

LiDAR 데이터를 이용한 하상퇴적물의 유입량 및 경로 분석

Inflows and Route Analysis of the Riverbed Sediment Using LiDAR Data

강준목* · 윤희천* · 강영미**

Kang, Joon Mook · Yun, Hee CheOn · Kang, Young Mi

요 약

인공적으로 조성한 저수지의 대부분은 유역면적이 넓고 집중강우로 인하여 매년 입자성 물질이 상당량 유입하는 편이며 이들의 장기간 축적으로 인하여 저수지 용량을 줄이고 수질관리에 어려움을 야기 시킨다. 따라서 이들에 대한 정확한 예측이 필요한 실정이지만 지표에서의 침식현상은 토양조건, 피복조건, 그리고 지형조건 등의 복합적 요소에 의하여 지배되기 때문에 정확한 유입량을 산정하기에 많은 어려움이 존재한다.

본 연구에서는 높은 정확도를 갖는 LiDAR(Light Detection and Ranging)기술을 이용하여 DEM, DSM을 제작하고 반사강도 데이터로부터 물질적 특성을 분류하여 연구지역내 범용토양유실공식(USLE; Universal Soil Loss Equation)에 의한 유입퇴적량을 산정하였다. 또한 이들 분포를 기준으로 퇴적물의 유입 가능성이 큰 위치를 파악하였으며 지형특성에 따른 퇴적물의 유입경로를 분석하였다.

1. 서 론

퇴적물은 주로 토양에 대한 강우 및 바람의 작용에 의해 유입되는데, 우리나라의 하천에서는 여름의 홍수기에 많은 양의 토량이 집중적으로 유입되므로 본 연구에서는 강우에 의한 유입 메커니즘을 알아보려고 한다.

강우에 의해서 발생하는 토양유실은 농경지의 비옥한 표토를 유실시켜 생산성의 저하와 농경지의 황폐화를 초래하고, 유실된 토양입자는 하천이나 호수, 댐 등에 퇴적되어 저수용량의 감소와 수리구조물의 기능을 저하시킨다. 또한 토지 개발시에는 지형특성 및 토지이용의 변화에 따른 유입 경로의 변화가 예상되므로 사전에 이에 대한 대비를 해 둘 필요가 있다.

GIS를 이용한 토양유입량 산정에 관하여 다양한 연구들이 진행되고 있으나 아직까지 실제 지형을 정확하게 표현하는 방법은 없으며 토양유입량의 정량화 역시 강우로 인한 토양침식량을 유역

공간 전체에 대해 실험하기에는 너무 많은 비용과 시간이 소요되므로 어려운 상태이다. 따라서 본 연구에서는 강우인자 R값에 대한 평균값을 연구지역에 동일하게 적용하였다.

* 충남대학교 토목공학과 교수

** 충남대학교 토목공학과 박사과정

또한 토양유입량을 정량화하기보다는 유역전체에 걸쳐서 분산형으로 산정하여 유역 내에서 상대적으로 토양유출 발생이 많은 위치를 제시하고 실제 지형을 정밀하게 표현하기 위한 방법으로 LiDAR 시스템을 활용하여 유입되는 퇴적량 산정 및 유입경로 분석에 대한 정확도를 향상시키고자 한다.

2. 하상퇴적물의 유입량 산정

토양 침식으로 인하여 포장 또는 지표에서부터 유실된 유사의 총량을 토양유입량이라고 한다. 따라서 토양유입량은 이탈, 이동, 퇴적등에 의한 토립자의 실제 이동량에 해당한다.

토양유입량의 계산은 USLE에 의하여 요소별 값들의 승법(곱셈)연산을 통하여 계산되며, 그 값이 높을수록 토양유실이 많은 지역으로 분석된다. 토양유실에 영향을 미치는 요소를 정리한 USLE(Wischmeier and Smith, 1978)의 구성은 기본적으로 토양유실이 일어나는 각 구성요소를 정량화하여 특성 값을 제시하는데 효율적으로 사용할 수 있다. 본 연구에서는 연구지역내 USLE 공식을 이용하여 토양유입량을 산정하고 결과로 산출된 평균 값을 기준으로 퇴적물의 유입 가능성이 큰 위치를 파악하는데 목적이 있다. 따라서 산술적인 수치로서 토양 유실량을 산정할 뿐만 아니라 연구지역 전반에 걸친 토양유실 가능성을 판별해 보고자 하였다. 그림 1은 토양유실량 산정 대상지역으로 품곡 천 유역을 나타낸 것이다.

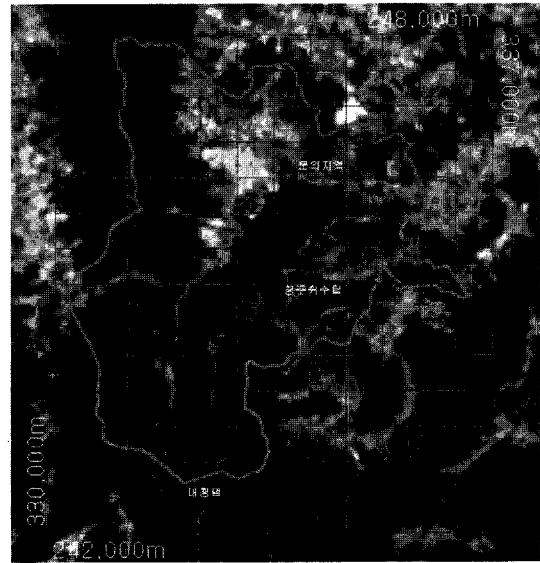


그림 1. 연구대상지역

2.1 토양침식인자 (K factor) 산정

토양침식인자(K)는 토양이 강우에 의한 침식에 대해 저항하는 능력을 나타내는 척도로서 일반적으로 토양의 입자, 조직, 구조, 유기물 함량, 투수성 등에 의해 지배된다. 즉, 토양 침식성 인자값은 Wischmeier가 제안한 계산에 의하여 식 1과 같이 산출할 수 있다.

$$K = [2.1M1.14(10 - 4)(12 - a_1) + 3.25(a_2 - 2) + 2.5(a_3 - 3)] \quad (1)$$

여기서, M : (%미사 + %극세사)(100-%모래)

a_1 : 유기물함량

a_2 : 구조등급

a_3 : 투수등급

우리나라는 실험을 통해 Wischmeier의 공식과의 유의성을 검정하고 이 Wischmeier의 공식을 이용하여 주로 경사지에 분포하며 침식의 우려가 되는 83개 토양통에 대한 K값을 표 1과 같이 계산하였다.

토양침식인자 K값의 분포를 알아보기 위해 농어촌연구원에서 만든 1:25,000 정밀 토양도

를 이용하였으며 분석결과 연구지역의 K값은 0.06~0.37의 범위를 보이며 평균값은 0.188이었다. 표준편차는 0.103으로서 그다지 크지 않으며 이는 연구지역내 K값의 분포가 대체로 큰 차이를 보이지 않음을 의미한다. 하천주변의 산지에서 K값이 크게 나타나고 지표면으로 암반이 노출되어 있거나 토양층이 얇게 피복된 일부 능선과 그 사면에서 매우 낮은 값을 보인다.

표 1. 토양별 토양침식인자(K)

토양통명	K값	토양통명	K값	토양통명	K값	토양통명	K값
수암	0.22	외산	0.30	상주	0.21	마지	0.32
덕산	0.29	운곡	0.22	임동	0.48	봉계	0.31
관악	0.11	고산	0.25	반호	0.42	달천	0.39
낙서	0.31	공산	0.31	백산	0.27	각하	0.18
행산	0.30	마산	0.26	장원	0.37	광주	0.21
장성	0.21	신정	0.24	신불	0.15	곽산	0.31
정자	0.33	아산	0.18	월정	0.05	정남	0.38
도산	0.06	유하	0.39	장항	0.10	진곡	0.31
도계	0.14	원곡	0.16	오대	0.07	신혜	0.36
입석	0.11	무등	0.34	안룡	0.37	송정	0.13
오산	0.24	낙산	0.20	부여	0.31	태화	0.40
울산	0.51	무이	0.09	반천	0.31	대흥	0.30
성산	0.28	정심	0.32	장평	0.35	논산	0.30
이산	0.20	회야	0.28	평안	0.34	완산	0.20
예산	0.25	이목	0.44	시례	0.44	봉산	0.32
삼각	0.22	미탄	0.22	고평	0.38	반산	0.16
월산	0.25	대구	0.15	평창	0.26	운교	0.14
이원	0.34	함인	0.37	춘도	0.32	왕산	0.25
지곡	0.05	모산	0.16	곡성	0.43	망실	0.08
송산	0.21	포천	0.24	포곡	0.39	정곡	0.39
청산	0.25	석토	0.24	영곡	0.44		

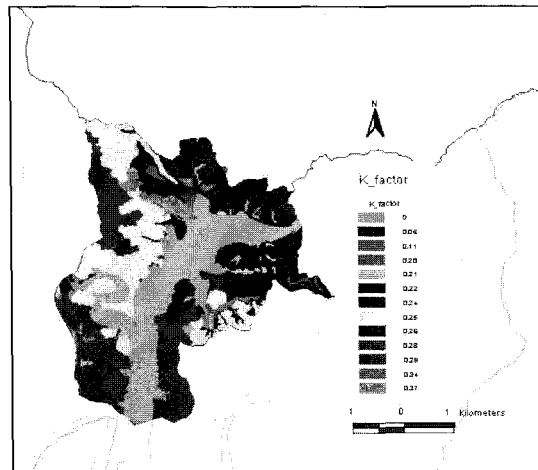


그림 2. K값의 분포

2.2 지형인자 (LS factor) 산정

지형인자 LS는 무차원 상수이며, 경사도(S)와 경사길이(L)가 토양유실에 미치는 영향을 설명하는 인자로서 경사도와 경사길이가 클수록 큰 값을 가진다. LS 인자는 Foster and Wischmeier(1974)에 의해 제안된 산정공식이 주로 사용되어왔으나 이 공식은 평탄 경사의 조건하에서 유도되었고, 이 조건하에서도 상당한 변동이 존재하는 모순을 갖는다. 위와 같은 문제점을 개선하고 ESRI사의 GIS용 프로그램인 ArcView로 LS인자를 산정할 수 있도록 1999년 Bernie Engel은 식 2를 이용하여 Moore and Burch의 방법을 구현하였으며 본 연구

의 LS인자 계산에 이 공식을 사용하였다.

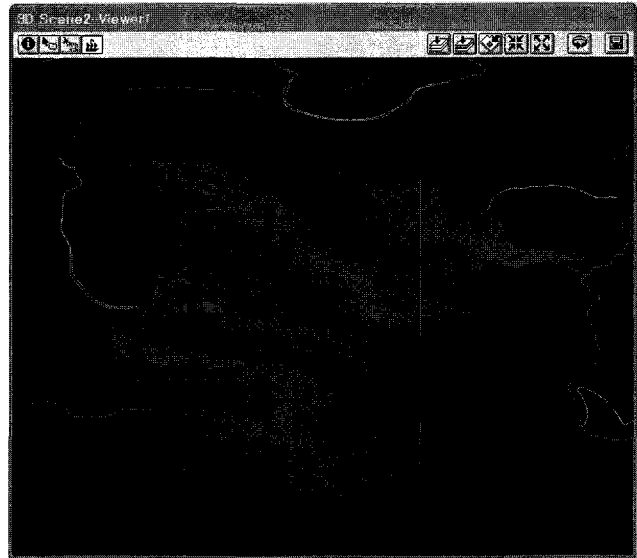


그림 3. DEM

$$LS = (flowaccumulation \times cellsize / 22.13)^{0.3} \times (\sin slope / 0.0896)^{1.3} \quad (2)$$

토양유실에서 사면길이 및 지형경사는 항공 LiDAR 시스템에서 획득한 포인트 데이터를 이용하여 지형분석을 통해 이루어졌으며, 격자구조의 cell 크기는 70cm로 하여 사용하였다. 이를 기본도로 Moore and Burch 방법을 적용하여 분포형태를 나타내었다.

2.3 식생피복인자 (C factor) 산정

토지피복인자(C)는 경사지의 피복상태, 식생종류, 식생상태, 생육정도 등의 복합적인 조건에 대한 토양유실량의 영향을 나타낸 것으로 무차원 값이다.

본 연구에서는 미국지질조사국(USGS: U. S. Geological Survey)의 연구 내용(Anderson, 1976)을 기초로 분류된 대분류(논경작지, 식생지, 초지, 거주지, 물)의 토지이용현황을 토대로 미국 농무성에서 산출한 C값(Wischmeier and Smith, 1978)을 연구지역의 토지이용에 맞도록 일부 수정하여 각각의 식생피복요소에 대한 값을 표 2와 같이 설정하였다. 본 연구에서는 LiDAR 시스템에서 획득한 반사강도 데이터와 디지털 영상으로부터 논, 밭, 산림, 도심, 물, 기타(나대지 포함)등으로 구분하였다.

표 2. C factor (Wischmeier and Smith, 1978).

Land-use condition	C factor(USDA)
Field	0.3~0.4
Rice field	0.2~0.3
City	0
Bear Soil	0.1~0.2
Loose Forest	0.1~0.2
Dense Forest	0
Water	0~0.1

2.4 토양보존인자 (P factor) 산정

토양보존인자는 지표면상의 경작지 형태에 따른 토양침식의 비를 의미한다. 경사면에서 등고선 경작(Contouring planting), 등고선 대상경작(Strip cropping), 계단 경작(Terracing)

및 그들의 복합적 형태 등이 토양유실에 미치는 영향을 고려한 인자이다.

본 연구지역의 경작형태는 일부지역을 제외하면 대부분 평지보다는 다소 경사가 있는 지역이 많으며 밭으로 사용되는 면적이 넓다고 할 수 있다.

토양보존인자는 지형경사가 고려될 때 의미를 갖게 되는데 P값의 경사 분포에 따라 미국 농무성(USDA, 1978)의 연구에 의하여 표 3과 같이 경험적으로 개발된 요소값의 범위로 적용하였다.

표 3. P factor (Wischmeier and Smith, 1978).

Slope(%)	Contour factor(USDA)	Strip crop factor(USDA)
1~2	0.4	0.30
3~8	0.5	0.25
9~12	0.6	0.30
13~16	0.7	0.35
17~20	0.8	0.40
21~25	0.9	0.45

2.5 토양유실량 (A) 산정

USLE을 이용하여 유역내 토양유실량(A)을 산정하는 방법은 식 3과 같다.

$$A = R \times K \times L \times S \times P \quad (3)$$

여기서, A : 토양유실량 (ton/ha/year), R : 강우침식인자, K : 토양침식인자

LS : 지형인자, C : 토지피복인자, P : 토양보존인자

강우로 인한 토양유실량을 유역 공간 전체에 대해 실험하기에는 너무 많은 비용과 시간이 소요되므로 연구지역의 평균 강우인자값을 연구지역에 동일하게 적용하였다

연구지역에서 K, LS, C, P 인자에 대한 값들을 산정하고 USLE 공식을 이용하여 계산한 결과, 토양유실량은 0~25 kg/m²/year의 값 분포를 보이고 각 인자값을 이용하여 계산한 토양유실량 결과가 지역에 따라 매우 상이하게 평가되었다. USLE 공식을 이용하여 토양유실량 산정결과를 비교해 본 결과 퇴적물 유입이 주로 이루어지는 위치는 남서쪽 산사면으로 이 부근에서 침식이 가속화 되는 것으로 평가되었다. 그림 2는 품곡천 유역에 대한 A값의 분포상황을 나타낸다.

3. 퇴적물의 유입경로 분석

퇴적물의 유입은 토립자의 이탈, 유사이동 그리고 퇴적의 기본적인 과정의 결과이다. 이들 과정은 많은 인자에 의하여 지배된다. 특히 지형적인 특성은 토양 유입경로를 예측하는데 매우 중요한 인자이다. 경사가 전혀 없는 평지에서는 침식은 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 토양이 약간의 경사만 있어

도 토양유실량은 심각하다. 경사가 급한 곳에서는 유거수의 속도가 증대되기 때문에 유입량은 매우 많아지며 또한 경사장이 길거나 경사 폭이 넓은 곳은 유거수의 집중으로 역시 심한 토양유실이 일어나게 된다.

표 4. 유역조건에 따른 퇴적물 발생 정도

유역 조건	낮은 유입량	중간 유입량	높은 유입량
퇴적 유입량	< 1,000 kg/ha	1,000 ~ 10,000 kg/ha	> 10,000 kg/ha
사면 길이	< 50m	50 ~ 100m	> 100m
사면 경사	1 ~ 5%	5 ~ 15%	>15%
토지 관리	경작하지 않음	띠, 등고선 경작	등고선을 따르지 않는 전통 경작
흐름 상태	면상 침식	작은 세류	세류와 협곡

계다가 우리나라 하천에서는 여름의 홍수기에 단기간에 많은 양의 토양이 집중적으로 유

출되는 것으로 알려져 있기 때문에 수로화된 흐름의 발생으로 심각한 자연재해로 까지 발전할 가능성이 높다. 또한, 주로 수로화된 흐름형성은 경사가 10%이상인 사면이 75m이상인 경우 시작될 수 있다. 표 4는 유역조건에 따른 퇴적물의 발생정도를 추정한 것이다. 사면길이, 경사, 흐름상태, 피복상태 등은 집중된 흐름 가능성을 결정하는 인자이다.

따라서 이러한 인자들을 광범위한 지역에 대해 정확하게 추출할 수 있다면 유입되는 퇴적물의 경로분석에 신뢰성을 기할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 정확한 지형을 표현하는 항공 LiDAR 기술을 활용한 것으로 지형적인 특성과 흐름 상태를 종합 분석하여 강우에 의한 퇴적물의 유입경로를 추적하고자 하였다.

항공 LiDAR 측량에서 획득한 3차원 공간정보를 퇴적물이 유입되는 근원지 및 경로 추적에 이용하기 위해 본 연구에서는 수치표면모형과 이를 필터링후 3차원 객체를 제거하고 생성한 수치표고모형을 ArcGIS 프로그램(3D and Basin Analyst)에 입력하여 10%이상의 경사와 75m이상의 사면길이를 추출하여 수로화된 흐름의 유로 추적에 대한 공간분석을 수행하였다.

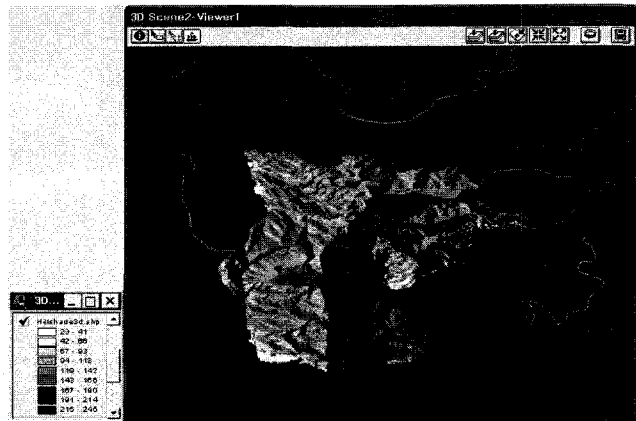


그림 4. 음영기복도

정밀한 고도 데이터를 이용한 유입 경로 분석은 유역의 전체적인 흐름 경향을 계산한 다음 누적흐름의 방향을 검색하여 수로를 추적하게 된다. 이 누적 흐름중 저차수의 유로를 Map Calculator를 이용하여 제거하고 나머지 수로를 차수별로 분석하면 세부적인 차수별 수로망을 추출할 수 있다. 그림 4, 5는 음영기복도와 수로망을 나타낸 그림으로, 전체적인 유입 방향을 화살표로 표시하였다.

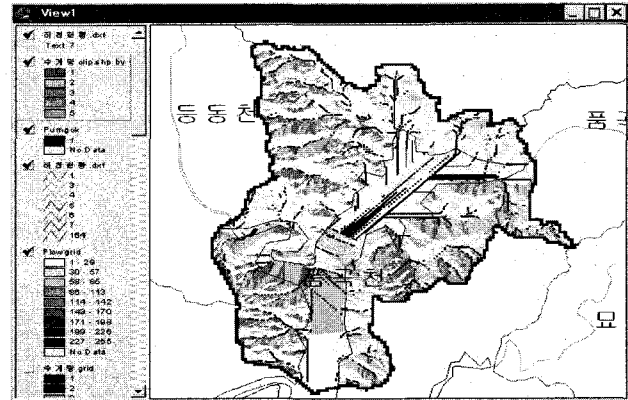


그림 5. 수로망 분석

4. 결론

항공 LiDAR 시스템에서 획득한 고도 및 반사강도 데이터를 이용하여 유역에서 유입되는 퇴적물의 양과 그 경로를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. LiDAR 데이터를 이용한 토양 유실량 산정은 기존의 위성영상이나 수치지도를 이용하는 방법에 비해 지형조건이나 피복조건에 정확도 및 경제성을 기할 수 있었으며 대상유역에 대한 K, LS, C, P 인자에 대한 값들을 추출하고 USLE 공식에 적용한 결과, 토양유실량은 0~25 kg/m²/year의 값 분포를 보였으며, 퇴적물 유입이 주로 이루어지는 위치는 남서쪽 산사면으로 이 부근에서 침식이 가속화 되는 것으로 평가되었다.

2. 강우에 의해 발생하는 유실의 경우 집중된 흐름을 유지하면서 수로를 형성함으로 항공 LiDAR 기술을 활용하여 지형적인 특성과 흐름 상태를 종합 분석하여 강우에 의한 퇴적물의 유입경로를 모니터링 하였다.

참고문헌

1. 박재호(2003), 지화학 분석과 GIS를 이용한 순창지역 섬진강 하상퇴적물의 공급원에 관한 연구, 충남대학교 석사학위논문.
2. 신방웅, 김홍택(2001), 표토보전 및 침식(유실) 방지 대책에 관한 연구, (사)한국지반환경 공학회, 환경부 최종보고서.
3. 장동호, 지광훈, 이봉주(1995), LANDSAT 자료를 이용한 금강하류의 충적주 환경 변화에 관한 연구, 대한원격탐사학회지, 제 11권 제 2호, pp.59~73.
4. Moore and Burch(1986), Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation, Soil Science Society of America Journal, Vol. 50, pp.1294~ 1298.
5. Osterkamp, W.R., Toy, T.J.(1997), Geomorphic considerations for erosion prediction, Environmental Geology, Vol. 29 (3/4), research article.
6. Renard, K.G., Foster, G.R., Wessies, G.A., McCool, D.A. and Yoder, D.C.(1993), Predicting soil erosion by water; A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), U.S. ARS Publication.
7. Transportation Research Board(1980), National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice #70.
8. Wischmeier, W.H. and D. D. Smith(1978), Predicting rainfall erosion losses Agricultural Handbook 537, U.S. Depart. of Agric.