

연구논문

소유역의 토사유실량에 따른 유사저류지 설계적정성 검토 Optimum Scale Evaluation of Sediment Basin Design by Soil Erosion Estimation at Small Basin

이상진* · 이배성** · 최 현*** · 곽영주****

Lee, Sang Jin · Lee, Bae Sung · Choi, Hyun · Kwak, Young Joo

요 旨

최근 빈번하게 발생하는 집중호우는 지표면의 침식을 가중시켜 막대한 양의 토사유출을 초래하고 있으며, 이렇게 유실된 토사는 하천의 통수단면을 감소시키고 탁수를 유발하는 등의 환경문제의 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 유사저류지의 규모의 적정성을 검토하기 위하여 지형정보자료를 활용하여 범용토양유실공식을 적용한 후 소유역의 토사유실량(Soil Erosion)을 분석하고 저류지 용적규모와 비교·평가하여 유사저류지 규모의 적정성을 검토하였다. 분석결과 대상유역의 토사유실량 및 설계퇴적량은 각각 72.1m³ 및 85.0m³로 산정되어 유사저류지 규모는 적절한 것으로 분석되었다. 또한 Hec-Ras모형을 이용하여 수위상승으로 인한 제내지의 침수피해를 방지하기 위한 제방고를 산정하여 유사저류지의 수리학적 안정성을 평가하였다.

핵심용어 : 토사유실, 탁수오염, 유사저류지, GIS, Hec-Ras

Abstract

The recent frequent heavy rainfall has caused an increased in soil erosion and the soil drain which drained soil has caused decreased in channel radius and environmental problems by turbidity. In this study, the optimum size of the sediment basin was tested with soil erosion estimated from the Universal Soil Loss Equation (USLE) in the basin using by GIS data. The results show that the estimated soil erosion and the designed soil deposit are 72.1 m³ and 85.0 m³ respectively and the size of sediment basin is proper. In this study the water depth was calculated from the Hec-Ras model to test the stability of the bank and to prove submersion of the inside fields from stream overflow.

Keywords : Soil erosion, Contamination by turbid water, Sediment basin, GIS, Hec-Ras

1. 서 론

토지이용의 변화 및 식생의 파괴는 토양침식이나 퇴적을 유발하게 되며, 한 유역에서 생산되는 토사량은 대부분 강우에 의해 지표면이 침식되어 발생하게 된다. 최근 들어 빈번하게 발생하는 집중호우는 지표면의 침식을 가중시켜 막대한 양의 토사유출을 초래하고 있으며, 이렇게 유실된 토사는 하천에 유입되어 하천의 통수단면을 감소시킴으로써 홍수범람의 원인으로 작용하고 있다.

또한 토양침식에 따른 토사유출은 하천에 유입되어 탁수를 발생시켜 수질을 악화시키며, 주변 식생의 변화에 따른 작물생산성과 토양조절능력이 저하되는 등 환경문

제의 주요 원인인 된다. 이와 같이 하천의 통수능을 저해하고 수질 악영향을 저감시키는 구조적인 방법중 하나가 유사저류지의 설치이다. 그러나 집중호우시 유사저류지가 유입되는 강수량을 수용하지 못할 경우, 오히려 흐름을 방해하는 요소로 작용하게 되고 토사가 유출되어 인근 지역의 피해를 가중시킨다. 따라서 하천 유량의 원활한 흐름을 방해하지 않고 탁수도 원활하게 침강시키기 위해 유사저류지의 적정규모의 설계는 매우 중요하며 이를 위해서는 유역의 토사유실량을 정확하게 산정하여 연간 생산토사량을 추정해야한다.

유역에 발생하는 생산토사를 보다 정확히 산정하고자 한 선행연구로 김주훈 등(2003)과 박경훈(2003)은 RUSLE

2007년 4월 3일 접수, 2007년 5월 4일 채택

* 정희원·한국수자원공사 수자원환경연구소 선임연구원 (sjlee@kwater.or.kr)

** 교신저자·한국수자원공사 수자원환경연구소 위촉연구원 (baesung@hannam.ac.kr)

*** 정희원·경남대학교 공과대학 토목공학과 교수 (hchoi@kyungnam.ac.kr)

**** 정희원·Center for Environmental Remote Sensing, Chiba University, JAPAN, 박사과정 (kwak_yj@graduate.chiba-u.ac.jp)

(Revised Universal Soil Loss Equation) 모델을 활용하여 유역내의 토양침식 위험지역을 분석하였으며, 이근상 등(2003)은 GIS 기반 RUSLE 모델에 의한 토양침식의 정량화를 시도하였다.

김주훈과 오덕근(2004)은 RUSLE 모델을 활용시 다양한 강우빈도를 고려한 강우침식인자를 계산하였으며, 이근상(2006)은 임하호 및 안동호의 토사유실량을 산정하여 비교·평가한바 있다. 그러나 기존의 연구는 토사유실량의 산정과 비교 평가에 대한 연구가 이루어 졌으며 실제 유사저류지의 적용에 대한 연구는 미비하였다. 따라서 본 연구에서는 유사저류지의 규모의 적정성을 검토하기 위하여 GIS를 기반으로 유역의 지형특성을 분석하고 상대적으로 사용이 용이한 USLE를 활용하여 소유역의 토사유실량을 분석한 후 저류지 용적규모와 비교·평가하여 설계된 유사저류지 규모의 적정성을 검토하고자 한다. 그리고 유사저류지 설치에 따른 수리학적 안정성을 검토하기 위하여 유사저류지의 수리학적 영향구간의 지형단면을 측정하여 Hec-Ras모형을 이용하여 유역내 수리학적 거동양상을 모의·분석하고자 한다.

2. 유역적용

연구대상지역은 경상남도 밀양시 무등소류지 하류에 위치한 소유역으로, 수치지도(1:5,000) 및 WMS 6.0을 이용하여 다음 그림 1에서 보는 바와 같이 유사저류지가 설치되어있는 1번 소유역 등 총 4개의 소유역으로 분할하였다. 또한 그림 2와 같이 DEM자료를 작성한 후 ArcView 3.2a 및 WMS 6.0 프로그램을 이용하여 분석대상 유역의 지형특성 자료를 추출하였다. 분석결과 표 1과 같이 분석대상 유역의 총유역면적은 2.032km²인 소유역에 해당되고, 유역평균경사가 20% 이상인 급경사 산지하천으로 분석되었다.

또한 분석대상 유역의 토양상황을 분석하기 위하여 그림 3과 같이 정밀토양도(1:5,000)의 분류체계를 참고하여 소유역 토양군으로 재분류하였다. 대상 유역의 토양은 주로 암쇄토, 퇴적토, 암석노출지로 구성되었으며, 유역의 약 79%에 해당하는 면적이 암쇄토로 이루어져 있는 것으로 나타났다.

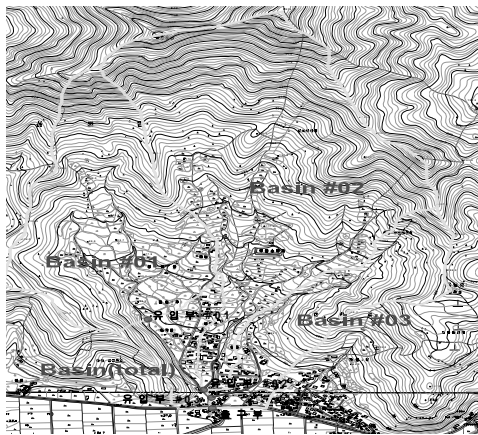


그림 1. 분석대상 소하천의 유역분할

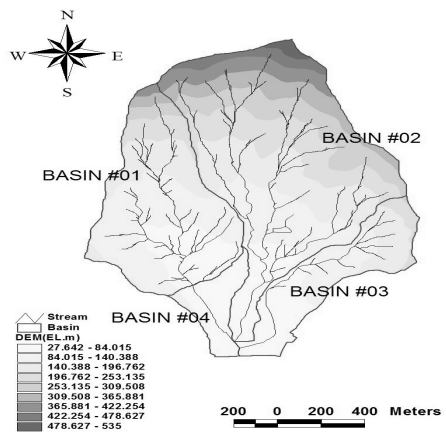


그림 2. 분석대상 유역의 DEM 작성

표 1. 분석대상 유역의 지형 특성인자

소유역 번호	유역 면적(km ²)	유역 둘레(km)	유로 연장(km)	유로 경사	유역평균 폭(A/L)	형상계수 (A/L ²)	유역평균 고도(EL.m)	유역 평균경사	최고표고 (EL.m)	최저표고 (EL.m)
#01	0.585	3512.834	1.508	0.17669	0.388	0.257	133.990	0.30921	405.00	45.000
#02	1.055	5252.636	2.434	0.13021	0.433	0.178	223.593	0.39530	535.00	31.565
#03	0.286	3217.483	0.988	0.12022	0.289	0.293	110.067	0.28986	264.838	30.000
#04	0.105	1906.702	0.533	0.02656	0.198	0.371	55.3610	0.25705	116.304	27.642

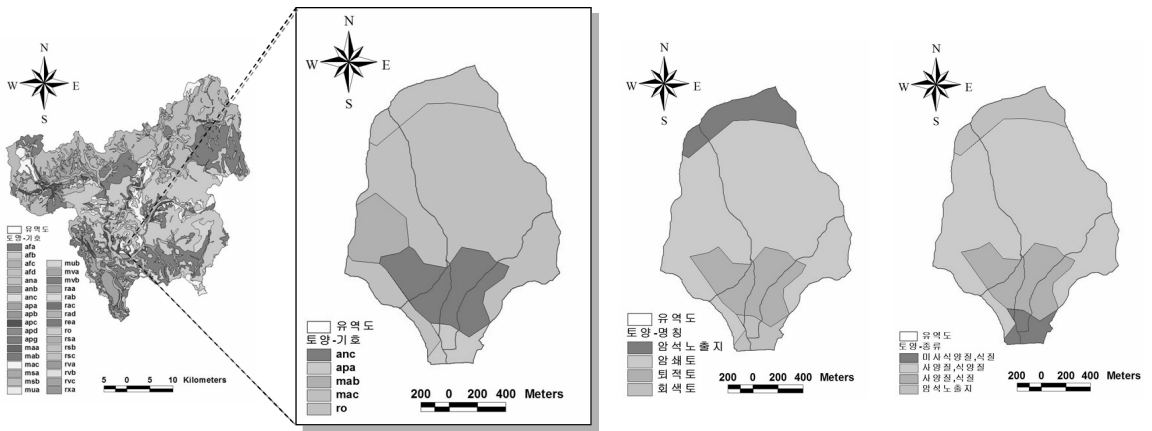


그림 3. 소유역의 토양도 및 토성

3. 토사유실량 산정

토사유실량의 측정은 일반적으로 유역 특성이 유사한 지역의 토사유실량 실측자료를 이용하거나 모델을 활용하여 산정하고 있으나 토양유실량의 정확한 추정에는 현실적으로 매우 어려운 일이다. 범용토양유실공식인 USLE 모델은 장기간의 토사유실량을 산정하는데 널리 사용되어 왔으며, 1960년대에 농경지에서의 토사유실량을 예측할 목적으로 미국의 Wischmeier와 Smith에 의해 개발되었다. USLE 모델은 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C) 그리고 경작인자(P)로 구성되어 있다. Renard 등(1991)은 USLE의 한계를 극복하기 위해 개발한 개정범용토양유실공식(Revised USLE)을 GIS기법에 활용하여 강우침식인자를 상세하게 분석한바 있다. 본 연구는 소유역의 유사저류지 규모의 적정성을 검토하기 위한 것으로 상대적으로 간편한 USLE방법을 활용하여 유사저류지의 용적량과 비교·평가하였다. 토사유실량(A)는 강우침식도(R), 토양침식성(K), 무차원 지형(길이 및 경사)인자(LS), 식생피복인자(C), 경작인자(P)의 곱인 다음 식 (1)을 이용하여 산정하였다.

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

표 2. 토양통별 K값

토양통	입경분포(%)					유기물 함량 O.M.
	자갈 gravel >2mm	모래 sand 0.1~2.0	극세사 vfs 0.05~0.1	이토 silt 0.002~0.06	점토 clay <0.002	
마산	31.1	37.0	5.6	41.2	16.2	1.79
안릉	3.8	42.0	28.0	24.5	5.5	1.54

3.1 강우 침식도(R) 산정

강우 침식도(R)란 매년 발생하는 강우의 침식능력을 말하며, 국내에서는 정필균 등(1983)이 기상청 산하 51개 관측소의 6~21년간 자료를 이용하여 각 관측소별 강우 침식 인자 R 을 산정하였다. 박정환 등(2000)은 $R(MJ/ha \cdot mm/hr)$ 값 산정을 위해 전국 53개 지점 관측소의 24년간(1973~1996) 강우자료를 이용하여 등강우 침식도를 작성한바 있다. 본 연구에서는 위의 두가지방법을 활용하였는데 유사저류지의 안정성을 감안하여 상대적으로 약간 크게 산정된 최근의 연구 결과인 등강우 침식도를 이용하여 분석대상 유역의 강우침식 인자 R 값을 산정하였다.

3.2 토양 침식성(K) 산정

토양 침식성 인자 K 는 강우에 의한 침식에 대해 토양이 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, Wischmeier 등(1971)의 K 값 추정도표, Wischmeier와 Smith(1965), 그리고 Erickson(1977)의 삼각형 도표와 보정표 등을 이용하여 추정할 수 있다. 본 연구에서는 Wischmeier와 Smith(1965)이 제안한 식을 이용하여 K 값을 산정하였으며, 국립방재연구소(1998)에서 제시한 토양통별 입경분포 및 토성을 표 2와 같이 2가지 즉 마산, 안릉으로 구분하여 산정하였다. 또한 K 값 추정을 위한 인자인 토양구조 코

드(a) 및 투수도 등급(c)은 Haan(1994)이 제안한 분류표를 이용하여 표 3에 정리하였다. 이와 같이 산정된 매개변수 추정값을 활용하여 K값을 산정하면 다음 표 4와 같

표 3. 토양침식성 인자(K) 산정

토양통	입경분포(%)		유기물 함량(%)	토양 구조 코드	투수도
	실트/극세사	점토			
마산	42.6	16.2	1.79	2	3
안룡	70.0	5.5	1.54	2	3

표 4. 방법별 K값 비교

토양통 구분	K(ton/ha/R)		
	Erickson 방법	Wischmeier 도표	Estimated
마산	0.26	0.25	0.24
안룡	0.65	0.45	0.50

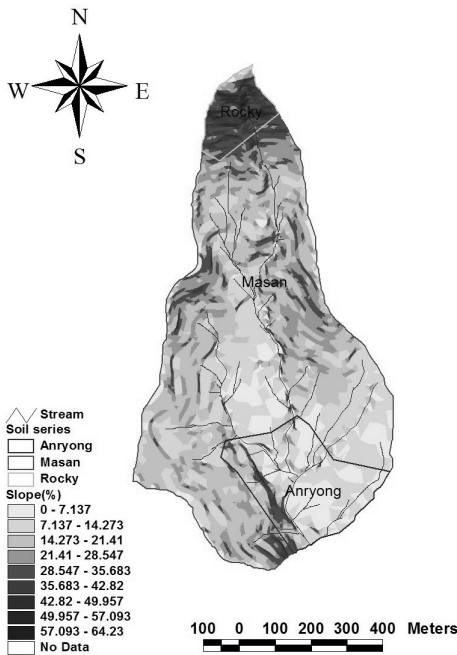


그림 4. 소유역의 사면 경사도

표 5. 지형인자(LS) 추정 결과

토양통	면적 km ²	사면길이 (km)	경사도 (%)	m (경사에 따라 변하는 지수)	LS
마산	0.463	0.153	7.944	0.5	2.209
안룡	0.091	0.128	6.697	0.5	1.599

이 Wischmeier의 도표법 및 Erickson 방법과 매우 근사한 결과를 나타내었다.

3.3 지형인자(LS) 산정

USLE에는 두 가지 지형인자가 고려되며 하나는 배수 구역의 길이(L)이고, 다른 하나는 배수 구역의 경사(S)로 Wischmeier와 Smith(1978)은 LS라는 하나의 인자로 추정할 수 있는 무차원 공식을 제안하였다. 지형인자(LS) 산정을 위해 그림 4와 같이 대상구역의 경사도를 작성하여 매개변수 l, S 및 m을 각 토양통 별로 추정하였다. 지형인자(LS)를 산정한 결과 표 5와 같이 마산 토양통은 2.209, 안룡 토양통은 1.599로 산정되었다.

3.4 식생피복인자와 경작인자

식생피복인자(P)는 등고선 경작(contouring), 띠 경작(strip-cropping), 테라스경작(terracing) 등 토양 보전을 위한 대책의 효율성을 나타내는 무차원값으로, Wischmeier와 Smith(1965)는 사면경사별 각종 침식조절 대책에 따른 적절한 P값을 제시하였고, Morgan(1994)은 USLE 모형에 사용되는 토양보전대책 인자 값을 산정하였다.

작물관리 인자(C)는 전작, 경작법, 작물 잔류물 처리, 생산성 수준, 그 밖에 특별한 작물 재배법 등 작물의 재배와 수확을 위한 실제 농경지 관리특성을 나타내는 무차원 값으로, Haan(1994)은 건설현장, 광산지역, 산림지역에 대한 C값을 작성한바 있다. 본 연구의 대상구역은 유역 대부분이 산림과 밭으로 이용되고 있는 것으로 분석됨에 따라 Morgan(1994) 및 Haan(1994)이 제안한 방법을 사용하여 P와 C를 각각 0.5 및 0.003으로 산정하였다.

3.5 유역의 생산 토사량 산정

강우침식도(R), 토양 침식성 인자(K), 지형인자(LS), 작물관리인자(C) 및 침식조절대책 인자(P)를 결정하여 대상구역에 대한 토사유실량을 토양통 별로 산정하여 표 6에 정리하였다. 이로부터 연간 유사발생량은 190.994 tons/year으로 산정되었으며, 퇴사용적으로 환산(72.073m³)하여 유역에서 발생한 토사가 연간 유사저류지 퇴사량을 결정하였다.

표 6. 분석대상 유역의 생산 토사량 산정 결과

토양통	유역면적 (ha)	R (J/ha·mm/hr)	K (tons/ha/R)	LS	C	P	토사 침식량 (tons/ha/year)	년간유사량 (tons/year)	퇴사용적 (m ³)
마산	46.310	4,000	0.24	2.209	0.003	0.5	3.180	147.286	55.579
안룡	9.112		0.50	1.599	0.003	0.5	4.797	43.708	16.494
계	55.422							190.994	72.073

4. 유사저류지 규모의 적정성 검토

4.1 유사저류지의 수면적 설계

유사저류지에서의 한 토립자가 율류하지 않고 유사저류지내에 침전되기 위한 최소 수면적은 유사저류지의 용량이나 수심과 관련이 없으며, 단순히 유사저류지내의 유량과 토립자의 침강속도에 의해 결정된다. 그러나 이와 같은 조건은 이상적인 유사저류지의 경우에 국한되며, 실제 유사저류지의 불안전성과 난류 등의 영향으로 인하여 침전효과는 감소하게 된다. 따라서 EPA(1978)에서는 이러한 점을 고려하여 이론적으로 산정된 소요수면적의 120%를 소요 수면적으로 설계할 것으로 권장하고 있으며, 다음 식 (2)와 같다.

$$A_{sb} = 1.2 Q_{sb} / V_s \tag{2}$$

여기서 A_{sb} 는 침사지의 소요 수면적(m²)이며, Q 는 유사저류지내 유입유량(m³/s)으로 일반적으로 침사지 설계시 10년 빈도 설계홍수량을 사용한다. V_s 는 토사 입자의 평균 침강 속도(m/s)이다.

유사저류지의 소요 수면적(A_{sb})을 결정하기 위해서는 우선 유사저류지내로 유입되는 특정입자의 침강속도를 산정하여야 하며, 본 연구에서는 그림 5와 같이 Yang (1996)이 제안한 입경 및 입자의 형상에 따른 침강속도

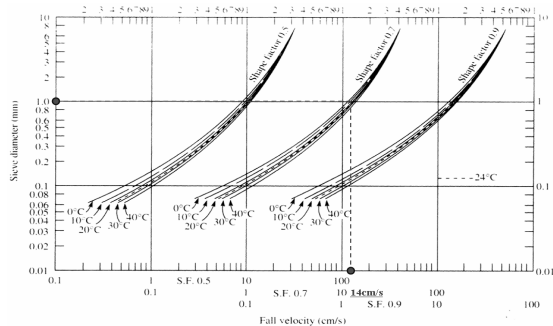


그림 5. 입경 및 입자의 형상에 따른 침강속도(Yang, 1996)

산정도표를 이용하여 추정하였다. 본 연구의 분석대상 유역에서 발생하는 생산 토사의 입경분포는 대부분 자갈 및 모래로 구성되어있으며, 따라서 유역내 발생하는 평균토사입경이 1.0mm인 것으로 하였다. 유사저류지로 유입하는 토사입경 1.0mm에 대한 침강속도는 그림 5에서 보는 바와 같이 14cm/sec로 추정되었으며, 10년 빈도 홍수량 9.552m³/sec에 대한 유사저류지의 소요 수면적은 67.214m²인 것으로 분석되었다.

4.2 유사저류지 규모의 타당성

유사저류지의 용적 및 규모(소요 수면적)의 적정성을 검토하기 위하여 설계퇴적량(침사지의 용적량)과 유역의 생산토사량을 비교·평가 하였다. 표 7과 같이 저류지의 설계 수면적은 침사지 소요 수면적보다 큰 것으로 분석되어 유사저류지에 대한 설계가 용적량 및 퇴사관리의 효율 측면에서 타당한 것으로 판단되며, 저류지내 퇴적된 토사를 홍수기 전·후로 하여 년 1회 제거하여 침사지의 기능을 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

4.3 유사저류지의 수리학적 안정성

유사저류지 설치에 따른 수리학적 안정성을 검토하기 위하여 유사저류지의 수리학적 영향구간의 지형단면을 측정하여, Hec-Ras모형을 이용한 수리학적 모의분석을 실시하였다. 유사저류지 구간내 좌·우측 제방고 및 퇴적에 따른 흐름 변화 분석을 위해, 그림 6 및 그림 7과 같이 퇴적된 토사를 제거한 경우와 연간 유역 생산토사량의 1/2 가량이 저류지내 퇴적되었을 경우(퇴적 깊이: 0.42m)로 구분하여 모의분석을 실시하였다.

분석결과 10년 빈도 설계홍수량(9.552m³/s)에 대해 유사저류지 설치 예정구간의 최대수심은 2.02m이고, 최대

표 7. 유사저류지 규모의 적정성 검토

년간 유역 생산 유사량 (tons/year)	용적량(m ³)		퇴사관리 규모(m ²)	
	설계 퇴적량	생산 토사량	설계 수면적	소유 수면적
190.994	85.0	72.073	85.0	67.214

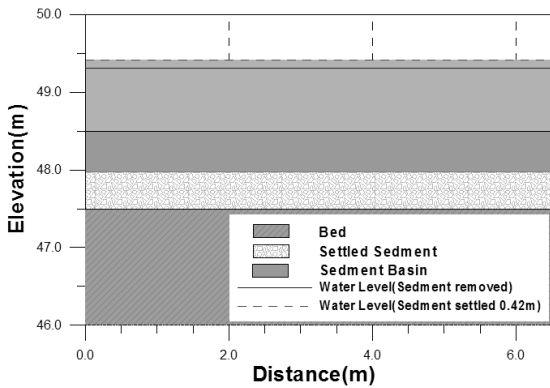


그림 6. 유사저류지 설치단면에서의 수위 변화

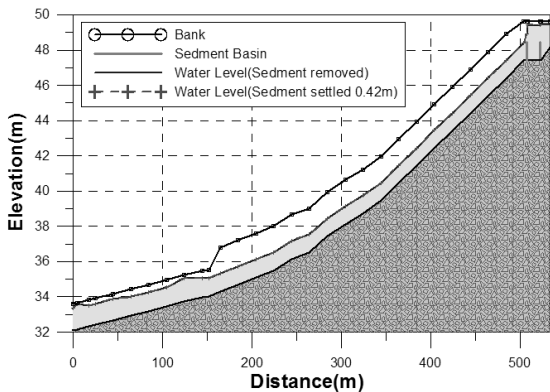


그림 7. 유사저류지 설치에 대한 1차원 수치모의 결과

유속은 하류보 직하류단면(No.26)에서 약 1m/s로 발생하였다. 또한 유사저류지내 토사의 퇴적(퇴적깊이: 0.42m)으로 인한 수위 상승은 0.03m로 나타났으며, 유속의 변화 양상도 극히 적은 것으로 분석 되었다. 이것은 유사저류지내의 퇴사에 의하여 미치는 수리학적 영향은 미미한 것을 의미하는 것으로 저류지 설치로 인한 수위상승으로 인해 제내지의 침수피해를 방지하기 위해서는 저류지 바닥면을 기준으로 하천설계기준·해설(2005)을 참고하여 최소 2.5m의 제방고로 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 유사저류지의 규모의 적정성을 검토하기 위하여 상대적으로 사용이 용이한 범용토양유실공식인 USLE을 활용하여 소유역의 토사유실량을 분석하고 저류지 용적규모와 비교·평가하여 설계된 유사저류지 규모의 적정성을 검토하였다. 강우 침식도(R)는 정상년 강

우의 침식능력을 말하는 것으로 유사저류지의 안정성을 감안하여 상대적으로 약간 크게 산정된 최근의 연구 결과인 등강우 침식도를 이용하여 분석대상 유역의 강우침식 인자 R 값을 산정하였다. 또한 토양 침식성 인자 K 는 강우에 의한 침식에 대해 토양이 저항하는 능력을 나타내는 척도로서, 유역의 토양통별 입경분포 및 토성을 구분하여 산정하였다. 산정된 K 값은 Wichmeier의 도표법 및 Erickson 방법과 매우 근사한 결과를 나타내었다. 지형인자(LS) 산정을 위해 유역의 경사도를 작성하여 매개변수 l , S 및 m 을 각 토양통 별로 추정된 결과 마산 및 안룡 토양통은 각각 2.209 및 1.599로 산정되었다. 식생피복인자(P) 및 작물관리 인자(C)는 토양 보전을 위한 대책의 효율성 및 실제 농경지 관리특성을 나타내는 무차원값으로, Morgan(1994) 및 Haan(1994)이 제안한 방법을 사용하여 P 와 C 를 각각 0.5 및 0.003으로 산정하였다. 이를 토대로 유역의 생산 토사량 산정 결과 대상유역의 토사유실량 및 설계퇴적량은 각각 72.1m³ 및 85.0m³인 것으로 분석되어 설계된 유사저류지의 규모가 적절한 것으로 분석되었다. 또한 유사저류지의 수리학적 안정성을 평가하기 위하여 Hec-Ras모형을 이용하여 모의 분석한 결과 유사저류지내 토사의 퇴적(퇴적깊이: 0.42m)으로 인한 수위 상승은 0.03m로 극히 미미하였다. 따라서 유사저류지 설치로 인한 수위상승으로 인해 제내지의 침수피해를 방지하기 위해서는 저류지 바닥면을 기준으로 최소 2.5m의 제방고로 안정성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국립방재연구소, 1998, 개발에 따른 토사유출량 산정에 관한 연구(I).
2. 김주훈, 김경탁, 연구방, 2003, "GIS를 이용한 토양침식 위험지역 분석", *한국지리정보학회지*, 한국지리정보학회, 제6권 제2호, pp. 22-32.
3. 김주훈, 오덕근, 2004, "빈도별 R인자에 의한 토양침식 위험지역 분석", *한국지리정보학회지*, 한국지리정보학회, 제7권 제2호, pp. 47-56.
4. 박경훈, 2003, "GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식 위험도 평가", *한국지리정보학회지*, 한국지리정보학회, 제6권 제4호, pp. 24-36.
5. 박정환, 우효섭, 편종근, 김광일, 2000, "토양유실공식의 강우침식도 분포에 관한 연구", *한국수자원학회논문집*, 한국수자원학회, 제33권, 제5호, pp.603-610.
6. 이근상, 장영률, 조기성, 2003, "토양침식량 산정에서 토양도 축적에 따른 적정 행상도 분석에 관한 연구", *한국지리정보학회지*, 한국지리정보학회, 제6권, 제3호, pp. 1-10.
7. 이근상, 2006, "GIS 공간분석을 이용한 안동·임하호 유역의 토

- 사유실 비교 평가”, *대한토목학회 논문집*, 대한토목학회, 제26권, 제2호, pp. 341-347.
8. 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅, 1983, “토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석”, *한국토양비료학회지*, 한국토양비료학회, 제16권 제2호, pp. 112-118.
 9. 한국수자원학회, 2005, *하천설계기준·해설*, pp. 333-335.
 10. Erickson, A. J., 1997, Aids for estimating soil erodibility – K value class and soil loss tolerance, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Salt Lake City of Utah.
 11. Haan, C. T., Barfield, B. J., and Hayes, J. C., 1994, “Design Hydrology and Sedimentology for Small catchment”, *Academic Press*.
 12. 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. 286-299.
 13. Renard, K. G., Fostr, G. R., Weesies, G. A., and Porter, J. P., 1991, “RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation”, *J. of Soil and Water Conservation*, Vol. 46, No. 1, pp. 30-33.
 14. Wishmeier, W. H. and Smith, D. D., 1965, Predicting Rainfall-Erosion from Cropland East of Rocky Mountains-Guide for Selection of Practices Soil and Water Conservation, *Agricultural Handbook* no. 282.
 15. Wishmeier, W. H., Johnson, C. B., and Cross, B. V., 1971, “A Soil Erodibility Nomograph for Farmland and Construction Sites”, *Journal of Soil and Water Conservation*, Vol. 26, No. 5, pp. 189-193.
 16. Wishmeier, W. H. and Smith, D. D., 1978, Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning, *US Department of Agriculture Handbook*, no. 537.
 17. Yang, C. T., 1996, *Sediment Transport : Theory and Practice*, McGraw Hill.