

GIS와 RUSLE 기법을 이용한 삼교호유역의 토사 유실량 산정

Estimation of Soil Loss into Sap-Gyo Reservoir Watershed using GIS and RUSLE

김만식* · 정승권**

Kim, Man-Sik · Jung, Seung-Kwon

Abstract

Prediction of exact soil loss yield has as important engineering meaning as prediction of exact flow measurement in a stream. The quantity of soil loss in a stream should be considered in planning and management of water resources and water quality such as design and maintenace of hydraulic structures : dams, weirs and seawalls, channel improvement, channel stabilization, flood control, design and operation of reservoirs and design of harbors. In this study, the soil loss of Sap-gyo reservoir watershed is simulated and estimated by RUSLE model which is generally used in the estimation of soil loss. The parameters of RUSLE model are selected and estimated using slope map, landuse map and soil map by GIS.

These parameters are applied to RUSLE's estimating program. And soil loss under probability rainfall in different frequencies are estimated by recent 30 years of rainfall data of Sap-gyo reservoir watershed.

Keywords : Soil loss, Frequency probability rainfall, RUSLE, GIS

요 지

하천에서 토사 유실량을 정확하게 예측하는 것은 유량을 예측하는 것만큼 공학적으로 중요한 의미를 지니고 있다. 하천에서 발생하는 토양 유실량은 하천구역내의 수리구조물(댐, 웨어, 방조제 등)의 설계 및 유지관리, 하천개수 및 하도의 안정, 홍수터 관리, 저수지의 설계 및 운영, 항만계획 등 수자원 및 수질의 계획이나 관리에 반드시 고려해야 할 사항이다.

따라서 본 연구에서는 토사 유실량 산정에 가장 일반적으로 쓰이는 RUSLE식을 이용하여 삼교호 유역의 토사 유실량을 모의, 산정하였다. RUSLE식의 매개변수 산정은 GIS 주제도인 경사도와 토지이용도, 토양도로부터 추출, 산정하였으며 이를 작성한 RUSLE 산정프로그램에 적용하였다. 또한 최근 30년치의 유역 강우자료를 바탕으로 빈도별 확률강우량을 산정하여 빈도별 확률강우에 따른 토사 유실량을 산정하였다.

주요어 : 토사 유실량, 빈도별 확률강우량, RUSLE, GIS

* 정회원 · 신성대학 토목정보과 교수 · 공학박사

** 한국교원대학교 자연과학교육연구소 연구원

1. 서론

하천에서 토사 유실량을 정확하게 예측하는 것은 유량을 예측하는 것만큼 공학적으로 중요한 의미를 지니고 있다. 하천구역내의 수리구조물(댐, 웨어, 방조제 등)의 설계 및 유지관리, 하천개수 및 하도의 안정, 홍수터 관리, 저수지의 설계 및 운영, 항만계획 등 수자원 및 수질의 계획이나 관리에 반드시 고려해야 할 사항이다.

예를 들어, 장기적인 면에서 저수지내의 유사이송 및 퇴적에 따른 저수지 기능의 감소와 그에 따른 수명 단축의 문제, 하상 변동과 취수구 지점 매몰에 따른 용수취수 곤란의 문제, 또는 유사에 의한 오염원의 확산 문제 등을 해석하기 위해서는 그 하천에서의 퇴사량을 추정·예측하는 것이 선결 과제이다. 그리고 최근 방조제(하구둑) 건설로 인한 부정적인 여론과 생태계 파괴와 같은 심각한 현상들이 사회문제로 대두되고 있는 실정이므로 방조제(하구둑) 건설로 인한 퇴사문제를 해결하기 위해서 하구에 유입되는 유사량과 퇴적량에 대해 자료수집 및 분석방법 등을 통한 토양 유실량 산정이 방조제(하구둑)나 저수지 관리측면에서 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 GIS 기법과 RUSLE 기법을 이용하여 삼교호로 유입되는 하천의 토사 유실량을 산정하고, 이를 통해 삼교호의 강우에 따른 토사 유실량을 예측하여 이에 대한 대책 방안과 효율적인 유지관리방안을 제시하는데 바탕이 되고자 한다.

2. 적용 대상유역

삼교천 지구는 우리나라의 중심부 해안일대에 위치한 충남 당진, 아산, 홍성, 예산군 등에 산재한 농경지 24,570여ha를 가뭄과 홍수의 피해에서 벗어나 전천후 농토와 근대화된 영농기반을 조성하기 위하여 1976년 방조제 및 배수갑문공사를 착공하여 1979년 10월에 준공되어 약 8,400만톤의 담수를 저수할 수 있는 삼교호가 조성되었다. 삼교호의 완공으로 삼교호 유역을 포함한 태안반도에 산재한 농경지의 농업용수뿐만 아니라 인근지역의 생활용수 및 공단지역의 공업용수 공급도 가능하게 되었으며, 하구연안에 위치한 상습적인 침수구역의 배수개선, 염해방지, 육운개선, 관광지 개발 등 지역사회 개발에 크게 기여하고 있으며 Fig. 1에 나타내었다.

그러나 축조 후 20년이라는 시간이 경과함에 따라 주변 환경의 변화로 인한 물리면적의 증감이 발생하였고, 1,639.5 km²에 이르는 광대한 유역내에서 지표면의 침식으로 인하여 호내에 토사의 유입으로 침전을 일으켜 유효저수량이 감소되고 있으며 고수부지내의 개답 등으로 만수면적 및 저수량이 감소되어 이상 홍수위의 발생시에는 인근 농경지의 침수피해가 우려되고 또한 대산유화단지, 신평 및 인구공업단지, 삼교호 광역상수도, 화력발전소 등 서해안 개발계획으로 급증하는 용수수요에 대한 공급이 부족하게 될 우려가 있다.

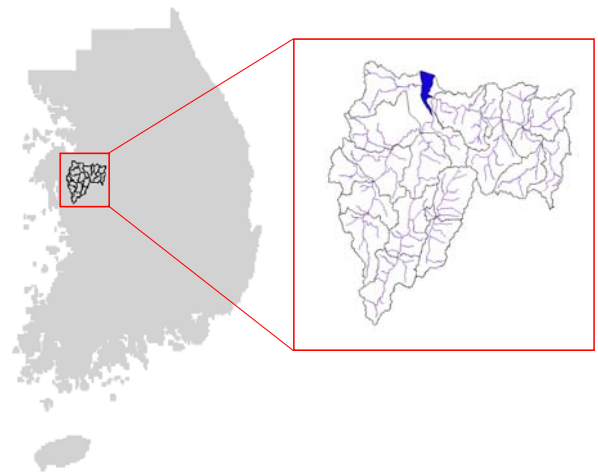


Fig. 1. Sap-Gyo watershed map

3. 토사 유실량 산정기법

3.1 RUSLE 기법

토사 유실량의 산정기법은 다양한 모형이 있으나 토사 유실량은 물론 토양보전대책까지 수립할 수 있는 모형중에서 실제 적용성면에서 사용가능한 모형은 주로 경험적인 모형에 한정하게 된다. 이는 물리적 산정기법은 모형의 적용에 필요한 지형자료가 너무 광범위하여 실제 적용하기 거의 불가능하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 토사 유실량 산정에 가장 일반적으로 쓰이는 USLE식을 보완한 RUSLE식을 이용하였다.

RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)는 USLE를 보완하고 컴퓨터 프로그램을 이용하여 계산할 수

있도록 한 것으로 USLE식에서는 없었던 연구자료의 분석을 추가 보완하였으나 USLE의 식의 형태는 계속 유지하도록 하였으며 계수 산정기법을 수정하고 특정조건을 나타낼 수 있는 항들을 새로이 추가하였으며, RUSLE 기법의 흐름도는 Fig. 2와 같다.

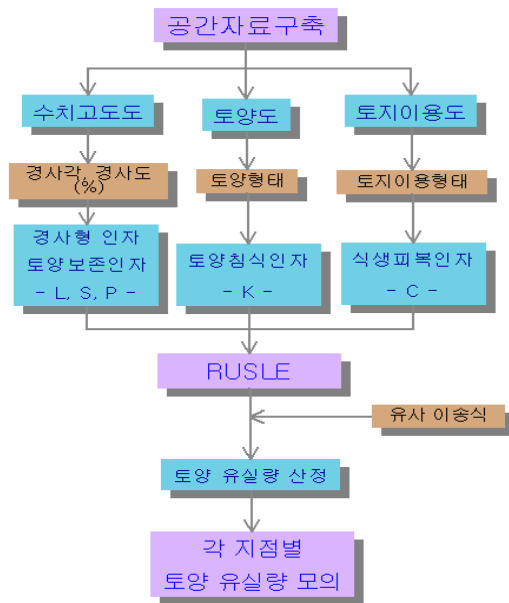


Fig. 6. Flowchart of RUSLE

RUSLE식은 USLE 기법 개발에 사용된 자료에 더 많은 현장자료를 추가하여 수정·보완된 기법으로 그 범용성이 USLE식에 비하여 우수하다. 그러나 토양식생의 피복인자(C)나 토양보전인자(P)등의 산정을 위하여 USLE식 산정시 요구되는 자료보다 훨씬 더 세밀한 각종 현장자료를 요구하고 있어 국내에 적용하기 곤란한 실정이다. 따라서 토양의 피복상태(C)나 토양보전인자(P)는 USLE기법을 나머지 인자의 산정은 RUSLE기법을 혼용하여 토사유실량을 산정하였으며 식(1)에 나타내었다.

$$A = R \cdot \sum_{i=1, n} [DA_i \cdot K_i \cdot LS_i \cdot C_i \cdot P_i \cdot DR_i] \quad (1)$$

여기서, A 는 유역으로부터의 총 토사 유실량, R 은 강우에너지 인자, DA 는 소유역 면적, K 는 토양침식 인자, LS 는 지형인자, C 는 식생피복인자, P 는 토양보전인자,

DR 은 유사전달율이다.

3.2 매개변수의 적용

3.2.1 강우에너지 인자(R)

유역에서의 토양 유실량 산정을 위해서 RUSLE식에서는 강우 에너지 인자(R)를 30분 최대 강우강도와 에너지 인자(E)를 이용하여 산정한다. 따라서 본 연구에서는 빈도별 강우 에너지 인자를 산정 하고자 각 빈도별 1일 최대 강우량을 계산하고, 이를 기준으로 Fig. 4와 같이 빈도별 강우에너지 인자 R값을 산정·적용하였다.

본 연구에서의 특징은 Fig. 3과 같이 삼교호 유역에 포함되어 있는 8개 시·군에서 각각 측정된 강우자료와 Thiessen 계수를 바탕으로 각 유역별로 강우 에너지 인자를 산정하여 적용하였다. 일반적으로 USLE식을 통해 토양 유실량을 산정하는 경우 해당 유역의 강우 에너지 인자는 동일 값으로 적용하는 경우가 많다. 이런 경우 지역별 강우 편차 사항을 고려할 수가 없고, 무엇보다도 강우 관측소에서 측정된 자료를 효율적으로 이용할 수 없게 된다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하고자 삼교호 유역 내·외의 8개 강우 관측소에서 다년간 측정된 강우자료를 이용하여 각 유역별로 빈도별 확률강우량을 산정하고, 산정된 확률강우량을 바탕으로 각 유역에 대한 빈도별 강우 에너지 인자를 Fig. 4에 나타낸 그래프와 같이 산정 하였다. Fig. 4의 x축은 확률강우빈도를 나타내고 있고, 왼쪽의 y1축은 각 빈도별에 대한 확률강우량을 오른쪽의 y2축은 확률강우량으로 구한 강우에너지 인자를 나타낸 것이다. 이 값들을 적용함으로써 각 유역별에서 빈도별 강우량에 따라 발생하는 토양 유실량을 산정 할 수 있다.

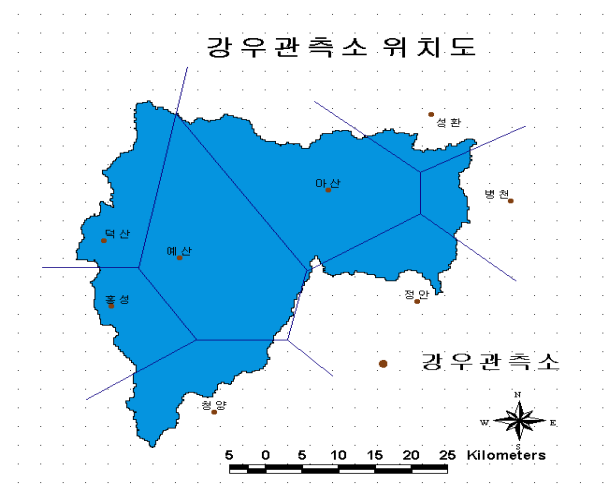


Fig. 3. Thiessen network of watershed

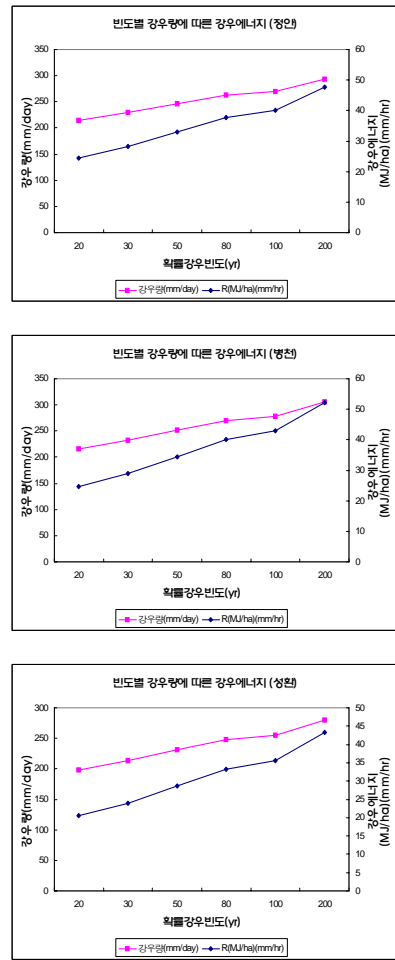
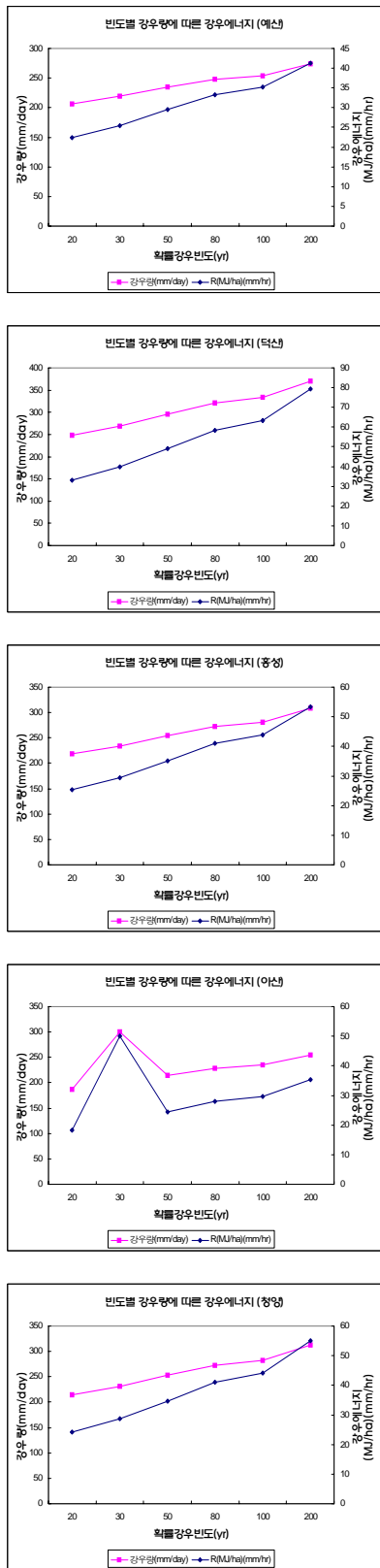


Fig. 4. Rainfall factor of each frequency

3.2.2 토양침식인자(K)

토양침식인자(K)는 Fig. 5와 같이 구축된 토양도로 부터 분류된 토양특성에 따라 토양 분류표를 이용하여 토양침식 인자를 산정하였고, 그에 따른 토양형태를 Table 1과 같이 분류, 적용하였다.

Soilmap of watershed

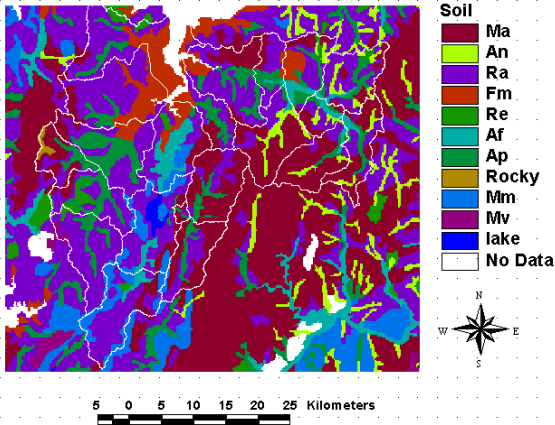


Fig. 5. Soil map of watershed

Table 1. Soil erodibility factor

Value	Contents	K
Ma	암쇄토 및 적황색토, 석회암, 식양질 내지 사양질	0.27
An	회색토 및 충적토, 배수 양호 내지 약간 불량, 식양질 내지 사양질	0.31
Ra	적황색토, 암쇄토, 회색토 및 퇴적토, 산성 암 및 홍적, 배수 양호 내지 약간 불량, 식양질 내지 사양질	0.21
Fm	회색토, 충적토, 염류토 및 특이산성토, 배수 약간 불량 내지 불량, 미사식 양질 내지 사양질	0.51
Re	암쇄토, 회색토 및 충적토, 배수 매우 양호 내지 불량, 사양질	0.32
Af	충적토, 배수 불량 내지 매우 양호, 미사 사양질 내지 사양질	0.39
Ap	회색토, 충적토 및 적황색토, 배수 불량 내지 양호, 미사식양질 내지	0.32
Ro	구릉지 및 산악지에 분포된 토양, 암석노출지,	0.33
Mm	암쇄토, 번성퇴적암 및 편암, 식양질 내지 사양질	0.18
Mv	암쇄토, 중성 내지 염기성암, 식양질 내지 사양질	0.35

3.2.3 지형특성인자(LS)

지형특성인자(LS)는 Fig. 6의 수치고도도로부터 추출한 경사도(傾斜圖) [Fig. 7 참조]의 경사각(%) S와 cosine 법칙을 이용하여 산정한 경사길이 L을 적용하였다.

일반적으로 경사길이와 경사각을 지형특성인자라 하여 동시 적용하는 경우가 많은데 본 연구에서는 수치고도도에서 경사도를 생성하여 각 격자간 경사각에 따른 경사길이를 산정하고, 이를 아래식에 적용하여 지형특성인자 LS값을 산정하였다.

Digital Elevation Model of watershed

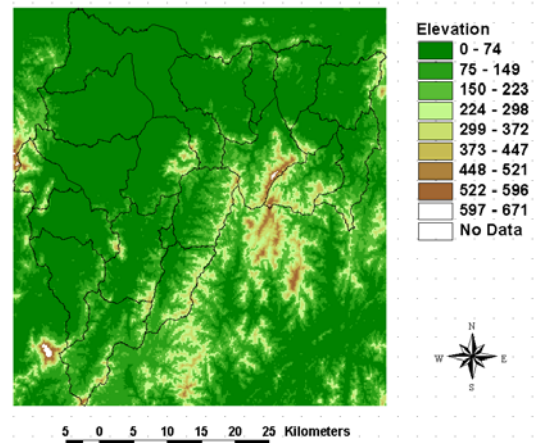


Fig. 6. DEM of watershed

Slope map of watershed

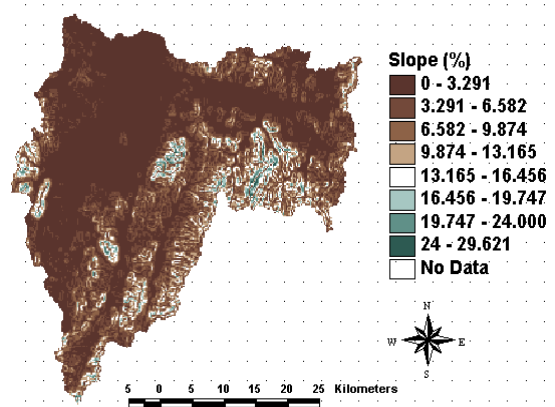


Fig. 7. Slope map of watershed

3.2.4 토양보존인자(P)

토양보존인자(P)는 Fig. 7의 경사도(傾斜圖)로부터 구해진 경사각(%)을 이용하여 각 격자별로 산정된 경사각에 따라 Table 2의 값을 적용하였다.

Table 2. Conservation practice factor

Slope	P	Slope	P
1~2	0.6	13~17	0.7
3~5	0.5	18~20	0.8
6~8	0.5	21~25	0.9
9~12	0.6	>25	1

3.2.5 유사전달율

USLE식의 경우 유사의 퇴적을 고려하지 않기 때문에 유사전달율을 고려해야 한다, 유사전달율은 유역의 토양종류 및 면적을 이용하여 산정할 수 있다.

(R)USLE식은 면상 및 세류침식에 의한 전체 토사침식량을 산정할 뿐 수로의 인입점 등 특정 관심지점까지의 유사 이동 및 퇴적형태를 산정하지는 못한다. 따라서 (R)USLE식과 구곡 및 수로에서의 퇴적 및 침식을 산정할 수 있는 침식과 유사전달율방법(Gross-erosion sediment delivery method; SCS, 1971)이 개발되었으며 식 (2)와 같다.

$$Y = \frac{E \cdot (DR)}{W_s} \quad (2)$$

여기서, Y 는 단위면적당 토사생산량, E 는 총 토사침식량, DR 은 토사전달율, W_s 는 유역면적이다.

E 는 (R)USLE식의 토양 유실량 값과 구곡 및 하천에서의 침식량을 모두 포함하며, 유사 이송비는 유역출구에 도달하는 유사량과 유역내에서 발생된 침식량의 비로서 1이하가 되어야 한다. 그러나 수로 등에서 발생된 침식으로 인한 토사 유실량을 포함한 현장 실측자료로부터 DR 을 산정한 경우 1보다 큰 값이 나타날 수도 있어 보편적으로 인정되는 DR 이나 E 값을 산정하는 기법은 아직 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 TRB(1980)에 의해 Fig. 8과 같이

제시된 면적과 관계된 유사전달율 산정법을 이용하였다.

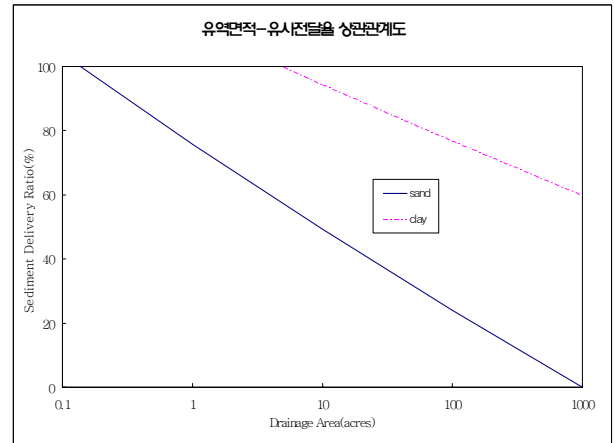


Fig. 8. Correlation of Area-sediment transport rate

4. RUSLE 적용결과

본 연구에서는 Fig. 4와 같이 산정된 빈도별 확률 강우량을 바탕으로 추출된 강우 에너지 인자와 토지이용도, 토양도, 경사도 등 대상유역의 주제도로부터 추출된 매개변수들을 이용하여 삼교호내의 각 소유역에서 발생하는 토양 유실량을 산정하여 Fig. 9에 그래프로 나타내었다. Fig. 9에서 30년빈도를 제외하고는 청양과 예산 지역에서 두드러지게 많은 양의 토양 유실량이 발생하였으며, 이를 통해 유역면적이 토양 유실량에 미치는 영향은 그리 크지 않다는 사실을 알 수 있다.

또한 Fig. 10와 같이 유역 전체에 분포되어 있는 빈도별 토양 유실량을 살펴보면, 삼교호 주변유역에서 많은 양의 토양 유실량이 산정됨을 알 수 있다. 이는 해당 유역인 예산과 아산지역의 확률강우량을 볼 때 강우량에 따른 문제는 아닌 것으로 판단되고, 해당 유역의 구성 토양형과 토양 유실량이 밀접한 관계가 있음을 말해 주는 것으로 사료된다.

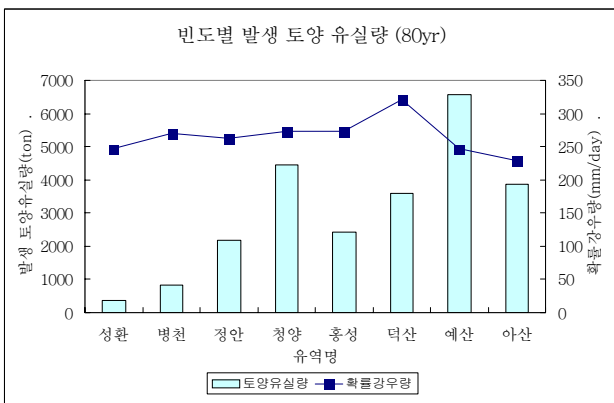
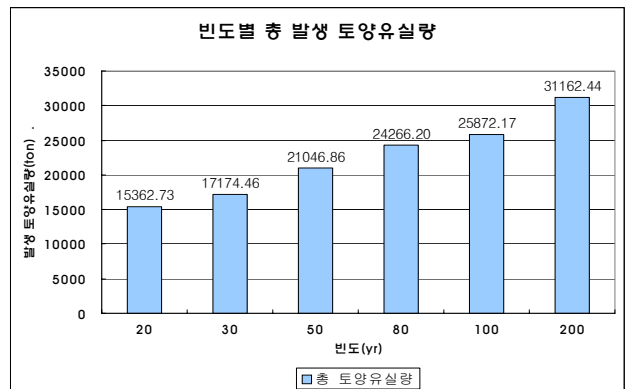
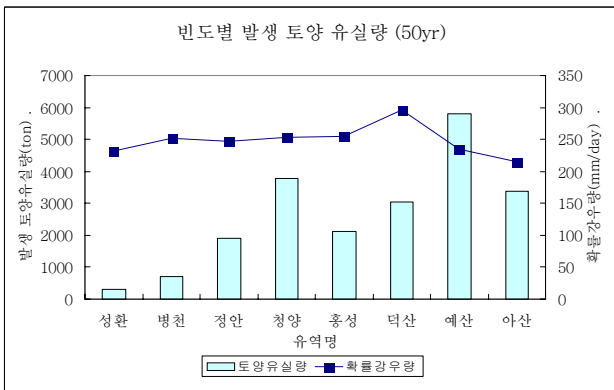
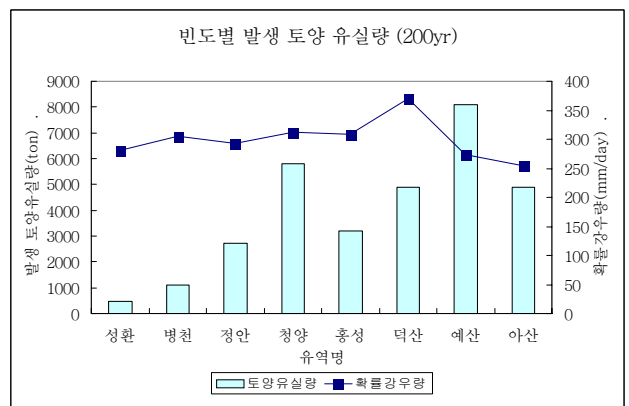
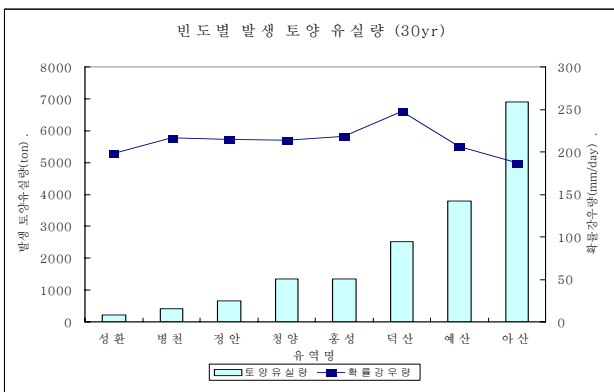
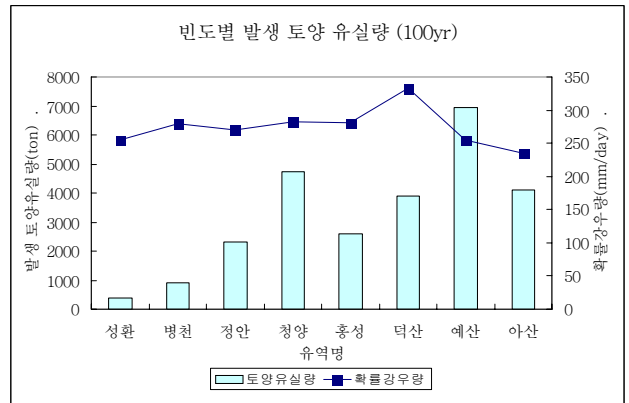
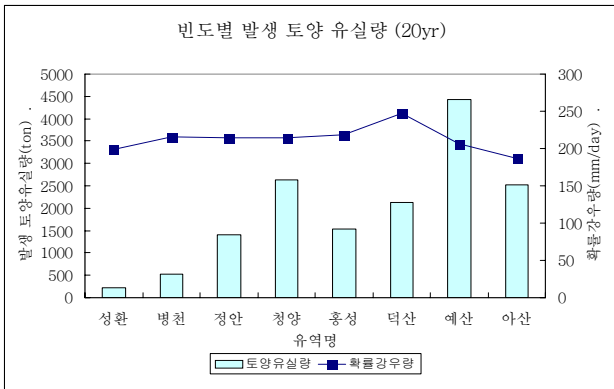


Fig. 9. Sediment Yield of each frequency rainfall

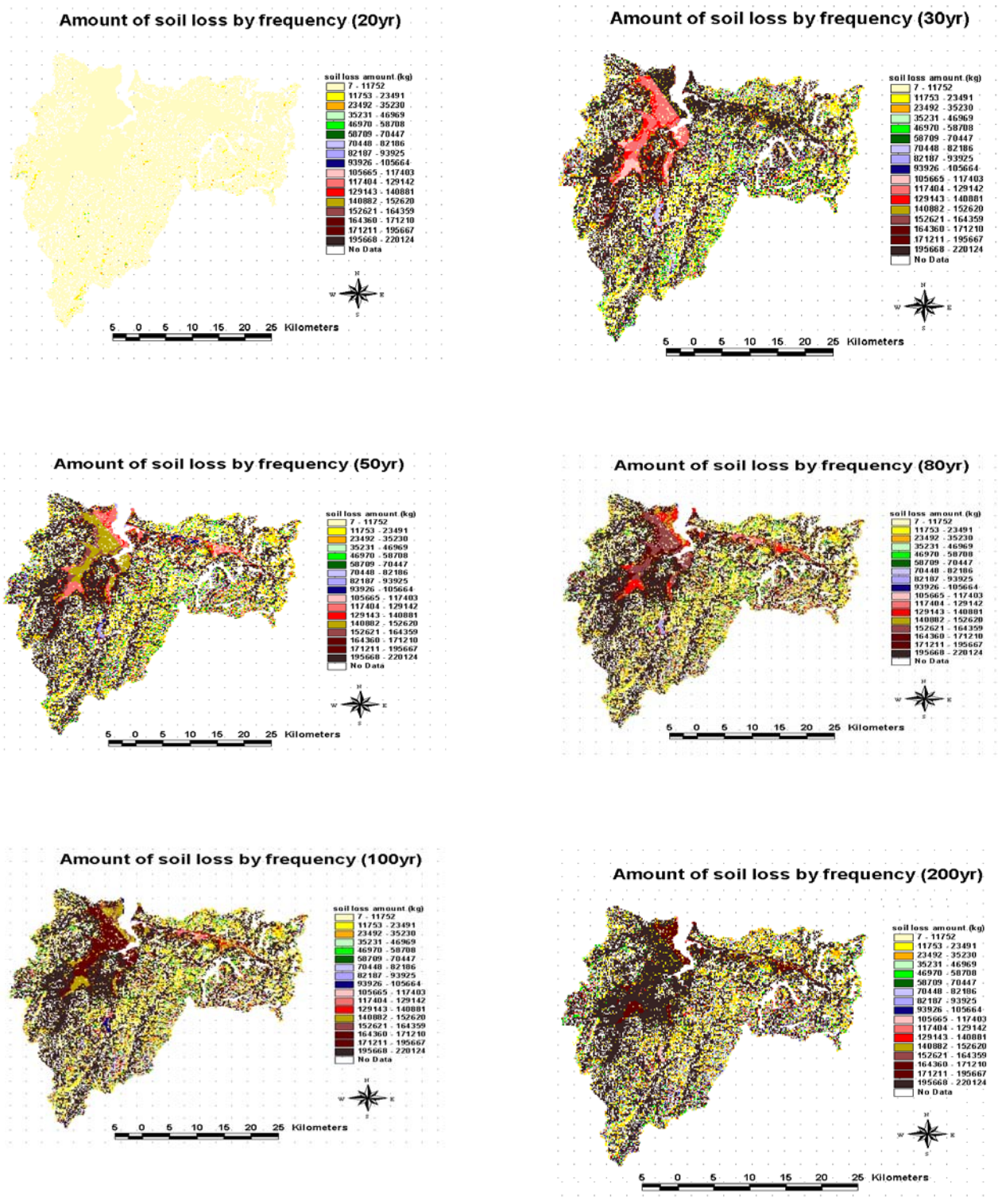


Fig. 10. Thiessen network of watershed

5. 결 론

유역에서 발생하는 유수량은 크게 토양 침식량과 유사이송량으로 구분할 수가 있다. 본 연구에서 선택, 적용한 RUSLE식은 토양에서의 퇴적작용은 배제함을 전제로 하는 기법으로서, 유역의 각 지점에서 발생하는 토양 유실량에 토양형에 따른 유달율을 적용하여 개략적인 토양 유실량을 산정하였다.

본 연구에서는 삼교호 유역에서 발생하는 토양 유실량을 산정하는데 목적을 두고, GIS 기법을 이용하여 대상 유역의 공간 정보를 추출하고, 추출된 공간정보를 RUSLE식에 적용 가능한 매개변수로 변환하는 과정을 거쳤으며, 이런 과정을 통해 생성된 각 매개변수를 RUSLE식에 적용함으로써 토사 유실량을 산정하였다.

RUSLE식의 매개변수 중 강우 에너지 인자 R값을 구하기 위해 강우 관측소에서 측정된 강우자료를 통해 빈도별 확률강우량을 산정하였고, 이를 통해 빈도별 강우 에너지 인자를 산정하였다.

무엇보다도 본 연구에서는 식으로 구성된 RUSLE의 매개변수를 자동으로 추출하고, 추출된 매개변수의 조합으로 토양 유실량을 산정할 수 있도록 GIS 프로그램인 Arcview

의 script 언어를 통해 프로그램을 작성하였다.

그러나 유역에서 발생하는 토양 유실량에 대한 연구가 그리 많지 않은 실정으로 시스템을 통해 산정된 삼교호 유역의 토양 유실량은 결과값에 대한 검증에 있어 많은 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 단순히 유역에서 발생하여 하천으로 유입되는 토사 유실량의 수치적인 결과값보다는 관찰 대상 유역의 공간정보를 구축함으로써 향후 강우사상에 대한 토사 유실량 발생현황을 모의할 수 있어 공간 정보를 통해 문제 발생 지점 파악과, 문제 지점의 해결방안 모색에 있어 많은 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 대상 유역의 시간별 강우자료를 주기적으로 측정하고, 본 연구에서 사용된 주제도보다 정밀한 지도를 이용하여 매개변수를 산정한다면 매우 정밀한 토사 유실량을 모의할 수 있을 것이다.

토양 유실량을 포함한 오염물질이 하천 및 담수호에서 야기시키고 있는 많은 문제점을 해결하기 위해서는 대상 유역에 대한 지속적인 자료구축을 통해 오염물질의 거동을 파악하고, 이를 통해 유역에서 발생하여 하천 및 담수호로 유입되는 토양 유실량 및 오염부하량을 산정하는 것이 시급한 과제라 사료된다.

(접수일자 : 2002. 8. 27)

참 고 문 헌

1. 김만식, 정승권, 김주훈(2002), GIS를 이용한 담수호 유입 토사 유출량 산정, 2002년도 한국수자원학회 학술발표회(II), 한국수자원학회, pp. 879~885.
2. 정승권(2000), 지리정보시스템을 이용한 유역의 토지이용별 비점오염부하량 분석, 석사학위논문, 충북대학교, 150p.
3. 오덕근(2000), 지리정보시스템을 이용한 유역 토양유실량 산정 모형, 석사학위논문, 충북대학교, 150p.
4. 농어촌진흥공사(1999), 삼교호 토사 침전량 조사 보고서.
5. 당진군농지개발조합(1996), 삼교호 물수지 분석 연구 보고서.
6. 김채승, 윤창진(2000), 지리정보체계 - GIS 실습, 대영사, 400p.
7. Abbott, M. B. and J. C. Refsgaard(1996), Distributed Hydrological Modelling. Kluwer Academic Publishers, New York, N. Y., 250p.
8. David R. Maidment(1993), Handbook of Hydrology, McGraw Hill, 1000p.
9. Vijay P. Singh etc.(1996), Geographical Information System in Hydrology, Kluwer Academic Publishers, 350p.
10. Vijay P. Singh(1995), Computer Model of Watershed Hydrology, Water Resources Publication, 500p.