

오염저감 기법개발을 위한 유출수내 고형물질 특성 규명

Analysis of Solids in Runoff to Prevent Solids Pollution

이 영 수*

Lee, Young-Soo*

광운대학교 공과대학 환경공학과

(2003년 8월 22일 접수, 2004년 1월 12일 최종수정논문 채택)

Abstract

The fate and transport mechanism of pollutants which have affinities to particles, such as trace metals and some petroleum product based compounds, can be effectively explained by the movement of sediment. The sediment release from lands to adjacent water bodies due to rainfall events was investigated in an effort to predict the total suspended solids (TSS) concentrations in runoff. The contribution of sediment from land origin to the river TSS can be better understood by the relationship between TSS concentration and particle size in runoff. The sieve analysis was used to determine the particle size distribution and these results were incorporated into statistical models. The critical size of particles was set to 74 μm which contributes to the river TSS concentration since fine particles (wash load) of the sediment in the runoff play the key role in constituting TSS in a water column of the river. Empirical relationships were developed to predict TSS in runoff from the percentage of the critical particle size and were proven statistically to be valid.

Key words: Runoff, total suspended solids, particle size distribution, sediment transport, critical particle size

주제어: 표면유출수, 총고형물질, 입도분포, 토사이동, 한계입경

1. 서론

오염물질의 거동에 있어서 중금속이나 석유화합물질과 같은 일부 독성 물질은 토사에 흡착되어 토사와 같이 이동하기도 한다(DiToro, 2001; Chapra, 1997; Thomann, 1987). 이와 같은 중금속이나 석유화합물

질의 거동은 물과 토사의 두 가지 매질을 통하여 이동하기 때문에 토사유출 및 이동 현상에 대한 이해는 이들 오염물질 거동 규명에 중요한 역할을 한다. 토사유출은 토사가 표면 유출수나 강우현상시 빗물의 에너지에 의하여 유역내 관심의 대상이 되는 지점을 통과하여 유역 밖으로 빠져나가는 것으로 정의된다

*Corresponding author Tel.: +82-2-940-5103, Fax.: +82-2-911-2033, E-mail: tide@daisy.kw.ac.kr (Lee, Y.S.)

(Dunne, 1978). 토사가 유출되려면 침식의 과정을 거치고 토사를 운반할 수 있는 에너지가 필요한데 이 에너지원은 토사가 수직방향으로 침강하려는 힘을 초과하는 유속이다. 따라서 토사 이동과 관련된 인자에는 강우량, 강우강도, 강우지속시간으로 구성되는 강우인자와, 침식인자(토성), 지형인자 등이 있다 (Jansen, 1979; 우효섭, 2001; Das, 1983). 전통적으로 토양침식은 자연자원의 손실로서 간주되어 인공강우 장치를 이용하여 조사(coarse sand)와 세사(fine sand)로 구성된 토성에 대하여 각기 다른 강우강도와 경사도 등의 인자가 토사유출에 미치는 영향이 규명되었고, 단지개발 시 토양침식과 토사유출방지를 위한 억제방법이 연구되었다. 지금까지 나대지(bare soil)에서의 토사유출에 대한 대책은 입야의 사방공사나 농경지 토양유실을 억제하기 위한 토양보전 측면에서 접근하였다(우보명, 1976; Kim, 1990).

산림토양의 경우 자연자원 보전 측면에서 매우 중요한 자원이므로 강우에 의한 토사유실은 산림자원의 유실은 물론 강과 하천의 생태에도 큰 영향을 미치게 된다. 강우에 의하여 침식된 토사는 하상과 하구에 퇴적되어 하상의 형상변화 및 유로의 변화, 유수의 흐름변동 등을 야기시킨다. 이러한 변화 및 변동은 자연재해로 이어질 수 있으며 강과 하천의 환경오염 원으로도 작용한다. 강우에 의하여 침식되고 유출된 토사중 미세입자는 강바닥에 가라앉지 않고 강물과 함께 하류로 이동하면서 탁도를 유발하고 강의 수질에 변화를 일으키고 강의 생태변화를 초래하기도 한다. 수체내 미세입자의 증가는 탁도로 인한 태양광선의 입사량 감소를 유발하여 수중 생물에 의한 1차생산력을 감소시킨다. 이로 인하여 수중 생태계의 먹이 연쇄에 이상현상이 발생할 수 있으며 수중 생태계 파괴로까지 이어질 수 있다.

산림토양의 침식에 의한 토양유출 이외에 하천으로 유출되는 토사는 농경지와 공사현장의 나대지에서 기인하는 것이 있다. 특히 공사현장의 나대지에서 유출되는 토사는 짚더미(mulch)를 이용한 간이 토사유출 방지시설을 적용하여 일부 차단하거나 또는 무방비로 강우시 유출되는 경우가 많아 유출 방지 대책이 시급한 형편이다. 공사장에서 유출된 토사는 침사지, 농경지, 미개발지 등을 유하하여 인근 수계에 유입되는데 강우시 발생하는 토사 모두가 하류하천의 총고

형물질(total suspended solids: TSS) 농도에 영향을 미치는 것은 아닌 것으로 알려져 있다. 즉 강우시 공사장 나대지에서 발생하는 토사의 양과 그 발생 토사량이 인근 수계로 유입되었을 때 TSS 농도에 기여하는 정도를 규명할 필요가 있다. 뿐만 아니라 공사장의 나대지에서 발생하는 우수에 의한 토사유출은 공사시행 이전에 사전 환경영향평가에 반드시 포함시켜야 하는데 이때 토사유출량 및 인근하천의 TSS 증가량을 예측하고 그 저감대책을 제시할 때 그 과정이 명확해야 한다. 이를 위하여 현재는 토사유출량 산정시 원단위 개념을 사용하여 토사발생량을 산출하고 강우강도식을 이용하여 유출우수를 계산한 뒤 그 결과를 종합하여 추정하는 방식을 사용하고 있어서 예측 방법의 개선이 필요한 실정이다. 현행 환경영향평가에 적용되는 원단위 개념은 토사유출량 전체가 유출우수의 TSS 농도에 기여한다는 가정 하에 TSS 농도를 추정하므로 실제보다는 과대평가하는 경향이 있다. 여기서 유출토사는 유수의 속도에 따라서 비중이 크고 굵은 입자들도 TSS의 농도에 기여를 할 수 있어 그 영향이 전혀 없다고 할 수는 없다. 따라서 유속이 빠르면 운반에너지가 크기 때문에 굵은 입자들도 쉽게 하류하천으로 이동하지만 굵은 입경의 입자들은 쉽게 침강하므로 탁도를 유발하는데 크게 기여하지는 못하는 것으로 알려져 있다. 또한 유출토사 전체가 TSS 농도에 기여한다는 가정 하에 TSS 농도를 추정할 경우 조사지역의 토성, 입지 등 자연 환경이 다른 경우에도 비슷한 수준의 TSS 농도 기여도를 나타내게 되므로 개선의 여지가 있다.

일반적으로 강우에 의하여 토양유실이 발생할 때 모래가 많고 점토가 적은 토성에서는 입자간의 점착력이 적어 우적의 타격에 대한 저항력이 적어 유실되기 쉬운 상태로 된다. 한편 거친 모래가 많으면 물에 의한 이동성이 떨어지고 미세입자나 유기물질이 많은 경우에는 토양의 우적에 대한 저항성이 크고 물에 의한 이동성도 낮아지는 것으로 밝혀졌다(정영선, 1976). 여기서 토양침식에 영향을 미치는 인자로는 기후, 토성, 식생 및 지형요소 등을 들 수 있는데 작은 집수 구역내에서 토사유출량을 추정하는 방법에는 단위면적당 토사유출 원단위 사용방법이 있고 토성별 연평균 토양유실량 통계자료를 이용하는 방법 및 Universal Soil Loss Equation(USLE) 모델을 이용하는

방법이 있다. 토성별 연평균 토양유실량은 한국의 임업이나 농업 등 토지이용형태와 토성을 감안하여 농업과학기술연구원에서 지속적으로 데이터베이스를 유지하고 있으며 USLE는 토사유출량 추정을 위하여 적용되는 범용적 공식이다(Dunne, 1978; 이규성, 1994; 환경부, 2001). 여기서 토양을 유출시키는 원동력은 강우강도, 경사도, 경사장, 토양피복 상태 및 토성 등 여러 가지 요소가 있다. 강우는 우적의 타격력에 의하여 토양표면의 흩입자를 이탈시킴으로써 표면유출을 일으키며 강우강도가 커질수록 표면유출은 증가한다. 경사도와 경사장은 지형요소로서 경사장이 길면 우수의 흐름이 강해져서 토양유실이 증가하는 경우가 많지만 경사도가 높아질 때의 토양유실량은 항상 증가하지는 않는 것으로 보고된 바 있다(우보명, 1976). 피복도는 식물이 우적의 타격력을 완화시켜 흩입자의 이탈을 방지하므로 토양유출을 감소시키는 효과가 있고 토성은 조토일수록 토양유출이 적게 일어나고 세토일수록 강우에 의하여 유출이 쉽게 일어난다. 이러한 여러 가지 인자들이 복합적으로 작용하여 토사가 유출되는데 이 요소들을 USLE의 공식에 적용하여 토사유출량을 예측하게 된다. 이 USLE 공식에 의한 결과는 발생하는 토사유출량하므로 토사가 수계로 유입되어 TSS가 되는 과정을 추정하기에는 좀더 세밀한 분석이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 유출토사의 입도분포와 유출우수중 TSS 농도와 상관관계를 도출하여 공사장 인근 수계에 토사가 유입되어 하천의 TSS 농도변화에 미치는 영향을 분석하였다.

전술한 바와 같이 공사현장에서 강우시 유출되는 우수에는 많은 양의 토사가 함유되어 있지만 이 토사 모두가 하류하천에 도달하여 하천의 TSS 농도에 기여하는 것은 아니다. 대부분 굵은 입경을 가진 토사는 배수로나 침사지 등 유속이 느린 구간에서 침전하게 되어 실제로는 매우 작은 입도의 토사만이 TSS 변화에 영향을 주게된다(Jansen, 1979). 화강암 채석장이 산재한 일본 이바라키현의 나대지에서 6,400-27,000mg/L의 TSS 유출농도가 관측되었고 인근의 자연유역 TSS 농도가 270mg/L으로 관측되었다(박종관, 1993). 따라서 나대지에서 발생하는 토사의 농도는 자연유역에서 발생하는 토사의 20-100배 가량의 수치를 보였다. 이러한 편차는 절개 정도의 차이에서 기인하는 것으로서 토사중 부유토사 농도는 80% 이상이 64 μ m 이하의 세립 실트와 점토로 구성되어 있는 것으로 추정된다.

현행 환경영향평가에서 널리 사용되는 토사유출 기준의 하나인 원단위 방법은 유출토사 전체를 인근 하천에 유입되는 양으로 가정하고 이를 기준으로 하천의 TSS 변화를 추정한다(환경부, 2001). 이 기준에 의하면 공사 현장에서 강우시 발생하는 토사량은 나대지나 황무지에서 발생하는 토사량에 준하는 200-400m³/(ha·year)를 채택하고 우리 나라 연평균 강수량을 1,200mm/year로 보아 토사밀도 2.65g/cm³을 적용하여 계산하면 44,167-88,333mg/L의 토사농도가 나오고 그 평균값은 66,250mg/L이다. 한편 토성별 연평균 토양 유실량 및 유출수량을 기준으로 토사농도를 계산한 결과가 Table 1에 나타나 있는데 그 범위

Table 1. TSS concentrations from different soil types (MOE 2001)

토성	토사유출량 (ton/(10ha)·(year))	우수유출량 (kL/(10ha)·(year))	TSS (mg/L)
점토롬 (Clay loam)	20.2	453	44,592
사질 롬 (Sandy loam)	10.7	380	28,158
롬 (Loam)	18.4	415	44,337
점토 (Clay)	15.1	463	32,613
평균			37,425

Table 2. TSS concentrations from different rainfall intensity (Woo 1976)

토성	강우강도 (mm/hr)	토사유출량 (kg)	우수유출량 (m3)	TSS (mg/L)
굵은 모래 (Coarse sand)	100	2,720.1	269.1	10,108
	75	1,796.5	178.6	10,059
	50	909.1	91.3	9,967
점토흙 (Clay loam)	100	4,206.4	328.6	12,801
	75	3,073.6	226.2	13,588
	50	1,479.1	111.8	13,230

는 28,158-44,591mg/L이고 평균값은 37,425mg/L이다. 또한 각기 다른 토양에서 강우강도에 따른 토사 유출량이 9,957-13,588mg/L 범위의 TSS 농도로 보고 된 바 있어 Table 2에 나타냈다(우보명, 1976).

이 연구 결과에 의하면 같은 성질의 흙에 대하여 50-100mm/hr의 범위내에서 강우강도가 변하여도 토사유출농도는 그다지 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 즉 강우강도의 증감에 따라 토사유출량과 표면유출수량이 일정 비율로 비례하여 증가하거나 감소하여 TSS 농도 자체에는 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 강우시 공사장에서 인근 수계로 유입되는 TSS 농도는 강우강도보다는 토성에 의한 영향을 받으며 이는 유출토사중 한계입경 이하의 크기를 지닌 흙입자 함량이 하류하천의 토사농도에 많이 기여함을 시사하는 것이다.

2. 연구 방법

2.1. 시료채취

공사장에서 발생하는 토사유출 연구에 필요한 시료채취는 경기도 일산 및 파주 지역의 경의선 복선전철화 사업공사장을 그 대상으로 하였다. 경의선 복선전철화 사업공사는 2001년에 착공하여 2004년 말까지 노반공사 완료를 목표로 하는 공사로서 일산과 파주간 5개 지점을 선정하여 시료를 채취하였다. 시료채취 지점 1-3은 경의선 구간 갈매역 인근 창룡 입체교차로 3개 공사현장이고 시료채취 지점 4는 곡산역 인근 도촌천변 성토지이며 시료채취 지점 5는 대곡역 주변 하천 구조물 공사지역이다. 입도분포 분석을 위한 토사시료는 2002년 2월 2회에 걸쳐 맑은 날에 채취하여 체분석을 시행하였고, 강우시 공사장 나대지의 강우유출수내 TSS 분석을 위한 시료채취는 2002

년 7월 2회 시행하였다.

2.2. 실험 및 분석

강우에 의하여 유출되는 토사의 입도분포 상황을 파악하기 위하여 체분석을 하였다. 체분석은 사용하는 기구와 방법이 매우 간단하여 강우 유출토사 분석 방법으로 채택하였고 200번 표준체를 통과한 미세입자의 크기를 한계입경으로 설정하였다. 여기서 한계입경 이하의 유출토사가 인근 수계로 유입되어 부유사(wash load)가 된 후 하천의 TSS 농도를 증가시키는 것으로 보았다. 입도분포는 한국공업규격 KSF2308에 규정되어 있는바 일련의 체를 통과한 토사시료의 분포상태를 중량 백분율로 나타낸 것으로서 200번 표준체의 공칭크기(nominal size)는 0.074mm이다(우효섭, 2001; Das, 1983).

총고형물질(TSS) 분석은 Standard Methods에 의한 시험방법에 의하여 시행하였고 데이터 분석에는 회귀분석을 사용하여 상관관계를 도출하였다(APHA, 1998; Neter, 1985).

2.3. 선형회귀분석

선형회귀분석에 의한 모델개발은 상관관계 계수(r) 및 결정계수(r^2), 모델의 기울기(b) 및 y 축 절편(a)에 대한 가설검정시험을 거쳐 이루어졌고 이 과정은 표준시험방법을 통하여 이루어졌다(Neter, 1985).

$$H_0: b = 0 \quad (1)$$

$$H_a: b \neq 0 \quad (2)$$

여기서 H_0 는 귀무가설이고 H_a 는 대립가설이다. 가설검정시 양측검정을 이용한 t-test를 이용했는데 95% 신뢰도로 가설 기각영역의 유의수준(α)은 양측

Table 3. Results of the sieve analyses and TSS

	P(%)		
	P1	P2	P3
S1	3.47	3.67	2.59
S2	5.79	2.77	4.28
S3	6.44	3.87	4.59
S4	9.70	9.89	10.53
S5	8.08	5.92	4.65

	TSS (mg/L)		
	T1	T2	T3
S1	2,400	1,100	1,750
S2	3,500	4,100	3,800
S3	2,600	2,400	2,500
S4	7,900	11,400	9,650
S5	2,900	2,300	2,600

P: 74 μ m 이하 입자의 함유비율(wt %)

P3: 시료 1과 시료 2의 혼합시료(composite samples)

T3: T1과 T2의 산술평균

각각 2.5%이었다. 이 선형회귀분석에 의한 모델이 갖는 의미는 200번 표준체를 통과한 미세입자의 함유율로 예측한 TSS 강우유출 농도는 사용한 자료 범위 내에서 95%의 신뢰성을 갖고 있다는 것이다. 즉 공사장에서 공사 진행 중에 발생하는 토사유출이 인근하천의 TSS 증가에 기여하는 농도를 예측할 때 95%의 신뢰도를 갖고 이 모델을 사용할 수 있다는 의미이다.

3. 연구 결과

3.1. 체분석 및 TSS 실험결과

입도분포 실험은 2회에 걸쳐 채취한 시료와 두 시료를 혼합하여 만든 인공 시료 등 모두 세 가지 시료에 대한 체분석을 시행하였다. 체분석 결과는 표3에 나타냈으며 1회 시료의 경우 3.47-9.70%가, 2회 시료의 경우 2.77-9.89%가, 합성시료의 3회 시료는 합성시료로서 1회와 2회의 시료를 혼합하여 체분석을 실시하였는데 이 경우 2.59-10.53%가 74 μ m 이하의 미세토사로 나타났다. 유출우수의 TSS 분석 결과 또한 Table 3에 나타나있는데 1회 시료의 경우 2,400-7,900mg/L, 2회 시료의 경우 1,100-11,400mg/L, 평균 농도가 1,750-9,650mg/L의 범위로 나타났다.

Table 4. Results of the regression analyses

	a	b	r ²	r
y = a + bx	-1436.23	1031.57	0.95	0.97
lny = a + bx	7.01	0.21	0.91	0.95
lny = a + b(lnx)	6.20	1.23	0.88	0.94

ln: natural logarithm

a: y intercept

b: slope

r²: the coefficient of determination r: correlation coefficient

세 번째 TSS 값은 1회 시료와 2회 시료 실험 결과의 산술평균이다.

3.2. 선형회귀 분석결과

체분석 결과 입경 74 μ m 이하의 미세입자 퍼센티지를 x축으로 TSS 농도를 y축으로 하는 모델이 개발되었다. Table 4에는 두 변수를 일반관계(normal-normal relationship), 반 로그 관계(semi-log relationship), 로그-로그관계(log-log relationship)의 세 가지 경우에 대하여 분석하고 각각의 y절편, 기울기, 결정계수, 상관계수 값을 나타냈고 로그 값은 모두 자연로그 값을 사용하였다. 회귀분석에 사용된 x, y자료는 Table 3에서 세 번째 값인 P3와 T3를 대표값으로 사용하였다.

각 선형회귀식의 계산된 상관계수(r)의 임계치(critical value)는 5% 유의수준(significance level)과 자유도(degree of freedom: $df = n - 2$) 3일 때 0.878이므로 Table 4의 선형회귀 분석모델은 모두 유효하다(Neter, 1985). 이 세 가지 회귀식과 참고문헌에 인용된 화강암 지대인 일본 이바라키현의 나대지에서 관측된 6,400-27,000mg/L의 TSS 유출농도를 사용하여 미세입자 퍼센티지를 계산하였다(박종관, 1993). 그 결과 일반관계식의 경우 7.60-27.57%, 반로그관계식의 경우 8.35-15.21%, 로그-로그관계식의 경우 8.04-25.92%의 독립변수 값의 범위를 나타냈다. 따라서 본 연구의 회귀분석 모델에 사용된 미세입자 퍼센티지의 범위가 2.59-10.53%이고 TSS의 범위가 1,750-9,650mg/L임을 감안할 때 일본의 자료의 상한인 27,000mg/L TSS 값은 개발된 회귀식의 보간법(interpolation) 구간을 벗어나기 때문에 그 편차가 크게 나타났다. 따라서 체분석 결과 입경 74 μ m 이하의 미세입자 퍼센티지가 2.59-10.53%인 경우에 대하여

표4에 나타난 세 가지 회귀식을 사용하면 강우시 공사장에서 인근하천으로 유출되는 실질적인 TSS 값의 추정이 가능하다. 이 세 가지 회귀식 가운데 r^2 값이 가장 높은 일반관계 회귀식을 대표모델로서 제시하였다.

$$\text{TSS (mg/L)} = (1031.57) - (1436.23) \text{ (fine particle percentage)} \quad (3)$$

하천에서의 토사 이동현상중 부유토사 입경은 대략 50-70 μm 이하로 그 크기 이상의 토사입자는 공사장의 침사지나 하천 초입에서 침전되고 미세입자가 주로 하천의 TSS에 기여하는 것으로 알려져 있다 (Jansen, 1979). 여기서 부유토사와 침전토사의 입경 차이는 명확한 기준이 없으며 토사의 입경 이외에도 물 흐름의 상태 또한 TSS 농도를 결정하는 요인 중의 하나가 된다. 따라서 본 연구에서 설정한 74 μm 한계 입경은 하천 부유토사의 미세입경 범위에 가깝고 공사현장에서 발생한 TSS의 결과와 함께 실험자료 범위 내에서 사용할 수 있는 것으로 사료된다.

4. 결론

공사장 내대지에서 발생하는 토사유출이 인근하천의 TSS에 미치는 영향을 파악하기 위하여 대상지역 토양의 체분석과 강우유출수 분석을 계획하여 시행하였다. 중금속이나 석유화합물질과 같이 흙입자에 흡착되거나 탈착되어 거동하는 오염물질의 파악을 위하여 수계의 TSS 농도는 좋은 지표 역할을 하므로 강우시 토사유출은 큰 의미를 갖고 있다. 기존에 공사장 토사유출 추정에 이용된 원단위 개념을 보완하기 위하여 현장 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 공사장의 내대지에서 발생하는 토사 전량이 인근하천의 TSS에 기여하는 것이 아니고 오랜 시간 부유할 수 있는 미세입자가 주영향을 미친다. 따라서 본 연구에서 공칭입경 74 μm 인 200번 표준체를 통과하는 미세입자의 크기를 한계입경으로 설정하여 실험한 결과 강우시 유출된 토사중 이 크기 이하의 흙입자가 TSS의 증가에 큰 역할을 하는 것으로 밝혀졌다. 또한 공사지역 토사의 입도분석 실험 결과를 강우유출수내 TSS 농도와 상관관계 분석을 한 결과 한계입경 미만

의 입자 함유율이 강우유출수내 부유토사 농도를 결정하는 중요 인자중의 하나임이 확인되었다. 이 현장 실험 결과의 상관관계를 이용하여 한계입경 미만의 입자 함유율에 의하여 유출수내 부유 토사 농도를 추정하는 모델이 개발되었다. 공사 계획 단계에서 공사 대상지역의 토양을 입도 분석한 후 이 모델을 적용하면 강우시 공사장 내대지에서 인근 수계로 유입되는 TSS 농도를 추정할 수 있다. 따라서 공사에 의하여 발생하는 유출토사 중 일부가 인근 수계에 유입되어 하류하천의 TSS 농도에 미치는 영향을 예측하고 그에 대한 효율적인 저감대책을 마련할 수 있다. 본 연구에서는 개발된 토사내 미세입자의 함유율 이외에 여러 가지 다른 입도 분포나 이와 더불어 공사 현장의 경사도와 경사길이와 같은 지형적인 요소를 중회귀분석의 독립변수로 추가하여 추정모델을 발전시킬 수 있다.

사사

이 논문은 2002학년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- APHA, AWWA, and WEF (1998) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, Washington, D.C.
- Chapra, S.C. (1997) Surface Water Quality Modeling, McGraw-Hill, New York, New York.
- Das, B.M. (1983) Advanced Soil Mechanics, New York, New York.
- DiToro, D.M. (2001) Sediment Flux Modeling, Wiley-Interscience, New York.
- Dunne, T. and Leopold, L.B. (1978) Water in Environmental Planning, Freeman, New York, New York.
- Jansen, P. et al. (1979) Principles of River Engineering, Pitman Publishing, California.
- Kim, N.O. and Woo, C.H. (1990) Some Practice for Erosion and Sedimentation Control during Construction in Site Design, *Bulletin of Institute of Littoral Environment, Mokpo National University*, 7, pp. 89-95.
- Neter, J., Wasserman, W. and Kutner, M. (1985) Applied Linear Regression Models, Richard D. Irwin, Inc., New York, New York.

- Thomann, R.V. and Mueller, J.A., (1987) Principles of Surface Water Quality Modeling and control, Harper and Row, New York, New York.
- 박무종, 손광익 (1998) 토양침식의 발생원인과 분포특성, *한국수자원학회지*, 31(6), pp. 26-33.
- 박종관 (1993) Environmental Change of Suspended Sediment Discharge by Human Action, *한국환경과학회지*, 2(2), pp. 153-161.
- 손광익 (2000) 가속화되는 토양유실과 방지대책, *한국수자원학회지*, 33(4), pp. 28-34.
- 신동훈, 우창호 (2000) 신도시 개발에 따른 토양유실량 변이에측에 관한 연구, *Jr. Korea Planners Assoc.*, 35(6), pp. 255-267.
- 우보명 (1976) 토양침식에 작용하는 몇 가지 요인의 영향에 관한 연구, *한국임학회지*, 29, pp. 54-101.
- 우창호 (1994) 무계획적인 토사채취지의 문제점과 복구방안에 관한 연구, *Bulletin of Institute of Littoral Environment, Mokpo National University*, 11, pp. 61-79.
- 우효섭 (2001) 하천수리학, 청문각.
- 이규성 (1994) 산림유역의 토양유실량 예측을 위한 지리정보시스템의 범용토양유실식(USLE)에의 적용, *한국임학회지*, 83, pp. 322-330.
- 정도현, 우보명 (1989) 임도구조 및 입지요인에 측구침식에 미치는 영향에 관한 연구, *Seoul Nat'l Univ. J. Agr. Sci.*, 14(1), pp. 1-8.
- 정영선, 신재성, 신영화 (1976) 야산개발지의 토양침식에 관하여, *Korea Soc. Soil Sci. Fert.*, 9(1) pp. 9-16.
- 환경부 (2001) 표토보전 및 침(유실)방지대책에 관한 연구, (사)한국지반환경공학회 수행.