

새만금 담수호의 유사퇴적량 및 장래퇴적분포 추정

Sediment Deposition and Future Spatial Distribution of Sediment in Saemangeum Freshwater Lake

이은정*·조영경**·김학관***·박승우****

Eun Jeong Lee·Young Kyoung Cho·Hak Kwan Kim·Seung Woo Park

요 지

본 연구에서는 새만금 담수호로 유입되는 유사량과 담수호의 장래퇴적분포를 추정하였다. GIS (Geographic Information System)와 범용토양유실량식(Universal Soil Loss Equation; USLE)을 적용하여 새만금 담수호 상류유역에서 발생하는 토양유실량을 산정하고, 총유실량-유사운송비(sediment delivery ratio) 법을 이용하여 담수호로 유입되는 유사량을 추정하였다. USLE에 의한 총 유실량은 2,804 천ton/yr, 새만금 소유역별 평균 유사운송비는 12%, 담수호 유입유사량은 328 천ton/yr으로 추정되었다. 새만금 담수호의 유효저수량과 유입량에 의한 포착효율(trap efficiency)을 고려하여 담수호에 실제 퇴적되는 양을 추정하고 새만금 담수호의 표고별 장래퇴적분포는 Lara method (USBR method)을 이용하였다. 새만금 담수호의 유사퇴적량은 302 천ton/yr으로 산정되었으며, Lara method에 의한 추정결과 5년, 10년 후 각각 새만금 담수호의 내용적이 0.4%, 0.7% 감소하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 장래퇴적분포, 토양유실량, USLE, Lara method

1. 서 론

토양의 침식과 침식된 토립자가 운반되어 농경지, 하천 및 저수지 등에 유입되어 퇴적되는 현상은 전세계적으로 매우 심각한 환경문제 중의 하나이다. 이러한 토양침식은 토지이용과 토양특성 및 강우특성에 따라 달라지게 되며 담수호 내에 퇴적물이 많이 쌓이거나 혹은 원하지 않는 곳에 퇴적되면 담수호 수질에 영향을 미치는 등 수자원관리에 어려움을 일으킬 수 있다. 또한 하천이 담수호로 유입되는 부분에 퇴적이 일어나면 유입수의 흐름을 방해되거나 미립자들이 담수호 하상에 퇴적되면서 저서생물들을 덮어 담수호 내 생태계를 파괴하는 등의 문제가 발생할 수 있으므로 담수호로 유입되는 유사량을 추정하고 이들의 퇴적분포를 예측하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 새만금 유역에 대하여 1) 지리정보시스템 (Geographic Information System)을 이용하여 USLE 인자를 추출, 2) 이로부터 USLE 식을 이용한 상류유역의 토양유실량을 추정, 3) 유사운송비법으로부터 새만금 담수호에 유입되는 유사량을 추정, 4) 담수호에 유입된 유사량 중 담수호에 퇴적되는 유사량을 포착효율법을 이용하여 추정, 5) Lara method를 이용하여 담수호의 장래 퇴적분포를 예측하여 새만금 담수호의 수질관리의 기초자료로 활용하고자 한다.

* 정회원·서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 석사과정-E-mail : tweety45@snu.ac.kr

** 정회원·서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 석사과정-E-mail : kyo6928@snu.ac.kr

*** 정회원·서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 박사수료-E-mail : kwans2@snu.ac.kr

**** 정회원·서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학과 교수-E-mail : swpark@snu.ac.kr

2. 연구방법

2.1 대상유역

대상유역은 새만금유역으로 행정구역상으로 전라북도 내 8개 시군에 걸쳐 위치하며 이 중, 전주시 및 정읍시, 김제시, 완주군은 대부분의 지역이 유역 내에 포함되지만, 군산시, 익산시, 고창군, 부안군은 일부 지역만이 유역으로 포함된다. 새만금 유역은 크게 만경유역, 동진유역과 서해안유역으로 이루어져 있으며, 각 소유역의 면적은 $1,601\text{km}^2$, $1,162\text{km}^2$, 232km^2 이다 (Fig 1). 주요 하천으로는 만경강과 동진강이 있으며, 유로연장은 각각 57.0km 와 43.9km 이다. 새만금 간척사업으로 새롭게 조성될 새만금 간척개발지는 $40,100\text{ha}$ 로서 이중 담수호의 면적은 약 $11,800\text{ha}$ 에 달한다.

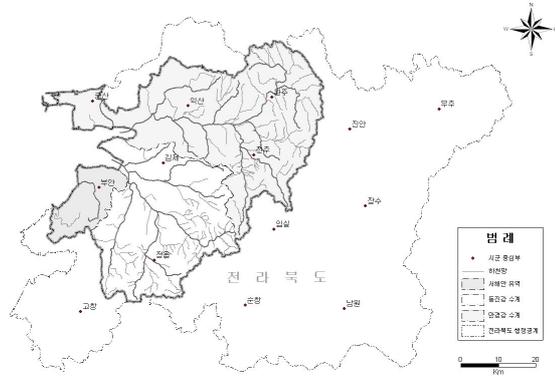


Fig 1. The map of Saemangeum watershed

2.2 토지이용 분석 및 유사량 추정

유역에서 발생하는 토양유실은 토지이용에 따라 달라진다. 따라서 토양유실량을 추정하기 위해서는 새만금 상류유역 내 토지이용에 대한 분석이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 1999년 ~ 2004년에 환경부에서 시행한 인공위성 영상자료를 이용한 토지피복지도 구축사업을 통해 구축된 1:25,000 중분류토지피복지도를 연구목적에 맞게 재분류하여 이용하였다 (Fig 2).

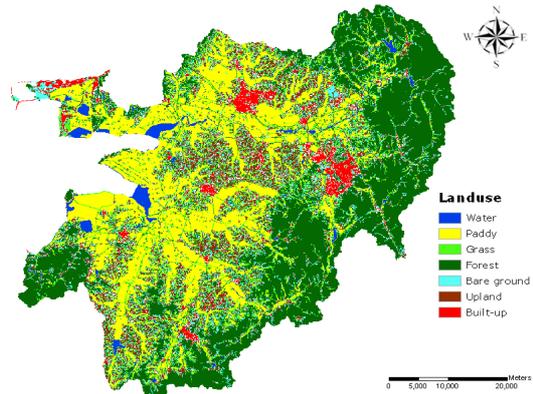


Fig 2. Landuse of Saemangeum watershed

유역에서 발생하는 토양유실량의 추정은 범용토양유실량공식(Universal Soil Loss Equation, USLE)이 많이 이용되고 있다. USLE는 1960년대 농경지에서의 면상침식 및 세류침식에 의한 토양유실량을 추정하기 위하여 Wischmeier와 Smith(1965)가 제안하였으며, 경지정리계획 시 농지보전방법을 정하고 비점오염관리를 위한 토양유실량을 추정하기 위해 주로 사용된다.

담수호 상류부터의 유입유사량을 계산하기 위해 국립지리원에서 구축한 1:25,000 NGIS 수치지도를 이용하여 유역도, 경사도, 경사방향도 등의 기본적인 주제도를 생성하였다. 이러한 주제도와 토지피복지도를 바탕으로 USLE 각 인자에 대한 주제도를 구축하였다.

강우침식능인자(R)는 강문성 등(2003)이 우리나라 전국 26개 관측소를 대상으로 1973년 ~ 2002년까지의 10분 및 1시간 강우자료를 분석하여 제시한 강우가식성인자 중에서 군산($4,158\text{MJ}/\text{ha}\cdot\text{mm}/\text{h}$), 전주($4,743\text{MJ}/\text{ha}\cdot\text{mm}/\text{h}$), 광주($6,156\text{MJ}/\text{ha}\cdot\text{mm}/\text{h}$) 관측지점의 값을 새만금 유역에 Thiessen Network를 형성하여 적용하였다 (Fig 3).

새만금 상류 유역의 토양침식성인자(K)를 구하기 위해 농촌진흥청의 1:25,000 정밀토양도를 이용하여 각 토양통별 속성을 추출하여 토양침식성인자를 계산하였다. 사면장과 경사도가 토양유실에 미치는 영향을 나타내는 인자는 각각 L 과 S 이며, 이들은 서로 구분하지 않고 흔히 지형인자(LS)로 나타낸다. GIS를 이용할 경우 사면장은 보통 격자의 크기로 하는 경우가 많으나 이는 유사량이 과도하게 추정되는 경향을 보이므로 본 연구에서는 토지이용에 따라 사면장을 달리하여 적용하였다.

(Fig 3)은 새만금 유역내에 있는 관측소의 위치자료를 이용하여 구성된 Thiessen Network를 보여주며, (Fig 4)와 (Fig 5)는 각각 새만금 상류유역의 토양침식성인자와 지형인자를 보여준다.



Fig 3. Thiessen Network for rainfall erosivity factor

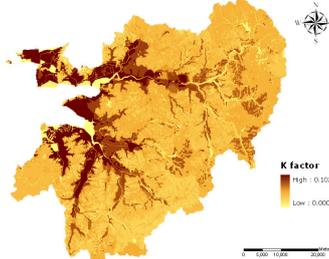


Fig 4. Soil erodibility factor ($ton-ha-hr/ha-MJ-mm$)

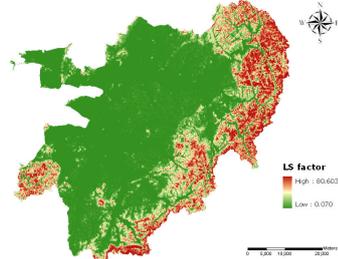


Fig 5. Topographic factors

밭 토양의 경우 어떤 작목 및 작부체계를 선택하는가에 따라 작물경작인자의 변화가 큰 폭을 나타내므로, 유역단위에 단일작물경작인자를 적용하는 데에는 무리가 있다. 따라서 USDA(Wischmeier, 1978)에서 제시한 값으로부터 토지이용에 따른 적절한 작물경작인자를 선택하되, 밭 토양의 경우에는 조영경 등(2006)의 연구 결과를 바탕으로 시군별 작부체계를 고려하여 작물경작인자를 산정하였다.

침식조절관행인자(P)는 Wischmeier가 제시한 값을 이용하여 토지이용에 따른 인자를 적용하였다. 지면 경사도에 따라 논의 경우 테라스 경작조건을 적용하였고, 밭과 초지의 경우 등고선 경작조건을 적용하였다.

(Table 1)은 새만금 유역의 토지이용별 사면장, 작물경작인자, 침식조절관행인자의 값을 보여주고 있다.

Table 1. Slope length, Cropping management factor and Supporting conservation practice factor

Landuse	Paddy	Upland	Forest	Grass	Bare ground	Built-up
Slope length (m)	70	50	10	15	70 ~ 100	70 ~ 100
C factor	0.1	0.29 ~ 0.35	0.001	0.003	1	0.01
P factor	0.10 ~ 0.18	0.5 ~ 0.9	1	0.5 ~ 0.9	1	1

유실된 유사 중 새만금호로 유입되는 양을 추정하기 위하여 총유실량-유사운송비법(Roehl, 1962)을 사용하였으며, 포착효율법(Brune, 1953)을 이용하여 담수호로 유입된 유사량 중 담수호에 퇴적되는 유사량을 추정하였다.

2.3 장래퇴적분포 추정

Borland와 Miller(1958)는 대수지에서의 저수지의 당초 수심과 내용적의 기울기의 역수를 취하여 형상계수 m 이라 하고 이 값에 따라 저수지 형태를 (Table 2)와 같이 4가지로 분류하였다. 이 방법은 침전이 계속

Table 2. Reservoir classification

Reservoir type	Classification	m^*	Relative horizontal area as function of relative depth
I	Lake	3.5-4.5	$a = 5.047p^{1.85}(1-p)^{0.36}$
II	Flood-plain foothill	2.5-3.5	$a = 2.487p^{0.57}(1-p)^{0.41}$
III	Hill	1.5-2.5	$a = 16.967p^{1.15}(1-p)^{2.32}$
IV	Gorge	1.0-1.5	$a = 1.486p^{-0.25}(1-p)^{1.34}$

(* m : The reciprocal of the slope of the depth versus capacity plot on logarithmic paper)

되어도 저수지의 형상계수는 변화하지 않는다는 조사결과에 따라 당초 용적의 수심과 용적으로부터 계산한 것이다. Lara(1962)는 이러한 이론에 기초하여 저수지에서의 유사 퇴적 분포를 예측하는 방법(Lara method)을 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 새만금 담수호 퇴적 유사량의 추정

GIS를 이용하여 구축된 각각의 USLE 인자 주제도를 이용하여 새만금 상류유역으로부터 발생하는 토양유실량을 추정하였다. 새만금 유역에서 발생한 총 토양유실량은 2,804 천 ton/yr 로 추정되었으며 (Fig 6)은 새만금 유역의 토양유실량의 분포를 보여준다. 토지이용별 단위면적당 토양유실량은 (Table 3)과 같으며, 새만금 유역의 토양유실량은 격자별로 편차가 매우 커 대부분의 지역에서는 미량의 토양유실이 발생하였으나 일부 나지와 밭토양에서 많은 양의 토양유실이 발생하는 것으로 나타났다.

새만금 유역의 유사운송비에 대한 자료가 부재한 관계로 유역 면적-유사운송비 관계를 이용하여 새만금 유역의 소유역별 유사운송비를 추정하였으며, 평균 12%로 추정되었다. 담수호 유입 유사량은 328 천 ton/yr 으로 추정되었으며, 이를 바탕으로 포착효율 곡선을 이용하여(Table 4) 담수호에 퇴적되는 유사량을 추정한 결과 302 천 ton/yr 으로 나타났다 (Table 5).

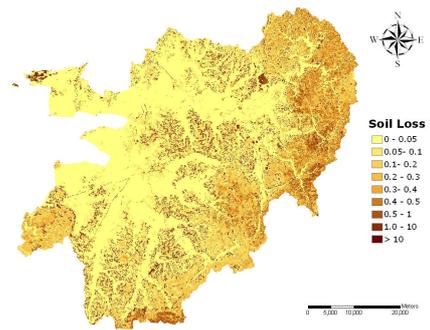


Fig 6. Soil loss of Saemangeum watershed

Table 3. Soil Loss per unit area according to landuse ($ton/ha/yr$)

Landuse	Paddy	Upland	Forest	Grass	Bare ground	Built-up
Soil Loss	0.49	38.65	2.46	1.95	211.04	1.00

Table 4. Trap efficiency of Saemangeum freshwater lake using trap efficiency curve

Reservoir capacity ($10^3 m^3$)	Annual inflow ($10^3 m^3$)	Capacity/Inflow	Trap efficiency (%)
354,720	1,939,500	0.1829	92

Table 5. Actual accumulated sediment in Saemangeum freshwater lake

Soil loss (ton/yr)	Inflowing Sediment (ton/yr)	Trap efficiency (%)	Accumulated sediment in reservoir	
			(ton/yr)	(m^3/yr)
2,804,483	328,312	92	302,047	377,559

· Volume-weight of Saemangeum freshwater lake: $0.8 ton/m^3$

3.2 장래 퇴적분포 추정 결과

(Fig 7) ~ (Fig 8)은 328 천 ton/yr 의 유사 담수호에 유입되고 이 중 302 천 ton/yr 의 유사 매년 새만금 담수호에 퇴적된다고 하였을 때, 앞으로 5년, 10년 후 새만금 담수호의 퇴적분포를 나타낸 것이다. 새만금 담수호는 유효저수량이 약 5억 m^3 이 넘는 매우 큰 담수호로 10년이 지나도 약 0.7% 정도의 내용적 감소가 일어날 정도로 장래 담수호의 내용적 변화가 작아 수위-내용적 곡선으로는 그 변화량을 도시할 수 없어 이를 단순 퇴적으로 환산하여 나타내었다.

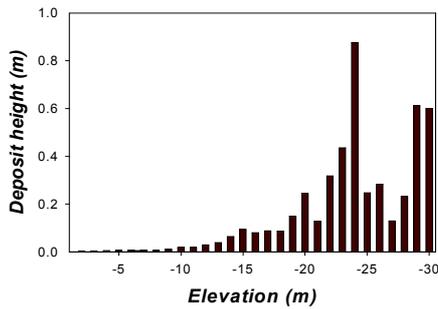


Fig 7. Deposit height after 5 years

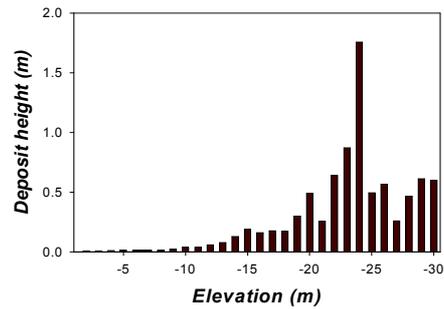


Fig 8. Deposit height after 10 years

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 새만금 방조제 축조 후 형성될 담수호의 유사퇴적량 및 장래퇴적분포를 추정하였다. 범용 토양유실량공식(USLE)을 이용하여 새만금 상류 유역에서 발생하는 토양유실량을 추정하였으며, 유사운송비법을 적용하여 담수호로 유입되는 유사량을 추정하였고, 포착효율을 고려하여 새만금 담수호에 퇴적되는 유사량을 추정하였다. 새만금 담수호의 표고별 장래퇴적분포를 추정하기위해 Lara method를 이용하였다.

연구 결과 USLE에 의한 총 유실량은 2,804 천 ton/yr 로 토지이용별 단위면적 당 토양유실량을 살펴보면 밭토양과 나지에서 토양유실이 많아 이에 대한 대책이 필요할 것으로 나타났다. 새만금 소유역별 평균 유사운송비는 12%, 담수호 유입유사량은 328 천 ton/yr 으로 추정되었다. 새만금 담수호의 유사퇴적량은 302 천 ton/yr 으로 산정되었으며, Lara method에 의한 추정결과 담수호의 바닥고가 $-30m$ 에서 시간이 지나면서 각각 $-28.9m$, $-28.4m$ 로 상승되었으며, 5년과 10년 후 각각 새만금 담수호의 내용적이 0.4%, 0.7% 감소하는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 농림부 농림기술개발사업의 지원에 의해 이루어진 것임

참고 문헌

1. 강문성, 박승우, 임상준, 김학관, 2003. RUSLE을 위한 반월 주기 강우가식성인자 산정, 한국농공학회지 45(3), pp.29-40.
2. 조영경, 이은정, 김학관, 박승우, 2006. 새만금유역의 토양유실량 예측을 위한 밭 토양의 작물경작인자 산정, 2006년 한국수자원학회 학술발표회.
3. Borland, W.M. and Miller, C.R., 1958. Distribution of Sediment in Large Reservoir, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 84, no. HY4, Proc. Paper 1587, pp.1-18.
4. Brune, G.M., 1953. Trap efficiency of reservoir, Transaction of the American Geophysical Union, 34(3), pp.407-418.
5. Lara, J.M., 1962. Revision of procedures to compute sediment distribution in large reservoirs, United States Bureau of Reclamation, Denver, Colo.
6. Roehl, J.E., 1962. Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors, IAHS Publ. No. 59, pp.202-213.
7. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains U.S. Department of Agriculture, USDA Agricultural Handbook 282.
8. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses - A Guide to Conservation Planning, USDA Agricultural Handbook 537.