

유역특성인자에 따른 침식 및 퇴적의 변화

Variation of Erosion and Deposition with Catchment Characteristic Factors

유완식*, 이기하**, 이건혁***, 조복환****, 정관수*****

Wan Sik Yu, Gi Ha Lee, Kun Hyuk Lee, Bok Hwan Lee, Kwan Sue Jung

요 지

자연계에서 토양의 침식 및 퇴적 반복적 과정은 매우 복잡한 형태로 발생하며, 호우로 인한 토사유출은 유역의 지형 및 지질학적 특성과 수문기상학적 특성 등에 의해 매우 민감하게 반응한다. 즉, 토양 침식 및 퇴적은 유역의 형상, 토양종류, 토지 이용 및 피복상태, 강우사상 등에 따라 시·공간적 분포가 다양하게 변화한다. 따라서 유역내 침식 및 퇴적의 시·공간적 변동성을 분석하기 위해서는 지형학적 특성인자와 수문기상학적 특성인자에 따른 유역내 수문학적 응답을 이해해야 한다. 본 연구에서는 분포형 강우-유사-유출 모형을 이용하여 용담댐 상류 천천유역을 대상으로 Strahler 하천차수구분법에 의해 유역을 차수별 소유역으로 구분하고, 지형학적 특성인자(유역면적, 지표흐름 이동거리, 국부경사)와 수문학적 특성인자(총 강우량)에 따른 침식 및 퇴적의 공간분포 변화에 대하여 분석하였다.

핵심용어 : 침식 및 퇴적, 분포형 강우-유사-유출 모형, 지형학적 인자, 수문기상학적 인자

1. 서 론

자연계에 있어서 토양 침식 및 퇴적의 과정은 비선형의 형태로서 호우로 인해 발생하는 토사유출은 유역의 지형학적, 수문기상학적 특성뿐만 아니라 다양한 인위적 요인 등에 의해 매우 복잡하게 나타난다(Morris and Fan, 1997). 즉, 토양 침식 및 퇴적은 유역의 형상, 토양종류, 토지이용 및 피복상태, 강우지속기간 및 강우강도 등에 의해 시·공간적으로 변화하므로 이러한 다양한 요인들의 상호작용을 이해하고 분석하기 위해서는 물리적 기반의 분포형 침식·퇴적 해석모형이 필요하며, 모형의 구성요소에 전술한 정보들이 적절하게 포함되어야 한다. 국내의 대부분의 연구들은 기개발된 준분포형 또는 분포형 모형을 이용하여 유역에서 발생하는 토양침식량 산정 및 적용성 평가에 초점이 맞춰져 있으며 토양침식, 침식된 토사의 이송, 이송된 토사의 퇴적 과정에 영향을 미치는 주요 지배인자에 관한 연구 및 유역의 규모, 지형학적 위치에 따른 침식 및 퇴적 양상의 변화 등에 관한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 시·공간적으로 변동하는 침식 및 퇴적 현상을 유역규모에 따라 해석하고, 그 특성을 분석하였다. 대상유역을 Strahler(1952)의 하천차수법칙에 의해 하천차수별 소유역으로 구분하고, 분포형 강우-유사-유출 모형을 이용하여 각각의 소유역에 해

* 정회원 · 충남대학교 토목공학과 석사 · E-mail : babuwys@nate.com
** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 건설방재연구소 Post-doc 연구원 · E-mail : leegiha@gmail.com
*** 충남대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : lee_kun_hyuk@hanmail.net
**** 정회원 · 한국종합기술 수자원부 대리 · E-mail : james7799@rocketmail.com
***** 정회원 · 충남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ksjung@cnu.ac.kr

당하는 격자기반의 유역침식 및 퇴적 공간분포 정보를 획득한 후 지형학적 인자(유역면적, 지표흐름 이동거리, 국부경사) 및 수문기상학적 특성인자(강우량)에 따른 침식 및 퇴적의 변동성을 유역 규모별로 검토하고 그 특성을 분석하였다.

2. 분포형 강우-유사-유출 모형

본 연구에서는 분포형 강우-유사-유출 모형은 강우에 따른 유출과 강우 및 유출에 의한 유사의 거동을 1차원적으로 모의한다. 강우-유출에 경우 호우시 각 격자에서 강우는 지표하로 직접적으로 더해지고 격자의 토양층이 포화되면 지표흐름이 생성되는데 지표하 흐름은 비포화 흐름과 포화흐름으로 구분된다. 지표하 흐름의 수직적인 채움현상 때문에 초기 강우 손실을 고려하지 않고 투수계수와 토양층 두께에 따른 지체된 지표하 흐름을 효과적으로 모의할 수 있으며, 개념적 수위-유량 관계식을 이용하여 각 격자별 지표 및 지표하 흐름을 해석한다.

유사유출의 경우 각 격자별 유사량은 빗방울에 의한 토양분리와 지표흐름에 의한 토양분리에 의해서 계산되며, 지표류가 발생할 때 유사가 지표류에 의해 사면으로부터 하도로 이송되어진다. 각 격자에서의 토양 침식과 퇴적과정의 모의를 위한 이송능력을 산정하기 위해 Yang(1972)이 제안한 단위수류력이론을 사용하였다. 단위수류력이론으로 산정된 유사량 즉, 이송능력과 격자에 유입되는 유사량을 비교하여 단면의 침식 또는 퇴적을 결정한다. 한 격자에서 흐름의 이송능력(C)이 상부 격자로부터 유입되는 유사량(Q_{cd})보다 클 경우 $TC - Q_{sed}$ 만큼의 유사가 침식되고 반면에 흐름의 이송능력(TC)이 상부 격자로부터 공급되는 유사량(Q_{sed})보다 작을 경우 $Q_{sed} - TC$ 만큼의 유사 퇴적된다. 분포형 강우-유사-유출 모형에 대한 보다 상세한 내용은 유완식(2010) 및 이기하 등(2010)에 기술되어 있다.

3. 유역특성인자에 따른 침식 및 퇴적의 변동성 분석

본 연구에서의 대상유역은 용담댐 상류유역 천천유역을 선정하고 1/25,000 수치지도의 지형정보 속성을 추출한 후 250m 250m 격자크기로 DEM을 구축하였으며, 강우-유사-유출모의를 위해 4개의 강우관측소(천천, 장계, 상전, 계북2)로부터 시간별 점 강우량 자료를 Thiessen기법을 이용하여 공간분포형 강우량 자료로 변환하여 모형의 입력자료로 사용하고, 모형의 검보정을 위하여 천천수위관측소의 수위-유량 관계곡선식과 유량-유사량 관계곡선식을 이용하였다. 모형에 적용된 강우사상은 태풍 ‘루사’를 이용하여 보정하였으며, 태풍 ‘매미’와 ‘나리’를 이용하여 검증하였다(표 1).

표 1. 강우-유사-유출 모의를 위한 강우사상

강우사상	강우기간	총강우량(mm)	태풍	비고
1	2002.08.30.17:00 ~ 09.02.19:00	194.82	루사	보정
2	2003.09.11.21:00 ~ 09.15.16:00	133.89	매미	검증
3	2007.09.14.06:00 ~ 09.21.15:00	205.46	나리	검증

그림 1은 각 강우사상동안 발생한 대상유역에서의 침식 및 퇴적의 공간분포를 나타내고 있으며, 루사의 경우 침식은 최대 1.87cm, 퇴적은 최대 1.66cm, 매미의 경우 침식은 최대 0.46cm, 퇴적은 최대 0.93cm, 나리의 경우 침식은 최대 0.69cm, 퇴적은 최대 1.19cm으로 분석되었다.

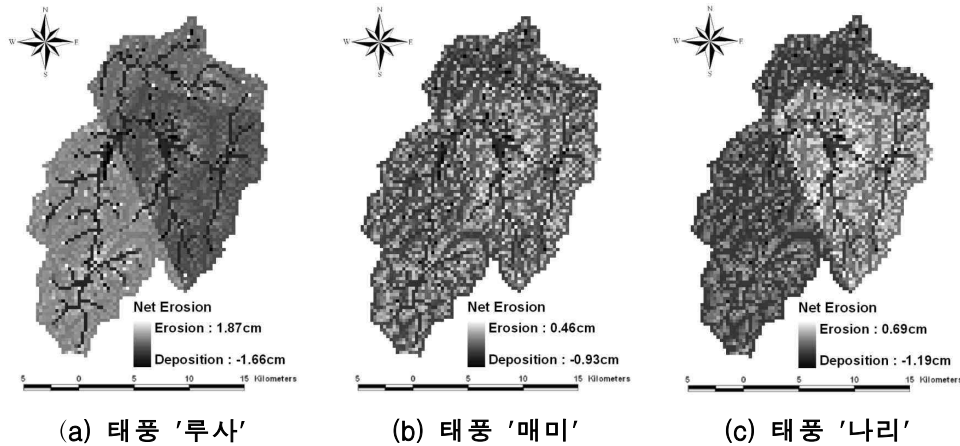


그림 1. 강우사상에 따른 침식 및 퇴적 분포도

대상유역의 지형학적 특성(유역면적, 지표흐름 이동거리, 국부경사)에 의한 침식 및 퇴적의 공간분포 변화를 분석하기 위해 천천유역의 수계는 Strahler의 하천차수법칙에 의해 그림 2(a)와 같이 분류하였으며, 그림 2(b)는 1차 하천에 해당하는 유역을 나타낸다. 대상유역은 42개의 1차 하천 유역, 9개의 2차 하천유역, 2개의 3차 하천유역으로 구분되며, 최종적으로 천천유역은 4차 하천유역이 된다. 또한 하천에 해당하는 격자를 기준으로 하는 지표흐름의 이동거리 산정결과는 그림 2(c)와 같으며 하천격자의 경우 지표흐름의 이동거리는 0의 값을 갖고 하천에서 멀어질수록 큰 양의 값을 갖게 된다. 마지막으로 국부경사는 흐름도를 이용하여 인접격자간 거리와 표고차에 의해 계산되며, 그 결과는 그림 2(d)와 같다.

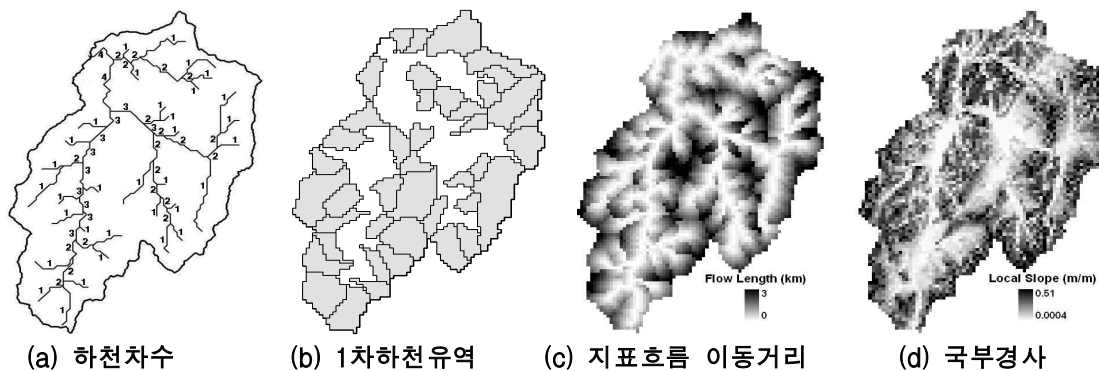
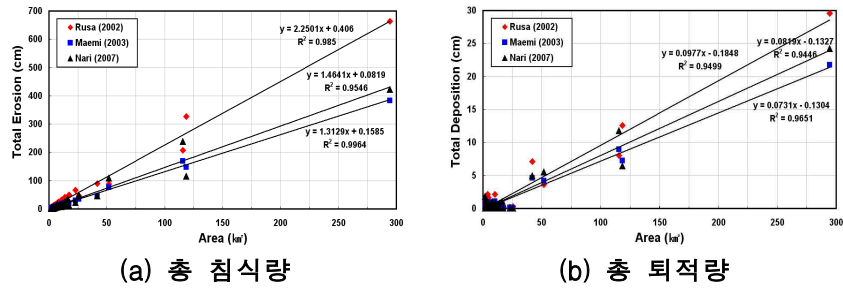


그림 2. 하천차수에 따른 유역구분 및 지형학적 인자

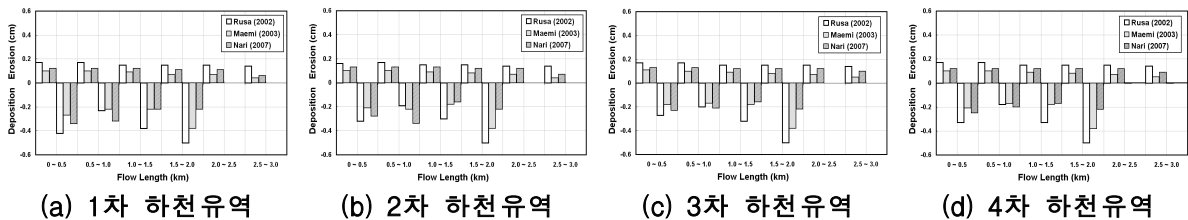
3.1 지형학적 특성인자에 따른 침식 및 퇴적 변동성 분석

대상유역의 지형학적 특성인자에 따른 침식 및 퇴적의 공간분포의 변동성의 분석 결과, 우선 Strahler의 하천차수법칙에 분할된 모든 유역(총 54개)에서의 유역면적 크기에 따른 침식 및 퇴적의 변화를 분석하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 그 규모는 적용된 강우사상에 따라 다르지만 침식량 및 퇴적량 모두 유역면적이 커짐에 따라 선형적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 회귀 분석 결과 높은 상관성을 나타내었으며, 이는 대상유역에서 다양한 강우사상에 따른 회귀식이 존재하고 임의의 소유역에서의 발생한 침식량 및 퇴적량을 유역면적만을 독립변수로 하여 예측이 가능함을 의미한다.

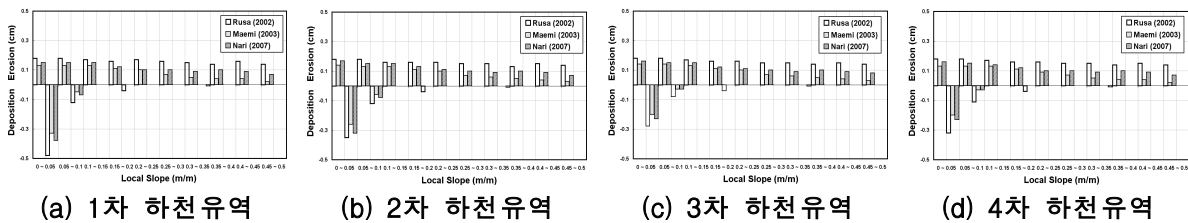


(a) 총 침식량 (b) 총 퇴적량
 그림 3. 유역면적에 따른 총 침식량 및 퇴적량

다음으로 지표흐름 이동거리(그림 2(c)) 및 국부경사(그림 2(d))에 따른 하천차수별 유역에서의 평균 침식량 및 퇴적량을 분석하였다. 지표흐름 이동거리의 증가에 따른 평균 침식량의 변화는 미소하게 감소하는 것으로 나타났으며, 하천차수별 유역에 상관없이 그 변화는 미비한 것으로 분석되었으며, 퇴적의 경우 지표흐름 이동거리에 변화에 따라 그 값이 상이하게 나타났으나 2.0km 이하의 격자(하천주변)에서는 퇴적이 집중적으로 발생하고 그 이상에서의 격자(유역 상류부)에서는 퇴적이 전혀 발생하지 않은 것으로 분석되었다. 국부경사에 따른 하천차수별 유역에서의 평균 침식량 및 퇴적량의 분석 결과 경사가 급해짐에 따라 평균 침식은 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었으나 하천차수에 따라서는 뚜렷한 변화를 보이지 않는 것으로 분석되었다. 퇴적의 경우 경사가 급해질수록 급속히 감소하고 경사가 0.1이상인 격자에서는 퇴적은 거의 발생하지 않는 것으로 분석되었으며, 하천차수별 유역에서의 퇴적은 1차 하천유역에서 가장 크게 나타났으며 높은 차수의 유역일수록 감소하는 경향성을 나타내었다. 그림 4와 5는 지표흐름 이동거리에 따른 침식 및 퇴적의 변화와 국부경사에 따른 침식 및 퇴적의 변화를 나타낸다.



(a) 1차 하천유역 (b) 2차 하천유역 (c) 3차 하천유역 (d) 4차 하천유역
 그림 4. 지표흐름 이동거리에 따른 침식 및 퇴적의 변화

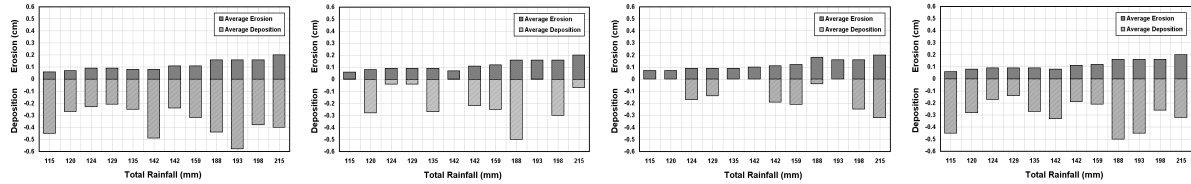


(a) 1차 하천유역 (b) 2차 하천유역 (c) 3차 하천유역 (d) 4차 하천유역
 그림 5. 국부경사에 따른 침식 및 퇴적의 변화

3.2 수문기상학적 특성인자에 따른 침식 및 퇴적 변동성 분석

수문기상학적 특성인자와 침식·퇴적 분포와의 관계를 살펴보기 위해 유역내 4개의 Thiessen망의 총 강우량을 오름차순으로 나열하여 평균 침식량 및 퇴적량과의 관계를 분석하였다(그림 6). 분석 결과 총 강우량이 증가함에 따라 모든 하천차수의 유역에서 침식은 점진적으로 증가하는 추세를 보이는 반면, 퇴적량의 경우 강우량의 증가에 따른 특이한 변동성(또는 규칙성)은 발견하지

못하였다. 이상의 분석을 통해 지형인자 및 수문기상학적 인자 모두 침식 및 퇴적과정에 영향을 미치는 중요 요소임을 확인할 수 있으며, 지형학적 인자는 침식보다는 퇴적에 지배적이며, 반대로 수문기상학적 인자는 퇴적보다는 침식에 지배적임을 유추할 수 있었다.



(a) 1차 하천유역 (b) 2차 하천유역 (c) 3차 하천유역 (d) 4차 하천유역

그림 6. 총강우량에 따른 침식 및 퇴적의 변화

4. 결 론

본 연구에서는 분포형 강우-유사-유출 모형을 이용하여 격자기반의 유역침식 및 퇴적 공간분포 정보를 획득하고, 유역의 지형학적인 인자인 유역면적, 지표흐름 이동거리, 국부경사와 수문기상학적 인자인 강우량에 따른 유역내 침식 및 퇴적의 변동성에 대하여 분석하였다. 분석 결과 침식량 및 퇴적량은 강우사상에 따라 다르지만 유역면적이 커짐에 따라 선형적으로 증가하고 있으며 그에 대한 결정계수 역시 매우 높은 결과를 나타내었다. 또한 지표흐름 이동거리에 따른 평균 침식량은 지표흐름 이동거리의 증가에 따라 미소하게 감소하는 것으로 나타났으며, 하천차수의 변화에 따른 변화는 미비한 것으로 분석되었다. 퇴적의 경우 지표흐름 이동거리의 변화에 따라 그 값이 상이하게 나타났으나 지표흐름 이동거리가 2.0km 이하에서 집중적으로 발생하고 그 이상에서는 퇴적이 발생하지 않은 것으로 분석되었다. 국부경사에 따른 평균 침식량 및 퇴적량의 분석 결과 경사가 급해짐에 따라 평균침식량은 점진적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 하천차수에 따라서는 계급구간별 국부경사의 증가에 따라 평균 침식량은 감소하는 경향을 나타내었으나 차수가 증가함에 따라서는 그 변화가 미비한 것으로 분석되었다. 총 강우량과 침식 및 퇴적의 변동성 분석결과 총 강우량이 증가함에 따라 모든 하천차수의 유역에서 침식량은 점진적으로 증가하는 추세를 보이는 반면, 퇴적량의 경우 강우량의 증감에 따라 특이한 변동성은 나타나지 않았다.

감 사 의 글

본 연구의 일부는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 유완식 (2010). 매개변수의 불확실성을 고려한 강우-유사-유출량 산정에 관한 연구." 석사학위논문, 충남대학교
2. 이기하, 유완식, 장창래, 정관수 (2010). "분포형 수문모형을 이용한 침식 및 퇴적의 시공간 변동성 분석.", 한국수자원학회논문집, 제43권, 제11호, pp. 995-1009.
3. Morris, G.L. and Fan, J. (1997). *Reservoir sedimentation handbook*. McGraw-Hill, New York.
4. Strahler, A.N. (1952). "Hypsometric(area-altitude) analysis of erosional topography.", *Bulletin of Geological Society of America*, Vol. 63, No. 11, pp. 1117-1142.
5. Yang, C.T. (1972). "Unit stream power and sediment transport." *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, Vol. 98, No. 10, pp. 1805-1826.