

지리정보시스템을 이용한 토양 유실 분석

○김주훈¹⁾ · 심순보²⁾ · 오덕근³⁾

I. 서론

유역의 토사유출은 생활환경에 매우 나쁜 영향을 미친다는 것은 널리 알려진 사실이며, 최근 환경문제가 많이 대두되는 시점에서 토양유실은 중요한 문제이다. 유역의 토양 유실량을 정확하게 추정하는 방법은 아직 없으며 현재로서 가장 바람직한 방법은 유사한 지역의 토양 유실량 실측 자료를 이용하는 것이다. 이러한 실측자료가 없는 경우에는 미국에서 개발된 범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation : USLE)과 같이 토양유실을 추정하는 방법 등을 이용할 수 있다.

본 연구에서는 GIS기법을 이용하여 강우로부터 유실되는 유역 토양유실량을 산정하는 것을 목적으로 하여 섬진강댐 상류 유역인 관촌과 쌍치 소유역에 적용하여 유역 토양 유실량 산정 하였다.

II. Universal Soil Loss Equation

Wischmeier와 Smith(1965)에 의해 정의된 USLE식은 강우특성, 토양의 종류, 지형, 식생의 피복정도 및 토양관리 방법 등과 관련된 인자들을 고려하여 다음 식과 같이 표현하였다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

R값을 추정하기 위하여 다음과 같이 확률강우량과 Huff의 시간분포비를 이용하여 강우에너지 인자를 추정하였다.

2.1 확률강우량 산정

본 연구에서 확률강우량을 산정하기 위해 사용한 우량자료는 쌍치 유역, 관촌유역의 1일 최대 강우량으로 쌍치유역은 35년간, 관촌유역은 40년간의 자료를 이용하였다. 빈도별 확률강우량을 Normal, Log-Normal, Pearson III, Log-Pearson III, External I 분포의 산정한 결과에 대하여 적합도 검정을 실시하였으며, 쌍치유역에 대한 K-S검정결과 PearsonIII분포, χ^2 검정결과는 Log-Normal분포가, 왜곡도는 Log-Normal과 Log-PearsonIII분포이 가장 적합한 것으로 나타나 종합적인 판단결과 Log-Normal방법에 의한 확률강우량을 채택하였다. 관촌유역의 K-S검정결과는 External I 분포, χ^2 검정결과는 Log-PearsonIII분포, 왜곡도는 Log-Normal 및 Log-PearsonIII 분포가 적합한 것으로 나타나 종합적 판단결과 Log-PearsonIII분포를 채택하였다.

1) 충북대학교 토목공학과 강사

2) 충북대학교 토목공학과 교수

3) 충북대학교 토목공학과 공학석사

2.2 HUFF 의 분포비 산정

본 연구에서 Huff의 강우비를 산정하기 위해 쌍치유역(쌍치관측소)의 '90~'99.6월의 자료와 '78~'84, '87, '89년의 홍수기의 시우량자료를, 관촌유역(성수관측소)은 '90~'99.6의 자료와 '71~'84, '87, '89년의 홍수기 시우량자료를 이용하여 선별하였다.

쌍치, 관촌 유역의 지속기간과 강우강도 크기에 따른 각 구간별 빈도는 총호우를 이용하였을 때, 2번째 구간에서 최대강우강도가 발생할 확률이 쌍치:28.6%, 관촌:29.9%로 가장 크게 나타났으며, 4번째구간에 최대강우강도가 발생할 확률이 21.1%, 20.1%로 가장 낮았다. 또한, 지속기간별로 보면 쌍치 유역의 경우 두 번째 구간에서는 19hr~24hr가 40.0%로 가장 높게 나타났으며, 관촌 유역의 경우 두 번째 구간에서는 13hr~18hr 구간을 제외한 6hr이하, 13hr~18hr, 19hr~24hr, 25hr이상에서 32.5%, 33.3%, 33.3%, 37.6%으로 가장 높았다.

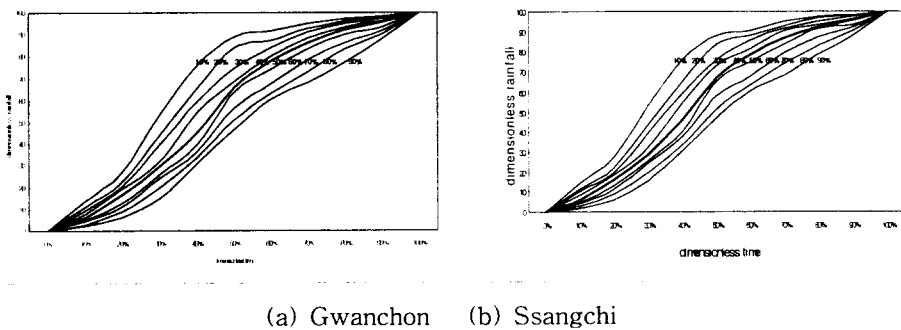


Fig. 1. Time distribution of areal mean rainfall in second-quartile storms

본 연구에서는 관촌, 쌍치유역의 2번째 구간을 채택하여 강우자료를 색출하고 분류된 강우자료를 시간적으로 무차원화 시켰으며, 지속기간비를 10%, 20%, ..., 90% 구간별로 분류하고 강우량비를 크기순으로 나열하였다. 또한 Weibull 도시위치 공식을 이용, 확률누가 강우량비를 분석하였으며, 그 결과로 제2구간호우의 무차원 누가곡선을 Fig. 1에 각각 나타내었다.

Fig. 1에서 확률곡선중 50%인 누가곡선을 6차 다항회귀식을 산정하여 Table 1에 나타내었고, 본 연구에서는 이식을 이용 24hr Huff 강우비를 산정하였다.

Table 1 Coefficient of the sixth polynomial regression equation

Coefficient	Ssangchi	Gwanchon	
a	-0.14698	-0.149455	Y는 강우량(%)
b	1.01904	0.909133	x는 지속기간(%)
c	-7.13594E-2	-4.67914E-2	a, b, c, ..., g는 상수
d	4.34081E-3	3.00960E-3	
e	-8.64266E-5	-5.78286E-5	
f	7.17859E-7	4.49530E-7	
g	-2.16487E-9	-1.24485E-9	

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + fx^5 + gx^6$$

2.3 강우에너지 인자(R) 산정

쌍치, 관촌 소유역에 대한 빈도별 확률강우량을 산정하였고, Huff방법에 의한 강우비를 산정하

였다. 쌍치유역 및 관촌유역에 대하여 확률강우량 산정 결과에서 얻은 빈도별 강우량에 대하여 각 강우에너지 인자(R)를 구하였고 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 R values of each basin

Frequency (yr)	Rainfall (mm/24hr)		ΣE (m · tons/ha)		I_{30MAX} (cm/hr)		R ($10^7 J/ha \cdot mm/hr$)	
	Gwan.	Ssang.	Gwan.	Ssang.	Gwan.	Ssang.	Gwan.	Ssang.
2	104.9	113.0	2145.20	2318.83	0.7844	0.8874	16.83	20.58
5	137.4	153.9	2838.11	3207.47	1.0275	1.2086	29.16	38.77
10	157.1	180.9	3270.84	3820.11	1.1748	1.4207	38.43	54.27
20	174.8	206.7	3668.91	4427.59	1.3071	1.6233	47.96	71.87
25	180.2	214.8	3792.21	4623.07	1.3475	1.6869	51.10	77.99
50	196.4	240.1	4167.61	5249.08	1.4687	1.8856	61.21	98.98
80	206.9	257.2	4415.48	5686.01	1.5472	2.0199	68.32	114.85
100	211.7	265.3	4530.02	5897.01	1.5831	2.0835	71.71	122.87
150	220.4	280.2	4739.64	6292.10	1.6481	2.2005	78.12	138.46
200	226.5	290.8	4888.20	6578.78	1.6938	2.2838	82.79	150.25

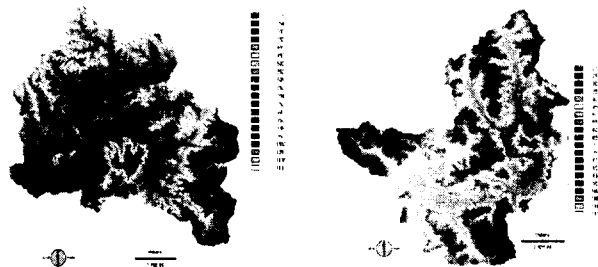
III. 지리정보시스템

섬진강 유역의 쌍치, 관촌유역에 대한 GIS기본도 및 주제도를 구성하여 각 모형의 입력자료로 활용할 수 있도록 하였다. 각각의 기본도를 작성하기 위해 기존에 입력된 수치지도를 입수하여 본 연구의 목적에 적합하도록 표준화하고 좌표체계는 UTM-52n좌표계를 기준으로 하였다.

수치고도모델은 미국 Defence Mapping Agency의 DTED(Digital terrain elevation data) level-1자료를 이용하였다. 이 자료의 해상도는 3초간격이며, ASCII 형태의 수치표고 자료를 생성하여 모형의 입력자료로 활용할 수 있도록 하였다. 작성된 DEM은 Fig 2와 같다

토양도의 입력은 농촌진흥청 식물환경연구소에서 발행(1971년)한 1:250,000축척의 개략토양도를 이용하였다. 이 토양도는 농촌진흥청 식물환경연구소에서 발행(1971년)한 것으로 농촌진흥청의 벡터형 수치고도 자료를 래스터 파일로 변환하여 본 연구에서 작성한 모형의 입력 변수를 생성할 수 있는 지형 자료로 활용할 수 있도록 하였으며, 작성된 유역의 토양도는 Fig. 3과 같다.

토지이용도는 1:50,000지형도를 이용하여 수치지도화 하였으며, 벡터구조를 갖는 토지이용도를 IDRISIW (ver. 2.0) S/W를 이용하여 래스터 자료의 토지이용도를 구축하였다. 이렇게 구축된 관촌유역 및 쌍치유역의 토지이용도는 Fig.4와 같다.



(a) Gwanchon (b) Ssangchi
Fig. 2. Digital elevation model of study area

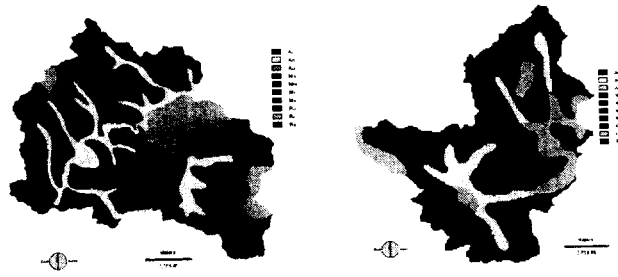


Fig. 3. Soil map of study area

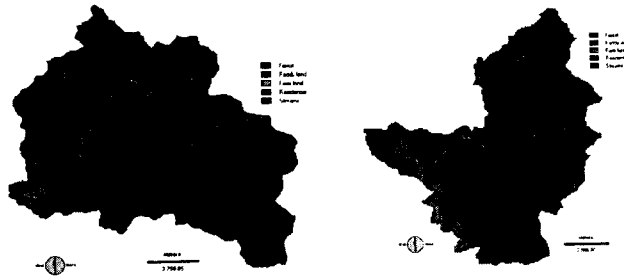


Fig. 4. Landuse map of Study area

USLE의 K 는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 토양입자 및 분포, 구조, 공극 및 공극크기, 유기물 함량 등에 관계된다. K 값은 Wischmeier의 추정도표를 이용하거나 Wischmeier와 Smith/Erickson의 삼각형 도표 및 보정표 등을 이용하여 추정할 수 있다.

본 연구를 통하여 구축한 토양도와 건설부의 “댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구”의 자료를 참조하여 모형의 입력자료를 구성하였다. 본 연구에서 사용한 K 값은 Table 3과 같다.

Table 3. Soil series and their portion of study areas

Soil series	Af	An	Ap	Ra	Rs	Ro	Ma	Mm	Ms	Mv	
K-value	0.39	0.31	0.32	0.21	0.20	0.00	0.27	0.18	0.20	0.35	
Area(km ²)	Gwanchon	0	39.88	7.89	0.01	0	22.47	10.42	47.68	98.35	75.08
	Ssangchi	0	12.07	10.42	0	5.07	0	0	0	0	90.17

유역 경사도에 관계되는 인자(LS)는 수치고도모델을 분석하여 얻은 유역 경사도를 이용하여 Wischmeier와 Smith(1978)가 제시한 식 LS 인자 산정공식을 이용하였다.

$$LS = \left(\frac{L}{22.1} \right)^{m_a} \left(\frac{65.4S^2}{S^2 + 10,000} + \frac{4.6S^2}{\sqrt{S^2 + 10,000}} + 0.065 \right) \quad (2)$$

여기서 L 은 경사길이(m), S 는 경사도(%), m_a 은 경사에 따라 변하는 지수이다.

지면피복에 관련된 인자(C&P)들은 토지 이용도를 이용하였으며, 각 토지이용별에 따른 C&P를 심순보(1996)등의 연구결과를 참조하였으며, Table 4의 자료를 이용하였다.

Table 4. Values of C and P by USLE

landuse	C - value	P - value
forest	0.001	1.0
farm	0.0	1.0
paddy field	0.03	0.2
residential area	0.01	0.0
water	0.0	0.0

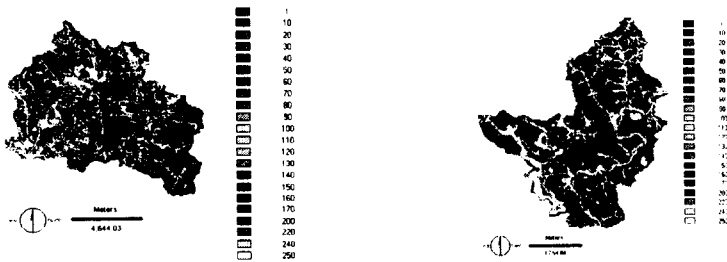
IV. 토양유실량 산정

토양유실 모형에 의한 토양유실량의 산정은 섬진강 유역중 쌍치유역, 관촌유역에 대하여 24hr 최대 강우량 자료를 사용하여 확률강우량을 산정하였고, 시우량 자료를 선별하여 Huff분포비를 적용 강우에너지 R값을 산정하였다. 또, 토양침식성 인자 K, 지형인자 LS, 식생피복인자 C, 토양보존인자 P 는 GIS를 이용 구축된 기본도로부터 주제도를 작성하여 모형의 입력자료를 구성하여 24hr 확률강우량 2, 5, 10, 20, 25, 50, 80, 100, 150, 200년에 대하여 유역의 각 격자별 토양 유실량을 산정하였다. 관촌유역 및 쌍치유역에 대한 확률 강우량별 토양 유실량 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 Summary of Soil loss for each frequency Rainfall

Frequency (year)	Gwanchon		Ssangchi	
	Rainfall amount (mm/24hr)	Soil loss (ton/km ²)	Rainfall amount (mm/24hr)	Soil loss (ton/km ²)
2	104.9	2.555	113.0	3.329
5	137.4	4.426	153.9	6.271
10	157.1	5.833	180.9	8.778
20	174.8	7.280	206.7	11.625
25	180.2	7.757	214.8	12.615
50	196.4	9.291	240.1	16.011
80	206.9	10.370	257.2	18.578
100	211.7	10.885	265.3	19.875
150	220.4	11.858	280.2	22.397
200	226.5	12.567	290.8	24.304

관촌유역 및 쌍치유역에 대한 토양유실량 빈도별 분포는 Fig 5와 같다. 여기서 빈도별 확률강우량이 증가할수록 하천수계를 중심으로 한 농경지에서 크게 토양유실량이 발생됨을 알 수 있다.



(a) Gwangchon(10yr ferquency) (b) Ssangchi(100yr ferquency)

Fig. 5. Soil loss map of study areas(10yr ferquency)

V. 결과 및 고찰

섬진강다목적댐 상류 유역의 쌍치유역과 관촌유역에 대하여 확률 강유량별 토양유실량을 산정하기 위한 연구이다. 토양유실량을 산정하기 위하여 범용토양유실 공식을 이용하였으며, 이의 지형학적 요소들인 사면길이, 사면경사, 토양의 구성성분, 식생의 분포, 경작지 사용방법 등의 인자들은 GIS를 이용하여 모형의 입력자료를 구성할 수 있도록 자료 기반을 구축하였다. USLE의 강우에너지인자는 확률강우량 자료를 이용하였으며 쌍치유역은 Log-Normal분포를 그리고 관촌유역은 Log-Pearson III 분포를 이용하였다.

빈도별 확률강우량에 대한 시간분포는 Huff의 시간분포 방법을 적용하였고, 2nd구간을 채택하여 Weibull 도시위치 공식을 이용하여 무차원 누가곡선을 작성하였다. 여기서 중앙값의 누가곡선에 대하여 6차다항 회귀식을 구하여 강우에너지인자 R값 산정하였다.

GIS를 이용 구축된 자료로부터 입력자료를 구성하여 24hr 확률강우량의 빈도별 호우사상을 각 유역에 대하여 격자별 토양 유실량을 산정하였다. 산정결과 쌍치유역이 관촌유역보다 토양유실량이 많은 것으로 나타났다. 이는 강우의 빈도별에 따른 강우에너지인자값이 쌍치유역이 크게 분석되었으며, 또한 비슷한 강우에너지 인자값만으로 분석해보아도 쌍치유역이 더 크게 나타난 것은 유역의 지면 경사가 토양유실에 기여하는 바가 큰 것에 기인하는 것으로 사료된다.

본 연구의 계속연구과제로 유역에 대하여 본 연구결과를 바탕으로 토지이용, 토양성분, 유역의 지면경사 등을 고려하여 토양유실량을 관측하여 모형을 보완하고 유사전달률을 고려하여 하천에서의 관측자료 등을 보완한다면 실용성 있는 연구가 될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김주훈(1999), "GIS에 의한 유역 비점오염 부하량 산정시스템 개발", 충북대학교 박사학위 논문.
2. 김창완, 우효섭, 윤석영, 이상태(1999), "범용토양손실공식의 강우침식도 인자 추정", 한국수자원학회, '98분과위원회 연구과제 보고서, pp.9~13.
3. 건설교통부/한국건설기술연구원(1992), "댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구"
4. 심순보, 고덕구, 이요상, 김주훈, 김만식(1996), "원격탐사를 이용한 충주저수지 오염부하량 산정(Ⅲ) : RS / GIS 기법에 의한 데이터베이스 구축", 충북대학교 수자원·수질 연구센터 논문집, 2(1), pp.119~127.
5. Foster G. R., Meyer L. D. and Onstand L. A.(1977), "A Runoff Erosivity Factor and Variable Slope Length Exponents for Soil Loss Estimates", ASCE Transactions 20.
6. Huff. F. A(1967), "Time Distributions of Rainfall Heavy Storms", W.R.R., 3, pp1007~1019.
7. Wischmeier. W. H. and D. D. Smith.(1965), "Predicting Rainfall-Erosion from Cropland East of Rocky Mountains-Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation", Agricultural Handbook, No.282.