

개발지역에서의 토사발생규모와 모형의 적용성 연구

The Study of Applicabilities for Sediment Yield Model in the Developing Area

박 무 종* / 김 양 수**
Park, Moo Jong / Kim, Yang Su

Abstract

The purpose of this study is to understand applicabilities of sediment yield estimation technique with observed data in the field accelerated by human activity. Commonly used equations such as Universal Soil Loss Equation and Transport Research Board etc. from foreign country is not validated. And analyzing affecting parameters and understanding limit of each estimation technique is not examined, either. To test the applicabilities of several models, a hot spring development site in Chunahn city, Chungnam province is selected. Sediment yield of catchment is determined using RUSLE, TRB, MUSLE, SLEMA, and Morgan & Finney method and compared to actual measurement. It is found that RUSLE and TRB are overestimated and MUSLE gives a relatively resonable value.

keywords : sediment, RUSLE, TRB, MUSLE, SLEMA, Morgan & Finney

요 지

본 연구는 개발활동에 의해 가속화되는 토사유출량의 발생규모를 토사유출량 산정모형을 이용하여 산정하고 현장에서의 토사발생량과 비교하여 모형의 적용성을 파악하는데 목적이 있다.

토사유출량 산정시 주로 적용되는 범양토양유실량식(USLE) 혹은 TRB(Transport Research Board) 모형 등은 외국에서 개발되어 국내에서는 모형에 대한 검증과 검정이 구체적으로 수행되지 않은 상태로 이용되고 있으며 모형의 적용절차 및 한계에 대한 검토도 이루어지지 않은 상태이다. 본 연구에서는 충남 천안지역 개발현장에서 토사발생량과 토사유출 발생규모를 조사하고 그 특성을 분석하였으며, 비교적 실무에서 적용가능한 범양토양 손실모형, Transport Research Board모형, MUSLE모형, SLEMA모형, Morgan과 Finney모형기법을 실유역에 적용한 예측값을 비교하여 모형의 적용성을 분석하였다. 모형의 적용결과 USLE모형과 TRB모형은 과대산정의 가능성이 있으며 단일호우에 대한 토사유출량을 산정하는 MUSLE모형이 상대적으로 실측치와 유사한 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 토사유출을 위한 대책수립을 위한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

핵심용어 : 토사, 토사유출량 산정모형, 범양토양유실량식, 개발, 현장

* 한서대학교 토목공학과 전임강사
Instructor, Dept. of Civil Engineering, Hanseo Univ., Seosan, Chungnam, 635 230, Korea
(E-mail : mjpark@hanseo.ac.kr)

** 국립방재연구소 연구관, 공학박사
Researcher, National Institute of Disaster Prevention, Seoul, 121-020, Korea
(E-mail:yskim@mogaha.go.kr)

1. 서 론

골프장, 스키장 혹은 공업 및 위락단지과 같은 대규모 개발사업시 식생의 변화, 토양 피복상태 및 토지이용 상황의 변화는 주변 여건의 급격한 교란을 초래하여 과거와 동일한 규모의 강우에도 더욱 심화된 침식이나 퇴적을 유발하게 된다. 대규모 개발에 따른 토사유출의 급격한 증가는 지형학적 변화를 초래하게 되어 하천의 통수단면 감소, 하천시설물 파괴 등을 유발하며 하천수질 악화와 주변식생의 파괴 등과 같은 재해도 초래한다. 토사유출에 의한 피해를 최소화할 수 있는 방안을 수립하기 위해서는 토사 발생량을 파악하여야 하며 이는 토사발생 장소, 시간, 규모 및 이동형태가 먼저 정확히 파악되어야 한다. 그러나 우리나라의 경우는 대부분 노년기 지형으로 토사에 의한 문제점이 거의 제시되어 있지 않으며, 이에 대한 연구도 수문학적 인 면에서는 거의 미흡한 실정이다. 이에 따라 최근 가속화되는 개발현장에서 토사에 의한 대책을 수립하기 위하여 토사유출량 산정모형을 적용하고 있으나 실제 각 공식들의 적용성은 검토되지 않았으며 이에 따라 계산에 의한 예측치는 안전을 고려하여 과대산정의 가능성이 크게 대두되고 있다.

토사유출에 관한 연구는 주로 농업과 관련되어 왔다. Wischmeier와 Smith(1958)는 농경지에서의 강우유출에 의한 토사유출량을 산정하기 위해 USLE 모형을 개발하였다. 따라서, 인위적인 개발에 의해 토양손실이 가속화되는 경우의 적용에는 세심한 주의가 필요하다. Renard 등(1993)은 USLE의 각 매개변수를 새로운 자료를 추가하여 특수한 경우의 조건을 포함할 수 있는 RUSLE모형을 제시하였다. 또한, TRB(1980)는 USLE모형을 수정하여 고속도로 건설현장의 토사침식량을 산정할 수 있는 공식을 제안하였다. USLE모형이 농경지나 건설현장과 같이 사면 마루부에서의 판상 및 세류침식에 의한 연평균 토양침식량을 예측하기 위해 개발된 모형으로 단일강우에 의한 침식량을 산정할 수 없으며 이러한 단점을 보완하고자 William과 Berndt(1972)는 USLE모형을 수정하여 MUSLE모형을 제안하였다. Elwell(1978)은 Zimbabwe의 여러 농장의 침식자료를 이용하여 적절한 토양보전 기법을 제시할 수 있는 SLEMA모형을 제시하였다. Morgan과 Finney(1984)는 지형학자와 농공학자의 연구결과를 이용하여 토사유출을 물에 의한 침식상과 퇴적상으로 구분하여 계산하는 모형을 제시하였다. 국

내에서는 건설부(1991)에서 댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조사·연구보고서에 우리나라의 비유사량자료와 경험공식이 분석되어있으나 그 사용에는 공학적 판단과 주의가 요망된다.

본 연구에서는 제시된 토사유출량 산정공식을 조사하고 실유역에 적용하여 각 모형들의 실유역 적용에 따른 특징을 비교하였다. 또한 현장조사를 통하여 개발공사에 의해 발생한 토사량을 실측하고 토사유출량 산정모형을 이용한 예측치를 비교하여 모형의 적용가능성을 검토하였다. 이러한 연구결과는 개발공사시 발생할 토사에 대한 대책을 경제적이고 효율적으로 수립하는데 도움이 될 것이다.

2. 토사발생량 산정공식

모형은 사실적이고 단순해야 하며 모든 계수의 결정은 그 모형의 사용목적에 따라 난이도가 적절해야 한다. 따라서 모든 모형을 구축하기 위해서는 그 목적이 정량적 예측인지 또는 정성적 기술을 요하는 것인지가 결정되어야 할 것이다. 관리자, 계획자, 정책결정자의 경우 단순하나 정책결정에 도움을 줄 수 있는 모형을 원할 것이며 연구자의 경우 시스템의 이해와 시스템을 표현할 수 있는 함수의 개발에 보다 많은 관심을 가질 것이다. 본 연구에서는 연구적인 측면보다는 실무적으로 보다 손쉽게 적용할 수 있는 모형을 중심으로 검토하였다. 침식량 예측은 일년, 하루단위 또는 강우사상에 대한 기간과 평지, 사면과 유역에 따라 달라질 것이다. 이러한 시공적 조건이 모형에서 기술될 수 있어야 한다. 따라서 주어진 여건내에서 사용자는 사용목적 및 적용하고자 하는 조건을 잘 표현하는 적합한 모형을 선정하여야 한다.

대부분의 토사유출량의 산정모형은 표 1에 나타나는 모형종류 중 토사유출에 영향을 주는 가장 중요한 인자만을 선택하여 현장과 실험실에서 관측하고 계측한 각종 자료를 토대로 통계적 기법을 이용하여 토사유출량을 예측하는 경험적 grey-box type에 속한다. 최근 침식 과정에 대한 역학적 이해도가 높아져 white-box 또는 physically-based model의 개발에 많은 노력이 가해지고 있는 실정이다. 물리적 산정모형은 자료의 실측자료의 수집 및 지형자료입력의 한계로 인하여 적용이 거의 불가능하다

우리는 현재 수분이내의 짧은 시간 동안의 침식과정에 대하여 가장 잘 이해하고 있을 뿐이며 따라서 장기적인 침식량의 산정을 위해서는 연간 침식량의 산정을

표 1. 모형의 분류

Type		Description	
Physical		실험실내에 축소 모형을 제작 ; 원형과 축소모형 사이의 상사법칙이 성립된다고 가정된 모델	
Analogue		기계적, 전기적 시스템을 이용, 전류 흐름 등을 이용, 물의 흐름 등을 계측	
Digital	Physically-Based (Process-based)	질량 및 에너지 보존 법칙 등을 이용하여 침식과정을 수학식으로 기술한 모델	
	Stochastic	기존 자료의 통계적 특성을 이용하여 발생시킨 합성자료를 기초로 한 모델로 비교적 관측기간이 짧은 자료만이 유용할 때 타모델의 입력 자료로써 활용됨.	
	Empirical	Black-Box	영향인자 사이의 통계적 상관관계를 규명하는 모델로 단지 영향인자와 결과에 대한 관계만을 규명
		Grey-Box	일부 침식구조에 대해 비교적 자세한 이해가 따른 모델
White-Box		전체 침식구조에 대한 충분한 이해가 따른 모델	

통한 경험적 모형의 개발이 요구된다. 또한 침식량을 산정하고자 하는 면적의 규모 및 지형학적 조건에 따라 달라지므로 모형의 적용이 가능한 그 경계 또한 고려되어야 한다. 토사유출량 산정공식중 USLE는 관상 및 서류침식에 의한 토양침식량을 예측하기 위하여 개발된 기법으로 구곡이나, 하천에서의 토양침식량의 경우에 대해서는 적용이 불가능하며, 주로 1mm 이하의 토립자에 대해 적용이 가능하다(Morgan, 1986).

3. 적용성 검토를 위한 토사유출량 산정 모형

물리적 산정기법 모형은 자료의 방대함으로 인하여 실제 적용이 불가능하여 경험식인 USLE(Universal Soil Loss Equation), RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation), MUSLE(Modified Universal Soil Loss Equation), SLEMA(Soil Loss Estimator for Southern Africa) 그리고 Morgan과 Finney모형을 적용하여 실유역에서의 토양침식량을 산정하였다. 각 모형의 형태와 적용방법은 다음과 같다.

3.1 USLE

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

여기서 A는 강우침식능 R은 해당기간 중 단위면적에서의 토양유실량 ((tons/hr)/storm), R은 호우침식성 인자(MJ/ha)(mm/hr)/storm), K는 토양침식성 인자(tons/ha)/R), LS는 무차원 지형인자(L=침식사면의 길이인자, S=침식사면의 경사인자), C는 작물형

태, 피복상태 등 경작종류와 형태에 따른 무차원 경작인자, P는 등고선경작 등 토양보전 대책인자이다.

3.2 RUSLE모형

RUSLE(Revised Universal Soil Loss Equation)는 USLE를 보완하고 컴퓨터 프로그램을 이용하여 계산할 수 있도록 하였다. 또한 USLE에서는 없었던 연구 자료의 분석을 추가 보완하였으나 USLE의 식의 형태는 계속 유지하도록 하였으며 계수 산정기법을 수정하고 특정조건을 나타낼 수 있는 항들이 새롭게 추가되었다.

3.3 TRB (Transport Research Board)모형

USLE는 주로 산림과 농경지의 토사유출량 산정을 중심으로 기술하였으나 건설현장에 대한 기술은 상대적으로 미약한 편이다. 따라서 TRB(1980)는 Clyde (1980)의 보고서를 인용, USLE모형을 수정하여 고속도로 건설현장의 토사침식량을 산정할 수 있는 공식을 제시하였다.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot VM \quad (2)$$

여기서 R, K, LS 는 USLE와 동일하며, VM은 TRB(1980)에서 제시한 침식조절인자이다.

3.4 MUSLE모형

USLE는 농경지나 건설현장과 같이 사면 마루부에서의 관상 및 서류침식에 의한 연평균 토양침식량을 예측하기 위해 개발된 모형으로 단일강우에 의한 침식

량을 산정할 수 없다. 따라서 이와 같은 단점을 보완하고자 Williams와 Berndt (1972)는 MUSLE (Modified USLE)모형을 제안하였다. Williams (1976)는 USLE에서 사용한 강우에너지 항인 EI_{30} 지수를 유출에너지 항으로 대체하는 방법으로 균등유역에서는 총괄인자 접근기법(lumped parameter approach)을 제안하였다. 총괄인자기법은 전 유역을 하나의 특성 인자로 표현한 것이다.

토사유출량을 가장 잘 산정할 수 있는 인자이며 유출 에너지를 나타내는 인자로 유출량과 침투유량의 곱인 $Q \cdot qp$ 를 이용하여 다음과 같이 표현하였다.

$$Y = 95(Q \times q_p)^{0.56} \{K\}_a \{LS\}_a \{CP\}_a \quad (3)$$

여기서 Y는 단일호우에 의한 토사침식량(tons), Q는 유출체적(acre-feet), q_p 는 침투유량(ft^3/sec)이며 $\{K\}_a$, $\{LS\}_a$, $\{CP\}_a$ 는 면적가중치를 이용하여 산정한 유역의 RUSLE 인자의 평균값이다.

3.5 SLEMA(Soil Loss Estimator for Southern Africa)모형

Zimbabwe의 여러 농장시스템의 침식자료를 이용하여 개발된 모형으로 적절한 토양보전기법을 제시할 수 있는 모형으로 남 Africa 전역에 걸쳐 적용되고 있다.

$$Z = K \cdot X \cdot C \quad (4)$$

여기서, Z는 연평균 토사침식량(t/ha), K는 침식성(F)을 알고있는 30m(L)×10m(W), 25°의 표준필드의 연평균토사침식량(t/ha), X는 사면의 기울기와 길이를 혼합시킨 무차원인자, C는 무차원 농작물 관리인자이다.

K는 연평균 강우에너지 E와 침식성(F)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\ln(K) = (0.4681 + 0.7663 F) \ln(E) + (2.884 - 8.2109 F) \quad (5)$$

여기서, E는 연평균 강우에너지(J/m^2)이다. 또한 X는 다음 식과 같이 제안되었다.

$$X = L^{0.5} (0.76 + 0.53 S + 0.076 S^2) / 25.65 \quad (6)$$

여기서 L은 사면길이(m), S는 사면기울기(%)이다.

3.6 Morgan과 Finney모형

Morgan과 Finney(1984)는 지형학자와 농공학자의 연구결과를 이용하여 USLE와 같은 단순성을 유지하면서 사면과 같은 포장 규모에 대한 토사침식량 산정 모형을 개발하였다. 모형은 물에 의한 침식상(water phase)과 퇴적상(sediment phase)으로 구분하였다. 토양침식은 빗방울의 충격에 의한 토립자의 토사체로부터의 이탈과정과 박리된 토립자의 물에 의한 이송과정으로 구분하였다. 6개의 함수와 15개의 입력자료를 필요로 하는 이 모형의 공식은 아래와 같다.

침식상(water phase)인 경우에는

$$E = R(11.9 + 8.7 \log 10I) \quad (7)$$

$$Q = R \cdot \exp(-Rc/Ro) \quad (8)$$

여기서

$$Rc = 1000 \cdot MS \cdot BD \cdot RD \cdot (Et/Eo)^{0.5} \quad (9)$$

$$Ro = R/Rn \quad (10)$$

퇴적상(sediment phase)인 경우에는

$$F = K(E \cdot \exp[-0.05A]) \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

$$G = CQ^2 \sin(S) \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

여기서 E는 빗방울 운동에너지(J/m^2), A는 강우차단비율(%), Q는 지표수 총량(mm), F는 빗방울 충격에 의한 흙입자의 박리률(kg/m^2), G는 지표수운송능(kg/m^2)이며, MS, BD, RD, K는 Morgan과 Finney(1984)가 제시한 표를 이용한다.

4. 모형의 적용

4.1 현장조사

일반적으로 국내에서 주로 적용되는 모형의 적용성을 분석하기 위해 충청남도 천안시 성남면 용원리 일원에 조성중인 천안 온천관광지 개발사업현장에서 발생한 인위적인 개발에 의한 토사유출량의 특성을 분석하였다(1998년 8월중 발생토사). 이 지역은 4개의 소유역으로 구성되어 있으나, 공사의 진행상 소유역 I, 소유역 II는 자연상태 그대로이며 소유역 III과 소유

역 IV에 침사지가 설치되어있다(그림 1 참조).

소유역 III에 설치된 침사지(이하 제 III유수지)는 그림 1과 같이 2개의 침사지가 직렬로 연결되어 있으며, 소유역 IV에 설치된 침사지(이하 제 IV유수지)는 유입부와 유출부가 90°의 각을 이루고 있다. 소유역 III의 유역면적은 37.3ha, 침사지에서의 토사발생량은 1000m³으로 조사되었으며 또한, 소유역 IV의 유역면적은 17.6ha이고, 침사지에서의 토사발생량은 15m³으로 조사되었다. 이때, 침사지에서의 토사발생량은 준설량을 환산한 결과로 이는 침전지의 포착효율이 100%가 아닌 경우 과소 산정의 위험성이 있으나 현장 조사결과 하류지역에 토사유출이 발생하지 않은 것으로 조사되어 타당한 것으로 판단된다.

침사지 퇴적토가 유역에서 발생하여 침사지로 유입 침전된 것인지 아니면 성토재료의 일부가 시료채취시에 혼합된 것인지를 확인하기 위하여 2개 침사지에서 각각 3개의 토질시료에 대한 입도분포를 분석하였다. 그림 2는 원지반과 침사지 토질시료의 입도분포를 나타낸 것이다. 여기서, 점선은 원지반의 입도분포를 실선은 채취된 토질시료의 입도분포를 나타낸 것으로 4번 시료는 침사지의 방류구 부근 수면하에서 1, 2, 3, 5, 6번 시료는 침사지의 유입부에서 지면에 노출된 지역에서 각각 채취한 것이다.

USLE 계열 모형은 토사입자의 입경이 1mm 이하

인 경우에 적합하므로 원지반과 채취시료중 토사입자의 입경이 1mm 이하 입경의 비율을 비교하였다. 유역내 토사발생은 원지반에서의 사면에서 발생된 토사가 100% 침사지까지 도달하지 못하며, 이는 전달률의 개념으로 나타낼 수 있다. 따라서, 작은 입자가 큰 입자에 비하여 쉽게 이탈되고 이동되므로 하류지점에서의 토사의 입도분포 특성은 원지반과 비교하여 상대적으로 작은 입자의 비율이 높아질 것으로 예상된다. 그러나 입경 1mm 이하의 구성비율이 원지반은 77%이고 1, 2, 3, 5, 6번 시료의 입경 1mm 이하 구성비율은 각각 77, 78, 41, 67, 76%(평균 68%)로 분석되었다. 이때, 4번 시료는 완전침전에 의해 왜곡된 특성을 보여 제외하였다. 원지반과 침사지내 채취시료의 입도분포가 토사의 입경이 1mm 이하인 경우 약 9% 정도 발생하는 것은 침사지의 급격한 제방사면이 쉽게 침사지로 유입되어 왜곡된 분포를 보이는 것으로 판단되며, USLE 계열의 모형 결과를 비교하기 위하여 전체 준설량중 68%를 강우에 의해 발생한 토사유출량으로 가정하였다.

4번 시료가 원지반보다도 가는 입자가 더 많은 것은 침사지내로 유입된 물이 월류하기 전과 홍수가 끝난 후 침사지의 물이 서서히 배출되는 동안 완전침전이 이루어지는데 기인한다. 1, 2, 3, 5, 6번 시료의 입도분포가 원지반의 토사보다도 큰 입자가 많은 것은 성토

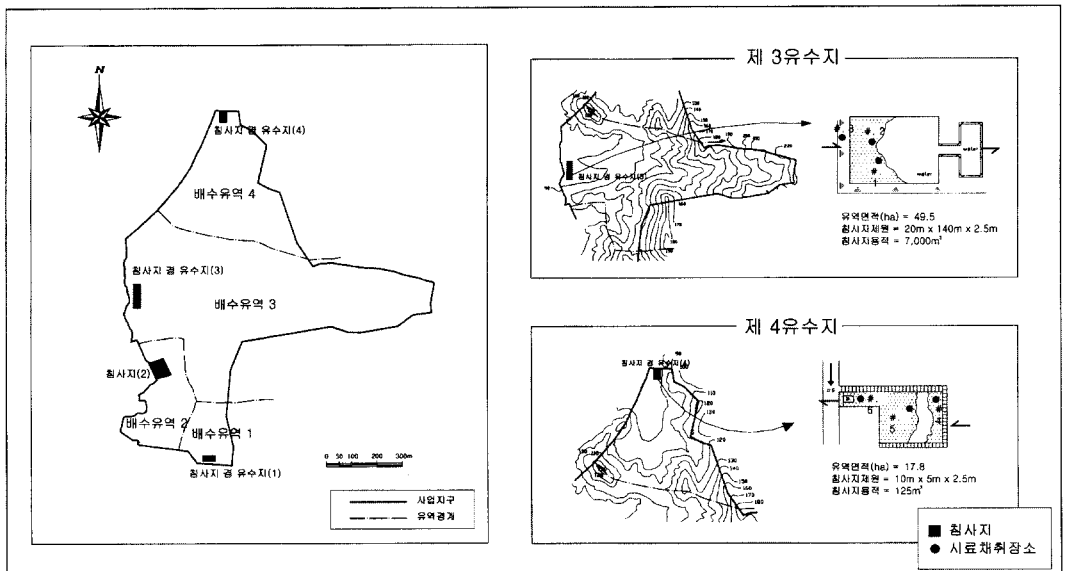
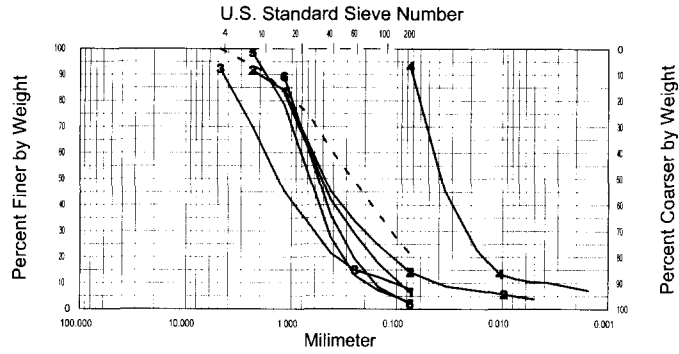
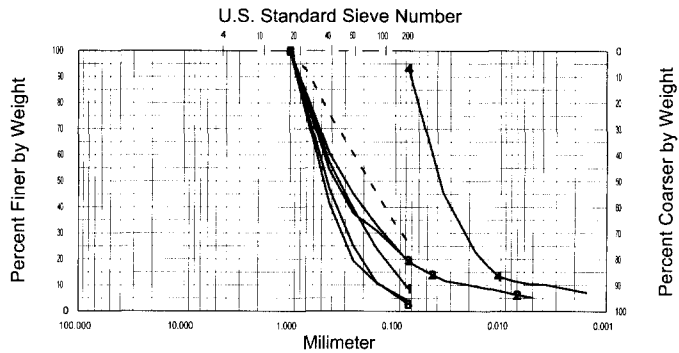


그림 1. 현장조사 지역도(천안 온천관광지 사업현장)



(a) 전체시료의 입도분포곡선



(b) 1mm 이하 시료의 입도분포 곡선

그림 2. 시료의 입도분포 곡선(천안 온천관광지 사업현장)

재료가 침사지로 유입되어 왜곡된 분포를 보이는 것으로 판단된다.

4.2 강우-토사발생량 분석 결과

토사의 발생원인인 강우의 규모를 파악하기 위하여 이 지역에 내린 강우량과 이 지역의 확률강우량을 비교하였다. 1시간 최대강우량은 1998년 8월 8일 자정에 발생하였으며 이 지역에 내린 강우는 지속시간이 24시간인 경우는 재현기간이 20년정도이지만 지속시간이 3시간이내인 경우에는 재현기간이 100년정도에 근접할 정도로 집중되어 토사유출이 발생할 수 있는 충분한 여건이었음을 예상할 수 있다(표 2, 그림 4 참조).

4.3 모형의 실유역 적용

앞 절에서 언급된 각종 토사유출량 모형을 실유역에 적용하였다. 토사유출이 대부분 강우에 의한 홍수량에 의해 발생된다면 대상지역에 발생한 토사유출은 강우

지속시간이 6시간 이내에서는 적어도 100년을 상회하고 6시간 이상에서도 30년을 상회하므로 토사유출이 강우발생후 24시간내에 대부분 발생한다고 가정하면 1988년 8월중 발생한 토사유출은 적어도 30년 이상의 빈도이었을 것으로 예상된다. 따라서, 토사유출량의 발생빈도를 고려할 수 있는 경우는 30년으로 혹은 빈도를 고려할 수 없는 경우는 1년으로 하였다. 또한, 강우의 지속시간은 24시간을 가정하였다.

4.3.1 RUSLE모형의 적용

침식능 인자는 세가지 방법으로 산정하였다. 첫번째는 건설부(1992)에서 제시한 값을 이용하고, 두번째는 TRB(1980)에서 제시한 R값 산정기법에 따라 대상지역의 실측강우량(표 2참조)을 이용하여 산정하였다. 세번째는 TRB(1980)에서 제시한 R값 산정기법에 따라 대상지역의 지속시간별 강우강도식을 이용하여 산정하였다. 즉, 30년빈도 24시간 지속 강우자료는 대상지역

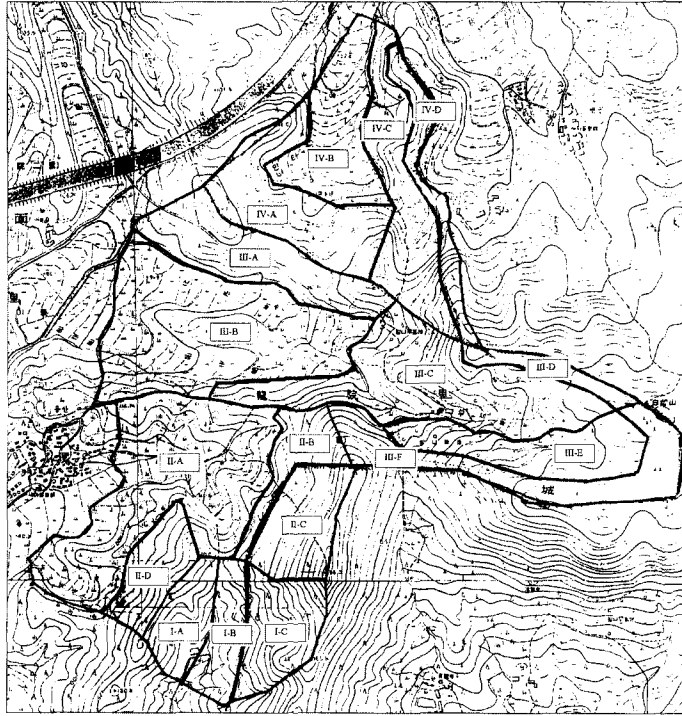


그림 3. 유역현황도 (천안 온천관광지 사업현장)

에 대한 빈도별 지속시간별 강우강도식(천안시, 1997)을 이용하여 산정하였다. 대상지역의 강우강도식은 다음과 같다.

$$I = 8005.181/(t + 46.4412) \quad t < 360 \text{ 분의 경우}$$

$$I = 22602.23(t + 733.7202) \quad t \geq 360 \text{ 분의 경우}$$

표 4에서 강우침식능인자는 USLE를 적용하는 경우 동일유역에서는 침식능의 비율에 따라 토양손실량의

규모가 변화하게 되며 강우침식능인자의 비율에 따라 변화함을 쉽게 알 수 있다. 즉, 연평균토사손실량보다 1998년 8월 8일 24시간동안 발생한 토사손실량이 더 크게 산정되며 이는 지속시간이 24시간인 30년빈도 강우에 의한 토사손실량의 규모와 매우 유사하며 본 연구에서는 강우침식능인자를 5935.6(MJ/ha)(mm/hr)/

표 2. 실측강우량과 지속시간-빈도별 강우강도 비교

(단위:mm/hr)

재현기간(년)	지속시간(hr)								
	1	2	3	4	6	9	12	18	24
10	64.28	40.38	29.44	23.16	16.24	13.14	10.97	8.51	7.11
20	71.23	45.24	33.14	26.15	18.39	15.38	12.99	10.25	8.66
30	75.21	48.10	35.35	27.95	19.70	17.75	15.55	12.46	10.40
50	80.16	51.74	38.20	30.27	21.40	19.78	17.51	14.24	12.00
100	86.85	56.80	42.20	33.57	23.83	22.91	20.53	17.00	14.50
200	93.56	62.05	46.42	37.08	26.44	26.68	24.15	20.29	17.50
500	102.50	69.29	52.34	42.05	30.18	33.05	30.13	25.60	22.26
실측 강우강도	89.50	61.75	41.67	32.50	30.08	20.62	15.67	11.18	8.58
실측강우량(mm)	89.50	123.50	125.00	130.00	180.50	185.60	188.00	201.20	206.00

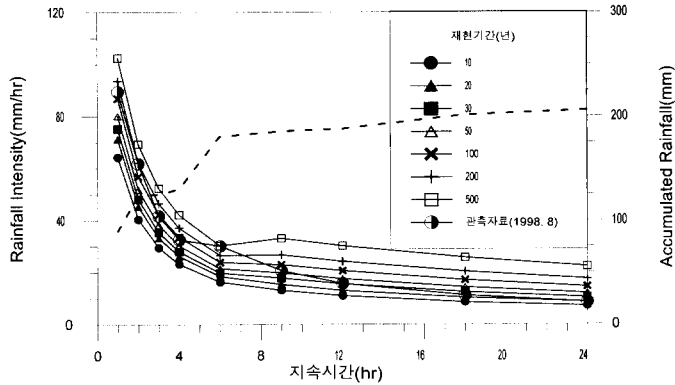


그림 4. 지속기간별 강우강도(1998년 8월 8일)

표 3. 천안 온천관광지 사업현장 조사결과

유역이름	제 III유수지	제 IV유수지	비 고
유역면적(ha)	37.3	17.6	
침사지제원(m ³)	100×100×2.5		상류쪽 위치
	20×140×2.5	10×5×2.5	하류쪽 위치
'98. 8월중 퇴적토 전체용적(m ³)	1000	15(30cm)	
'98. 8월중 1mm이하 퇴적토 용적(m ³)	680	10.2	체분석결과 이용(68%)
'98. 8월 총강우량(mm/month)	317.5		
시료채취수(개수)	3	3	
30년 빈도유출총량(m ³ /sec)	6,958(9,374)	1,916(2,564)	()는 50년 빈도유출총량
설계시 침사지용적(m ³)	7,000	125	

표 4. 강우침식능 R 산정결과표

방 법	24시간 강우량 (mm)	강우침식능	비 율(%)	비 고
건설부(1992)	-	4900.0 (MJ/ha)(mm/hr)/year	100	연평균
30년 빈도, 지속시간 24시간	249.55	5935.6 (MJ/ha)(mm/hr)/storm	121	강우강도식 이용
1998년 8월 8일, 지속시간 24시간	205.92	5923.6 (MJ/ha)(mm/hr)/storm	121	실측자료 이용

storm를 적용하였다. 토양의 침식성 인자는 대상 지역의 소유역을 경사도 및 경사길이, 토양 피복특성 등을 고려하여 소유역 III, IV를 각각 6개, 2개의 세유역으로 분할하였으며 계산식을 이용하여 산정한 결과 0.021~0.030(tons/ha)/R로 계산되었다. 지역특성인자 LS도 세유역별로 적용한 결과 1.99~11.99의 범위로 나타났다. 식생인자 C와 토양보존대책인자 P는 개발 전중후의 조건에 따라 0.001~1의 범위에서 적용하였다(Wischmeier 등 1978). 또한, 각 소유역에서의 토

사발생에 대한 전달률은 TRB (1980)에서 제시한 유역면적별-유사전달률 상관도를 이용하여 20~30%를 적용하였다.

4.3.2 TRB모형의 적용

TRB모형의 침식능 인자(R), 토양의 침식성 인자(K), 지형특성인자(LS)는 RUSLE모형과 동일하게 적용하고 VM을 현장조건에 따라 0.001에서 1.1의 범위를 적용하였다.

표 5. RUSLE 및 TRB모형에 의한 토사유출량

소유역	세유역	면적 (m ²)	R (MJ/ha) (mm/hr)/storm	K (tons/ha)/R	LS	C			P			VM	전달률	RUSLE	TRB
						개발전	개발중	개발후	개발전	개발중	개발후			개발중 (tons/storm)	
III	A	53297	5935.60	0.023	11.19	0.0210	0.700	0.001	0.4200	1.000	0.600	1.1	0.20	1153.09	1812.00
	B	117770	"	0.021	4.61	0.0610	0.700	0.001	0.5000	1.000	0.600	1.1	0.20	933.00	1466.15
	C	95000	"	0.030	10.56	0.0210	0.700	0.001	0.4200	1.000	0.600	1.1	0.20	2536.66	3986.18
	D	12261	"	0.028	4.66	0.0010	0.001	0.001	1.0000	1.000	1.000	0.001	0.20	0.19	0.19
	E	44372	"	0.028	8.53	0.0210	0.700	0.001	0.4200	1.000	0.500	1.1	0.20	888.38	1396.03
	F	50628	"	0.028	7.07	0.0010	0.001	0.001	1.0000	1.000	1.000	1.1	0.20	1.20	1.20
IV	A	56220	"	0.028	7.06	0.0210	0.700	0.001	0.4200	1.000	1.000	1.1	0.23	1073.64	1687.15
	B	47038	"	0.028	1.99	0.0350	0.700	0.001	1.0000	1.000	1.000	1.1	0.23	252.86	397.36
	C	51467	"	0.028	12.14	0.0025	0.700	0.001	0.4000	1.000	1.000	1.1	0.23	1691.33	2657.80
	D	21344	"	0.028	7.07	0.0025	0.001	0.001	0.4000	1.000	1.000	0.001	0.23	0.58	0.58

표 6. MUSLE를 이용한 토사유출량

소유역	Q(m ³)	qp(m ³ /s)	평균 K(SI)	평균 LS	평균 CP			토사유출량(tons/storm)		
					개발전	개발중	개발후	개발전	개발중	개발후
III	6958	6.06	0.026	7.87	0.01440	0.5822	0.00067	13.37	540.31	0.62
IV	1916	3.14	0.028	7.19	0.12424	0.6153	0.00065	3.90	193.28	0.20

4.3.3 MUSLE모형의 적용

MUSLE모형은 RUSLE모형에서의 토양침식성인자(K), 지형특성인자(LS), 식생인자(C), 토양보존대책인자(P)와 동일하게 적용되며 강우의 침식능 R을 유출체적과 침두유량을 이용하여 산정한다. 즉, 침식능을 강우에 의한 홍수발생총량과 침두유량의 특성으로 결정한다. 이때, 30년 빈도에 홍수량은 RRL 방법(천안시, 1997)을 이용하였으며 소유역 III, IV의 유출체적은 각각 6958m³와 1916m³, 침두유량은 각각 6.06m³/sec와 3.14m³/sec이다. MUSLE모형의 경우에는 세유역에 따라 홍수량의 산정이 불가능하여, 소유역의 토사유출량을 산정하였으며, 이때 유사전달률은 고려하지 않았다. 계산결과 강우의 침식능을 나타내는 95(Qxqp)^{0.56}의 값은 4590.5, 1542.8(MJ/ha)(mm/hr)/storm으로 산정되었다.

4.3.4 SLEMA모형의 적용

SLEMA모형에서의 표준필드의 연평균 토양침식량 K는 연강우량 1219mm에 대한 연평균강우에너지와 침식성(F)를 이용하여 산정하였다. 연평균 강우에너지

는 토사가 발생할 수 있는 강우의 연평균에너지를 의미하며 SLEMA모형에서는 연평균 강우량 P를 이용하여 9.28P-8838의 관계를 적용하는 것으로 제시되어 있다. 이 방법을 적용하는 경우 연평균강우에너지는 9.28×1219-8838=2474.32J/m²이다. 그러나, 연평균강우에너지는 연구자에 따라 산정방법이 다르며 SLEMA모형에서 제시한 연평균강우에너지의 값을 이용하여 산정한 결과 토사유출량이 거의 발생하지 않아 비교측면에서 Morgan과 Finney모형에서 제시한 P(11.9+8.7*LOG₁₀I)에 따라 연평균강우에너지를 산정하여 본 결과 6606.455J/m²이 계산되었다. Morgan과 Finney기법에 의한 강우에너지 산정결과는 표 7과 같다.

무차원 인자 X는 RUSLE모형에서 산정한 토사발생면의 길이와 기울기를 적용(표 8참조)하였다. 무차원 농작물 관리인자 C를 산정하기 위해서는 강우에너지 차단비율을 먼저 산정하여야 한다. 강우에너지 차단비율은 표 9와 같이 표면의 피복상태를 지역의 특성에 따라 크게 논과 산림지역으로 구분하고 각 경작기간을 3가지로 구분하여 경작기간에 따라 가중치를 적용하여 산정하였다. 이때, 경작기간은 모내기기간, 생육기간과 휴지기간으로 각각 3개월, 5개월, 4개월로 구분하였다.

표 7. Morgan과 Finney모형에 의한 강우에너지 산정결과

월	강우량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	1mm 당 강우에너지 (J/m ² /mm)	강우에너지 (J/m ²)
1월	2월	3월	4월	5월
1	27.6	0.037097	0.0000000	0.0000000
2	28.9	0.038844	0.0000000	0.0000000
3	51.9	0.069758	1.77457931	92.10067
4	89.8	0.120699	3.85327069	346.0237
5	82.9	0.111425	3.55014932	294.3074
6	144.5	0.19422	5.65681458	817.4097
7	272.2	0.36586	8.05774157	2193.317
8	255.1	0.342876	7.81175058	1992.778
9	127.9	0.171909	5.19414813	664.3315
10	53.6	0.072043	1.89677689	101.6672
11	54.1	0.072715	1.9319804	104.5201
12	30.5	0.040995	0.0000000	0.0000000
합 계	1219	1.638441	38.4214283	6606.455

주) 3월 = 2월/31/24
 4월 = 11.9+8.73*LOG(3월)
 5월 = 2월 (11.87+8.73*LOG(3월))

표 8. 각 소유역의 물리적 특성

소유역	세유역	피복상태	면적 (m ²)	사면기울기 S(%)	사면길이 L(m)	연강우량 P(mm)	강우에너지 E (J/m ²)	침식성* (F)
III	A	밤나무	53297	5.15	70.00	1219	6606	4
	B	논	117770	2.79	50.00	"	"	5**
	C	밤나무	95000	4.51	80.00	"	"	4
	D	산림	12261	3.83	30.00	"	"	4
	E	밤나무	44372	3.49	90.00	"	"	4
	F	산림	50628	5.74	30.00	"	"	4
IV	A	산림	56220	2.79	100.00	"	"	4
	B	논	47038	0.99	90.00	"	"	5**
	C	산림	51467	5.55	70.00	"	"	4
	D	산림	21344	5.74	30.00	"	"	4

주) * 토성 light, 토양종류 sandy loam로 간주함
 ** 논은의 경우는 산림의 침식성에 비하여 1을 추가함

또한 각 기간의 강수총량을 연강우량에 대한 강수비로 구분하였다. 계산결과 이 지역의 강우차단비율은 논과 산림지역이 각각 40.54% 와 59.47%로 나타났다. 농작물 관리인자는 강우에너지 차단비율에 따라 0.028 2~0.0632의 범위로 계산되었다.

4.3.5 Morgan과 Finney모형의 적용

Morgan과 Finney모형을 적용하기 위해서는 강우 차단비율 A, 잠재증발량과 실제 증발량의 비 Et/Eo, 농작물에 의한 피복관리인자 C를 먼저 산정하여야 한다. A, Et/Eo 와 C는 토지이용과 기간에 따라 각각

표 9. 강우에너지 차단비율

기간	강수총량	강수비	피복 비율(%)		강우차단비율(i)	
			논	산림	논	산림
3-5월	258	20.3%	30	70	6.08	14.18
6-10월	878	68.9%	50	50	34.46	34.46
11-2월	138	10.8%	0	100	0	10.83
합 계	1274	100%			40.54	59.47

표 10. SLEMA모형에 의한 토사유출량

소유역	세유역	피복 상태	면적 (m ²)	표준필드의 평균침식량 (K)	무차원 인자 (X)	농작물 관리인자 (C)	단위면적당 토사침식량 (tons/ha/yr)	연평균토사 침식량 (tons/yr)
1열	2열	3열	4열	5열	6열	7열	8열	9열
III	A	밤나무	53297	3.061	1.796	0.0282	0.155	0.826
	B	논	117770	0.703	0.781	0.0282	0.016	0.183
	C	밤나무	95000	3.061	1.638	0.0282	0.141	1.344
	D	산림	12261	3.061	0.834	0.0282	0.072	0.088
	E	밤나무	44372	3.061	1.307	0.0282	0.113	0.501
	F	산림	50628	3.061	1.346	0.0282	0.116	0.589
IV	A	산림	56220	3.061	1.105	0.0282	0.095	0.537
	B	논	47038	0.703	0.500	0.0282	0.010	0.047
	C	산림	51467	3.061	1.969	0.0282	0.170	0.875
	D	산림	21344	3.061	1.346	0.0282	0.116	0.248

주) 5열 = $EXP((0.468 + 0.7663 \times F) \times LN(E) + (2.884 - 8.2109 \times F))$
 6열 = $L^{0.5} (0.76 + 0.53 S + 0.076 S^2) / 25.65 (S < 1\%)$
 $= L^{0.5} (0.76 + 0.53 S + 0.076 S^2) / 25.65 \times S / (0.572 S + 0.428) (S > 1\%)$
 7열 = $exp[-0.06 \cdot i]$ (농작물지역이고 $i < 50\%$ 혹은 산림지역이고 $i \geq 50\%$)
 $= (2.3 - 0.01 \cdot i) / 30$ (농작물지역이고 $i \geq 50\%$)
 8열 = 5열 \times 6열 \times 7열
 9열 = 4열 \times 8열 / 10000(단위환산)

구분하여 산정하였다. 이때, 토지이용은 논지역과 산림 지역으로 구분하였으며 경작기간의 구분은 모내기기간 (3-5월), 생육기간(6월-10월)과 휴지기간(12월-2월)으로 하여 이를 기간에 대한 가중치로 하였다. A, Et/Eo, C에 대한 논지역과 산림지역의 계산값은 표 11과 같다.

표 12는 각 소유역의 특성에 따른 입력자료인 MS, BD, K 그리고 RD는 각각 토양수분량, 토양층의 밀도, 토양이탈계수, 토양층내 뿌리깊이를 나타내며 Morgan과 Finney가 제시한 표를 이용하였다.

강우에너지 E는 $R(11.87+8.73 \cdot \text{LOG}_{10}I)$ 으로 산정할 수 있으며 R은 연평균강우량(mm), I는 강우강도로서

강한 계절성이 나타나는 지역에서의 추천값 30mm/hr 를 적용하여 강우에너지는 31532.7 J/m²로 산정하였다. 이는 SLEMA모형에서 산정한 방법이 7057.7 J/m²인 것을 고려하면 강우강도에 의한 차이에 의하여 약 4.5배의 차이가 발생하고 있다. 즉, 연강우량에 의한 강우에너지보다는 단일호우에 의한 강우에너지가 크다는 것은 단일호우에 의해 더 많은 토사유출이 발생할 수 있다는 것을 의미하나 이는 빈도개념을 포함하지 않는다. 연평균강우일수 Rn은 120일을 입력하였다. 따라서 일평균강우량 Ro는 10.617이 된다. 이를 이용하여 Morgan과 Finney모형에 의한 토사침식량을 계산한 결과를 표 13에 정리하였다.

표 11. 토지이용에 따른 A, Et/Eo와 C(Morgan과 Finney모형)

	기간	가중치	논			기간	가중치	산림		
			토지이용	인자값	가중치			토지이용	인자값	가중치
A	3-5월	3	wet rice	59.5	178.40	3-5월	3	broad	20.0	60
	6-10월	5	wet rice	59.5	297.33	6-10월	5	broad	20.0	100
	11-2월	4	wheat	43	172.00	11-2월	4	coniferous	30	120
					53.98					22.33
	기간	가중치	논			기간	가중치	산림		
			토지이용	인자값	가중치			토지이용	인자값	가중치
Et/Eo	3-5월	3	wet rice	1.35	4.05	3-5월	3	broad	0.95	2.85
	6-10월	5	wet rice	1.35	6.75	6-10월	5	broad	0.95	4.75
	11-2월	4	wheat	0.6	2.4	11-2월	4	coniferous	0.95	3.8
					1.1					0.95
	기간	가중치	논			기간	가중치	산림		
			토지이용	인자값	가중치			토지이용	인자값	가중치
C	3-5월	3	wet rice	0.15	0.45	3-5월	3	broad	0.0025	0.0075
	6-10월	5	wet rice	0.15	0.75	6-10월	5	broad	0.0025	0.0125
	11-2월	4	wheat	0.3	1.2	11-2월	4	coniferous	0.0015	0.006
					0.2					0.00217

표 12. 각 소유역별 입력자료(Morgan과 Finney모형)

소유역	세유역	피복상태	면적 (m ²)	사면기울기 (Sin θ)	입력자료			
					MS	BD	K	RD
III	A	밤나무	53297	0.336	0.28	1.2	0.3	0.1
	B	논	117770	0.196	0.28	1.2	0.3	0.05
	C	밤나무	95000	0.298	0.28	1.2	0.3	0.1
	D	산림	12261	0.258	0.28	1.2	0.3	0.1
	E	밤나무	44372	0.237	0.28	1.2	0.3	0.1
	F	산림	50628	0.371	0.28	1.2	0.3	0.1
IV	A	산림	56220	0.196	0.28	1.2	0.3	0.1
	B	논	47038	0.089	0.28	1.2	0.3	0.05
	C	산림	51467	0.360	0.28	1.2	0.3	0.1
	D	산림	21344	0.371	0.28	1.2	0.3	0.1

4.4 결과의 고찰

1) 개발상태에 따른 토사유출량 산정방법의 적용성 검토

USLE, TRB, MUSLE, SLEMA, MORGAN모형을 실유역에 적용하여 토사유출량을 산정하였다. 이 모형들은 경험적 산정모형으로 실유역에 적용된 각 모형들은 개발전·중·후에 모두 적용가능한 것은 아니며 RUSLE, MUSLE모형이 개발상황에 따라 토사유

출량의 산정이 가능하다. TRB모형은 특성상 개발중의 토사유출량에 대해서만 산정가능하며 SLEMA모형 그리고 Morgan과 Finney모형은 개발전의 토사유출량에 대해서만 적용가능하다. 이러한 면에서 RUSLE모형에서 개발된 MUSLE모형이 실제 개발상황에 따른 토사유출량을 산정하고 대책을 세우는데 유리한 것으로 판단된다.

2) 각 모형별 토사유출량 비교

실유역에 각 토사유출량을 적용한 결과 개발전의 토

표 13. Morgan과 Finney모형에 의한 토사유출량

소유역	세유역	토지이용에 따른 계수			Rc	Q	토사이탈물 F(kg/m ²)	토사이송물 G(kg/m ²)	토사침식량 (tons)
		A	E _v /E ₀	C					
1열	2열	3열	4열	5열	6열	7열	8열	9열	10열
III	A	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0025	0.132
	B	53.98	1.10	0.20000	17.62	242.321	0.6365	2.3032	74.96
	C	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0022	0.209
	D	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0019	0.023
	E	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0017	0.078
	F	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0027	0.138
IV	A	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0014	0.081
	B	53.98	1.10	0.20000	17.62	242.321	0.6365	1.0398	29.938
	C	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0026	0.136
	D	23.33	0.95	0.00217	32.75	58.278	2.9458	0.0027	0.058

주) 3열 : 표 11
 4열 : 표 11
 5열 : 표 11
 6열 : $1000 \cdot MS \cdot BD \cdot RD \cdot (Et/E_0)^{0.5}$
 7열 : $R \cdot \exp(-Rc/R_0)$
 8열 : $K(E \cdot \exp[-0.05A]) \cdot 10^{-3}$
 9열 : $C \cdot Qd \cdot \sin(S) \cdot 10^{-3}$
 10열: 8열 과 9열 중 작은 것 $\times 2$ 열 / 10000

사유출량은 RUSLE, MUSLE, SLEMA, Morgan과 Finney모형에 따라 각각 129.92, 17.27, 5.25, 105.76 tons 인 것으로 나타났다. 각 토사유출량 산정모형에 따라 24배 정도로 큰 차이가 발생하는 것은 토사유출량 산정모형의 오차가 매우 크게 발생하며 적용시 세심한 주의가 필요함을 알 수 있다. 표 14에서 각 소유역별 토사유출량중 소유역의 토지이용이 논인 경우 다른 피복상태와 비교하여 오차가 더욱 크게 발생하고 있음을 알 수 있다.

개발중의 토사유출량은 전체유역의 경우 RUSLE, TRB, MUSLE모형에 따라 각각 8530.93, 13404.64, 733.59tons으로 나타났으며 상대적으로 MUSLE모형이 작게 산정되었다.

3) 실측토사량과 각 모형에 따른 토사유출량 비교

각 모형에 의한 30년 빈도 토사유출량을 실측치와 비교하였다. 현장조사 유역내에는 III, IV 소유역의 출구점에 설치된 침사지가 있으며 부지정리를 위하여 정지작업이 진행되어 개발중의 조건으로 분류하여 '98년 8월중에 퇴적된 토사유출량을 조사하였다. '98년 8월중이 지역에 내린 강우량은 800mm 이상으로 토사가 발생할 수 있는 충분한 조건으로 판단된다. SLEMA 그

리고 Morgan과 Finney모형은 개발중의 토사발생 특성을 고려할 수 없어 개발전의 토사유출량만을 산정하였다.

소유역 III에 위치한 침사지에 퇴적된 실측 토사유출량은 952tons이며 RUSLE, TRB, MUSLE모형에 의한 토사유출량은 각각 5512.52, 8661.75, 540.31 tons 이다. 소유역 IV에서는 침사지내 실측토사유출량이 14.3tons 이며 USLE, TRB, MUSLE모형에 의한 토사유출량은 각각 3018.41, 4742.89, 193.28tons 이다. 실측치와 계산된 결과를 비교하면 RUSLE, TRB모형은 과대산정되었으며, MUSLE모형은 비교적 근사한 결과를 보이고 있다. 즉, 기존에 주로 사용되던 RUSLE모형에 비하여 MUSLE모형이 실측자료와 더 근사한 결과를 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

현장에서의 토사유출량을 조사하여 국내에서 일반적으로 사용되거나 적용 가능한 USLE, TRB, MUSLE, SLEMA, 그리고 Morgan과 Finney모형에 의한 토사유출량산정 결과와 비교하였다. 토사유출량의 산정은 빈도개념이 서로 상이하며 이를 고려할

표 14. 각 모형에 따른 토사유출량 비교검토

(단위: tons)

소유역	세유역	피복 상태	면적 (m ²)	RUSLE			TRB			MUSLE			SLEMA	Morgan과 Finney
				개발전	개발중	개발후	개발전	개발중	개발후	개발전	개발중	개발후	개발전	개발전
III	A	밭나무	53297	14.83	1153.09	0.99	-	1812.00	-	-	-	-	0.83	0.13
	B	논	117770	40.52	933.00	0.80	-	1466.15	-	-	-	-	0.18	74.96
	C	밭나무	95000	32.61	2536.66	2.17	-	3986.18	-	-	-	-	1.34	0.21
	D	산림	12261	0.19	0.19	0.19	-	0.19	-	-	-	-	0.09	0.02
	E	밭나무	44372	11.42	888.38	0.76	-	1396.03	-	-	-	-	0.50	0.08
	F	산림	50628	1.20	1.20	1.20	-	1.20	-	-	-	-	0.59	0.14
소계			373328	100.77	5512.52	6.11		8661.75		13.37	540.31	0.62	3.53	75.54
IV	A	산림	56220	13.80	1073.64	0.92	-	1687.15	-	-	-	-	0.54	0.08
	B	논	47038	12.35	252.86	0.22	-	397.36	-	-	-	-	0.05	29.94
	C	산림	51467	2.42	1691.33	1.45	-	2657.80	-	-	-	-	0.88	0.14
	D	산림	21344	0.58	0.58	0.58	-	0.58	-	-	-	-	0.25	0.06
소계			176069	29.15	3018.41	3.17		4742.89		3.90	193.28	0.20	1.72	30.22
합계			549397	129.92	8530.93	9.28		13404.64		17.27	733.59	0.82	5.25	105.76

표 15. 실측토사량과 계산결과 비교

(단위: tons)

소유역	세유역	침사지내 8월중 실측 토사유출량		RUSLE	TRB	MUSLE
		m ³	tons			
III	A			1153.09	1812.00	540.31
	B			933.00	1466.15	
	C			2536.66	3986.18	
	D			0.19	0.19	
	E			888.38	1396.03	
	F			1.20	1.20	
	침사지	680*	952**	합계 5511.32	합계 8661.75	합계 540.31
IV	A			1073.64	1687.15	193.28
	B			252.86	397.36	
	C			1691.33	2657.80	
	D			0.58	0.58	
	침사지	10.2*	14.3**	합계 3018.41	합계 4742.89	

주) * 1998년 8월중 퇴적된 토사용적(m³)

** 토사유출량(tons) = 퇴적 토사용적 × 1.4

수 있는 강우에너지의 계산 방법에 따라 민감하게 변화하는 것으로 나타났다. RUSLE, TRB, MUSLE 모형은 빈도개념을 고려한 토사유출량을 산정할 수 있으나 SLEMA, Morgan과 Finney 모형은 자연유역에서의 연평균 토사유출량만 산정할 수 있어 개발현장에서 토사대책 수립을 위한 토사유출량 산정에는 부적합한

것으로 나타났다.

계산결과 RUSLE, TRB 모형에 의한 토사유출량은 실측된 토사유출량과 비교하여 과대산정되고 MUSLE 모형에 의한 토사유출량이 비교적 실측된 토사유출량과 유사하게 산정되었다. RUSLE, TRB, MUSLE 모형은 USLE 모형에서 변형된 모형으로 MUSLE 모형은

강우의 침식성을 고려하는 부분을 홍수유출체적과 침
두유량으로 대체한 형태이다. 즉, 강우의 빈도와 토사
발생량의 빈도는 단순히 강우의 규모보다는 홍수의 특
성과 더 많은 연관성을 포함하기 때문에 MUSLE모형
이 실측토사유출량과 유사한 결과를 나타내는 것으로
판단된다.

본 연구는 1개의 실유역에 대해서만 분석된 결과이나
MUSLE모형이 RUSLE, TRB모형과 비교하여 상대
적으로 실측치와 유사한 결과를 나타냈다. 결과적으로
MUSLE모형은 단일호우에 대한 토사유출량을 산정할
수 있도록 RUSLE를 수정한 것으로 실제 개발시 발
생할 토사를 고려하는 경우 연평균 토사유출량이 아닌
단일호우에 대한 토사유출량을 산정하고 이에 대하여
침사지를 설계하는 것이 최적설계를 위해 적합한 것
으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 1998년 국제수문개발계획(IHP) 사업의
일환으로 수행되었으며 이를 지원한 건설교통부에 심
심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

건설부(1992). 댐설계를 위한 유역단위 비유사량 조
사연구.
천안시(1997). 천안온천 관광지 조성사업 재해영향
평가서.
Clyde, C. G. (1980). *Erosion control during
highway construction*. NCHRP Report 221.
Elwell, H.A. (1978). "Modeling soil loss in
Southern Africa." *Journal of Agricultural
Engineering Research*, Vol. 23, pp. 117~
127.
Haan, C.T., Barfield, B.J., and Hayes, J.C.
(1994). *Design Hydrology and sedimen-*

tology for small catchment. Academic Press.
Morgan, R.P.C., and Morgan, D.D.V., and
Finney, J.J. (1984). "A predictive model for
the assessment of soil erosion risk." *Journal of Agricultural Engineering
Research*, Vol. 30, pp. 245~253.
Morgan, R.P.C. (1986). *Soil Erosion and
Conservation*. Longman Group Ltd.
Morgan, R.P.C.(1994). "European soil erosion
model: an update on its structure and
research base." *Conserving soil resources:
European perspectives*, Edited by Rickson,
R.J., Wallingford, CAB international, pp. 28
6~299.
Renard, K.G., Foster, G.R., Wessies G.A.,
McCool D.K., and Yoder, D.C. (1993).
*Predicting soil erosion by water - A guide
to conservation planning with the Revised
Universal Soil Loss Equation RUSLE*, U.S.
ARS Publication.
TRB (1980). Design of sedimentation basins.
National Cooperative highway Research
Program Synthesis of Highway Practice
#70, Transport Research Board.
Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978).
*Predicting rainfall erosion losses - A
guide to conservation planning*. Agricultural
Handbook No. 537, U.S. Department of
Agriculture, Washington, D.C.
Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1958).
"Rainfall energy and its relationship to soil
loss." *Transactions of the American
Geophysical Union*, Vol. 39, pp. 285~291.
(논문번호:00-047/접수:2000.07.11/심사완료:2000.12.26)