

소양강댐 고탁수 발생 원인 분석 (태풍 에위니아 강우사상과 고랭지밭 특성을 중심으로)



이근상 |
한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원
ilovegod@kwater.or.kr



염경택 |
한국수자원공사 수자원관리처 처장
yumkt@kwater.or.kr



박언상 |
한국수자원공사 수자원관리처 부장
eonsang@kwater.or.kr



송상진 |
한국수자원공사 수자원관리처 차장
sjsong@kwater.or.kr

1. 들어가며

전통적 농업은 자연생태계의 순환순리에 따라 자연과 조화를 이루어온 환경친화적 농업이었지만, 90년대에 접어들면서 농업생산성 증대를 위한 토지이용 변화에 따른 토사유실, 하천생태계의 파괴, 호소의 부영양화 그리고 산지훼손 등의 역기능을 초래하고 있다. 특히 고랭지농업은 지형 및 기후적 요인 그리고 영농인자 등으로 인하여 하천 수환경에 심각한 영

향을 주고 있다. 고랭지는 백두대간을 중심으로 분포하고 있어 경사가 심하고, 특히 대관령지역의 경우 지난 5년간 평균강수량이 2,125mm 중 여름철 강우 집중률이 약 60%로 나타났다. 이 시기는 고랭지 작물이 성장하지 않기 때문에 지표피복이 불량하여 강우시 다량의 토사와 오염물질이 하천으로 유입되어 탁수 및 수질오염을 가중시키게 된다(박한규, 2006).

소양호유역은 2006년 태풍 에위니아의 집중적인 강우로 인해 다량의 토사가 하천으로 유입되어 고탁수 방류가 장기화되는 문제를 야기했다. 소양호 저수지는 2005년까지 30NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 이상의 방류가 년중 1~2개월 정도였고 최고탁도도 79NTU 정도였으나, 2006년에는 최고탁도 328NTU를 기록한 바 있으며 현재는 효과적인 댐운영을 통해 15NTU 이하의 탁도를 유지하고 있다(한국수자원공사, 2007).

소양호유역은 여름철 집중호우로 해발 400m 이상의 고랭지채소밭에서 발생하는 토사유실이 고탁수 발생의 주요 원인이 되고 있다. 특히 소양호유역의 고랭지밭은 지력증진을 위해 약 18cm 이상의 높이로 실시하고 있는 객토로 인해 강우시 많은 양분과 토사가 하천으로 유출되어 국가적으로도 많은 손실을 보고 있다(박철수 등, 2004). 따라서 다른 유역에 비해 농경지의 식생피복에 의한 토사유실 발생 가능성이 클 것으로 판단되며 이를 효과적으로 분석하는 연구가 필요하다.

토사유실 평가는 지형 및 식생피복 형태에 따라 다양하게 나타나며, 특히 소양호유역은 고랭지밭의 객토시행으로 일반밭에 비해 토사유실 발생이 클 것으로 예상된다. 본 고에서는 태풍 에위니아로 인한 소양강댐 고탁수발생의 원인을 강우특성과 고랭지밭 측

면에서 접근하였다. 태풍 에위니아로 인한 강우특성이 토사유실에 미치는 영향 정도를 평가하기 위해 댐 설계 기준인 48시간 지속 200년 빈도 강우사상과 상호 비교하여 토사유실량을 평가하였다. 또한 토지피복증 발지역에 대한 고랭지 특성을 고려하기 위해 발지역을 일반밭으로 간주하여 적용하였던 기존방법을 비롯하여 다양한 영농형태를 고려한 토사유실량을 평가하여 상호 비교하였다. 이를 위해 먼저, 고랭지밭 기준인 해발 400m 이상의 발지역을 DEM 자료로부터 추출하여 고랭지밭의 면적 분포특성을 분석하였으며, 이를 30개 소유역별로 분석하여 탁수발생 주요하천과 고랭지밭 면적과의 상관성을 검토하였다. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 인자중 고랭지밭의 특성을 반영하는 식생피복인자 기준은 박철수 등(2005)과 이계준 등(2002)의 연구 자료를 이용하여 계산하였으며, 일반밭과 고랭지밭의 식생피복인자 기준을 이용하여 토사유실량을 분석함으로써 소양호유역의 고랭지밭 특성을 고려한 토사유실 영향을 평가하였다.

소양호유역은 30개의 하천으로 구성되어 있으며, 유역면적은 약 2,695km²이고 강원도 인제군, 고성군, 양구군, 홍천군, 춘천시에 걸쳐 있다. 그림 1은 소양호 유역도로서 지방 2급 하천을 기준으로 총 30개의 세부유역을 유역추출 알고리즘을 이용하여 구축하였다.

2. 소양호유역 고랭지밭 현황분석

2.1 고랭지 농업과 객토현황

고랭지농업은 여름철에 기온이 낮고 강수량이 많으며 일조시간이 짧은 기후를 이용하여 호냉성 채소, 감자, 화훼류, 약초류 등을 재배하는 것으로서, 고랭지는 크게 해발 400~600m의 준고랭지와 600m 이상의 완전고랭지로 분류할 수 있다. 기후는 무상기간(無霜其間)이 짧고 7~8월의 평균기온이 20도 내외이며 낮과 밤의 기온차가 비교적 크고, 7월부터 9월까지 연평균 강수량의 60~70%가 집중되고 있다(신영규, 2004).

한국농촌경제연구원(2005a)에 따르면 우리나라의 고랭지 논과 밭의 경지면적은 73,971ha이며, 이중 강원도는 36,941ha로서 전국고랭지 면적의 50%를 차지하고 있다. 이중 강원도의 고랭지밭은 전국 고랭지밭 면적의 63%에 해당하는 32,317ha로서 수계별 분포에서는 한강수계 94.3%, 동해안수계 4.4% 그리고 낙동강수계가 1.2%로서 한강수계가 매우 높은 비율을 점유하고 있는 것으로 나타났다. 표 1은 우리나라 고랭지 경작지의 면적분포를 나타낸 것이다.

소양호유역의 고랭지밭 특성중의 하나는 과다한 객토를 시행하고 있다는 것이다. 일반적으로 논과 밭

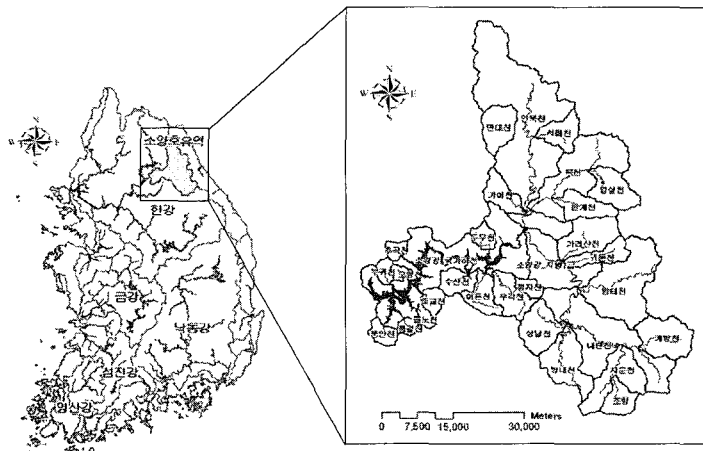
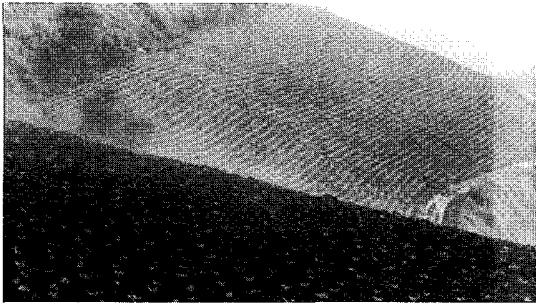


그림 1. 연구대상지역 (소양호유역)



(a) 강원도 고령지발



(b) 객토 현장

그림 2. 고령지발과 객토현장

표 1. 우리나라 고령지 경작지 면적분포

구 분	계(ha)	준고령지(400~600m)			완전고령지(600m 이상)		
		계	논	밭	계	논	밭
전 국	73,791	54,755	20,827	33,928	19,216	2,152	17,044
강 원	36,949	20,648	3,678	16,970	16,301	954	15,347
경 북	8,797	8,480	2,897	5,583	317	77	240
경 남	8,995	7,597	4,408	3,189	1,398	636	762
전 북	15,228	14,534	9,351	5,183	694	598	396
기 타	4,002	3,496	493	3,003	506	187	299

에서 행해지는 객토는 작토층의 토양개량에 목적이 있지만, 소양호유역 고령지발의 객토는 원토양 위에 화강암풍화토를 쌓아 평탄작업을 한 후 화강암풍화토 위에서 경작을 하는 형태이다. 화강암풍화토의 용적 밀도는 약 1.3g/cm³로서 원지반보다 매우 낮으므로 객토층과 원지반층과의 밀도차에 의해 강우발생시 다량의 토사가 하천으로 유입되는 문제를 가져온다(박한규, 2006). 또한 화강암풍화토를 객토로 사용함에 따라 잔자갈의 함량이 높아지고 있어 모래와 자갈은 토양의 양이온 교환용량을 감소시키는 결과를 초래할 뿐만 아니라 보비력과 보수력이 적게 되어 강우시 유거수와 함께 다량의 토사가 하천으로 이동하게 된다(박철수 등, 2005). 강원도지역의 객토높이는 양구군 30cm, 태백시 26.3cm, 평창군 20cm로 평균 18.8%로 보고되고 있으며 객토주기는 3년이 40.5%, 2년이 28.7%, 1년이 4.8% 그리고 무객토가 26%로 조사되었다(박한규, 2006).

고령지발의 토사유실로 인한 환경적 역기능은 크게 세가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 유실된 다량

의 토양이 하천으로 유입되어 하천생태계에 악영향을 미치게 되어 하천의 부착조류, 저서생물 및 어류의 현존량과 종수가 현저히 줄어들게 된다. 두 번째는 토사유실로 작토층의 훼손 즉, 토양자원이 손실되고 산지의 훼손이 심각하게 된다. 소양호유역의 고령지발은 다량의 객토를 시행하고 있으며, 몇 년 동안 객토용 토사 채토장이었던 산은 평지가 되었고, 객토한 토양의 상당량은 하천으로 유출되는 등 산지훼손 및 하천생태계 파괴의 주요 원인으로 지적되고 있다. 세 번째는 농경지에 투입되는 비료성분이 하천으로 유입되어 수환경에 영향을 주고 있다. 농경지에 투입되는 인산 성분의 10~20%(한국토양비료학회, 2005), 질소성분의 약 46%(한국농촌경제연구원, 2005b) 정도만이 작물생산에 이용되고 나머지는 토양에 축적되거나 하천으로 유출된다.

2.2 소양호유역 고령지발 면적분석

강원도 지역의 고령지발 분포면적은 개략적으로

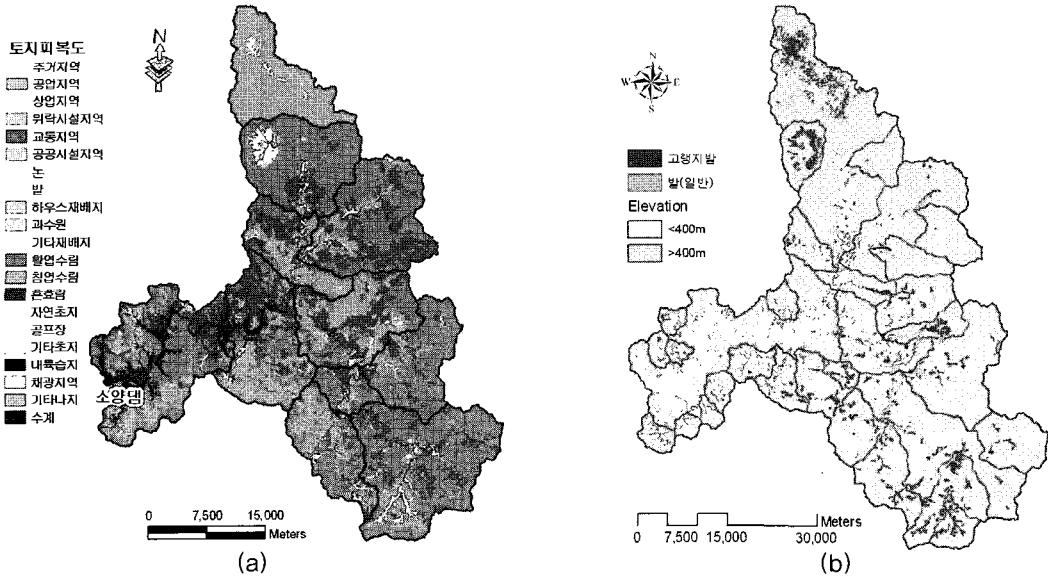


그림 3. 토지피복도(a)와 고랭지밭 위치도(b)

표 2. 소양호유역 토지피복 분석결과

토지피복(대분류)				토지피복(중분류)			
분류항목	코드	면적(km ²)	점유비율(%)	분류항목	코드	면적(km ²)	점유비율(%)
시기화 건조지역	10	26,425	0,980	주거지역	11	9,619	0,357
				공업지역	12	0,227	0,008
				상업지역	13	0,483	0,018
				위락시설지역	14	0,107	0,004
				교통지역	15	10,188	0,378
				공공시설지역	16	5,801	0,215
농업지역	20	150,834	5,597	논	21	67,988	2,525
				일반밭	22	33,091	1,228
				고랭지밭	100	48,950	1,816
				하우스재배지	23	0,235	0,009
				과수원	24	0,196	0,007
				기타재배지	25	0,374	0,014
산림지역	30	2,421,197	89,840	활엽수림	31	1,070,028	39,821
				침엽수림	32	790,126	29,349
				혼효림	33	561,043	20,877
초지	40	15,519	0,575	자연초지	41	2,740	0,102
				골프장	42	0	0,000
				기타초지	43	12,779	0,475
습지	50	10,623	0,395	내륙습지	51	10,623	0,395
나지	60	11,996	0,445	채광지역	61	0,065	0,002
				기타나지	62	11,931	0,443
수역	70	58,345	2,164	수계	71	58,345	2,167
계							2,695km ² (100%)

제시되어 있지만, 소양호유역에 대한 고랭지밭 분포 면적 및 위치정보는 아직까지 발표된 사례가 없다. 환경부에서는 전국의 토지피복현황을 분석하기 위해 중분류체계의 토지피복도를 구축하였으나, 토지피복도상에서 일반밭과 고랭지밭을 별도로 구분하고 있지는 않다.

본 고에서는 고랭지밭의 면적분포 특성을 분석하기 위해 국토지리정보원의 1/5,000 수치지형도로부

표 3. 소유역별 밭 대비 고랭지밭 면적비율

소유역명	밭전체(ha)	고랭지밭(ha)	고랭지밭 비율(%)
인북천	1375	995	72
만대천	730	730	100
서화천	14	1	5
북천	424	63	15
영실천	35	2	6
가아천	102	50	49
한계천	89	18	20
소양강_국가하천	460	16	4
가리산천	207	169	82
두무천	59	0	0
소양강_지방1급	566	132	23
방태천	354	192	54
귀둔천	428	321	75
추곡천	121	8	7
부귀천	43	10	24
오향천	109	0	0
수산천	99	19	19
어론천	299	94	32
우각천	212	171	80
정자천	131	131	100
내린천	587	304	52
조교천	43	3	8
상남천	189	165	87
물노천	37	0	0
계방천	101	101	100
품안천	132	4	3
품걸천	35	0	0
방내천	316	290	92
자운천	614	614	100
조향천	293	293	100
합계	8204	4895	60

터 구축한 10m 해상도의 DEM 자료를 이용하였다. 그림 3(a)는 환경부에서 구축한 소양호유역의 토지피복도이며, 그림 3(b)는 DEM과 토지피복도를 이용하여 본 고에서 분석한 일반밭과 고랭지밭의 위치를 표시한 것이다. 표 2의 토지피복 분석결과와 같이 일반밭과 고랭지밭의 면적은 각각 33,091km²와 48,950km²로서 전체밭 대비 고랭지밭의 비율은 60%로 매우 높게 나타났다.

소유역별 고랭지밭의 면적비율은 GIS 격자분석을 실시하여 표 3과 같이 계산하였으며, 분석결과 만대천, 정자천, 계방천, 방내천, 자운천, 조향천유역의 밭은 100%가 고랭지밭으로 분류되었다. 특히 만대천, 자운천, 조향천유역은 소양호 탁수발생의 주요원인으로 지적되고 있는 지역으로서(한국수자원공사, 2007), 고랭지밭의 면적비율이 탁수발생에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

3. 강우와 고랭지밭 특성을 고려한 토사유실 영향분석

3.1 토사유실 평가모델

소양호유역의 토사유실 평가를 위해 선정된 RUSLE 모델은 기존의 농업지역에 이용되었던 USLE (Universal Soil Loss Equation) 모델을 유역에 적용하기 위해 개발되었다. RUSLE 모델은 강우침식인자(R), 토양침식인자(K), 지형인자(LS), 식생피복인자(C), 경작인자(P) 그리고 토사유실량(A)으로 구성되어 있다.

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

먼저, 강우침식인자는 관측소별 분단위 강우량 자료로부터 계산한 강우에너지의 합과 30분 최대강우강도값을 이용하여 계산되어진다(정필균 등 1983).

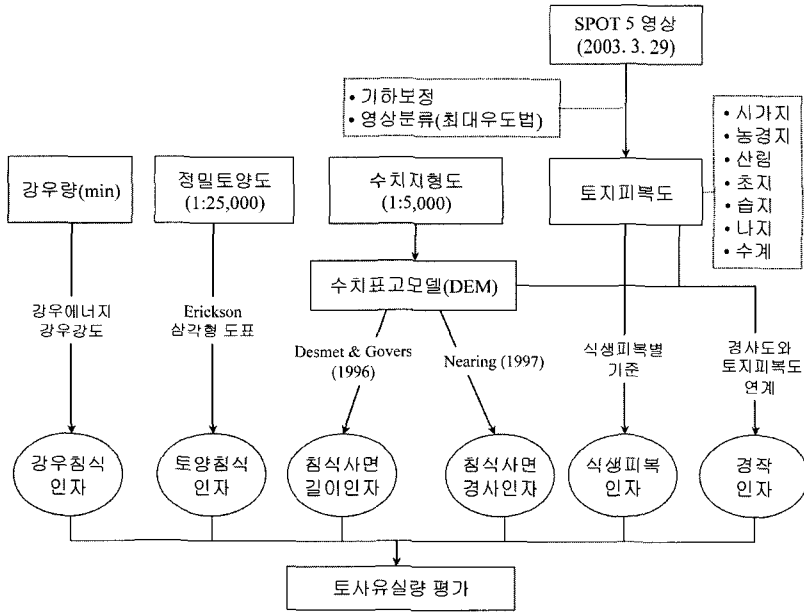


그림 4. 토사유실 평가 프로세스

$$E = 210 + 89 \log_{10} X, R = \frac{(\sum E) I_{30} \max}{100} \quad (2)$$

여기서 X는 강우강도(cm/hr), E는 운동에너지 (m · t/ha/cm)이며 I₃₀max은 30분 지속 최대 강우 강도(cm/hr)이다.

토양침식인자는 토사유실에 영향을 주는 토양의 고유한 특성을 설명하는 인자로서, 토양층의 미사, 모래함량, 토양구조, 유기물함량 및 투수성 등과 관련되어진다. 특히 토양침식인자는 토양의 표토 부분을 구성하는 토양의 입경분포에 가장 큰 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 농업과학기술원에서 구축한 1/25,000 정밀토양도를 이용하여 표토에 대한 입경분포특성을 효과적으로 반영할 수 있는 Erickson(1997)의 삼각형 도표에 적용하여 토양침식인자를 평가하였다.

지형인자를 계산하기 위해 1/5,000 수치지형도의 등고로부터 10m 해상도의 DEM 자료를 구축하였다. 침식사면의 길이인자는 Desmet과 Govers(1996)이 제시한 식 (3)을 이용하여 평가하였다.

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij-jn} + D^2)^{m+1} - A_{ij-jn}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{(\sin \theta / 0.0896)}{(2.96 \times \sin^{0.79} \theta + 0.56)}, m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

L_{ij}는 격자에 대한 침식사면의 길이인자이며 A_{ij-jn}는 격자에 유입되는 상류 기여면적이다. 또한 D는 격자 크기이고 m은 침식사면길이의 멱지수이고, θ는 경사이며, x_{ij}는 흐름방향에 직교하는 등고선 길이로서 (|sin q| + |cos q|)로서 표시가 가능하다. 그리고 q는 격자방향이다. 사면의 경사인자는 토양침식에 대한 경사의 영향을 나타내는 인자로서 Nearing(1997)이 제안한 식 (4)를 활용하여 분석하였다.

$$S = -1.5 + \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1 \sin \theta)} \quad (4)$$

지표를 구성하는 식생의 종류 및 성장상태는 강우 에너지를 차단하는 중요한 보호요소가 된다. 이러한 피복의 다양한 특성을 반영하기 위해 본 연구에서는 환경부에서 구축한 중분류체계의 토지피복도를

USGS 기준에 적용하여 토지피복인자를 적용하였다(박경훈, 2003). RUSLE 모델은 분석시기에 해당되는 식생의 성장상태까지를 고려해야 되나 본 연구에서는 자료수집의 어려움으로 인해 토지피복종류만을 고려하여 식생피복인자를 평가하였다. 경작인자는 경작형태와 지형경사에 의해 결정되는 인자로서, 일반적으로 밭은 등고선대상방식, 그리고 논은 테라스방식을 적용하였다(이근상, 2006).

3.2 태풍 에위니아에 의한 토사유실 영향분석

태풍 에위니아로 인한 토사유실 특성을 검토하기 위해 소양강댐 강우설계 기준인 48시간 지속 200년 빈도 강우사상을 비교 자료로 활용하였다. 200년 빈도 강우분포는 과거 강우사상을 기반으로 Huff의 4분위법을 이용하여 계산하였다. 그림 5는 48시간 지속 200년 빈도 강우분포를 나타낸 것으로서, 총강우량은 510mm이고 최대강우강도는 22.3mm/hr로 나타났다.

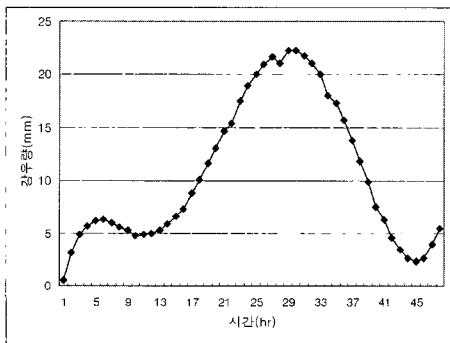


그림 5. 48시간 지속 200년 빈도 강우분포

200년 빈도 강우사상을 식 (2)에 적용한 결과, 소양호유역의 강우침식인자는 351 Joule로 계산되었다. 표 4는 10m 해상도로 분석한 소양호유역의 RUSLE 인자이며 그림 6은 48시간 지속 200년 빈도 강우사상을 이용하여 평가한 소양호유역의 토사유실량 분포도이다. 소양호유역 면적으로 환산한 200년 빈도의 토사유실량은 3,559,721 ton으로 나타났으며, 이중 발지역에 대한 토사유실량은 865,065 ton

표 4. RUSLE인자 분석결과

구분	최 소	최 대	평 균	표준편차
R	351,000	351,000	351,000	0,000
K	0,000	0,490	0,299	0,087
L	0,248	3,394	1,932	0,823
S	0,049	15,128	6,636	3,625
C	0,000	1,000	0,030	0,103
P	0,100	1,000	0,911	0,194

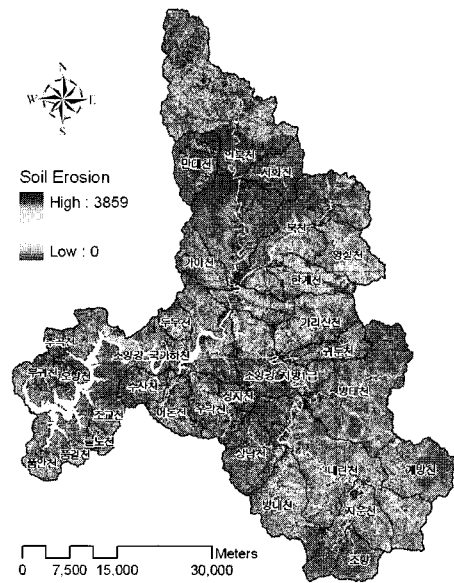


그림 6. 소양호유역 토사유실 분포 (200년 빈도)

표 5. 태풍 에위니아의 강우관측소별 강우침식인자

관측소	위 도	경 도	강우침식인자(R)
서화	38-15-25.8	128-12-44.7	350
용대	38-11-34.6	128-19-55.0	368
귀둔	38-00-30.6	128-24-02.3	884
창촌	37-45-57.0	128-22-55.2	469
상남	37-52-14.8	128-15-50.3	386
신평	37-57-52.2	128-04-40.4	661
추양	38-01-19.1	127-53-03.4	764
인제	38-02-01.8	128-08-48.6	558
방동	37-50-51.6	128-30-30.5	310
현리	37-56-34.9	128-20-18.0	883
군량	38-04-28.1	128-14-57.6	817
월통	38-08-18.5	128-15-36.0	382

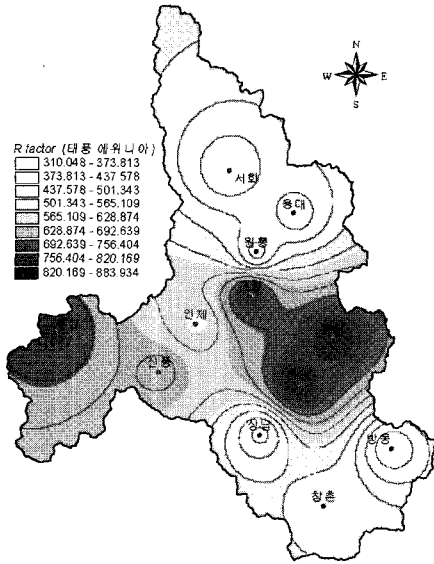


그림 7. 소양호유역 강우침식인자 분포(태풍 에위니아)으로 분석되었다.

태풍 에위니아('06.7.14~7.16)로 인한 강우특성을 평가하기 위해 소양호유역에 위치하고 있는 12개 강우관측소의 시강우량 자료를 분석한 결과, 추양관측소가 414mm로 가장 많은 강우량을 기록하였으며 최대강우강도는 현리관측소에서 시간당 76mm의 강우를 기록하였다. 관측소별 강우강도 자료를 식 (2)에 적용하여 표 5와 같은 강우침식인자를 계산하였으며, 관측소별 강우침식인자로부터 IDW (Inverse Distance Weight) 보간법을 이용하여 소양호유역의 강우침식인자를 그림 7과 같이 평가하였다.

태풍 에위니아와 200년 빈도 강우사상에 의한 소양호유역의 강우침식인자 분석결과는 표 6과 같다. 분석결과, 태풍 에위니아로 인한 강우침식인자는 573 Joule로서 200년 빈도의 351 Joule 보다 222 Joule이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 2006년 소양호의 고탁수 발생은 태풍 에위니아와 같은 댐설계

표 6. 강우사상별 강우침식인자와 토사유실량 분석 결과

강우사상	강우침식인자				토사유실량(ton)
	최 소	최 대	평 균	표준편차	
태풍 에위니아	310	883	573	126	5,716,264
200년 빈도	351	351	351	0	3,559,721

빈도를 초과하는 재해수준의 강우특성이 영향을 준 것으로 해석할 수 있다.

태풍 에위니아의 강우침식인자를 이용하여 평가한 토사유실량은 5,716,264 ton으로 200년 빈도의 3,559,721 ton보다 2,156,543 ton 만큼 크게 나타났다. 이러한 결과는 2006년 태풍 에위니아의 강우사상에 의한 토사유실발생 잠재성이 200년 빈도 강우에 비해 1.6배 더 높다는 것을 의미한다.

3.3. 고랭지밭 토사유실 영향 분석

일반밭과 비교하여 고랭지밭의 토사유실에 영향을 주는 인자는 식생피복인자로서, 박철수 등(2005)은 소양호유역에 위치하고 있는 강원도 홍천군 자운리의 토지이용자료를 분석하여 등고선, 상하경, 사경재배방식 등의 영농형태별 분포면적을 제시하였다. 또한 이계준 등(2002)은 경사지밭의 토양유실량 산정을 위한 적정모형 연구에서 강원도 고랭지밭의 영농형태별 식생피복인자를 제시하였다. 본 고에서는 박철수 등(2005)과 이계준 등(2002)의 자료를 기초로 영농형태별 면적분포를 고려한 식생피복인자를 계산하였으며, 200년 빈도 강우사상을 기준으로 토사유실량을 비교 평가하였다.

특히 표 7과 같이 영농형태별로 시나리오를 가정하여 밭지역에 대한 토사유실량 및 비율특성을 분석하였다. 고랭지밭 특성을 고려하지 않은 일반밭 형태의 시나리오 1과 현재의 영농형태인 조합방법을 적용한 시나리오 5의 토사유실 비교 결과, 현재의 영농형태를 고려한 시나리오 5의 토사유실량은 5,311,283 ton으로 시나리오 1에 비해 6.14배 높은 토사유실 특성을 나타내었다. 따라서 소양호유역은 고랭지밭이라는 토지이용 측면에서 다른 유역에 비해 고탁수 발생

표 7. 시나리오별 토사유실량 분석 결과

구 분	기 준	토사유실량	비 율
시나리오 1	발지역 전체를 일반밭으로 적용	865,065	1.00
시나리오 2	일반밭 + 고랭지(상하경 재배)	14,602,384	16.88
시나리오 3	일반밭 + 고랭지(사경 재배)	1,868,732	2.16
시나리오 4	일반밭 + 고랭지(등고선 재배)	1,920,193	2.22
시나리오 5	일반밭 + 고랭지(조합방법)	5,311,283	6.14

에 취약한 구조적인 문제점을 가지고 있음을 알 수 있었다. 특히 고랭지밭의 영농형태를 상하경으로 고려한 시나리오 2의 경우 시나리오 1에 비해 16.88배 높은 토사유실 특성을 보였으며, 현재의 영농형태를 사경이나 등고선 방식으로 개선할 경우 현재의 영농형태인 시나리오 5에 비해 토사유실을 약 2.7배 정도 감소시키는 것으로 모의되었다.

4. 마치며

본 고에서는 태풍 에위니아의 강우사상과 고랭지밭의 구조적인 특성을 고려하여 소양호유역의 토사유실량을 평가함으로써 2006년 태풍 에위니아로 인한 소양호 고탁수 발생 원인을 검토하였다.

먼저, 고랭지밭 기준인 400m 이상의 발지역을 DEM 자료와 토지피복도를 이용하여 분석한 결과, 소양호유역의 고랭지밭 면적비율은 발면적(82,041 km²)의 약 60%에 해당하는 48,950km²로 매우 높게 평가되었다. 특히 탁수발생의 주요하천으로 지적되고 있는 만대천, 자운천, 조항천유역의 경우 밭 전체가 고랭지밭으로 분류되어 탁수발생과 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

태풍 에위니아로 인한 토사유실 특성을 평가하기 위해 댐 설계 강우기준인 48시간 지속 200년 빈도의 강우사상과 비교한 결과, 태풍 에위니아의 강우침식 인자는 573 Joule로 200년 빈도의 351 Joule에 비해 222 Joule이 더 큰 것으로 계산되었으며, 토사유실 평가에서도 태풍 에위니아가 200년 빈도에 비해 약 1.6배 높은 결과를 보였다. 따라서, 2006년 소양

호 고탁수 발생은 댐 설계 빈도를 초과하는 태풍 에위니아의 강우특성이 큰 영향을 준 것으로 해석할 수 있다.

소양호 고랭지밭은 대규모로 시행하고 있는 객토 특성상 다른 유역에 비해 토사유실 및 탁수발생 가능성이 매우 높다. 발지역을 일반밭으로 고려한 기존의 방법을 비롯하여 다양한 영농형태를 고려한 고랭지밭의 토사유실을 시나리오별로 평가한 결과, 현재의 영농형태인 조합방법에 의한 토사유실량은 일반밭에 비해 약 6.14배로 높게 평가되었으며, 특히 상하경 재배로 가정한 고랭지밭의 토사유실은 일반밭에 비해 약 16.88배로 매우 높은 토사유실 특성을 보였다. 또한 현재의 영농형태를 등고선 및 사경재배로 변경할 경우 토사유실을 현재보다 약 2.7배 감소시킬 수 있는 것으로 모의되었다. 이와 같이 고랭지밭의 분포 특성 및 영농형태는 탁수 및 토사발생에 큰 영향을 주게 되며, 이러한 결과를 볼 때 소양호 유역은 고랭지밭의 객토특성상 다른 유역에 비해 토사 및 탁수발생 가능성이 높은 구조적인 문제를 안고 있음을 알 수 있었다.

2006년 태풍 에위니아로 인해 발생한 소양호 고탁수는 체계적인 댐운영 관리를 통해 현재 15NTU 이하의 탁도를 유지하고 있다. 그러나, 2006년 태풍 에위니아와 같이 200년 빈도를 초과하는 강우사상이 발생할 경우 소양호유역의 고탁수 문제는 언제든지 발생할 가능성이 있다. 특히 다른 유역과 비교하여 소양호유역은 고랭지밭 객토라는 탁수발생에 취약한 구조적인 특성을 가지고 있으므로 향후 이를 개선할 수 있는 대책 마련 및 제도개선이 필요하다. 소양호 흙탕물 문제의 심각성을 인식하고 '07년 3월 21일 소

양강댐 정부합동 탁수저감대책이 발표되었으며, 특히 고랭지밭에 대한 비점오염원 저감사업 및 경사도 15도 이상의 한계농지에 대한 산림복원 사업이 지속적으로 추진될 경우 소양호유역이 안고 있는 고랭지밭의 구조적인 문제가 점차적으로 개선될 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

- 박경훈 (2003) GIS 및 RUSLE 기법을 활용한 금호강 유역의 토양침식 위험도 평가, 한국지리정보학회지, 제6권 제4호, pp. 24-36.
- 박철수, 정영상, 주진호, 이정태. 2005. 고랭지 석비레 성토밭의 토양유실 저감을 위한 최적영농관리 방안. 한국토양비료학회지 38(3): 119-126.
- 박한규. 2006. 고랭지밭 농업으로 인한 환경피해와 관리대책. 강원대학교 대학원 석사학위논문.
- 신영규. 2004. 대관령 지역의 토지이용에 따른 수질 특성 및 오염원 유출부하량 비교. 서울대학교 박사학위 논문.
- 이계준, 박철수, 신관용, 안재훈, 이춘수, 이정태, 신영규, 정영상. 2003. 고랭지 경사지 밭의 토양유실량 산정을 위한 적정모형 연구. 고령지농업연구소 보고서
- 이근상 (2006) GIS 공간분석을 이용한 안동·임하호 유역의 토사유실 비교 평가, 대한토목학회논문집, 제26권 제2D호, pp. 341-347
- 정필균, 고문환, 임정남, 임기태, 최대웅 (1983) 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지, 제16권 제2호, pp. 112-118.
- 한국농촌경제연구원, 2005a. 고랭지 농업의 환경친화적 재편을 위한 기초연구.
- 한국농촌경제연구원, 2005b. 지역단위 양분총량제 도입 세부시행방안 연구.
- 한국수자원공사. 2007. 다목적댐(소양강댐 등) 탁수저감방안 수립 보고서.
- 한국토양비료학회, 2005. 토양과 비료 제21호.
- Desmet, P.J. and G. Govers (1996) A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units, Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 51, No. 5, pp. 427-433.
- 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.
- Nearing, M.A. (1997) A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss, Journal of Soil Science Society of America, Vol. 61, No. 3, pp. 917-919.
- Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and P.J. Porter (1991) RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation, Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 46, No. 1, pp. 30-33. 