

RUSLE방법을 이용한 만대천유역의 토사유출량 및 기여율 산정

Estimation of soil runoff and contribution in the mandae-cheun basin by the using RUSLE method

박수진* , 최한규** , 극성표*** , 임윤수 ****

Park Soo-Jin, Choi Han-Kuy, Kuk Sung-Pyo, Lim Yun-Soo

Abstract

This study was intended to estimate the soil runoff at the basin of Mandaechun where the measure needs to be taken to deal with the increasing muddy water resulting from soil runoff during wet season and torrential rain at the high reaches of the Soyang lake where highland vegetables are cultivated and soil replacement for improvement is carried out every two to three years. The study was carried out in such a way of identifying the topographic factors using geographical spatial data from Water Management Information System (WAMIS) and ARC-VIEW program and estimating the soil runoff by rainfall frequency using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), and furthermore, evaluating the soil runoff contribution at the basin of Mandaechun based on estimate of the soil runoff by section.

Keywords : Soil runoff, Rainfall zntensity, RUSLE

1. 서론

토사유출량은 강우 시 강우량과 밀접한 관련이 있어 전체 유출량의 약 50% 정도가 6월 ~ 8월에 유출되며, 건기 기간인 10월에서 4월까지는 연간 총량의 20%정도가 유출된다. 즉, 하천유량이 큰 홍수기 기간에 대부분 유출된다.

본 연구는 소양호 유역 중 고랭지 채소재배가 활발히 이루어지고 있으며, 대량의 토사유출로 인하여 하천수계의 탁수증가로 저감대책이 시급한 만대천 유역을 선정하여 연구를 수행하였다.

본 연구의 범위는 만대천 유역을 대상으로 수정범용토양손실공식(RUSLE)을 이용하여 토양 침식을 분석하였으며, 지형인자 추출은 국가 수자원 종합 정보시스템인 WAMIS의 지형 공간 자료와 ARC-VIEW 프로그램을 이용하여 지형인자를 추출하였다. 추출된 인자 및 강우자료를 분석하여 본 연구지점의 빈도별 연간 토사유출량을 산정하였으며 또한, 소규모 유역별 토사유출량을 산정하여 만대천 유역의 소규모유역별 토사유출 기여율을 산정하였다.

2. 대상유역선정 및 연구방법

2.1 대상유역 선정

* 강원대학교 공과대학 토목공학과 연구원-공학박사 E-mail : parksj@kangwon.ac.kr
** 강원대학교 공과대학 토목공학과 교수-공학박사
*** (주)도우엔지니어즈 전무이사
**** 강원대학교 산업대학원 토목공학과공학석사

본 연구에서는 소양호 상류유역의 고랭지 농경작지로 강우시 객토로 인한 대량의 토사가 유출되어 소양호 탁수관리에 중요시 되고 있는 만대천 유역을 선정하였다. 본 연구의 유역은 양구군 해안면 일대로서 만대천, 성황천, 작은저골천, 이현천은 만대천의 지류들로서 지방2급하천인 인북천의 좌안측으로 유입되며 소양강에 합류되어 소양강댐을 지나 한강에 이르며, 이들 소하천들의 유역면적은 2.42 ~ 50.70 km², 유로연장은 3.14km~8.60km이다.

2.2 범용토양유실공식

범용토양유실 공식(USLE)은 특정 경작 및 관리 상태에 있는 지역으로부터의 유량으로 인한 장기간의 평균토양유실을 계산하기 위한 방법이다.

$$R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

여기서 A는 평균토양유실(ton/ha)이며, R은 강우침식인자(J/ha·mm/hr), K는 토양침식인자(ton/ha/R), L은 사면길이인자(m), S는 사면경사도 인자, C는 경작관리인자, P는 토양보존대책인자이다.

토양침식인자(soil erodibility factor)로 길이 22.1m, 표면경사 9%의 휴경지인 표준유역에서 측정된 특정 토양에 대한 단위 강우침식인자 당 토양유실율을 의미한다. L은 경사길이인자(slope length factor)로 주어진 사면길이로부터의 토양유실과 동일한 조건의 22.1m의 사면길이로부터의 토양유실의 비이다. S는 사면경사인자(slope steepness factor)로 주어진 사면경사로부터의 토양유실과 동일한 조건의 9%의 사면경사로부터의 토양유실의 비이다. C는 경작관리인자(cover management factor)로 특정 피복 및 관리 면적으로부터의 토양유실과 연속적인 휴경지인 동일한 면적으로부터의 토양유실의 비를 의미한다. P는 토양보존대책인자(support practice factor)로 등고선경작, 등고선띠경작, 계단경작과 같은 토양보존 대책이 있는 경우의 토양유실과 사면 상, 하로 일직선 경작을 하는 경우의 토양유실의 비를 의미한다.

초기에 개발된 범용토양유실공식은 그 후 수정되어 수정범용토양유실공식(revised universal soil loss equation, RUSLE)으로 사용되고 있다.

3. 자료분석 및 고찰

3.1 확률강우량 산정 및 강우강도식 유도

본 연구에서는 확률가중모멘트법에 의한 매개변수를 추정, 확률분포형은 Gumble분포형을 채택하여 확률강우량을 산정하였으며, 재현기간은 6개 빈도에 대하여 주요 강우지속기간별로 확률강우량을 산정하였다. 산정된 확률강우량은 표 1과 같다.

표 1. 강우지속시간별 확률강우량

| 지속시간 (분) | 재현기간(년) | | | | | | 지속시간 (분) | 재현기간(년) | | | | | |
|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10년 | 20년 | 30년 | 50년 | 80년 | 100년 | | 10년 | 20년 | 30년 | 50년 | 80년 | 100년 |
| 10 | 120.0 | 136.2 | 145.8 | 157.8 | 168.6 | 173.4 | 660 | 15.70 | 18.04 | 19.38 | 21.09 | 22.66 | 23.41 |
| 60 | 51.50 | 63.00 | 70.80 | 82.00 | 93.90 | 100.2 | 720 | 15.03 | 17.32 | 18.66 | 20.35 | 21.93 | 22.67 |
| 120 | 34.00 | 41.20 | 46.00 | 52.85 | 60.05 | 63.80 | 780 | 14.33 | 16.55 | 17.85 | 19.51 | 21.04 | 21.78 |
| 180 | 28.37 | 34.30 | 38.27 | 43.83 | 49.67 | 52.67 | 840 | 13.61 | 15.66 | 16.85 | 18.36 | 19.74 | 20.40 |
| 240 | 25.48 | 30.25 | 33.30 | 37.45 | 41.60 | 43.67 | 900 | 13.04 | 14.95 | 16.05 | 17.41 | 18.66 | 19.25 |

표 1. 계 속

| 지속 시간 (분) | 재현기간(년) | | | | | | 지속 시간 (분) | 재현기간(년) | | | | | |
|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10년 | 20년 | 30년 | 50년 | 80년 | 100년 | | 10년 | 20년 | 30년 | 50년 | 80년 | 100년 |
| 300 | 22.86 | 26.84 | 29.30 | 32.58 | 32.58 | 37.40 | 960 | 12.50 | 14.27 | 15.26 | 16.49 | 17.61 | 18.13 |
| 360 | 21.13 | 24.43 | 26.40 | 28.97 | 31.40 | 32.58 | 1020 | 12.02 | 13.71 | 14.66 | 15.84 | 16.89 | 17.39 |
| 420 | 19.44 | 22.30 | 24.00 | 26.17 | 28.21 | 29.20 | 1080 | 11.59 | 13.20 | 14.11 | 15.22 | 16.22 | 16.68 |
| 480 | 18.39 | 21.06 | 22.61 | 24.59 | 26.42 | 27.30 | 1140 | 11.19 | 12.77 | 13.66 | 14.75 | 15.73 | 16.19 |
| 540 | 17.27 | 19.73 | 21.17 | 22.98 | 24.63 | 25.43 | 1200 | 10.88 | 12.48 | 13.39 | 14.53 | 15.56 | 16.05 |
| 600 | 16.38 | 18.76 | 20.14 | 21.88 | 23.48 | 24.24 | 1440 | 9.89 | 11.50 | 12.45 | 13.64 | 14.74 | 15.26 |

강우빈도 해석시 사용한 자료는 지속시간이 10분에서 1440분으로 지속시간의 범위가 크므로 장·단기로 구분하여 강우강도식을 유도하였다. 구분은 그림 1과 그림 2와 같이 지속시간 120분이 하는 단시간, 120분 초과하는 장시간으로 구분하였다. 강우강도식은 4가지 유형에 대하여 유도를 하였으며, 최종적으로 강우강도식 채택은 상관계수가 가장 높은 General형을 채택하였다. 연구지점의 유도된 강우강도식은 표 2와 같다.

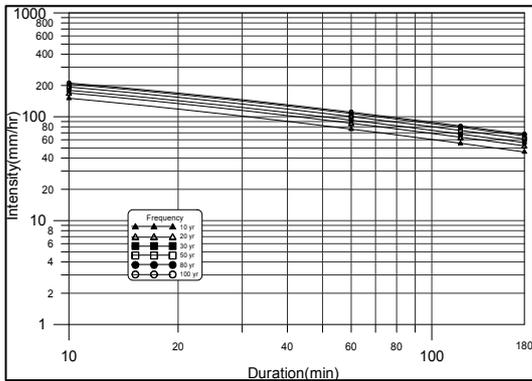


그림 1. 단시간의 IDF곡선

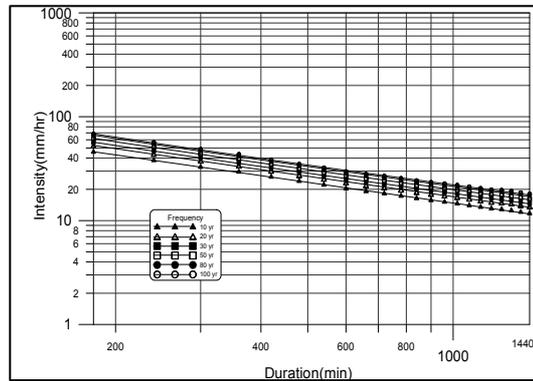


그림 2. 장시간의 IDF곡선

표 2. 재현기간별 강우강도식

| 재현 기간 (년) | 구분 | 단시간(120분이하) | | | | 장시간(120분초과) | | | |
|-----------|------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Talbot형 | Sherman형 | Japanese형 | General형 (채택) | Talbot형 | Sherman형 | Japanese형 | General형 (채택) |
| 10 | 공식 | $4779.5700 t^{-29.8894}$ | $371.3711 t^{-.4900}$ | $394.3333 t + 0.1211$ | $1,301.041 t^{0.7290} + 5.48$ | $16,700.2800 t + 400.5180$ | $1,436.6280 t^{0.6628}$ | $\frac{403.3808}{\sqrt{t} + 0.6851}$ | $1,813.362 t^{0.6959} + 25.3$ |
| | 상관계수 | 0.9984 | 0.9988 | 0.9990 | 1.0000 | 0.9902 | 0.9941 | 0.9952 | 0.9992 |
| 20 | 공식 | $\frac{6,118.8570}{t + 34.9829}$ | $\frac{390.6288}{t^{0.4565}}$ | $\frac{502.0313}{\sqrt{t} + 0.5187}$ | $\frac{2,483.647}{t^{0.8108} + 11.7}$ | $18,283.4700 t + 350.4712$ | $491.1224 t^{0.5128}$ | $\frac{447.4346}{\sqrt{t} - 0.3091}$ | $\frac{1,464.278}{t^{0.6540} + 12.4}$ |
| | 상관계수 | 0.9991 | 0.9970 | 0.9977 | 1.0000 | 0.9875 | 0.9970 | 0.9968 | 0.9994 |
| 30 | 공식 | $\frac{7,098.0300}{t + 38.7318}$ | $\frac{398.3151}{t^{0.4351}}$ | $\frac{580.2278}{\sqrt{t} + 0.8101}$ | $\frac{3,827.697}{t^{0.8699} + 18.8}$ | $19,020.0200 t + 317.2737$ | $599.8167 t^{0.5319}$ | $\frac{469.8451}{\sqrt{t} - 0.9589}$ | $\frac{1347.5490}{t^{0.6369} + 8.1}$ |
| | 상관계수 | 0.9995 | 0.9950 | 0.9964 | 1.0000 | 0.9859 | 0.9977 | 0.9970 | 0.9991 |

표 2. 계 속

| 재현 기간 (년) | 구분 | 단시간(120분이하) | | | | 장시간(120분초과) | | | |
|-----------------|------|----------------------------|---------------------------------|------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| | | Talbot형 | Sherman형 | Japanese형 | General형 (채택) | Talbot형 | Sherman형 | Japanese형 | General형 (채택) |
| 50 | 공식 | 8,628.4210 t 44.7006 | 402.9642 t .4052 | 701.6868 t +1.2727 | 7,051.521 t ^{0.9573} + 35.6 | 19,768.1900 t + 274.2133 | 84.8804 t ⁻⁵⁵⁹⁶ | 495.5928 t - 1.798 | 1,265.10 t ^{0.6218} + 4.1 |
| | 상관계수 | 0.9999 | 0.9908 | 0.9937 | 1.0000 | 0.9840 | 0.9978 | 0.9967 | 0.9983 |
| 80 | 공식 | 10,432.9300 t + 51.8420 | 402.1552 t ^{.3749} | 843.9855 t + 1.8247 | 13654.090 t ^{1.0573} + 69.3 | 20,308.850 t + 234.633 | 1,023.4870 t ^{0.5888} | 517.2905 t - 2.568 | 1261.099 t ^{0.6162} + 1.0 |
| | 상관계수 | 0.9999 | 0.9840 | 0.9891 | 1.0000 | 0.9827 | 0.9971 | 0.9957 | 0.9972 |
| 100 | 공식 | 11,481.2700 t + 56.1230 | 399.0884 t ^{0.3589} | 926.2960 t + 2.1553 | 19,878.54 t ^{1.1169} + 101 | 20,535.480 t + 216.603 | 1,166.0250 t ^{0.6035} | 527.2519 t - 2.928 | 1,282.12 t ^{0.6160} - 0.7 |
| | 상관계수 | 0.9994 | 0.9789 | 0.9857 | 1.0000 | 0.9822 | 0.9965 | 0.9951 | 0.9965 |

3.2 월별 유출량 산정

본 연구지점의 경우 유출량 산정에 이용할 수 있는 수위 및 유량측정 자료가 전무한 관계로 Kajiyama의 유출고 산정공식에 의하여 월평균 유출량을 산정하였다. Kajiyama의 월별 유출량 산정식은 식 2와 같다.

$$= R + (138.6f + 10.2)^2 - 138.6f + E \tag{2}$$

여기서 R 은 유역의 월별강우량(mm), f 는 유역의 상황에 의하여 변화하는 유역계수(0.6 ~ 1.4), E 는 각 월마다 R 에 의해 변화하는 보정우량(mm)이다.

식 (2)에 의한 유출량 산정시의 우량자료는 기 수립된 수입천 하천기본계획 및 인북천 하천기본계획 자료를 인용하였다. Kajiyama의 월별 유출량 산정식에 의하여 산정된 연구지점의 월별 유출량은 표3과 같다.

표 3. 만대천 유역의 월평균 유출량

| 구분 \ 월별 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 계 |
|---------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| | 유출량(10 ⁶) | 3.4 | 4.0 | 5.3 | 8.1 | 12.9 | 15.4 | 60.6 | 39.6 | 24.6 | 6.8 | 6.3 | 4.2 |

3.3 토사유출량 및 기여율 산정

RUSLE기법에 의한 빈도별 산정된 토사침식량은 1.58년 5,103 ton, 10년 21,931 ton, 50년 42,647 ton 이 침식되며, 토사유출량의 경우 1.58년에서는 2,599.06 ton이 유출되었으며, 10년 빈도에서는 11,169.33 ton, 50년 빈도에서는 21,719 ton이 유출되었다. 소규모 유역별로는 성황천 유역인 M4구역이 1.58년 1,310.65 ton/event, 10년 5,643 ton/event, 50년 빈도의 경우 10,960 ton/event 으로 가장 크게 유출되었다. 유역별 기여율은 평균적으로 성황천 유역인 M4 구역이 45%로 가장 높았으며, M6구역인 월산천 유역이 17%, 만대천 상류인 M1구역이 11% 순으로 만대천 유역의 토사유출에 유의적인 영향을 미치고

있는 것으로 확인되었다. 연구지점유역의 소유역 분할도는 그림 3과 같으며, 소규모 유역별 유역특성인자는 표 4와 같다. 본 연구에서 산정된 빈도별 소규모 유역의 토사유출량 값은 표 5와 표 6이다.

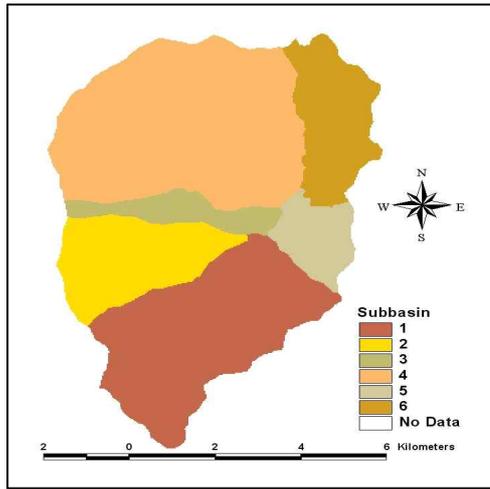


그림 3. 만대천 유역의 소유역 분할

표 4. 소규모 유역별 유역특성 인자

| 소유역명 | 기 호 | 유역면적 (km ²) | 유로연장 (km) |
|-------------|------|-------------------------|-----------|
| 만대천상류 | M1 | 16.50 | 6.57 |
| 큰 저골천 | M2 | 7.91 | 3.74 |
| 작은 저골천, 잔유역 | M3 | 3.17 | 3.52 |
| 성황천 | M4 | 22.81 | 5.43 |
| 잔유역 (구 시장천) | M5 | 3.46 | 1.15 |
| 월산천 | M6 | 6.90 | 4.27 |
| 계 | 대상유역 | 60.75 | 10.11 |

표 5. 소규모 유역별 토사유출량산정(1.58년)

| 기호 | 유역면적 (km ²) | 침투유량 (m ³ /sec) | 토사 침식량 (tons) | 유사전달률 (%) | | 토사유출량 (tons) | |
|------|-------------------------|----------------------------|---------------|-----------|-------|--------------|----------|
| | | | | 모래 | 점토 | 모래 | 점토 |
| M1 | 16.5 | 32.2 | 604 | 6.77 | 52.40 | 40.92 | 316.75 |
| M2 | 3.46 | 16.2 | 387 | 10.45 | 60.92 | 40.49 | 236.04 |
| M3 | 7.91 | 7.2 | 493 | 8.30 | 56.25 | 40.92 | 277.34 |
| M4 | 22.81 | 7.1 | 2,300 | 6.19 | 50.79 | 142.38 | 1,168.27 |
| M5 | 3.17 | 47.2 | 398 | 10.70 | 61.43 | 42.58 | 244.46 |
| M6 | 6.9 | 14.2 | 914 | 8.63 | 57.00 | 78.90 | 521.15 |
| 유역전체 | 60.75 | | 5,103 | 4.72 | 46.21 | 240.86 | 2,358.1 |

표 6. 소규모 유역별 토사유출량산정(10년)

| 기호 | 유역면적 (km ²) | 침투유량 (m ³ /sec) | 토사 침식량 (tons) | 유사전달률 (%) | | 토사유출량 (tons) | |
|------|-------------------------|----------------------------|---------------|-----------|-------|--------------|----------|
| | | | | 모래 | 점토 | 모래 | 점토 |
| M1 | 16.5 | 75.9 | 2,603 | 6.77 | 52.40 | 176.22 | 1,363.92 |
| M2 | 3.46 | 37.3 | 1,668 | 10.45 | 60.92 | 174.35 | 1,016.40 |
| M3 | 7.91 | 15.6 | 2,123 | 8.30 | 56.25 | 176.21 | 1,194.23 |
| M4 | 22.81 | 16.3 | 9,905 | 6.19 | 50.79 | 613.09 | 5,030.50 |
| M5 | 3.17 | 107.8 | 1,714 | 10.70 | 61.43 | 183.35 | 1,052.65 |
| M6 | 6.9 | 32.5 | 3,937 | 8.63 | 57.00 | 339.76 | 2,244.06 |
| 유역전체 | 60.75 | | 21,931 | 4.72 | 46.21 | 1,035.13 | 10,134.2 |

4. 결 론

본 연구는 강우시 대량의 객토로 인하여 하천의 탁수관리가 중요시 되고 있는 소양호 유역의 만대천을 대상으로 토사유출량을 산정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 토양 침식에 영향을 주는 강우침식능 인자를 분석한 결과 빈도 1.58년 $2.6 J/ha \cdot mm/hr$, 10년 $97.5E^7 J/ha \cdot mm/hr$, 50년 $189.4E^7 J/ha \cdot mm/hr$ 로 산정되었으며, 토양 침식인자는 0.3~0.33ton/ha/R 범위를 보였다.

2) 만대천 유역의 빈도별 토사유출량을 산정한 결과, 빈도 1.58년 2,599 ton/event, 10년 11,169 ton/event, 50년 21,719 ton/event의 토사가 유출되는 것으로 산정되었으며, 소 유역별로는 성황천 유역에서 빈도 1.58년 1,310 ton/event, 10년 5,643 ton/event, 50년 10,960 ton/event가 산정되어 가장 크게 유출되는 것으로 확인 되었다.

3) 소유역별 토사 유출량 기여율을 산정한 결과 성황천 유역 50.1%, 월산천 유역 22.8%, 만대천 상류유역에서 13.7%의 순으로 만대천 유역의 토사유출에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서 만대천 유역의 토사유출량 저감을 위해서는 성황천 유역 관리에 힘써야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 박지상·김건하 (2006), “RUSLE 모델을 이용한 금강유역의 토지 이용별 토사유출량 산정”, 한국물환경학회, 제 22권 4호, pp. 619 ~ 625
2. 이종설·정재학 (2009), “강원지역 시험 유역에 대한 RUSLE 인자특성 분석”, 한국방재학회논문집 제 9권 6호, pp. 111~117
3. 이준학·정영훈·허준행 (2008), “RUSLE의 강우침식도 추정에 관한 연구”, 한국수자원학회 학술 발표회 논문집
4. 이윤상 (1992), “USLE모형을 이용한 농촌지역의 비점오염원 규모와 특성에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위논문
5. 강원도 (1996), “인북천 하천정비 기본계획(지방 2급)”