	1.35	235.99	59.44	0.9875

Table 3. Results of parameter for the Log-Normal distribution(2nd)

Frequency	a	b	x0	y0	Rsqr
2	61.40	1.15	181.08	10.08	0.9889
3	88.81	1.16	184.91	14.21	0.9892
5	125.36	1.18	188.48	19.71	0.9893
10	180.35	1.19	192.71	27.91	0.9893
20	242.22	1.21	196.80	37.21	0.9891
30	281.65	1.21	198.63	43.30	0.9889
50	336.91	1.22	202.23	51.03	0.9887
70	378.47	1.22	201.53	57.69	0.9827
80	392.58	1.22	205.88	58.37	0.9886
100	419.76	1.22	207.04	62.23	0.9885
200	511.14	1.23	211.60	74.70	0.9883
300	568.59	1.23	213.84	82.53	0.9882
500	645.20	1.23	216.42	93.09	0.9880

Table 4. Results of parameter for the Log-Normal distribution(3rd)

Frequency	a	b	x0	y0	Rsqr
2	60.70	1.13	185.58	10.31	0.9875
3	87.85	1.14	189.38	14.56	0.9879
5	124.06	1.15	192.96	20.21	0.9881
10	178.53	1.17	197.12	28.73	0.9880
20	239.86	1.18	201.31	38.32	0.9878
30	278.99	1.19	203.16	44.62	0.9875
50	333.84	1.19	206.71	52.64	0.9873
70	375.17	1.19	205.88	59.34	0.9811
80	389.10	1.19	210.34	60.27	0.9872
100	416.16	1.20	211.50	64.35	0.9870
200	506.85	1.20	216.01	77.20	0.9867
300	563.89	1.20	218.24	85.34	0.9865
500	639.97	1.21	220.80	96.30	0.9863

Table 5. Results of parameter for the Log-Normal distribution(4th)

Frequency	a	b	x0	y0	Rsqr
2	65.13	1.31	205.74	7.29	0.9860
3	94.59	1.31	211.20	10.32	0.9859
5	134.12	1.31	216.31	14.34	0.9859
10	194.02	1.31	222.25	20.39	0.9856
20	261.80	1.31	228.00	27.49	0.9854
30	305.26	1.32	230.59	32.09	0.9853
50	366.18	1.31	235.29	38.20	0.9852
70	412.07	1.32	234.72	42.45	0.9819
80	427.58	1.31	240.01	44.27	0.9852
100	457.62	1.31	241.54	47.46	0.9851
200	558.82	1.30	247.35	57.98	0.9851
300	622.57	1.30	250.26	64.65	0.9850
500	707.46	1.30	253.57	73.96	0.9850

5. 결론

본 연구에서는 확률강우량, Huff 분포, 30분 최대강우강도, 강우운동에너지를 토대로 각 분위별, 지속시간별, 재현기간별로 강우침식인자를 산정하였다. 기존 연구자들이 제안한 연평균강우량에 기반한 강우침식인자와 비교·검토하고 확률분포를 이용한 표본식을 제안하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 강우침식인자는 Huff 분위, 강우 지속시간, 재현기간에 따라 다른 강우침식인자 값을 가지며, 지속시간 120분~240분 사이에서 가장 큰 강우침식인자가 산정되었다.

2) 소방방재청(2005)과 환경부(2012)에서 토사유출

량을 산정하기 위해 채택하고 있는 30년 빈도, 지속시간 24시간, 3분위를 채택하여 강우침식인자를 산정하면 Jung et al(2004)이 제시한 강우침식인자 보다 과소 산정된다. 이는 토사유출을 과소 산정할 우려가 있으며, 연평균 강우침식인자 값이 아닌 유역에 위치해 있는 수공시설물 설계 값에 따라 적절한 강우침식인자 값을 적용해야 할 것으로 판단된다.

3) 강우침식인자는 강우강도에 큰 영향을 받기 때문에 강우 재현기간이 증가할수록, 강우지속시간이 짧을수록 강우침식인자는 크게 산정되었으며 합천 강우관측소 지점의 강우침식인자는 Huff 4분위, 500년 빈도에서 Jung et al(2004)이 제안한 연평균 강우침식인자보다 2배 큰 818.33 Jmm-1ha-1hr-1이 나타났다.

4) Huff분위별, 지속시간별, 재현기간별로 산정된 강우침식인자는 확률밀도 함수 형태로 나타나며 이를 회귀식으로 나타내기 위해 Four-parameter Log-Normal 분포를 이용하여 적합한 매개변수를 추정하였다. 상관계수가 0.98 이상으로 나타났기 때문에 본 연구에서 제안한 회귀식을 이용할 경우 신뢰성 높은 강우침식인자를 손쉽게 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

5) 향후, 관측소별로 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 표본식을 산정하고 각 지점별 적합한 분포모형을 적용하여 신뢰성 높은 강우침식인자 산정식을 도출해야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2012년 창원대학교 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Angulo-Martinez M., Lopez-Vicente M., Vicente-Serrano S. M. and Begueria S., 2009, Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Basin(NE Spain), Hydrology and Earth System Sciences, Vol 13, pp. 1907-1920.
2. Bagarello, V., Ferro, V., 2004, Plot-scale measurement of soil erosion at the experimental area of Sparacia (southern Italy). Hydrol. Process, Vol. 18, pp. 141-157.
3. Brown, L.C. and Foster, G.R., 1987, Storm erosivity using idealized intensity distributions, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, Vol. 30, pp. 379-386.
4. Choi, H. K. and Park, S. J. and Guk, S. P., 2010, The estimation of soil runoff in the Man-dae Cheun basin by the using RISLE method, Kangwon Univ. Institute of Industrial Technology, Vol. 30, No. b, pp. 99-108.
5. Hwang, C. S. and Kim, K. T. and Oh, C. Y. and Jin, C. G. and Choi, C. U., 2010, A study on correlation between RUSLE and estuary in Nakdong River watershed, Journal of The Korean Society for Geo-Spatial Information System, Vol. 18, No. 3, pp. 3-10.
6. Houze, R.A., Hobbs, P.V., Parsons, D.B. and Herzeg, P.H., 1979, Size distribution of precipitation particles in frontal clouds. Journal of Atmospheric Science, Vol. 36, pp. 156-162.
7. Huff, F.A., 1967, Time distribution of rainfall in heavy storms, Water Resources. Res., Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.
8. Jung, K.H., Kim, W.T., Hur, S.O., Ha, S.K., Jung, P.K., and Jung, Y.S., 2004, USLE/RUSLE factors for national scale soil loss estimation based on the digital detailed soil map. Korean. J. Soil. Sci. Fert. Vol. 37, No. 4, pp. 199-206.
9. Jung, P. K. and Ko, M. H. Im, J. N. and Um, K. T. and Choi, D. U., 1983, Rainfall erosion factor for estimating soil loss. J. Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Vol. 16, No. 2, pp. 112-118.
10. Khongor Tsogt, Chinsu Lin, Narangarav Dugarsuren, Tsogt Zandraabal, 2011, Larch stand structure analysis of boreal forest in Mongolia, 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, pp. 123-127.
11. Kim, C. W and Woo, H. S and Sonu, J. H, 1999, Estimation of rainfall erosivity in USLE. Journal of Korea Water Resources Association, Korea Water Resources Association, Vol. 32, No. 4, pp. 457-467.
12. Laws, J.O. and Parsons, D.A., 1943, The relationship of raindrop size to intensity. Transactions of the American Geophysical Union Vol. 24, pp. 452-460.
13. Marshall, J.S. and Palmer, W.M., 1948, Relation of rain drop size to intensity. Journal of Meteorology, Vol. 5, pp. 165-166.
14. McGregor, K.C.R., Bingner, A.J., Bowie, A.J., Foster, G.R., 1995, Erosivity index values for Northern Mississippi. Trans. ASAE, Vol. 38, No. 4, pp. 1039-1047.
15. Meusburger K., Steel A., Panagos P., Montnarella

- L. and Alewell C., 2012, Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland, Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 16, pp. 167-177.
16. Ministry of Environment, 2012, 표토의 침식 현황 조사 및 대책 등에 관한 고시 제정안 의견조회.
 17. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2000, 지역별 설계 강우의 시간분포. Korea Institute of Construction Technology.
 18. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012, 설계홍수량 산정요령(안).
 19. National Emergency Management, 2005, 재해영향평가 실무지침서.
 20. National Institute for Disaster Prevention, 1998a, 토사의 물리적 화학적 성질 및 이동특성 조사분석 및 해외토사유출 산정기법, Ministry of Government Administration and Home Affairs.
 21. National Institute for Disaster Prevention, 1998b, 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I). Ministry of Government Administration and Home Affairs.
 22. Park, J. H. and Woo, H. S. and Pyun, C. K. and Kim, K. I., 2000, A study of distribution of rainfall erosivity in USLE/RUSLE for estimation of soil loss. Journal of Korea Water Resources Association, Korea Water Resources Association, Vol. 33, No, 5, pp. 603-510.
 23. Renard, K.G., Freimund, J.R., 1994, Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. J. Hydrol, Vol. 157, pp. 287-306.
 24. Son, K. I., 2001, Applicability examination of the RUSLE sediment yield prediction equations in Korea, Journal of Korea Water Resources Association, Korea Water Resources Association, Vol. 34, No, 3, pp. 199-207.
 25. TRB, 1980, Design of sedimentation basins, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice, Vol. 70, transport Research Board.
 26. Yu, B., 1999, A comparison of the R-factor in the universal soil loss equation and revised universal soil loss equation. Trans. ASAE, Vol. 42, No. 6, pp. 1615-1620.
 27. Wischmeier, W. H., 1959, A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 23, No. 3, 246-249.
 28. Wischmeier, W.H., Smith, D.D.,1978, Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. US Dept. Agric. Agricultural Handbook, pp. 537.