

GIS와 USLE를 이용한 담수호 상류로부터의 유사량 추정 Estimation of Estuary Sedimentation Using the USLE and GIS

○김상민* · 박승우** · 강문성*

I. 서론

방조제의 건설후 내측에 조성된 담수호의 잉여수나 홍수량 등은 배수갑문을 통하여 외해로 방류된다. 이때, 담수호의 부유물은 방류수와 함께 흘러나가게 되며, 외해와 담수의 혼합과정을 거쳐 운송되거나 침전된 부유물은 방조제 외측의 퇴적변화에 기여하게 된다.

배수갑문으로부터 방류되는 부유물량을 추정하는 방법에는 배수갑문 방류량과 그때의 부유물 농도를 측정하여 계산하는 방법, 배수갑문 방류량을 추정하고 유량-유사량 관계에 의해 계산하는 방법, 유역유사량과 유사운송비로부터 담수호로 유입되는 유사량을 구하고, 포착효율에 의한 침전량으로부터 배제되는 유사량을 추정하는 방법 등이 있다.

상류에서 발생하는 토양유실을 추정하는 방법으로는 USLE 식이 많이 이용되고 있으며, USLE의 인자를 보다 쉽게 추출하기 위해 원격탐사기법과 지리정보시스템이 이용되고 있다. 위성영상과 지리정보시스템의 이용은 정보의 최신성이나 분류의 자동화 및 결과의 수치화 등의 측면에서의 이점을 가지고 있으며, 시간과 비용면에서 뿐만아니라 광대한 면적을 차지하는 유역의 토지이용 분류 및 지상인자 추출에 효과적이라고 하였다. 현재 국내에서는 NGIS, RGIS 수행으로 국가기본도를 수치지도로 작성하고 있으며, 이를 기반으로 하여 비교적 적은 비용으로 각 분야에서 GIS자료를 구축하고, 이를 이용한 공간 분석에 응용하고 있다. 따라서, 지리정보시스템의 기본이 될 국가 기본도의 수치지도가 완전히 작성되고 이 자료의 활용이 활발해지면 향후 GIS의 응용은 보다 더욱 활발해질 것으로 전망된다 (정규장, 1998).

본 연구에서는 지리정보시스템(Geographic Information System)을 이용하여 USLE 인자를 추출하고, 이로부터 USLE 식을 이용한 상류유역의 토양유실량을 추정하고, 유사운송비와 포착효율을 적용하여 아산만과 천수만으로 유입되는 유사량을 추정한 후, 배수갑문조작자료와 부유물 농도자료로부터 구한 실측자료와 비교하여 유사량 추정방법을 정립하고 그 결과를 고찰하도록 한다.

II. 본론

방조제 축조후 갯벌생성원인으로는 하천유입 퇴적물과 외해부유물, 표사량 등이 있으며, 본 연구에서는 방조제 축조후 갯벌생성원인을 분석하기 위한 연구의 일부로 상류유역으로부터 유입되는 하천유입퇴적을 추정하는 방법을 선정하고 아산만과 천수만을 대상으로 하천유입퇴적량을 추정한다. 상류유역에서 발생하는 토양유실량을 추정하기 위하여 USLE(Universal Soil Loss Equation)를 이용하고, 1/50,000 RGIS 수치지도와 Landsat-5 TM 영상을 구득하여 USLE의 각 인자를 추출한다. 또한, 토지이용변화에 따른 토양유실량의 변화를 추정하기 위해 Landsat-5 TM 영상을 이용해 연도별 토지이용변화를 추정하여 USLE의 인자를 추출한다.

*서울대학교 대학원 농공학과 박사수료 **서울대학교 농공학과 교수

추정된 토양유실량 자료와 유달을법을 이용해 담수호로 유입되는 유사량을 추정하며, 포착효율을 이용하여 담수호에 퇴적되는 유사량과 외해로 유입되는 유사량을 추정한다. 또한 방조제 배수갑문 조작자료와 담수호에서의 부유물 측정자료를 이용해 외해로 유입되는 유사량을 추정하며, 이를 포착효율과 유달을법을 이용해 추정한 값과 비교한다.

1. 대상구역 현황

본 연구의 조사 대상지구는 1992년 농업기반공사 조사지구 중 대표지구로 선정된 아산만과 천수만을 선정하였으며, 아산만과 천수만에 위치한 하구 담수호는 아산호, 삼교호, 남양호, 간월호(서산A), 부남호(서산B) 등이며, 각각 1973년부터 1984년 사이에 방조제 체결이 완료되었으며, 체결이 완료된 후 16년에서 27년이 경과하였다. 그림 1은 대상구역인 아산만과 천수만의 위치와 소유역 구분을 보여주고 있다.

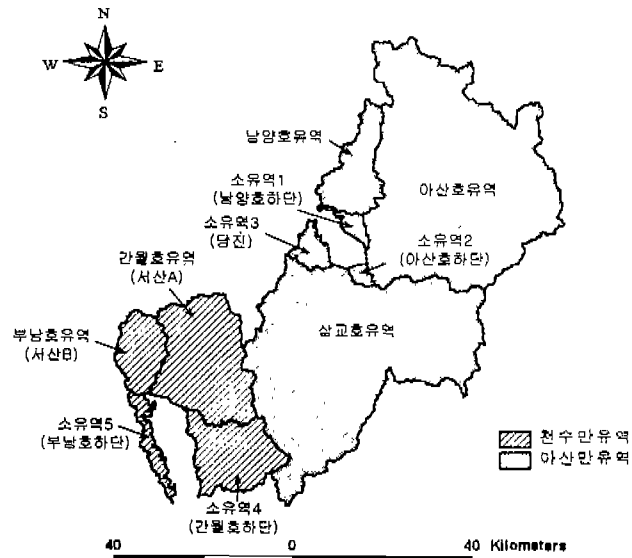


그림 1 대상 구역

구역의 토지이용을 분류하기 위해 Landsat-5 TM 영상을 이용하였으며, 표 1은 위성영상으로부터 추출된 아산만 구역과 천수만 구역의 토지이용현황을 보여주고 있다.

표 1 대상구역 토지이용현황 (2000년)

| 소유역 | 논 | 밭 | 산림 | 초지 | 나지 | 주거지/도로 | 물 | 기타 | 합계 (km ²) |
|-----|-------|-------|-------|------|------|--------|------|-----|-----------------------|
| 아산호 | 439.3 | 207.3 | 651.6 | 65.9 | 55.9 | 224.2 | 49.7 | 0.0 | 1,693.9 |
| 삼교호 | 411.4 | 159.7 | 735.0 | 34.7 | 65.4 | 189.8 | 43.5 | 0.0 | 1,639.5 |
| 남양호 | 57.3 | 19.4 | 90.8 | 0.0 | 2.7 | 25.6 | 10.0 | 1.5 | 207.3 |
| 간월호 | 180.4 | 54.1 | 171.7 | 0.0 | 10.7 | 48.4 | 29.0 | 0.0 | 494.2 |
| 부남호 | 64.1 | 20.6 | 34.9 | 0.0 | 7.2 | 16.4 | 15.0 | 0.0 | 158.2 |

2. 대상구역의 GIS 자료구축

USLE인자를 추출하기 위해 수치고도자료와 Landsat-5 TM 영상을 이용하여 기본도와 주제도를 구축하였다. 1/50,000 수치고도자료로부터 지형도, 지형경사도, 경사방향도를 추출하였으며, Landsat-5 TM 자료로부터 토지이용을 분류하고, 이로부터 USLE 주제도를 구축하였다. 그림 2와 그림 3은 아산만 유역을 대상으로 구축된 수치고도모델과 지형경사도를 보여주고 있으며, 그림 4와 그림 5는 USLE LS 인자도와 USLE C 인자도를 보여주고 있다.

구축한 주제도의 격자크기는 Maidment(1996)가 제시한 적용구역의 범위에 따른 격자의 크기를 참조하였다. 본 연구에서는 구역의 크기와 격자의 수를 고려하여 아산만의 격자크기는 180m, 천수만의 격자크기는 90m로 선정하였다.

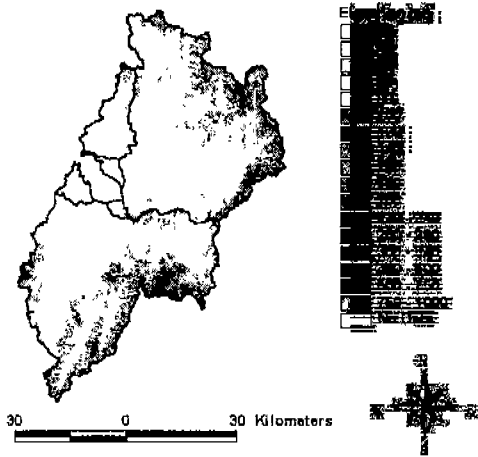


그림 2 아산만 구역의 수치표고모델

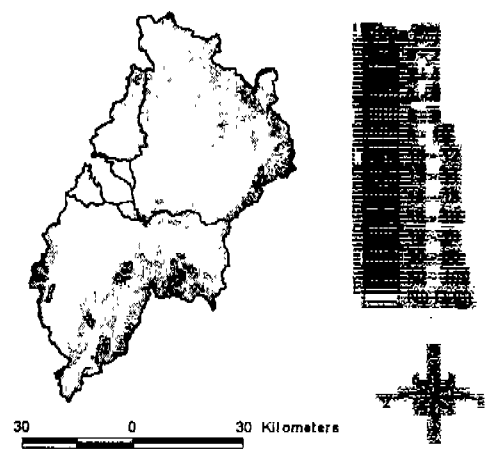


그림 3 아산만 구역의 지형경사도

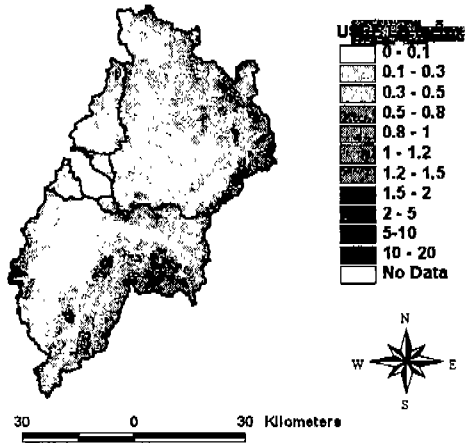


그림 4 아산만 구역의 USLE LS 인자

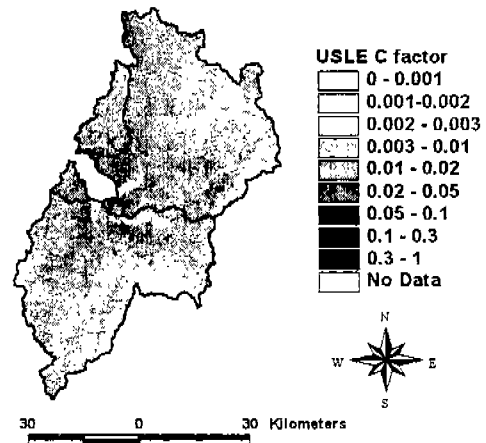


그림 5 아산만 구역의 USLE C 인자 (1986)

3. USLE에 의한 토양유실량 추정

GIS를 이용해 추출된 입력자료로부터 USLE(Universal Soil Loss Equation)를 이용하여 아산만과 천수만 유역을 대상으로 토양유실량을 추정하였다. 그림 6과 그림 7은 1986년 토지이용을 기준으로 산정한 단위면적당 토양유실량을 보여주고 있다.

토양유실량은 토지의 이용상태에 따라 변화하며, 본 연구에서는 1986년, 1992년, 2000년의 3개년을 대상으로 Landsat-5 TM 영상으로부터 토지이용을 추출하여 토양유실량을 추정하였다. 아산만 유역의 경우 그림 8에서 보는 바와 같이 576,257ton/yr, 723,097ton/yr, 818,153ton/yr로 시간의 흐름에 따라 토양유실량이 증가하고 있으며, 천수만 유역에서는 뚜렷한 변화를 보이지 않고 있다.

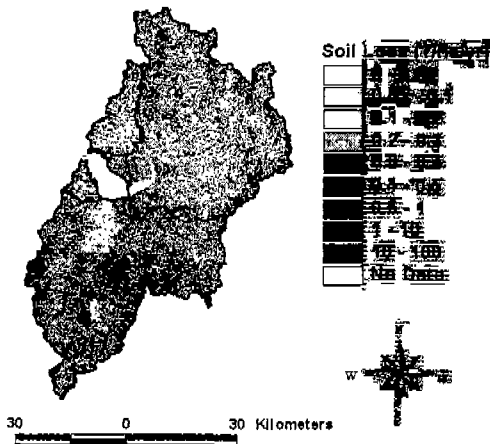


그림 6 아산만 유역의 토양유실량 (1986)

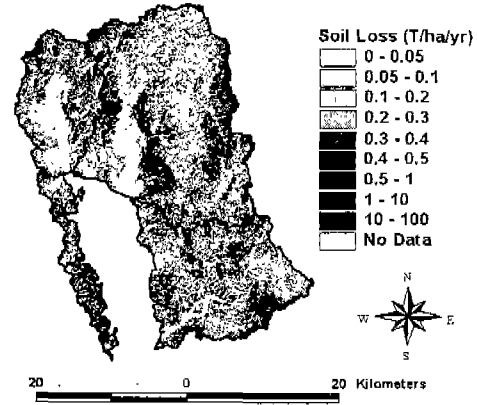


그림 7 천수만 유역의 토양유실량 (1986)

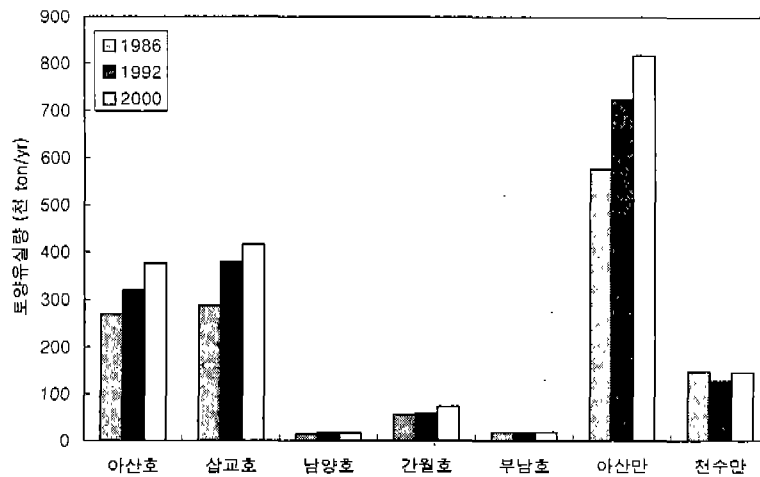


그림 8 아산만, 천수만 유역의 연도별 토양유실량

4. 아산만, 천수만 유입유사량 추정

유역으로부터 유입되는 유사량(sediment yield)을 추정하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 유역의 총유실량(gross erosion)을 추정하고 총유실량 중 실제로 해당지점까지 운송되어 유입되는 유사량의 비, 즉 유사운송비(sediment delivery ratio)를 이용하는 총유실량-유사운송비법을 이용하였다.

유역면적-유사운송비 곡선(Roehl, 1962)으로부터 유역면적에 따른 담수호별 유사운송비를 추정하였으며, 담수호별로 각각 아산호 6%, 삼교호 6%, 남양호 11%, 간월호 8%, 부남호 13%로 추정하였다.

담수호로 유입되는 유사량은 일부는 담수호에 퇴적되며 일부는 배수갑문의 개폐시 바다로 방류된다. 이처럼 담수호로 유입된 유사량 중 담수호에 퇴적되는 비율을 포착효율이라고 하며, 실측

자료가 없을 경우 포착효율 곡선(Brune, 1953)으로부터 추정할 수 있다. 포착효율은 담수호의 용량과 유입량의 비로부터 얻어지며, 아산호의 경우 78%, 삽교호 68%, 남양호 86%, 간월호 86%, 부남호 86%로 추정되었다.

상류에서 발생한 토양유실량으로부터 총유실량-유사운송비법과 포착효율을 이용해 담수호로 유입되는 유사량과 외해로 유입되는 유사량을 계산한 결과는 표 2와 같다.

표 2 아산만, 천수만 유입유사량

| 항목 | 소유역 | 아산만 | | | | | 천수만 | | | |
|--------------------------|------|---------|---------|--------|-------|---------|--------|--------|--------|---------|
| | | 아산호 | 삽교호 | 남양호 | 기타유역 | 합계 | 간월호 | 부남호 | 기타유역 | 합계 |
| 토양유실량 (ton/yr) | 1986 | 269,321 | 286,112 | 14,238 | 6,297 | 575,968 | 57,107 | 18,852 | 73,091 | 149,051 |
| | 1992 | 318,902 | 378,553 | 17,693 | 7,536 | 722,685 | 59,116 | 18,874 | 50,545 | 128,535 |
| | 2000 | 376,907 | 415,927 | 16,158 | 8,841 | 817,832 | 74,314 | 18,803 | 54,962 | 148,079 |
| | 평균 | 321,710 | 360,197 | 16,030 | 7,558 | 705,495 | 63,512 | 18,843 | 59,533 | 141,888 |
| SDR(%) | | 6 | 6 | 11 | 18 | - | 8 | 13 | 14 | - |
| 담수호 유입유사량 (ton/yr) | 1986 | 16,159 | 17,167 | 1,566 | - | 34,892 | 4,569 | 2,451 | - | 7,019 |
| | 1992 | 19,134 | 22,713 | 1,946 | - | 43,794 | 4,729 | 2,454 | - | 7,183 |
| | 2000 | 22,614 | 24,956 | 1,777 | - | 49,347 | 5,945 | 2,444 | - | 8,389 |
| | 평균 | 19,303 | 21,612 | 1,763 | - | 42,678 | 5,081 | 2,450 | - | 7,531 |
| 포착효율(%) | | 74 | 68 | 86 | - | - | 86 | 90 | - | - |
| 외해 유입유사량 (ton/yr) | 1986 | 4,622 | 6,043 | 241 | 1,135 | 12,040 | 704 | 270 | 8,120 | 9,093 |
| | 1992 | 5,472 | 7,995 | 300 | 1,379 | 15,146 | 728 | 270 | 5,593 | 6,591 |
| | 2000 | 6,468 | 8,784 | 274 | 1,636 | 17,162 | 916 | 269 | 6,065 | 7,249 |
| | 평균 | 5,521 | 7,607 | 272 | 1,383 | 14,783 | 782 | 269 | 6,593 | 7,645 |

총유실량-유사운송비법과 포착효율을 이용해 추정된 외해 유입유사량을 담수호 배수갑문 조작 일지와 부유물 측정자료로부터 계산한 유사량과 비교하였다. 15년 이상의 비교적 장기간의 자료를 보유하고 있는 아산호와 삽교호를 대상으로 비교하였으며, 그림 9, 10은 그 결과를 보여주고 있다.

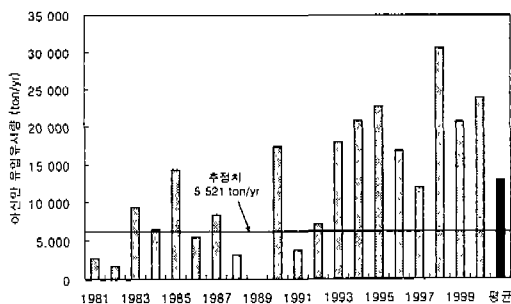


그림 9 아산호 방류유사량 비교

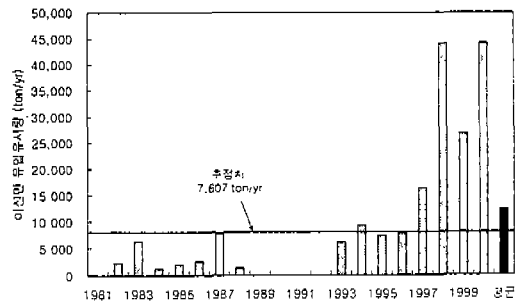


그림 10 삽교호 방류유사량 비교

III. 결론

아산만과 천수만으로 유입되는 유사량을 추정하기 위하여 위성영상과 지리정보시스템

을 이용하여 기본도와 USLE 주제도를 구축하였고, USLE를 이용하여 상류유역에서의 토양유실량을 추정하고, 유사운송비와 포착효율을 이용하여 아산만과 천수만으로 유입되는 유사량을 추정하였으며, 이를 배수갑문조작자료와 부유물 농도자료로부터 구한 실측자료와 비교하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

① 아산만과 천수만의 유역현황을 살펴보고 위성영상자료로부터 토지이용을 분류한 결과, 2000년의 경우 아산만의 전체유역은 3,650km², 논 25.9%, 밭 10.9%, 산림 41.4%로 조사되었으며, 천수만의 전체유역은 994.8km², 논 31.8%, 밭 12.3%, 산림 36.5%로 조사되었다.

② 토지이용에 따른 토양유실량의 변화를 분석한 결과, 아산만의 경우 1986년 576,257ton/yr, 1992년 723,097ton/yr, 2000년 818,153ton/yr으로 토양유실량이 점차 증가하고 있으며, 천수만의 경우 1986년 147,675ton/yr, 1992년 126,888ton/yr, 2000년 145,901ton/yr으로 나타났다.

③ 토양유실량, 유사운송비, 포착효율을 이용해 아산만과 천수만으로 유입되는 유사량을 추정한 결과, 아산만의 경우 1986년, 1992년, 2000년의 경우 각각 12,040, 15,146, 17,162ton/yr로 추정되었으며, 천수만의 경우 9,093, 6,591, 7,249ton/yr로 추정되었다.

④ USLE와 유사운송비, 포착효율을 이용해 추정된 외해 유입유사량과 배수갑문조작자료와 부유물 실측자료로부터 계산된 외해 유입유사량을 비교한 결과, 아산호의 경우 추정치는 5,521 ton/yr, 배수갑문 자료는 12,937ton/yr, 삽교호의 경우 추정치는 7,607ton/yr, 배수갑문자료는 12,395ton/yr으로 나타났다.

IV. 참고문헌

1. 김상욱, 1995. 토지이용변화에 따른 경안천 유역 토양유실에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문
2. 안미희, 1995. 비점오염원의 원단위 오염부하량에 대한 실험적 연구, 서울대학교 석사학위논문
3. 이운상, 1992. USLE모형을 이용한 농촌지역의 비점오염원규모와 특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문
4. 정규장, 조효섭, 1998. 수자원 실무분야에서의 국내 GIS활용 사례, 한국수자원학회지 31(1), pp. 70-78
5. 조재필, 1998. 복합 토지이용 특성의 농촌유역에 대한 농업비점원오염모형의 적용, 서울대학교 석사학위논문
6. Brune, G. M., 1953. Trap Efficiency of Reservoirs, Transactions of the American Geophysical Union, 34(3), pp. 407-418.
7. Maidment, D. R., 1996. GIS and Hydrologic Modeling - an Assessment of Progress. In : Proceedings of the Third International Conference in Integrating GIS and Environmental Modeling, CD-ROM. National Center for Geographical Information and Analysis, Santa Barbara, CA.
8. Ormsby, T., J. Alvi, 1999. Extending ArcView GIS, ESRI Press.
9. Roehl, J. W., 1962. Sediment Source Areas, Delivery Ratios and Influencing Morphological Factors, Publ. No. 59, Internat. Assoc. Hydrol. Sci., pp. 202-213.
10. Vanoni, V. A., 1975. Sedimentation Engineering, ASCE.