

# 내성천 유역의 토사 수지 분석

## Sediment Budget Analysis of the Naesung-cheon Watershed

김대곤\*, 양문용\*\*, 하성원\*\*\*, 류권규\*\*\*\*

Daegon Kim, Moonyong Yang, Sungwon Ha, Kwonkyu Yu

### 요 지

유역내 토사의 산출, 이송, 퇴적, 유출 과정을 분석하는 토사 수지 분석은 유역의 토사 관리 계획을 수립하는 데 핵심적인 과정이다. 또한, 댐건설은 하상에 급격한 변화, 댐 상류 하상의 상승, 댐저수지의 매몰, 댐하류 하상의 저하 등 하상 변동을 일으킨다. 그러나 기존의 하상 변동 분석에서는 모형의 핵심적인 입력 자료인 댐 저수지의 토사 유입에 대해서는 합리적인 검토를 수행하지 못하였다. 따라서, 본 연구에서는 유역 자료와 하천 자료, 유사량 측정 자료 등을 이용하여, 유역의 토사 산출량을 추정하고 이를 하상 변동 모형의 입력 자료로 하여, 전체 유역의 토사 수지를 분석하는 방법을 제안하였다. 유역의 토사 산출은 GIS 자료와 RUSLE를 적용하였다. 이 방법을 영주댐이 건설될 계획이 있는 내성천 유역에 적용하였으며, 댐 건설 후 장기적인 토사 수지의 변화를 추정하였다. 그 적용 결과 제시된 방법에 의해 기존의 하천 유사량 측정에 의한 유역의 비유사량 산정 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 영주 댐 건설에 따라 상당히 큰 규모의 하상 변동이 예상되며, 이에 대한 토사 관리 대책의 수립이 필요한 것으로 나타났다.

**핵심용어 : 유사 산출, 비유사량, 내성천, 하상 변동**

## 1. 서 론

유역내 토사 수지 분석은 유역의 토사 관리 계획을 수립하는 데 핵심적인 과정이며 강우발생에 의한 토사는 저수지내에 퇴사 발생을 유발하여 댐과 저수지의 수명을 감소시키고, 하천의 단면을 축소시켜 통수능력을 저하시키는 등 문제를 야기 시킨다. 그러나 국내에서는 저수지 퇴사 자료를 이용한 비유사량 산정 정도에 머물러 있고, 유역 전체의 토사 수지는 시도하고 있지 않으며, 안정 하도 설계에서는 1990년대 중반까지 대부분 아끼 고이치라는 일본의 공식을 이용하여 판단하였다. 1993년 한국건설기술연구원에서는 ‘평형 하상 경사 추정 방법의 개발’ 연구를 통하여, 일차원 하상 변동 모형을 적용하는 것이 보다 타당한 방법이라고 제안하였으나, 이 방법은 토사 수지 분석을 통한 것이 아니므로, 모형의 입력 자료의 제약이 많아 기존의 하상 변동 분석에서는 모형의 핵심적인 입력 자료인 댐 저수지의 토사 유입에 대해서는 합리적인 검토를 수행하지 못하였다.

본 연구는 토사유실모형(USLE)에 새로운 계산과정을 추가한 개정범용토양손실공식(RUSLE; Revised Universal Soil Loss Equation)을 사용하여 하천에 유입되는 토사량을 산정하였다.

\* 정회원 · 동의대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: ktgon@nate.com

\*\* 학생회원 · 동의대학교 토목공학과 석사 과정 · E-mail: jjangnaman@nate.com

\*\*\* 학생회원 · 동의대학교 토목공학과 석사 과정 · E-mail : nfrance@nate.com

\*\*\*\* 정회원 · 동의대학교 토목공학과 교수 · E-mail: pururumi@deu.ac.kr

## 2. 연구대상 유역

내성천은 우리나라의 중동부지방에 위치하며 경상북도 봉화군 선달산에서 발원하여 경상북도 예천군 용군면에서 낙동강으로 합류되는 낙동강 제1지류로 유역면적이 1,806.7 km<sup>2</sup>, 유로연장은 108.2 km이며 하천구간은 등급별로 국가하천, 지방1급 하천, 지방2급 하천으로 구성되어 있다. 유역의 형상은 복합상이며 토지이용현황은 임야가 104.22 km<sup>2</sup>, 66.5 %로 유역의 대부분을 차지하고 있으며 농경지 24.35 km<sup>2</sup>, 15.5 %, 대지 9.25 km<sup>2</sup>, 5.9 %로 구성되어 있으며 하상 구성재료는 자갈과 모래가 골고루 분포되어 있다.

본 연구는 내성천 유역을 대상으로 하였으며 수치지도를 이용하여 DEM자료를 구축하였다.

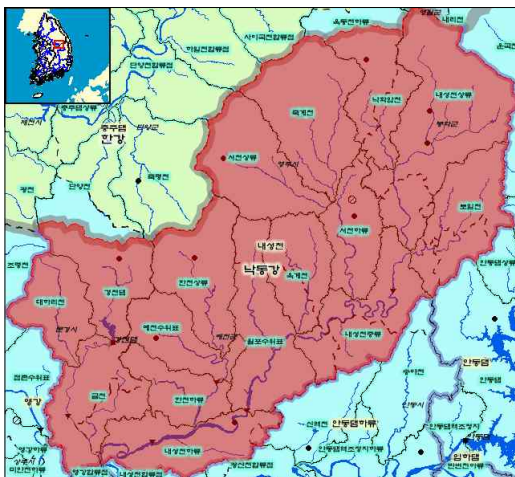


그림 1. 내성천 유역도

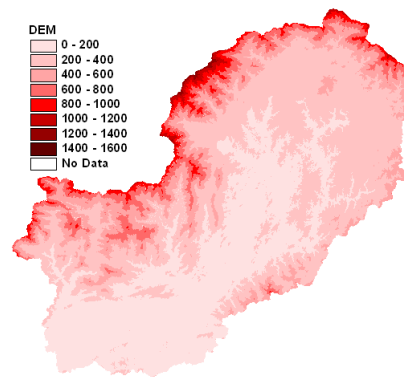


그림 2. 내성천 DEM

## 3. 토사 수지 분석

### 3.1 RUSLE모형

RUSLE는 USLE의 기본 방정식 구조를 사용하지만 토사의 형태가 변화되면서 각 인자들의 관계도 갱신되고 있으며, 모의 강우와 실제 유출 자료 및 침식이론으로부터 파생된 경험식이며, 광범위한 지역까지 적용될 수 있다.

RUSLE 식은 식 (1)과 같다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

여기서 A는 토사유실량(ton/ha/yr), R은 강우침식성 인자, K는 토양침식성 인자, LS는 지형 인자 (L은 침식 사면의 길이인자, S는 침식사면의 경사인자), C는 식생피복 인자, P는 경작 인자이다.

### 3.2 RUSLE모형의 입력 인자

강우침식성 인자(R)는 강우사상별 빗방울에 의한 타격에너지와 강우의 운동에너지 그리고 최대 강우강도에 의해 결정되는 인자로 9개의 우량관측소의 강우자료의 Thissen망 구축하여 신계중 (1999)의 연구에서 인용한 Toxopeus의 식 (2)을 사용하여 그림 3과 같이 결정하였다.

$$R = 3.85 + 0.35 \times P \quad (2)$$

여기서, R은 강우침식성 인자, P는 연평균 강우량(mm/yr)이다.

토양침식성 인자(K)는 물리적 특성인 토립자 입경분포, 조직, 유기물 함량, 수분함량, 투수계수, 밀도, 다짐도 등에 영향을 받으며 본연 구에서는 토양침식성 (K)를 결정하는 여러 방법 중 건설기술연구원(1992)에서 제시한 개략토양도에 의한 방법을 이용하여 K값을 산정하여 그림 4와 같이 나타내었다.

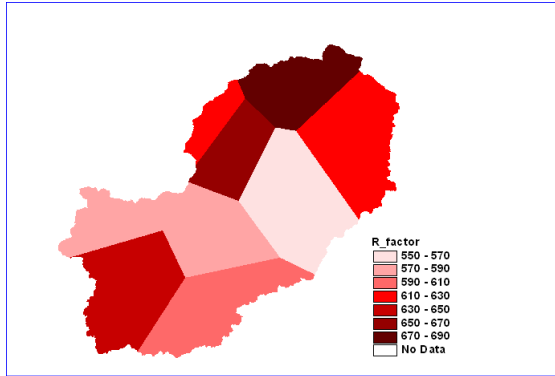


그림 3. 강우침식성 인자(R)

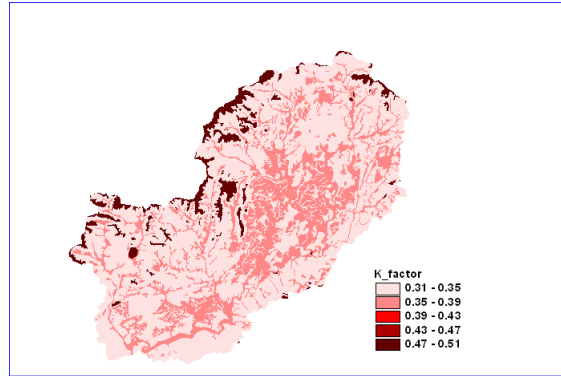


그림 4. 토양침식성 인자(K)

지형 인자(LS)은 유역경사지 길이와 경사도가 토양침식에 미치는 영향을 고려해주는 무차원의 인자이다. 본 연구에서는 Foster와 Wischmeier (1974)/Wischmeier와 Smith(1975, 1978)의 제안 공식인 식 (3)을 사용하여 LS값을 산정하여 그림 5와 같이 나타내었다.

$$LS = \left( \frac{L}{72.6} \right)^m \left( \frac{65.41S^2}{S^2 + 10,000} + \frac{4.6S}{\sqrt{S^2 + 10,000}} + 0.065 \right) \quad (3)$$

여기서, L = 경사길이 (ft), S = 경사도(%), m = 경사에 따라 변하는 지수로 S < 1%일 때 0.2, 1 < S < 3% 일 때 0.3, 3.5 < S < 4.5% 일 때 0.4, S > 5% 일 때 0.5 값을 사용한다.

식생피복 인자(C)는 경작의 종류와 식생의 상태 따라 달라지는 피복인자로, 본 연구에서는 국내 연구에 많이 적용하는 신계종(1999)의 연구내용을 인용하여 논은 0.30, 밭은 0.40, 산림은 0.10, 초지는 0.20, 수역 0.00, 나대지는 0.50 시가지는 0.01의 값을 사용하여 그림 6과 같이 나타내었다.

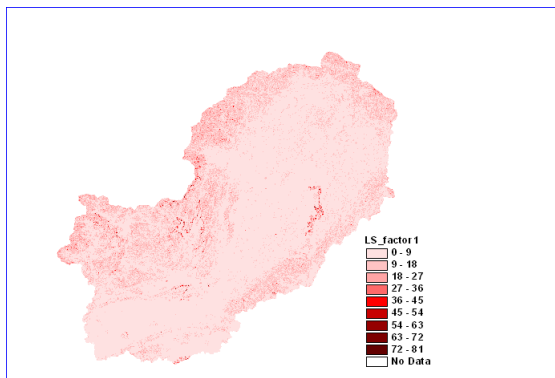


그림 5. 지형 인자(LS)

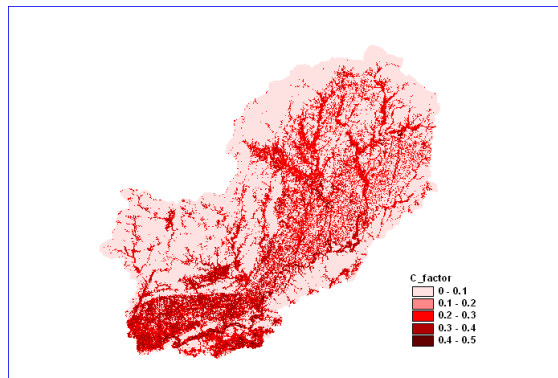


그림 6. 식생피복 인자(C)

경작인자(P)는 논이나 밭과 같은 경작지 형태와 경작지 경사에 따른 영향을 고려하는 것으로 경작지 형태를 등고선 경작, 등고선 대상경작, 테라스 경작으로 구분하여 결정한다. 본 연구에서는 DEM 자료로 분석한 경사인자(S)와 토지이용도를 이용하여 국립방재연구소(1998)에서 제시한 표

1를 이용하면 그림 7과 같다.

표 1. 경작형태 및 경사에 따른 경작 인자

지면경사(%)	등고선경작	등고선대상경작	테라스경작
1~3	0.6	0.30	0.12
3~9	0.5	0.25	0.10
9~13	0.6	0.30	0.12
13~17	0.7	0.35	0.14
17~21	0.8	0.40	0.16
21~25	0.9	0.45	0.18

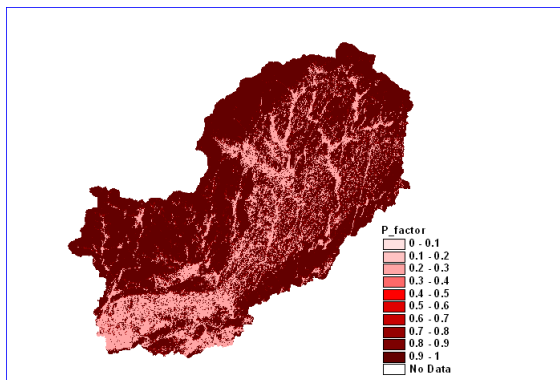


그림 7. 경작 인자(P)

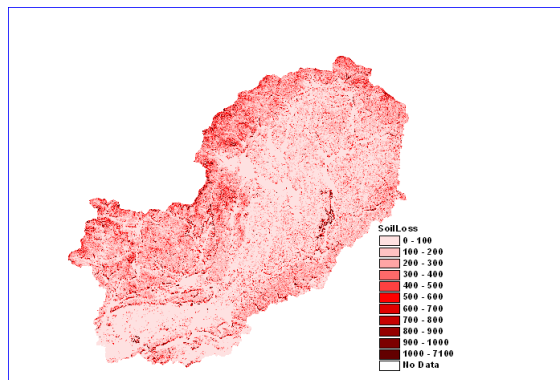


그림 8. 내성천 토사유실량

#### 4. 요약 및 결론

그림 9와 표 2는 RUSLE모형을 이용하여 내성천의 소유역별 산정한 토사유실량을 나타낸 것이다. 이 자료를 이용해 내성천 총유역 1,806.7 km<sup>2</sup>에 대한 총 토사유실량을 산정한 결과 3.43×10<sup>6</sup> t/yr으로 단위면적당 토사유실량은 1,900 t/km<sup>2</sup>/yr이며 아래에 표 3에 측정된 내성천의 비유사량과 비교하면 약 4~5배 정도 많이 산정되었다. 이것은 총 유역에서 분리된 토양의 침식량으로 토사가 하천에 유입되는 과정에서 전달률(비)등을 고려해야 할 것으로 판단된다. 하지만 우리나라에는 아직 그 기준이 명확하지 않으며 그에 따른 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

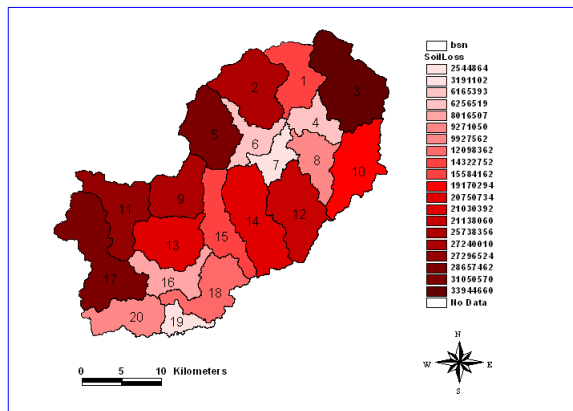


그림 9. 소유역별 토사유실량

표 2. 내성천 소유역별 면적 및 토사유실량

소유역	면적 (km <sup>2</sup> )	토사유실량 (t/yr)	비유사량 (t/km <sup>2</sup> /yr)	소유역	면적 (km <sup>2</sup> )	토사유실량 (t/yr)	비유사량 (t/km <sup>2</sup> /yr)
1	72.87	143227.52	1966	11	104.61	272965.24	2609
2	121.02	272400.10	2251	12	121.14	211380.60	1745
3	157.09	339446.60	2161	13	102.75	210303.92	2047
4	49.77	61653.93	1239	14	142.74	207507.34	1454
5	107.84	286574.62	2657	15	90.58	155841.62	1720
6	56.43	62565.19	1109	16	68.37	80165.07	1173
7	45.85	31911.02	696	17	99.67	310505.70	3115
8	69.77	92710.50	1329	18	93.62	120983.62	1292
9	87.37	257383.56	2946	19	33.50	25448.64	760
10	110.67	191702.94	1732	20	71.03	99275.62	1398

표 3. 기측정된 낙동강유역의 비유사량

댐 / 저수지	비유사량 (t/km <sup>2</sup> /yr)	댐 / 저수지	비유사량 (t/km <sup>2</sup> /yr)
남강댐	207	내성천 (석포교)	501
안동댐	436	위천 (봉황교)	324
내성천 (송리원교)	453	위천 (나호교)	154

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업인 자연과 함께 하는 하천복원기술개발 연구단 (ECORIVER21)(06건설핵심B01)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고 문헌

1. 국립방재연구소 (1998), 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구 I.
2. 한국건설기술연구원(1992), 국가 GIS 사업의 수자원분야 활용지원 고도화 방안 연구
3. 류권규, 김창완, 김형섭, 우효섭 (1993). 비유사량 추정방법의 개발(I), 대한토목학회 논문집, Vol 13(1), pp.121~130.
4. 신계중 (1999), 지형정보체계를 이용한 유역의 토양유실 분석, 강원대학교 박사 학위논문.
5. 손광익 (2001), 해외 토사유출량 산정공식의 국내 적용성 검토(I), 한국수자원학회 논문집, Vol. 34(3), pp.199~208.
6. 오덕근, 김주훈, 심순보 (2002), GIS를 이용한 유역 토양유실량 분석(II), 대한토목학회 논문집, Vol. 22(4-B), pp.421~428.
7. Foster, G. R. and Wischmeier, W. H. (1974), Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Transactions of the American Society of Agricultural Engineering 17, pp. 305~309.
8. Wischmeier, W. H. and D.D. Smith (1978), Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning., U.S. Dep. Agric., Agricultural Handbook No. 537.