위성영상 분류 기반 주암댐 유역 비점오염부하량 평가

이근상^{1*} · 김태근²

Estimation of Nonpoint Source Pollutant Loads of Juam-Dam Basin Based on the Classification of Satellite Imagery

Geun-Sang LEE^{1*} · Tae-Keun KIM²

1)

요 약

본 연구에서는 비점오염원 평가에서 기대평균농도 적용에 필요한 토지피복 클래스를 추출하기 위해 Landsat TM 영상의 근적외선밴드 자료를 이용하여 농경지를 논과 밭으로 분류하였다. 환경부의 대분류와 중분류 자료를 이용하여 영상에서 분류한 토지피복도의 정확도를 평가한 결과, 각각 83.96%와 78.41%로 높은 정확도를 확보할 수 있었다. 그리고 영상분류를 통해 추출한 토지피복도를 기초로 하여 유출곡선지수와 직접유출을 평가한 결과 동북댐과 동북천 유역이 높게 분석되었다. 또한 유역별 기대평균농도 분석에서는 BOD, TN, TP 모두 검백 수위표와 보성강 상류 유역이 높게 나타났으며, 직접유출과의 조합을 통한 비점오염원 분석에서도 검백 수위표와 보성강 상류 유역이 높게 분석되어 비점오염원 관리를 위한 중점 대상지역으로 선정되었다.

주요어 : 영상분류, 근적외선, 비점오염원, 직접유출

ABSTRACT

The agricultural area was classified into dry and paddy fields in this study using the near-infrared band of Landsat TM to extract land cover classes that need to the application of Expected Mean Concentration (EMC) in nonpoint source works. The accuracy of image classification of the land cover map from Landsat TM image showed 83.61% and 78.41% respectively by comparing with the large and middle scale land cover map of Ministry of Environment. As the result of Soil Conservation Service (SCS) Curve Number (CN) using the land cover map from image classification,

2012년 1월 5일 접수 Received on January 5, 2012 / 2012년 3월 2일 수정 Revised on March 2, 2012 / 2012년 3월 17일 심사완료 Accepted on March 17, 2012

1 전주비전대학 지적부동산과 Dept. of Cadastre and Real State, Vision University of Jeonju

2 청주대학교 환경공학과 Dept. of Environmental Engineering, Cheongju University

* Corresponding Author E-mail : gslee@jvision.ac.kr

Dongbok dam and Dongbok stream basin were analyzed high. Also Geymbaek water-gage and Bosunggang upstream basin showed high in the analysis of EMC of BOD, TN, TP by basin. And also Geymbaek water-gage and Bosunggang upstream basin showed high in the analysis of non-point source through coupling with direct runoff. Therefore these basins were selected with the main area for the management of nonpoint source.

KEYWORDS : *Image Classification, Near-Infrared, Nonpoint Source, Direct Runoff*

서 론

유역 및 하천의 수질관리를 위해 비점오염원 관리의 중요성이 증가하고 있으며, 다양한 비점오염물질 관리 없이는 목표수질 개선을 기대할 수 없다는 것이 선진국뿐만 아니라 국내 사례에서도 쉽게 살펴볼 수 있다(김이형과 이선하, 2005). 비점오염물질은 강우시 우수와 함께 유출되어 정량적인 실측이 쉽지 않고, 기상, 지질, 지형 및 토양 특성에 영향을 미치는 특징을 가지고 있다(최지용과 신창민, 2002). 이로 인해 다양하게 이용되는 토지로부터 강우시 유출되는 비점오염 형태의 오염물질은 현재 대부분 처리되지 않고 하천, 호소 및 연안 등 공공수계로 유입되고 있다. 더욱이 비점오염물질은 유역개발 및 이용에 따른 토지이용의 형태 및 토지피복의 상태에 따라 배출되는 물질 및 부하량에 차이가 매우 크기 때문에 비점오염원 관리를 위해 기본적으로 필요한 부하량 산정마저도 기술적으로 쉽지는 않은 상황이다(이범연 등, 2009). 수질오염총량관리 기술지침에서 비점오염부하량의 산정을 위해 유량과 수질을 연속 측정하여 수문곡선과 오염부하곡선을 도출하고 이로부터 부하량을 추정하도록 하되, 현실적으로 실측이 어려운 경우 각 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하원단위 및 강우 배출비율을 적용하여 토지계 부하량을 추정하는 원단위법을 사용하도록 규정하고 있다(국립환경과학원, 2008).

유역 비점오염원 평가 및 관리를 위해 GIS

및 위성영상을 활용한 연구들이 많이 접목되고 있다. 김철과 김석규(2002)는 GIS를 이용하여 주암호 유역의 오염부하량을 산정하였으며, 김만식과 정승권(2000)도 지리정보시스템을 이용한 유역의 토지이용별 비점오염부하량을 산정하는 연구를 시도하였다. 또한 함광준 등(2005)은 유역별 오염부하량 산정을 위한 GIS 시스템을 개발하였으며, GIS 기반 토사유실량 평가 및 부유사량 산정에 관한 연구도 활발히 추진되었다(이근상 등, 2007; 2009; 2010). 그리고 주진호 등(2007)은 토양침식 및 비점오염의 주요 발생지역인 고랭지 밭의 비점오염 물질 유출 특성을 조사하였으며, 이상익 등(2003)은 인공위성 영상자료를 이용하여 비점오염 분포지도 제작과 오염부하량을 산정하였다. 아울러 이범연 등(2010)은 원단위법에 의한 비점오염부하량 산정을 위해 고해상도 항공영상을 활용하였으며, 박재홍 등(2009)은 고해상도 영상자료를 이용하여 실제 토지이용과 지적공부상의 토지이용 불부합성 문제를 제기하였다.

이와 같이 비점오염부하량 산정에 위성영상 자료를 이용한 다양한 연구가 시도되었으며, 최근에는 보다 세밀한 토지피복 특성을 반영하기 위해 고해상도 영상자료까지 국부적으로 활용하고 있다. 그러나 넓은 유역에 대한 비점오염 평가를 위해서는 일반적으로 환경부에서 제작한 대분류 및 중분류 체계의 토지피복도를 활용하고 있다. 대분류 토지피복도의 경우 시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수계 등의 클래스로 구성되어 있어 비점오염평가지 가장 중요한 역할을 하는

논과 밭의 구분이 어려운 한계가 있다. 또한 중분류 토지피복도는 세분화된 농경지를 포함하여 약 23개의 클래스로 구성되어 있으나 지적도, 도로망도, 임상도 등을 기초로 수동독취 방식으로 구축되어 있어 현재 시점의 토지피복 특성을 반영한 개념으로 보기에는 어렵다. 특히 농경지의 경우 논과 밭의 실제 이용형태가 아니라 지적도의 지목상에 지정되어 있는 형태로 지정되어 있어 논과 밭의 경작에 따른 비점오염 특성을 반영하기 위해서는 분석하고자 하는 시점의 토지피복을 영상자료를 이용하여 분석하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 비점오염원 분석시 기대평균 농도(EMC; Expected Mean Concentration)에 가장 큰 영향을 주는 논과 밭이 구분된 GIS 자료구축이 필요하였으며, 논과 밭의 구분이 없는 환경부의 대분류 토지피복도의 한계를 극복하고자 Landsat TM 영상을 이용하여 논과 밭의 구분을 포함한 토지피복 분류를 시도하였다. 추출한 토지피복도는 환경부의 대분류와 중분류 자료와 간접적으로 비교하여 그 타당성을 평가하였으며, 이를 통해 직접유출을 반영한 유역내 비점오염 분석을 실시하였다.

이론적 고찰

물이 오염되는 것은 외부로부터 오염물질이 유입되기 때문이며, 오염물질이 배출되는 장소를 오염원이라 한다. 오염물질 배출원은 보통 점오염원(Point Source)과 비점오염원(Non Point Source)로 구분한다. 점오염원이 하수도 같은 특정한 배출경로를 가진 것과는 달리, 비점오염원은 도시노면 배수나 농경지 배수와 같이 불특정한 배출 경로를 통해 오염물질이 발생하는 지역을 의미하며, 비특정오염원, 면오염원, 이동오염원 또는 기타수질오염원이라고도 한다. 비점오염원은 주로 토지의 이용형태와 경작활동 및 경제활동과 크게 연관이 있으며, 하수처리율이 향상되고 경제활동이 늘어날수록 증가한다. 특히 강우를 통

해 유출된다는 특성을 지니므로 지형특성과 강우특성과도 관련이 깊다(Andrzej, 1996; Atsushi *et al.*, 1998; León *et al.*, 2001). 일반적으로 인구, 가축, 공장에 의한 오염은 점오염원으로, 토지이용행태에 따른 오염은 비점오염원으로 구분되는데, 같은 공간에서 오염물질이 배출되더라도 이것이 강우를 통해 유출되면 비점오염물질이라고 본다.(Beránková and Ungerman, 1996).

도시 지역내의 지표면 및 건축물 등에 퇴적된 먼지·쓰레기, 공업지역내의 퇴적물 등의 강우시 집중 유출되며, 개발로 인한 불투수층 확대는 강우유출량을 증가시키고 이는 지표에 쌓여있던 비점오염물질 배출을 늘려 수계오염을 가중시킨다. 또한 축산농가에서 발생하는 강우 유출수는 공공처리시설의 방류수 수질기준과 비교시 7~28배의 고농도로 발생되어 하천에 유입된다. 경사진 경작지의 토양침식 및 객토·경운된 농지의 토사유출, 농경지 배수, 농지내 부유물질 등도 비점오염물질의 유출을 증가시키며, 배수기능 위주로 설치된 콘크리트 배수로는 비점오염물질을 저감시키는 기능은 미흡하다.

그리고 산림관리용으로 건설된 임도, 절·성토 사면으로부터 강우시 빗물과 함께 토사가 유출되며, 벌목·간벌에 따른 목편 잔재물과 낙엽 등도 강우시 하천과 호소로 집중 유출되고 있다. 특히 산불발생지역은 재조림이 되기 전까지는 대규모 토양침식이 일어나 하천 및 생태계에 크게 영향을 미치게 된다(전북발전연구원, 2007; 이범연, 2010).

적용 및 결과분석

1. 연구대상지

본 연구대상지는 주암댐 유역으로서, 주암댐은 광주권 지역인 광주광역시, 나주시, 화순군 등의 급수난을 해소하고, 정부가 수립한 전국 균형개발계획에서 광주권 도시가 서남권 지역 개발의 경제, 사회, 문화, 교육의 중추기

능을 담당하게 됨에 따라 용수 수요의 급증에 대비하기 위하여 1992년 준공되었다. 1992년 목포시 가용수 공급 대상지역이 추가되어 총 시설 용량 48만 $\text{m}^3/\text{일}$, 관로 연장 117 km에 이르며, 1994년 7월부터 광주시에 용수공급을 개시로 1996년 1월 목포시, 1996년 4월 나주시와 화순군 일원에 수도물을 공급하고 있다. 주암댐 유역은 총 7개의 표준유역으로 구성되어 있으며, 유역면적은 약 1,010 km^2 , 저수면적은 33 km^2 그리고 총저수량은 457 백만 m^3 로 구성되어 있다(한국수자원공사, 2011). 그림 1은 주암댐을 구성하고 있는 7개의 표준유역을 나타내고 있다.

FIGURE 1. 주암댐 유역도

2. 영상분류를 통한 토지피복 분석

환경부에서 제공하고 있는 토지피복도는 크게 대분류, 중분류, 세분류로 구분되며, 일반

적으로 대분류와 중분류가 많이 활용되고 있다. 중분류는 IKONOS, SPOT 5, 수치지형도, 지적도, 임상도 등의 공간정보를 이용하여 약 23개 클래스의 상세 토지피복정보를 제공하고 있으나, 수작업에 의한 육안독취 방식을 채택하므로 많은 시간이 소요되는 단점이 있다. 반면 대분류는 Landsat 영상을 이용한 자동 분류 방식을 채택하여 시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수계 등의 정보를 제공하고 있으나 비점오염원평가에서 요구되는 논과 밭의 구분이 되어 있지 않은 단점이 있다. 유역내 비점오염원 평가에서 BOD, TN, TP의 기대평균농도에서는 논과 밭을 구분하고 있으며, 각 클래스별 기대평균농도는 현재 논과 밭의 형태로 농업이 시행되고 있다는 가정하에 지정된 것이다. 그러므로 고해상도 영상 및 지적도 등에 기초하여 수동 독취 방식으로 제작된 환경부의 중분류 토지피복도는 논과 밭의 구분이 있지만, 실제 농경지에 대한 경작이 이루어지는지에 관계없이 지적도상의 지목상에 명기된 토지이용을 기준으로 지정되어 있기 때문에 휴경지인 논과 밭의 경우 실제 토지피복 특성과는 상이한 오염발생량을 야기하는 문제가 있다. 따라서 특정 시기의 유역 비점오염원 평가를 위해서는 해당 시기의 위성영상을 이용한 토지피복 분류연구가 여전히 유효하다고 판단되며, 특히 논과 밭을 구분한 분류가 필수적이다.

본 연구에서는 논과 밭을 구분하기 위해, 근적외선(NIR; Near Infrared) 밴드가 수체(물)에 민감하게 반응한다는 점에 착안하였다(채효석 등, 2002). 그림 2는 4월부터 7월까지의 논둑의 모습이며, 지역적으로 편차는 있지만 일반적으로 4월 말경에 모내기를 위해 논에 물을 관개하고 5월 초에서 6월 초에 걸쳐 모내기를 실시하게 된다. 모내기 후에도 벼의 생육을 위해 7월 말까지 일반적으로 논에 물이 존재하게 되나 벼의 잎에 의해 근적외선 밴드를 통한 수체 정보를 취득하기는 다소 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 논에 물을 관개하기 전인 4월 중반 이전의 영상을 이용

하여 논과 밭을 통합한 농경지를 추출한 후, 5월 초에서 7월 초 위성영상을 입수하여 농경지 부분중 근적외선 밴드에 의한 수체영역을 추출하여 논으로 클래스를 할당하는 방식을 채택하였다.

FIGURE 2. 벼의 생육 과정

본 연구에서는 토지피복 분류를 위한 영상 선정 기준을, 주암댐 유역 영역인 115/35(Raw/Path)를 지나는 Landsat 5 TM 영상 중 최신의 영상이면서 구름에 의한 영향이 5% 미만인 것을 기준으로 4월 중반 이전과 5월 초에서 7월 초 사이의 영상이 연속적으로 나타나는 영상을 Landsat 영상구매 웹사이트(http://cs.rsgs.ac.cn/cs_en/query/query_map.asp)를 통해 조사한 결과, 그림 3과 같이 2009년 4월 7일과 2009년 6월 26일 영상을 선정하게 되었다.

각 영상에 대해 4/3/2 밴드를 각각 R/G/B로 지정하여 분석한 결과, 4월 7일 영상에서는 토지피복도와 비교해 볼 때 논과 밭 클래스가 유사한 분광특성을 나타내었으나, 6월 26일 영상에서는 논에 관개된 물의 영향으로 토지피복도 상의 논에 해당되는 영역이 수계보다는 못하지만 밭 클래스 영역에 비해 상당히 어두운 형상을 나타내었다. 영상분류를 위해 ROI(Region Of Interest)를 지정하였으며, 4월 7일 영상에서 논과 밭이 통합된 농경지에 대한 근적외선 밴드의 DN(Digital Number) 값의 최소, 최대, 평균, 표준편차는 각각 47.0, 255.0, 188.5, 52.5로 나타났다. 반면 6월 26일 영상에 대한 논 클래스의 근적외선 밴드 DN 값의 최소, 최대, 평균, 표준편차는 각각 49.0, 69.0, 55.6, 6.1로 4월 7

일 영상에 비해 평균값이 매우 낮게 나타났다. 이는 근적외선밴드에서 수체의 경우, 입사 복사속의 대부분이 흡수되기 때문에 어둡게 나타나는 특성이 반영된 것이다.

FIGURE 3. Landsat TM 영상

영상분류는 3/2/1 밴드를 이용하여 시가지, 산림, 농경지를 추출하였으며, 이 후 4/3/2 밴드를 이용하여 수계와 논을 추출한 후 GIS 공간분석을 통해 농경지로부터 논과 밭을 구분하였다. 그리고 밴드특성별 통계자료를 토대로 최소거리법에 의한 영상분류를 수행하여 그림 4와 같이 토지피복도를 구축하였다. 분류된 토지피복도의 정확도를 상대적으로 비교하기 위해 환경부의 대분류와 중분류 자료를 이용하였다. 먼저, 환경부 대분류 자료와의 비교를 위해 환경부의 7개 클래스를 수계, 시가화건조지역, 산림, 농경지로 통합하였으며, 영상분류한 토지피복도 역시 같은 클래스로 통합하여 표 1과 같이 상호 비교하였다. 분석 결과, 수계와 산림지역은 90.64%와 96.63%로 매우 높은

정확도를 보였으며, 시가화건조지역과 농경지는 75.44%와 73.13%로 비교적 양호한 정확도를 나타내었다. 전체 평균 정확도는 83.96%로 높은 정확도를 나타내었으며, 시가화건조지역의 경우 농경지로 오분류된 비율이 8.13%, 농경지의 경우 시가화건조지역으로 오분류된 비율이 17.39%로 나타났다. 이는 밭지역의 경우 시가화건조지역과 일부 분광특성이 중복되어 나타난 것으로 판단되며, 따라서 밭 지역이 농경지로 통합되는 과정에서 분류 결과에 영향을 준 것으로 해석된다.

FIGURE 4. 영상에 의한 토지피복도

환경부 중분류 자료와의 비교를 위해 23개 클래스를 수계, 시가화건조지역, 산림, 논, 밭으로 통합하였으며, 영상분류한 토지피복도 역시 같은 클래스로 통합하여 표 2와 같이 상호 비교하였다. 분석 결과, 산림은 94.55%로 매우 높은 정확도를 보였으나 시가화건조지역은 68.50%로 비교적 낮은 정확도를 나타내었다. 또한 수계, 논 그리고 밭은 각각 78.57%, 74.55% 그리고 75.89%로 비교적 양호한 결과를 얻을 수 있었으며, 전체적으로 78.41%의 정확도를 확보하였다. 그러나 본 연구에서 정확도 비교를 위해 채택한 토지피복도는 중분류 기준에서 재분류한 것으로서 현재의 토지피복 상태가 아닌 지형도, 지적도, 임상도 등의 자료를 토대로 육안판독에 의한 결과로서, 특히 농경지의 경우 지적도를 기반으로 하고 있기 때문에 현재의 경작상태를 고려하지 않고 법적으로 지정되어 있는 형태만을 반영하고 있다. 따라서 분석 당시의 논과 밭의 경작형태를 반영한 영상자료 분석결과와 직접적인 비교를 하는 것은 한계가 있다고 판단되며, 논과 밭에 대해 실제 경작상태를 조사한 자료가 있다면 그 정확도는 더 높아질 것으로 예상된다.

3. 직접유출 계산

댐유역의 비점오염원 분석을 위해서는 기본적으로 토양도, 토지피복도, DEM 자료 등을 활용한 유출량 계산이 필요하다. 본 연구에서는 농업과학기술원의 정밀토양도를 이용하였으며, DEM 자료는 수치지형도에서 추출한 10m 해상도의 자료를 이용하였다. 또한 토지

TABLE 1. 영상분류 정확도 비교 (환경부 대분류 기준)

		영상분류 자료 (단위 : %)				합계
		수계	시가화건조지역	산림	농경지	
환경부 자료	수계	90.64	3.35	2.83	3.18	100.00
	시가화건조지역	0.30	75.44	6.87	17.39	100.00
	산림	0.04	0.96	96.63	2.37	100.00
	농경지	0.70	8.13	18.04	73.13	100.00
	합계	91.68	87.88	124.37	96.07	

TABLE 2. 영상분류 정확도 비교 (환경부 중분류 기준)

		영상분류 자료 (단위 : %)					합계
		수계	시가화건조지역	산림	논	밭	
환경 부 자 료	수계	78.57	3.07	5.14	11.01	2.21	100.00
	시가화건조지역	0.25	68.50	10.11	15.03	6.09	100.00
	산림	0.35	1.02	94.55	2.95	1.13	100.00
	논	0.26	10.23	9.58	74.55	5.37	100.00
	밭	0.45	3.58	11.67	8.41	75.89	100.00
	합계	79.89	86.39	131.06	111.95	90.69	

피복도는 Landsat TM 영상에서 분류한 성과 물을 이용하여 직접유출 분석에 필요한 미국 토양국(U.S. Soil Conservation Service)의 CN(Curve Number)을 비롯하여 원단위별 기대평균농도(EMC)를 계산하는데 활용하였다.

하천유역의 수문 해석에 있어 유효강우량, 강우유출 등은 중요한 기초 자료이며, 강우유출 등급을 산정하기 위해 토양도와 토지피복도를 중첩함으로서 SCS CN을 속성으로 갖는 주제도를 구축하였다. SCS CN 방법을 이용해서 CN값을 구하기 위해서 고려되어야 할 사항으로는 토양의 종류이다. SCS 에서는 토양의 종류를 유출을 발생시킬 수 있는 능력에 따라 A, B, C, D의 4가지로 분류하였다(전북 발전연구원, 2007).

토양도는 농업과학기술원에서 제작된 정밀 토양도를 이용하였고 토양통별 특성을 분석하여 수문학적 토양군을 표 3과 같이 분석하였다. 비점오염원에 취약한 수문학적 토양군 D의 면적이 가장 넓은 유역을 분석한 결과, 동북댐과 동북천 유역이 각각 130.16km²와 114.56km²로 가장 높게 나타났으며, 해당 소유역별 D군의 점유비율이 가장 높은 유역도 동북댐과 동북천 유역으로서 각각 67.68%와 60.83%로 나타났다. 따라서 이러한 유역들은 토양 특성에 의한 유출 가능성이 높기 때문에 비점오염원 유발에 취약한 유역으로 분류할 수 있으며, 해당 유역의 면적도 넓을 경우 심각한 비점오염 유발지역으로 관리해야 될 것이다.

TABLE 3. 수문학적 토양군 분석결과

소유역명	구분	A	B	C	D	합 계
검백수위표	km ²	1.97	18.19	84.49	47.64	152.29
	%	1.29	11.94	55.49	31.28	100.00
동북댐	km ²	0.78	33.55	27.83	130.16	192.32
	%	0.41	17.44	14.47	67.68	100.00
동북천	km ²	1.39	33.40	38.96	114.56	188.31
	%	0.74	17.74	20.69	60.83	100.00
보성강상류	km ²	2.51	32.44	43.67	43.43	122.05
	%	2.06	26.58	35.78	35.58	100.00
송광천	km ²	3.43	56.10	10.99	7.00	77.52
	%	4.42	72.37	14.18	9.03	100.00
주암댐	km ²	1.67	49.10	6.68	42.39	99.84
	%	1.67	49.18	6.69	42.46	100.00
주암댐상류	km ²	11.16	99.59	64.68	21.77	197.2
	%	5.66	50.50	32.80	11.04	100.00
합 계	km ²	22.91	322.37	277.3	406.95	1029.53
	%	2.21	31.32	26.93	39.54	100.00

정밀토양도를 이용하여 계산한 수문학적 토양군의 결과(A, B, C, D)와 Landsat TM 영상으로부터 분류한 토지피복분류도를 이용하여 SCS CN을 계산하게 된다. 본 연구에서는 윤태훈(1999)이 제시한 표 4의 기준을 이용하여 SCS CN값을 산정하였다. SCS CN 분석결과, 동북댐과 동북천 유역이 각각 82.67와 81.96로 가장 높게 나타났으며 송광천이 71.53으로 가장 낮게 나타났다.

TABLE 4. 수문학적토양군과 토지피복도에 따른 유출곡선지수

토지피복도	수문학적 토양군			
	A	B	C	D
시가화건조지역	81	88	91	93
산림	45	66	77	83
농경지	63	75	83	87
수계	100	100	100	100

유출량은 유량을 시간에 따라 나타내는 수문곡선으로 표시할 수 있으며 유출량의 시간적 분포는 토지이용상태 뿐만 아니라 유역의 크기, 하천의 상태와 같은 유역의 모든 요소가 작용한 결과라고 할 수 있다. 유효강우량은 우량주상도로부터 손실량을 제거한 값으로 총강우량으로부터 유효강우량을 결정하는 방법의 하나인 SCS방법은 흙의 종류와 토지이용에 따라 달라지는 유출곡선지수(CN)를 사용하여 직접 유출량 자료가 없어도 직접유출량을 산정할 수 있어 널리 이용되고 있다.

유출곡선지수(CN)와 최대잠재보유수량(S)

의 관계는 다음 식 (1)과 같다.

$$CN = \frac{25,400}{S+254} \quad \text{혹은} \quad S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (1)$$

강우량(P)와 최대잠재보유수량(S)를 이용하여 다음 식 (2)에 적용하여 유출량을 계산하였다(윤태훈, 1999).

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad P>0.2S$$

$$Q = 0 \quad P<0.2S \quad (2)$$

주암댐 유역의 유출특성을 파악하기 위한 강우자료는 2000~2010년 동안의 주암댐의 평균 강우량 자료를 이용하였다(한국수자원공사, 2011). 직접유출 분석결과, 동북댐과 동북천 유역이 각각 1,353.08m³/yr 와 1,350.18 m³/yr 로 가장 높게 나타났다. 표 5는 표준유역별 SCS CN과 직접유출 결과를 보여주고 있다.

4. 오염부하량 계산

각 그리드 셀에 대한 오염부하량을 계산하기 위해서는 셀과 연관된 오염농도 값이 필요하다. 토지이용에 따라 적용되는 기대평균농도(EMC) 값은 공간적으로 평균오염농도를 부여하는 하나의 방법이다. SCS 방법에 의해 각 셀별로 산정된 유출량 그리드에 EMC값을 부여하고 단위 셀 면적을 고려하여 비점오염

TABLE 5. 표준유역별 SCS CN 및 직접유출 분석 결과

소유역명	SCS CN				직접유출			
	최 소	최 대	평 균	표준편차	최 소	최 대	평 균	표준편차
검백수위표	47.00	100.00	81.36	6.20	1,123.50	1,417.00	1334.76	47.76
동북댐	47.00	100.00	82.67	7.24	1,123.50	1,417.00	1324.36	44.77
동북천	47.00	100.00	81.96	7.07	1,123.50	1,417.00	1315.00	49.72
보성강상류	47.00	100.00	80.03	7.42	1,123.50	1,417.00	1327.95	48.79
송광천	47.00	100.00	71.53	8.38	1,123.50	1,417.00	1317.48	47.84
주암댐	47.00	100.00	78.61	11.77	1,123.50	1,417.00	1312.93	39.88
주암댐상류	47.00	100.00	75.03	9.32	1,123.50	1,417.00	1292.18	34.81

원 부하량을 산정하였다.

본 연구에서는 표 6과 같이 환경부(1995)의 비점오염원 조사를 통해 제시된 우리나라의 토지이용 특성을 고려한 기대평균농도(EMC) 값을 이용하여 표준유역별 기대평균농도 특성을 표 7과 같이 산정하였다.

TABLE 6. 토지이용별 EMC 값

구분	주거지	토지이용		임야	기타
		논	밭		
BOD (mg/L)	67.23	8.39	3.48	1.90	0.50
		5.94			
T-N (mg/L)	1.82	5.00	2.16	1.67	1.50
		3.58			
T-P (mg/L)	0.57	0.30	0.07	0.04	0.12
		0.19			

주암댐 유역의 기대평균농도를 분석한 결과, BOD는 검백수위표와 보성강상류 유역이 각각 8.99 mg/L 와 8.71 mg/L 로 높게 나타났으며, TN은 보성강상류와 검백수위표 유역이 각각 2.48 mg/L 과 2.37 mg/L 로 높게 나

타났다. 또한 TP는 검백수위표와 보성강상류 유역이 모두 0.14 mg/L 로 높게 나타났다.

BOD, TN, TP 기대평균농도에 직접유출을 고려하여 각 항목별 유출부하량을 표 8과 같이 계산하였다. 주암댐 유역의 BOD 유출부하량 분석결과, 검백수위표와 보성강상류 유역이 각각 1,232 ton/yr 와 1,189 ton/yr 로 높은 값을 나타냈으며, 주암댐 유역이 331 ton/yr 로 가장 낮은 값을 보였다. 단위면적당 BOD 유출부하량에서는 보성강상류와 검백수위표 유역이 각각 9.74 ton/km²/yr 와 8.09 ton/km²/yr 로 높게 나타났으며 동북댐과 동북천 유역이 각각 2.59 ton/km²/yr 와 2.7 ton/km²/yr 로 낮게 나타났다. 그리고 TN 유출부하량 분석결과, 검백수위표와 보성강상류 유역이 각각 319 ton/yr 와 332 ton/yr 로 높은 값을 나타냈으며, 주암댐 유역이 211 ton/yr 로 가장 낮은 값을 보였다. 단위면적당 TN 유출부하량에서는 보성강상류와 송광천 유역이 각각 2.72 ton/km²/yr 와 3.40 ton/km²/yr 로 높게 나타났으며 동북댐과 동북천 유역이 각각 1.31 ton/km²/yr 와 1.40 ton/km²/yr

FIGURE 5. BOD, TN, TP 기대평균농도 분포도

TABLE 7. 표준유역별 기대평균농도 분석결과

소유역명	BOD (mg/L)				TN (mg/L)				TP (mg/L)			
	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차
검백수위표	0.00	67.23	8.99	18.19	0.00	5.00	2.37	1.33	0.00	0.57	0.14	0.17
동북댐	0.00	67.23	3.67	9.42	0.00	5.00	1.86	0.89	0.00	0.57	0.07	0.10
동북천	0.00	67.23	3.77	9.17	0.00	5.00	1.96	0.97	0.00	0.57	0.07	0.10
보성강상류	0.00	67.23	8.71	17.47	0.00	5.00	2.48	1.40	0.00	0.57	0.14	0.17
송광천	0.00	67.23	4.34	10.56	0.00	5.00	2.02	1.05	0.00	0.57	0.08	0.11
주암댐	0.00	67.23	2.48	6.05	0.00	5.00	1.60	0.92	0.00	0.57	0.05	0.07
주암댐상류	0.00	67.23	5.19	12.25	0.00	5.00	2.11	1.21	0.00	0.57	0.10	0.13

로 낮게 나타났다. 또한 TP 유출부하량 분석 결과, 검백수위표와 보성강상류 유역이 각각 19.1 ton/yr 과 19.5 ton/yr 로 높은 값을 나타냈으며, 주암댐 유역이 약 6.7 ton/yr 로 가장 낮은 값을 보였다. 단위면적당 TP 유출 부하량에서는 보성강상류와 송광천 유역이 각각 0.160 ton/km²/yr 와 0.141 ton/km²/yr 로 높게 나타났으며 동북댐과 동북천 유역이 각각 0.048 ton/km²/yr와 0.053 ton/km²/yr 로 낮게 나타났다(그림 5).

BOD, TN, TP에 대한 유출부하량 결과, 보성강상류 유역과 검백수위표 유역이 크게 나타났으며, 이는 보성강상류와 검백수위표 유역의 논과 밭 비율이 다른 유역에 비해 상대적으로 높기 때문으로 판단되며, 또한 직접유출 계산에 활용되는 SCS CN도 부분적으로 영향을 준 것으로 사료된다. 따라서 보성강상류와 검백수위표 유역에 대해서는 탁수 및 비점오염 발생 우려가 높으므로 비점오염 저감을 위한 대책들이 마련되어야 할 것이다.

TABLE 8. 표준유역별 유출부하량 분석결과

소유역명	BOD (ton/year)	TN (ton/year)	TP (ton/year)
검백수위표	1,232	319	19.1
동북댐	499	251	9.2
동북천	512	263	9.9
보성강상류	1,189	332	19.5
송광천	579	263	10.9
주암댐	331	211	6.7
주암댐상류	698	277	12.7

결론

본 연구에서는 주암댐 유역을 대상으로 Landsat TM 영상자료를 기반으로 토지피복 분류를 통한 비점오염 부하량 산정을 실시하여 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 모내기 전후의 Landsat TM 영상을 기초로 근적외선 밴드 특성을 이용하여 논과 밭을 분류하는 기법을 제시하였으며, 환경부의 대분류 및 중분류 토지피복도와 비교한 결과 평균 83.96%와 78.41%의 높은 정확도를 확보할 수 있었다. 다만 환경부의 중분류 토지피복도와 비교한 정확도가 다소 낮은 것은 환경부 자료의 경우 논과 밭의 피복 클래스가 지적법상의 지목을 기준으로 구축되었기 때문으로 판단되며, 분석 당시의 경작현황을 조사한 자료와 비교시 정확도는 대분류 정확도와 같이 더 향상될 것으로 예상된다.

둘째, 영상분류를 통해 추출한 토지피복도를 기초로 하여 직접유출에 영향을 주는 유출 곡선지수(CN)를 분석한 결과 동북댐과 동북천 유역이 각각 82.67과 81.96으로 높게 나타났으며, 이로 인해 직접유출 분석 결과에서도 동북댐과 동북천 유역이 각각 1,353.08m³/yr 와 1,350.18 m³/yr 로 가장 높게 분석되어 비점오염원의 원단위 기준이 동일할 경우 강우로 인한 토사발생 및 비점오염 잠재성이 큰 지역으로 확인되었다.

셋째, 영상분류를 통해 구축한 토지피복 클래스에 대해 기대평균농도(EMC)를 계산한

결과, 검백수위표와 보성강상류 유역에서 BOD, TN, TP에 대한 기대평균농도가 높게 나타났다. 이를 통해 강우조건이 동일할 경우 BOD, TN, TP에 의한 표준유역별 취약성을 분석할 수 있었다.

넷째, 토지피복도 등의 GIS 자료를 기초로 직접유출과 기대평균농도 자료를 조합하여 비점오염원을 분석한 결과에서도 검백수위표와 보성강상류 유역이 BOD, TN, TP 유출부하량 모두 높게 분석되었다. 단위면적당 BOD 유출부하량은 보성강상류와 검백수위표 유역이 높게 나타났으며, 단위면적당 TN과 TP 유출부하량에서는 보성강상류와 송광천 유역이 높게 분석되었다. 이를 통해 표준유역별 혹은 단위면적당 BOD, TN, TP의 유출부하 취약성을 평가할 수 있었으며, 이는 비점오염원 관리를 위한 증점대상 유역을 선정하는데 기초자료로 유용하게 활용될 수 있으리라 판단된다. **KAGIS**

참고문헌

- 국립환경과학원. 2008. 수질오염총량관리 기술 지침.
- 김만식, 정승권. 2000. 지리정보시스템을 이용한 유역의 토지이용별 비점오염부하량 분석. 환경관리학회지 6(3):411-421.
- 김이형, 이선하. 2005. 주차장 및 고량지역의 강우유출수내 비점오염물질의 특성 및 동적 EMCs. 수질보전 환경물환경학회지 21(3): 248-255.
- 김철, 김석규. 2002. GIS를 이용한 주암호 유역의 오염부하량 산정 및 수질모의. 한국지리정보학회지 5(3):87-98.
- 박재홍, 이수웅, 박주현, 류덕희, 정동일, 최혜미, 전우송. 2009. 고해상도 영상자료를 이용한 실제토지이용에 따른 지목면적과 부하량 산정. 수질보전 한국물환경학회지 25(2): 193-204.
- 윤태훈. 1999. 응용수문학. 청문각.
- 이근상, 김유리, 예령, 이을래. 2009. GIS 기반 SWAT 모델을 이용한 동향·천천 유역의 부유사량 분석. 한국지리정보학회지 12(2):82-98.
- 이근상, 김정열, 안소라, 심정민. 2010. 기후변화에 따른 안동임하호 유역의 부유사량 분석. 한국지리정보학회지 13(1):1-15.
- 이근상, 이명진, 홍현정, 황의호. 2007. GIS를 이용한 사방댐의 토사유실 저감효과 분석. 한국지리정보학회지 10(1):158-168.
- 이범연, 이창희, 이수웅, 하도. 2009. 원단위법에 의한 비점오염부하량 산정시 토지피복 특성을 반영하는 고해상도 항공영상의 활용방안. 환경영향평가 18(5):281-291.
- 이범연, 이창희, 하도, 이수웅. 2010. 경안천 유역 지적공부에 나타난 특정지목의 토지이용 특성 세분화를 통한 비점오염 부하량 산정 개선방안. 수질보전 환경물환경학회지 26(4):598-607.
- 이상익, 이종수, 최윤수. 2003. 인공위성영상자료를 이용한 비점오염원 분포지도제작과 비점오염부하량 산정 결과분석. 대한토목학회 논문집 23(5D):719-726.
- 전북발전연구원. 2007. GIS를 활용한 오염총량 대비 전라북도 비점오염원 관리. 전발연 2007-R-09. 119쪽.
- 조재현, 연제철. 2000. GIS를 이용한 동해안 하천유역의 토양유실량과 오염부하량 평가. 대한환경공학회지 22(7):1331-1343.
- 주진호, 정영상, 양재의, 옥용식, 오상은, 유경렬, 양수찬. 2007. 낙동강 수계 고령지 발의 비점오염 물질 유출 특성 조사 및 단위 유출량 산정. 한국환경농학회지 26(3):233-238.
- 채효석, 김광은, 김성준, 김영섭, 이규성, 조기성, 조명희. 2002. 환경원격탐사. 시그마프

- 레스. 401-431.
- 최지용, 신창민. 2002. 비점오염원 유출저감을 위한 우수 유출수 관리방안. 한국환경정책평가연구원.
- 한국수자원공사. 2011. 댐운영실무편람.
- 함광준, 김준현, 심재민. 2005. GIS를 이용한 유역별 오염부하량 산정시스템의 개발. 환경영향평가 14(3):97-107.
- Beránková, D. and J. Ungerman. 1996. Nonpoint sources of pollution in the Morava River basin. Water Science and Technology 33(4-5):127-135.
- Ichiki, A., T. Ohnishi and K. Yamada. 1998. Estimation of urban nonpoint source pollution in Lake Biwa basin. Water Science and Technology 38(10): 157-163.
- León, L.F., E.D. Soulis, N. Kouwen and G.J. Farquhar. 2001. Nonpoint source pollution: a distributed water quality modeling approach. Water Research 35(4):997-1007.
- Tonderski, A. 1996. Landuse-based nonpoint source pollution. A threat to water resources in developing countries. Water Science and Technology 33(4-5):53-61. KAGIS