

비점오염원 수문유출모형에 적용 가능한 위성영상의 토지피복 분류항목 설정

Categorizing the Landcover Classes of the Satellite Imagery for the Management of the Nonpoint Source Pollutions

서동조
서울디지털대학교 컴퓨터공학부

Dong-Jo Seo(djseo@sdu.ac.kr)

요약

비점오염원의 유출량을 파악하기 위하여 대상지의 토지피복 현황을 잘 파악할 수 있는 위성영상자료를 사용하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 수문 유출모형에 사용되는 인자와 부합되는 토지피복 분류항목이 되지 못한 채 단순한 분류항목으로만 사용되거나, 육안 해석용으로만 적용되는 한계가 있다. 이 같은 상황에서 위성영상으로부터 수문유출 모형에 실질적으로 적용할 수 있는 토지피복 분류항목을 설정하여, 위성영상을 통한 효과적인 비점오염원 관리가 이루어질 수 있도록 하였다. 수문유출 모형에서 사용하고 있는 토지피복 항목을 파악하기 위하여 비점오염원 유출모델의 주요 인자, 선행연구에서 사용된 토지피복 항목, 그리고 국내외 각 기관에서 제시하고 있는 토지피복 분류체계에 대한 내용을 조사하였다. 이를 통해 비점오염원에 의한 원단위, 유출곡선지수의 토지피복 계수, 토양유실량 예측공식의 식생인자, Manning의 조도계수 등의 인자들이 위성영상으로부터 추출하여 적용할 수 있는 토지피복 정보를 파악할 수 있었다. 이러한 과정을 거쳐 위성영상으로부터 수문유출 모형에 적용할 수 있는 토지피복 분류항목을 설정하였다. 또한 이 결과가 우리나라의 환경에 적절한 것인지를 검증하기 위하여 국내 수문유출모형 관련 기관의 전문가로부터 토지피복 분류항목의 적정성에 대한 자문 과정을 거쳐 결정하였다. 연구대상지는 우리나라의 대표적인 습지로 비점오염원 관리체계가 필요한 우포늪의 토평천 유역을 대상으로 하였다. 토지피복 분류항목을 적용할 위성영상으로는 분광 해상도가 높은 Landsat ETM Plus 영상과 공간 해상도가 높은 SPOT-5 영상을 사용하였다.

■ 중심어 : | 비점오염원 | 수문유출모형 | 위성영상 | 토지피복 분류항목 |

Abstract

To measure the amount of nonpoint source pollution, some efforts are tried to utilize satellite imagery. But, as the factors for water models do not relate with the landcover categories for satellite imagery, satellite imagery are adapted to roughly classified thematic map or used only for the image interpretation. The purpose of this study is to establish the landcover categories of satellite imagery to relate with the water models. To establish the categories of the landcover for the water models, it was investigated to get main factors of water flow models for the nonpoint source pollution and to review the existing study and the classification system. For this result, it was convinced that the basic unit on the nonpoint source pollution, landcover coefficients of SCS Curve Number, the crop factor of Universal Soil Loss Equation, Manning's roughness coefficients are the useful parameters to extract information from the satellite imagery. After the setup the categories for the landcover classification, it was finally defined from the consultation of the water model specialist. Woopo wetland watershed was selected to the study area because it is a representative wetland in Korea and needs the management system for nonpoint source pollution. There were used Landsat ETM Plus and SPOT-5 satellite imagery to assess the result of the image classification.

■ keyword : | Nonpoint Source Pollution | Water Models | Satellite Imagery | Landcover Categories |

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

수질 오염원 중에서 점오염원은 배출지점이 명확하여 비교적 제어하기가 쉽고, 처리과정에서의 효율이 높다. 그러나 비점오염원은 배출지점이 불특정하여 제어가 어렵고 오염의 배출이 강우-유출현상에 크게 좌우되어 계량적인 관리대책 수립에 많은 어려움이 있다. 비점오염원은 토지이용과 관련하여 넓은 지역에 걸쳐 배출되기 때문에 배출원천을 파악하기 힘들며, 유역의 토양성질이나 토지이용의 형태에 따라 종류와 양이 달라져 발생량과 유출량의 파악이 쉽지 않기 때문이다. 비점오염원에 의한 오염물질량을 산정하는 방법으로는 토지이용별 비점오염원의 원단위를 산정하는 방법, 기존에 개발된 수문유출모형을 그대로 사용하거나 우리나라의 상황에 맞게 수정하여 사용하는 방법, 유역에서의 유량과 부하량의 실측치를 통계적 분석에 의하여 하나의 식으로서 나타내는 방법 등이 있다. 수문유출모형을 사용하는 방법은 다시 유역전체에 걸쳐 입력과 출력만을 다루는 총괄형 모형과 유역내부의 공간적인 분포 상황을 고려하는 분포형 모형으로 구분할 수 있다. 최근에는 분포형 모형에 지리정보시스템을 결합함으로써 비점오염원의 공간적인 분포와 오염원을 파악하고 관리하려는 노력이 계속되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 비점오염원 부하량 산정시 통계연보 상의 지목별 토지분류기준을 이용하고 있기 때문에 실제 상황과 차이가 발생할 수 있는 문제가 있다. 이때 부하량 산정은 행정구역 단위로만 가능하기 때문에 공간적인 분포를 파악할 수 없다. 또한, 수문 유출모형에 적용되는 토지피복 관련 인자는 다양하게 정의되어있지만 현실적으로 정확한 토지피복 정보를 사용할 수 없기 때문에 단순화하여 사용하고 있는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 대상지의 토지피복 현황을 잘 파악할 수 있는 위성영상자료를 사용하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 수문 유출모형에 사용되는 인자와 부합되는 토지피복 분류항목이 되지 못한 채 단순한 분류항목으로만 사용되거나, 육안 해석용으로만 적용되는 한계가 있다. 따라서 수문유출모형에 잘 활용될 수 있는 비

점오염원 정보 즉, 토지피복 상황을 효율적으로 파악할 수 있는 위성영상의 활용이 시급한 현실이고, 이를 위해서는 우선 비점오염원 유출모형에 적용할 수 있는 토지피복 분류항목의 설정이 필요하다.

이 같은 배경에서 위성영상으로부터 수문유출 모형에 실질적으로 적용할 수 있는 토지피복 분류항목을 설정하는 것이 연구의 목적이다. 이를 위하여 수문유출 모형에서 사용되고 있는 토지피복 관련 항목을 정리한 뒤, 위성영상으로부터 추출할 수 있는 토지피복의 항목을 제시하였다.

2. 연구의 과정 및 방법

위성영상으로부터 수문유출모형에 실질적으로 적용할 수 있는 토지피복 항목을 설정하기 위하여 비점오염원에 의한 오염물질량의 산정 방법에 관한 기존 연구 내용을 조사하였다. 선행연구의 조사는 비점오염원 유출모델의 주요 인자, 선행연구에서 사용된 토지피복 항목, 그리고 국내외 각 기관에서 제시하고 있는 토지피복 분류체계에 대한 내용을 대상으로 하였다. 그리고 원단위법, 수문유출모형, 유역에서의 실측을 통한 통계적 적용법 등의 방법 등의 내용을 도출하였다. 이들의 내용에서 사용하고 있는 토지이용 또는 토지피복의 분류항목의 내용을 분류하고 정리하여, 위성영상을 활용할 수 있도록 하는 토지피복 분류항목을 설정하였다. 이렇게 설정된 토지피복 분류항목이 우리나라에서 실제로 사용할 수 있는 내용이 되어야 하기 때문에 수문 유출모형에 관한 국내 전문가로부터 자문을 구하여 설정된 토지피복분류 항목이 적절한 것인가를 확인하도록 하였다. 자문은 한국건설기술연구원, 한국환경정책평가연구원, 서울시정개발연구원, 충남발전연구원 등의 연구기관에서 수질관련 연구를 수행하고 있는 연구책임자와 수질환경분야 전문기업의 대표자 등 5인의 전문가와 설문지를 통한 면접 형식으로 진행하였다.

최종적으로 설정된 토지피복 분류항목을 위성영상의 분류에 적용하여 그 가능성을 확인하였다. 연구에 사용한 위성영상은 분광 해상도가 높은 Landsat ETM Plus 영상(수집일: 2002년 6월)과 공간 해상도가 높은 SPOT-5 영상(수집일: 2003년 3월)을 사용하였다. 영상

분류기법은 분류정확도 향상을 기대할 수 있는 규칙기 반분류기법을 적용하였다. 연구대상지는 우리나라의 가장 대표적인 습지로 1999년 8월 습지보호지역으로 지정되어 관리되고 있는 지역이면서도 비점오염원의 관리체계가 시급히 필요한 우포늪을 포함하고 있는 경상남도 창원군의 토평천 유역을 연구 대상으로 하였다. 우포늪은 생태계보전지역으로 지정되어있을 뿐만 아니라 람사지구(Ramsar site)로 등록되어 보호되고 있으나, 유역전체가 아닌 습지 주변에 국한되어 있어 보존과 관리에 어려움을 겪고 있는 지역이기 때문이다.

II. 위성영상의 토지피복 분류항목 설정

1. 토지피복 분류항목

토지피복도는 위성영상을 주된 자료로 사용하여 지표면의 자연 상태를 분석·표시한 지도로서 환경관리를 위한 전형적인 주제도로 널리 활용되고 있다. 위성영상으로부터 토지피복 정보를 추출하는 것은 직접적인 현지 조사를 거치지 않고 토지피복에 관한 정보를 수집할 수 있는 장점이 있다. 따라서 국토의 환경관리를 위한 주제도 제작에 널리 활용되고 있으며, 토지 피복변화에 대한 시계열 분석, 국토의 공간구조와 변환의 용이하고 신속한 파악, 지역·유역·권역별 오염 부하량과 환경용량 산출 등에도 활용되고 있다[1].

위성영상을 이용한 정량적인 토지피복도의 확보는 유역내 비점오염원의 분포 규명에 매우 중요한 자료가 되는 것이므로, 다양한 항목에 대해 정확한 피복분류가 수행될 수 있도록 하는 토지피복 분류 체계와 기법이 제시될 수 있어야 한다. 위성영상을 활용한 토지피복 분류항목 설정에 관해서는 [표 1]의 내용과 같이 각 국가마다 토지이용/토지피복 분류체계를 제시하고 있다. 그러나 각 대륙별, 국가별, 지역별 특성을 반영하여 구분하고 있기 때문에 일관성을 유지하고 있지 않으며, 위성영상의 반사특성을 고려한 토지피복 항목과 인간의 활동 또는 경제적 기능을 고려한 토지이용 항목이 혼용되어 있어 수문유출 모델에 그대로 적용하는 것이 곤란하다. 우리나라의 경우 환경부에서 환경의 특성을 반영

하고 국토이용, 공간계획 등의 항목들을 반영하여 대분류, 중분류, 세분류의 3단계 피복분류체계를 제시하고 있다. 이미 남한지역 전체에 대해 Landsat TM영상을 이용하여 80와 90년의 대분류(7개 항목) 토지피복도를 완성하였고, Landsat TM과 IRS-1C위성영상을 이용하여 중분류 23개 항목에 대한 토지피복 중분류작업도 완료하였다. 또한 항공사진 및 IKONOS영상을 사용하여 48개 분류항목에 대한 세분류 토지피복도를 시범 구축하였다[2]. 그러나 환경부 토지피복지도의 경우 대분류는 감독/무감독 분류의 혼성분류 기법을, 중분류는 수작업에 의한 육안분류기법(on screen digitizing)에 의해 작성되고 있어[3] 위성영상이 지니고 있는 분광학적 특성을 잘 반영한 효과적인 토지피복 분류는 이루어지지 못하고 있다.

표 1. 위성영상이 적용된 각 국가의 토지이용/토지피복 분류체계

| 설정 국가 | 분류체계 | 최소 해상도(m) | 적용된 위성 영상 |
|--------|---|-----------|--------------------|
| 미국a | The USGS land use/land cover classification system | 200 | Landsat |
| | The global land cover characteristics database | 1,000 | AVHRR |
| | The USGS National Gap Analysis Program(GAP) | 30 | Landsat-TM |
| | The Multi-Resolution Land Characteristics (MRLC) Consortium | 30 | Landsat-TM |
| 유럽 연합b | The Coordination of Information on the Environment(CORINE) | 500 | Landsat-TM, SPOT |
| 아시아c | The Land Cover Working Group(LCWG) of the Asian Association on Remote Sensing(AARS) | 1,000 | AVHRR |
| 대한민국d | 환경부의 토지피복 분류체계 | 30 | Landsat-TM, IRS-1C |

a: The USGS Land Cover Institute(LCI), <http://edc-iaddwebaugie.usgs.gov.akadns.net/LCI/>

b: European Environmental Agency(EEA), <http://dataservice.eea.eu.int/atlas/>

c: LCWG of AARS, AARS Global 4-minute Land Cover Data Set with Ground Truth Information, CEReS, Chiba University, Japan, 1998.

d: 환경부, 토지피복지도 제작지침, 2001.

2. 비점오염 부하량 산정을 위한 위성영상의 토지 피복분류 연구

비점오염 부하량 산정을 위한 위성영상의 토지피복 분류에 관한 연구로는 토양유출 모델과 강우, 수질인자를 이용하여 Landsat TM 영상으로부터 8 개의 토지이용 유형의 비점오염원도를 추출한 연구[4], GIS 기법과 Landsat TM 영상을 활용하여 오염부하량 산정시 전, 답, 임야, 나대지, 기타 등 5 개의 항목 사용한 연구[5], 소 유역별 오염총량 모의시스템의 개발을 위해 Landsat TM 영상을 산림, 논, 밭, 주거지, 물로 구분하여 토지피복 결과를 구한 연구[6] 등이 있다. 이 외에도 오염물질의 일일 부하량을 연중 예측할 수 있는 DWQM(Daily Water Quality Model)을 개발하고, 비점오염원으로 고려되는 토지피복의 형태는 자연지역(임야, 습지)과 농촌지역(논, 밭, 기타) 그리고 도시지역(주거지역, 도로)으로 구분한 연구[7], Landsat TM영상, Landsat ETM Plus 영상, IRS영상을 사용하여 대지, 논, 밭, 임야, 골프장, 기타 등으로 오염부하량을 산정한 연구[8]도 있다. 논, 밭, 임야, 대지, 목장, 골프장, 기타 등으로 구분하여 토지에 의해 발생하는 오염 부하량을 평가한 연구[9-14], 수질오염총량관리에 필수적인 비점오염원 부하량 산정을 위하여 환경부의 대분류 토지피복지도를 사용하여 연구[15][16], 수계구간별 비점오염원 발생 부하량을 산정하기 위한 토지이용을 전, 임야, 대지, 기타 등 4 가지 항목으로 구분한 연구[17], 개발되지 않은 자연지역, 농경지와 저밀도 토지이용, 고밀도 주거지역 및 도시 및 상업지역 등의 3 등급으로 구분하여 수문유출모형에 적용한 연구[18] 등이 있다. 환경부에서 제시한 원단위를 이용하여 점오염원 부하량을 계산하고, 유출수문 곡선법(SCS method)으로 유출량을 산정한 후 유출량과 토양과 토지이용에 따라 그 값이 달라지는 기대평균농도(Event Mean Concentration, EMC)를 이용하여 비점오염원 부하량을 산정한 연구도 있다[19]. 환경부에서 제공하는 토지피복 분류도를 이용하여, 비점오염 부하량을 산정하기 위해 거주지역, 공업지역, 상업지역, 농업지역, 기타의 다섯 가지로 재분류한 연구도 있다[20]. 미국의 경우 Corpus Christi Bay를 대상으로 토지이용을 도시, 농경지, 목장, 불모지(barren), 습지, 수역 등으로 구분하였고, 누적유출량을 EMC를 적용하여 비점오염원 부하량을 계산한 연구가

대표적이다[21].

이상의 내용을 정리하면, 위성영상의 사용이 전, 답, 임야, 나대지, 기타 등의 매우 단순한 항목으로 분류되어 적용되고 있음을 알 수 있다. 또한 고해상도 위성영상의 사용에 대해서도 적절한 토지피복 분류기법이 개발되어 있지 못한 상황이므로 단순히 육안 해석용으로 사용되는 등 위성영상의 지니고 있는 분광학적 특성을 잘 반영한 효과적인 토지피복 분류는 이루어지지 못하고 있었다. 위성영상으로부터 비점오염원 파악을 위한 수문유출 모형에 적용할 수 있는 토지피복 분류항목을 설정하고, 토지피복 정보를 효과적으로 추출할 수 있는 분류기법을 제시하는 것은 비점오염원 관리를 위해 매우 필요한 상황이다.

3. 비점오염원 산정을 위한 인자의 파악

국내의 비점오염원 연구는 유역 규모에 따라서 많은 인력과 시간 및 비용이 투입되어야 하기 때문에 활발하지는 못하지만, 원단위법과 수문유출모형이 많이 이용되고 있다[22][23]. 그리고 유출모형의 사용에 있어 CREAMS, SWRRB 등의 모형은 유출부문에서 유출곡선지수 SCS-CN(Soil Conservation Service-Curve Number)을, 토양 침식 부분에서는 토양유실량 예측공식인 USLE를 사용하는 공통점을 가지고 있다. AGNPS와 GWLF또한 유출에 대해서 SCS-CN을, 토양침식에 대해서는 USLE를 사용하고 있다. 이와 같은 모형들의 입력자료 중에서 토지피복과 관련된 내용을 살펴보면 유출곡선지수 SCS-CN에서 정의하고 있는 토지피복 계수, USLE의 매개변수 중 식생피복인자인 C, Manning의 조도계수(Manning's roughness coefficients) 등으로 요약할 수 있다. 이렇게 유출모형에 공동적으로 적용되고 있는 함수들을 정리하면 다음과 같다.

3.1 유출곡선지수 SCS-CN

유출곡선지수 SCS-CN은 미국 USDA Soil Conservation Service에서 개발된 것이다[24]. 곡선지수(Curve Number) 값은 유역의 토양특성과 식생피복 상태 및 토지이용과 처리 상태에 관한 자료를 이용하여

총강우량으로부터 유효우량 또는 초과우량의 산정이 가능하도록 한 것으로 호우로 인한 유출량 자료가 없는 경우와 강우-유출 관계 설정이 불가능한 미계측 유역으로부터 총강우량에 대한 유효강우량을 산정하기 위한 도구로 개발되었다[25].

이 유출곡선에서 정의하고 있는 토지피복의 유형은 도시지역, 농업지역, 기타 농업지역, 불모 및 초지지역 등으로 구분하여 81개의 토지피복 항목에 대해 값을 미리 정의해 놓았다. 도시지역에 대해서는 개발 완료 지역과 개발 진행 지역으로 구성되어 있으며, 개발 진행 지역은 투수지역으로 식생이 없는 신규 지정 지역과 값이 정의 되어있지 않은 유휴지에 관한 것으로 도시적 토지이용이라고 하기보다는 아직 미개발지의 자연 상태라고 할 수 있다. 도시지역에 대한 토지피복의 구분은 투수율에 의해 구분되며, 수문학적 토양 조건에 따라 실제 입력되는 값이 달라진다. 농업지역은 휴경지, 이랑 경작지, 곡류, 파동 또는 윤작 초지 등으로 구분되며, 토지피복의 구분은 작물 잔해의 유무, 직선, 곡선, 계단식 등 경작지의 형태에 따라 달라지게 되어있다. 기타 농업지역은 초지와 삼림에 관한 것이고, 불모지역 및 초지지역은 초본, 활엽, 침엽 등의 녹지 피복도에 따라 구분되고 있다. 이들 값들은 모두 토지피복 상황뿐만 아니라, 강우의 토양 침투율에 따라 달리 주어질 4개의 토양 그룹에 대한 조건도 함께 고려하여야 한다.

그러나 위에서 제시된 내용이 너무 복잡하고 소모적이어서 다음의 [표 2]와 같이 간략히 요약해서 사용하기도 한다[26]. 토양 그룹은 강우의 토양 침투율이 높아 유출이 낮은 경우(그룹 A), 강우의 토양 침투율이 중간 정도이고, 유출이 중간 정도인 경우(그룹 B), 강우의 토양 침투율이 낮고, 유출이 중간에서 높은 경우(그룹 C), 강우의 토양 침투율이 아주 낮아서 유출이 높은 경우(그룹 D) 등 4 가지로 구분되어 각 값이 설정되어 있다. 이 연구의 관심은 분류항목에 관한 것이기 때문에, '그룹 A'에 대한 값만을 표기하였다.

표 2. 요약된 유출곡선 지수

| 토지피복 | | 수문학적 토양그룹 A |
|----------------------------|-------------------|-------------|
| 포장 주차장, 지붕, 자동차 도로 | | 98 |
| 도로 | 연석과 우수처리기가 된 포장도로 | 98 |
| | 자갈길 | 76 |
| | 비포장 도로 | 72 |
| 농업지역a | 등고선 경작, 계단식경작 없음 | 72 |
| | 등고선 경작, 계단식경작 있음 | 62 |
| 목초지 또는 방목지 | 불량(피복도 50% 이하) | 68 |
| | 양호(피복도 50%~75%) | 39 |
| 초지 (풀, 방목 없는 초지, 건조 하치장) | | 30 |
| 덤불(Brush, 피복도 75%이상) | | 30 |
| 삼림 | 저밀도, 화재입은 관목 | 45 |
| | 중밀도, 방목지 | 36 |
| | 고밀도, 관목 | 30 |
| 오픈 스페이스(잔디, 공원, 골프장, 묘지 등) | 불량(피복도 50%~75%) | 49 |
| | 양호(피복도 75% 이상) | 39 |
| 상업 및 업무지역(85% 불투수율) | | 89 |
| 공업지역(72% 불투수율) | | 81 |
| 주거지역 | 65% 불투수율 | 77 |
| | 38% 불투수율 | 61 |
| | 25% 불투수율 | 54 |
| | 20% 불투수율 | 51 |

a. Chow, V.T, D.R. Maidment, and L.W. Mays, Applied Hydrology, McGraw-Hill, 1988.
 자료: LMNO Engineering, Research, and Software, SCS TR-55 Peak Discharge and Runoff Calculator, 1999.

3.2 토양유실량 예측공식

토양유실량 예측공식은 토양 침식에 영향을 주는 인자를 이용하여 단위 면적당 연간 침강물질의 발생량을 추정하는 경험에 의한 모형식으로, 다음의 식 (1)로 나타낸다[27].

$$Y(S)_i = R \times K_i \times LS_i \times P_i \times C_i \quad (1)$$

여기서 Y(S)_i는 비도시지역 토지이용 i에서의 연평균 토양 유실량이며, R은 강우 침식 인자(rainfall erosivity factor), K는 토양 침식 인자(soil erodibility factor), LS는 사면 길이 및 경사 인자(slope length and steepness factor), C는 식생 인자(crop factor), P는 토양 보전 인자(conservation practice factor)이다.

이들 인자 중에서 토지피복과 관련되어 있는 식생인자 C는 [표 3]과 같이 나지 조건과 특정 작물이 자라는 조건에서의 토양유실의 비율로 표현한다. 즉, 식생은 강우의 충격으로부터 토양 표면을 보호하고 강우에 의한 토양유출을 감소시키고, 투수능력을 향상시킴으로써 유출 속도를 감소시켜 토양의 침식을 저지하게 된다. 그런데 식생의 영향은 작물의 종류, 작물이 자라는 상태, 경작형태와 관리요소들에 의해 변화와 동시에 시간에도 영향을 받게 된다[28]. 이때, C 값은 작물이 자라기 전의 맨땅에서 가장 높고, 산림이 밀집된 지역이나 곡물의 밀도가 높은 지역에서는 0.1로 낮다[29].

표 3. 토양유실량 예측공식의 식생인자 C

| 토지피복 | | 값 | |
|-----------------------|--------------|-------------|-------|
| 휴경지 | | 1.0 | |
| 수확한 다음 파종 직후까지 | | 0.3~0.8 | |
| 작물의 주 성장기간 | 옥수수 | 0.1~0.3 | |
| | 밀 | 0.05~0.15 | |
| | 목화 | 0.4 | |
| | 콩 | 0.2~0.3 | |
| | 초원 | 0.01~0.02 | |
| 목초지, 유희지, 관리되지 않는 삼림지 | 피복도 85%~100% | 잔디 | 0.003 |
| | | 잡초 | 0.01 |
| | 피복도 80% | 잔디 | 0.01 |
| | | 잡초 | 0.04 |
| | 피복도 60% | 잔디 | 0.04 |
| | | 잡초 | 0.09 |
| 관리되는 삼림지 | 수관 75%~100% | 0.001 | |
| | 수관 40%~75% | 0.002~0.004 | |
| | 수관 20%~40% | 0.003~0.01 | |

자료: Novotny, V. and H. Olem(1994), WATER QUALITY Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold, 1994.

3.3 Manning의 조도계수

Manning의 조도계수는 지표면 또는 하천에서의 흐름의 속도를 계산하는 데 필요하며, 이는 다시 유사의 운송능력과 연관되어 있다. Manning의 조도계수는 지표면 및 하천 등에 대한 계수로 나눌 수 있으며, 지표면에 대한 토지 피복의 구분 내용은 다음의 [표 4]와 같다.

표 4. Manning의 조도계수

| 토지피복 | | 값 | |
|------|-------------------------------------|--------------------------|-------|
| 지표면 | 부드러운 표면 (콘크리트, 아스팔트, 자갈, 또는 노출된 토양) | | 0.011 |
| | 휴경지 (잔유를 없음) | | 0.05 |
| | 경작지 | 잔유를 20% 이하 | 0.06 |
| | | 잔유를 20% 이상 | 0.17 |
| | 초지 | 짧은 초원(short prairie) | 0.15 |
| | | 조밀한 초지(dense grass) | 0.24 |
| | | 우산대바랭이(Bermuda grass) | 0.41 |
| | | 방목지 | 0.13 |
| | 삼림 | 성긴 관목(light underbrush) | 0.40 |
| | | 조밀한 관목(dense underbrush) | 0.80 |

자료: Engman, E.T., "Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff," Journal of Irrigation and Drainage, American Society of Civil Engineers, 112(4):39-53, 1986.

4. 비점오염원 정보 추출을 위한 토지피복 분류항목의 설정

표 5. 토지피복 분류항목의 설정

| 항목 | 원단위법 | 유출곡선지수 SCS-CN | 토양유실량예측공식식생인자 C | Manning의 조도계수 | | | |
|----------|-----------|--------------------|-------------------|-------------------------------------|--------|--------|-------|
| 시가화/건조지역 | 대지 | 상업업무지구, 공업지역, 주거지역 | - | 부드러운 표면 (콘크리트, 아스팔트, 자갈, 또는 노출된 토양) | 휴경지 | | |
| | | | | | 도로 포장 | 비포장 | |
| 노출된 토양 | - | 노출된 토양 | 휴경지 | 휴경지 | | | |
| 농업지역 | 답 | 휴경지 | 작물별 주성장 기간에 따른 구분 | 잔유물 유무 | 20% 이하 | | |
| | 전 | 등고선, 계단식경작 유무 | | | 20% 이상 | | |
| 식생지역 | 임야/목장/골짜장 | 녹지피복도(30%, 70%) | 관리지역 | 수관 20%, 40%, 75% | 짧은 초원 | | |
| | | | | | 조밀한초지 | | |
| | 임야 | 초본, 활엽수, 침엽수 | | | 관리지역 | 우산대바랭이 | |
| | | | | | | 방목지 | |
| | | | | | | 비관리지역 | 성긴관목 |
| | | | | | | | 조밀한관목 |
| 수역 | - | - | - | - | - | | |

비점오염원의 연구에 효과적으로 활용할 수 있도록 하는 토지피복 분류가 되기 위해서 이 연구에서는 단위 부하량을 산정할 수 있도록 기준을 제공해 주는 원단위법, 수문유출모형의 유출부문에 적용되는 유출곡선지수 SCS-CN, 토양 침식 부문의 토양유실량 예측공식인 USLE의 식생인자 C, 지표면에 대한 Manning의 조도계수 등의 내용을 고려하였다. 이들의 내용을 토지피복 항목별로 구분하여 다음의 [표 5]와 같은 내용으로 종합하였다.

이의 내용은 각 인자를 공통적인 성격의 것으로 종합한 것으로, 크게 시가화/건조지역, 노출된 토양, 농업지역, 식생지역, 수역 등으로 구분하였다. 또한 위성영상으로부터 추출할 수 있는 항목이 되어야 하므로, 위성의 반사특성을 고려하여 중분류와 세분류의 항목으로 세분하였다. 이렇게 작성된 내용을 설문지로 작성하여, 수질 관련 전문가에게 자문을 구하였고, 이를 종합하여 비점오염원 정보 추출을 위한 최종적인 토지피복 분류항목을 작성하였다. 설문을 통하여 비점오염원의 부하량 산정을 위해 여러 가지 연구가 시도되고 있으나 정확성과 합리성 측면에서 개선해야 할 문제가 많으며, 현실의 토지피복을 공간 분포 상에서 잘 설명해 줄 수 있는 위성영상의 활용이 그 대안이 될 수 있다는 의견이 제시되었다. 그러나 필요한 시기의 위성영상을 구하는 것이 어려운 점과, 고해상도 위성영상을 저렴하게 구할 수 없다는 것이 위성영상의 활용을 어렵게 하는 상황으로 파악되었다. 따라서 연구에 직접 사용하고 있는 토지피복도는 환경부에서 제공하고 있는 것을 사용하고 있었으며, 서울시의 경우에는 비오톱 자료를 활용하고 있음을 알 수 있었다[30]. 토지피복 분류항목과 관련된 것으로는 SCS-CN의 내용을 다른 인자들에 비해 중요하다는 것이었고, 습한 토양과 마른 토양으로 구분되어있는 나지와 하천, 저수지 등으로 구분된 수역에 대해서는 세부적으로 구분할 필요 없이 통합하는 것이 유출모형의 내용에 적합하다는 의견이었다. 따라서 습한 토양과 마른 토양의 나지 항목을 노출된 토양으로, 하천과 저수지를 수역으로 각 각 통합하였다. 식생지역의 산림에 대해서는 활엽수와 침엽수로 구분한 뒤 활력도에 따라 나타내는 것이 합리적이라는 의견이었다. 토

양유실량 예측공식과 Manning의 조도계수에서는 별도의 항목으로 구분하고 있지 않은 도로에 대해서는 포장, 비포장 즉 투수와 불투수를 구분하는 것이 필요한 것으로 파악되었다. 이상의 과정을 거쳐 최종적으로 작성된 토지피복 분류항목은 [표 6]의 내용이다.

표 6. 최종적으로 작성된 토지피복 분류항목

| 대분류(5) | 중분류(11) | 세분류(17) |
|----------|----------------|---------------|
| 시가화/건조지역 | 건폐지 | 건폐지 |
| | 도로 | 포장 비포장 |
| 노출된 토양 | 노출된 토양 | 노출된 토양 |
| 농업지역 | 논 | 일모작 논 |
| | | 이모작 논 |
| | 밭 | 밭 |
| | 과수원 하우스 재배지 | 과수원 하우스재배지 |
| 식생지역 | 초지 | 초지 |
| | 활엽수 | 고활력 |
| | | 중활력 |
| | | 저활력 |
| | 침엽수 | 고활력 |
| | | 중활력 |
| 저활력 | | |
| 수역 | 수역 | 수역 |

5. 결과 및 고찰

비점오염원 정보를 추출하기 위한 토지피복 분류를 위하여 SPOT-5 영상과 Landsat ETM Plus 영상을 사용하였다. SPOT-5 영상은 공간해상도가 높으며, Landsat ETM Plus 영상은 분광해상도가 높다. 정밀한 토지피복 분류를 위해서는 분광해상도와 공간해상도가 높은 영상을 사용하는 것이 요구되므로, 이 두 영상의 장점을 살려 토지피복분류를 수행하는 것은 분류 정확도를 높이는데 필요하다.

자료 처리는 우선 축척 1/5,000의 토지이용도를 기준으로 기하보정을 수행하였다. 그리고 보정 결과를 확인하기 위하여 평균제곱근오차(root mean square error)가 1~2 화소 이내로 최소화하는 것 외에도, 두 영상을 중첩시킨 뒤 지리좌표의 일치 정도를 영상 전체에 걸쳐 확인하였다. 기하보정 시의 재배열 기법은 공일차 내삽

법(bilinear interpolation)을 적용하였다. 기하보정 이후에 유역경계가 설정된 하천망도를 이용하여 연구 대상 지역인 토평천 유역만을 추출하였다. 다음으로 영상분류를 위해 SPOT-5 영상에 대해서 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 변환, Landsat ETM Plus 영상에 대해서는 Tasseled Cap 변환이 각각 적용되었다. SPOT-5 영상에 대해서는 Tasseled Cap 변환과 같이 안정적인 기법이 개발되어 있지 못하나, NDVI 식생지수 변환을 그 대안으로 하였다. 또한 SPOT-5 영상의 전정색 밴드 영상에 대해서 질감분석이 수행되었다. 질감분석은 해상도가 가장 높은 영상으로부터 선행요소인 도로 정보를 추출하기 위하여 수행된 것으로, 분산에 의한 알고리즘과 3x3 크기의 이동 윈도우를 적용하였다. 저수지 등의 수역 분류를 위해서 SPOT-5 영상의 단과장 적외선 영역인 밴드 4를 추출하여 단일 밴드의 파일로 변환시켰다. 이상의 정보를 사용하여 Landsat ETM Plus와 SPOT-5의 두 영상에 규칙기반 분류기법을 적용하여 [그림 1]과 같은 토지피복 분류 결과를 구하였다. 정확도 평가를 위해 사용된 참조자료는 현지조사를 통하여 수집된 것으로, 훈련자료와 중복되지 않은 지역으로부터 선정하였다.

참조 자료의 수는 총 2,069개를 사용하였으며, 각 항목 당 평균 100개 이상의 참조자료가 되도록 하였다. 총 분류 정확도는 88.50%이며, Kappa 계수에 의한 정확도는 0.8776으로 만족할만한 수준의 분류 결과를 얻을 수 있었다.

III. 결론

비점오염원 관리를 위한 수문유출모형의 입력 자료 중에서 토지피복과 관련된 내용을 파악하고, 위성영상의 토지피복 분류에 적용할 수 있는 분류항목을 제시한 뒤 위성영상에 직접 적용하여 분류의 가능성을 파악하였다.

비점오염원 오염물질량 산정에 관한 기존 연구를 통해 원단위법, 수문유출모형의 유출부문에 적용되는 유출곡선지수 SCS-CN, 토양 침식 부문의 토양유실량 예측공식인 USLE의 식생인자 C, 지표면에 대한 Manning의 조도계수 등이 토지피복 분류항목을 설정할 때 고려해야할 내용임을 도출하였다.



그림 1. 연구 대상지의 토지피복 분류 결과 영상

이후 설정된 토지피복 분류항목이 타당한 것인지 국내의 전문가들로부터 자문을 구하여 확인한 뒤, 그 내용을 확정하였다. 이렇게 설정된 토지피복 분류항목에 따라 Landsat ETM Plus 영상과 SPOT-5 영상을 대상으로 연구 대상지에 대한 영상분류를 수행하였다. 토지피복 분류를 위해 NDVI, Tasseled Cap 등의 식생지수 변환, 질감분석 등과 함께 규칙기반 분류 기법이 분류에 적용되었다.

이 연구의 한계는 규칙기반 분류기법에 의하여 제시된 토지피복도를 수문유출모형에 직접 적용함으로써 비점오염원 물질의 유출량 및 부하량의 규모 추정까지 시도하지 못한 부분이다. 이 내용은 연구의 범위와 연구자의 영역을 넘어서는 부분이기 때문에 시도하기 어려운 부분이 있었다. 향후 수문유출모형의 전문 인력과 공동 작업을 통하여 위성영상의 규칙기반 분류기법에 대한 실효성 있는 연구 진행이 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

[1] T. M. Lillesand and R. W. Kiefer, *Remote sensing and image interpretation*. 4th ed, John Wiley and Sons, 2000.

[2] 환경부, *인공위성 영상자료를 이용한 토지피복지도 구축*, 2002.

[3] 환경부, *토지피복지도 제작지침*, 2001.

[4] Newell, C., H. Rifai and P. Bendent, "Characterization of nonpoint sources and loadings to Galveston Bay," The Galveston Bay National Estuary Program, 1992.

[5] 권우석, *GIS를 이용한 행정구역별 비점오염원 관리 우선 순위 결정에 관한 연구*, 인하대학교 대학원 석사학위 논문, 2000.

[6] 강문성, *인공신경망 원격탐사기법과 비점오염모델을 이용한 오염총량모의시스템 개발*, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2002.

[7] 송동하, *일일 오염 부하량 예측을 위한 분포형 유역 모형 개발*, 서울대학교 대학원 박사학위논문,

1999.

[8] 박해경, *GIS를 이용한 비점오염원의 공간적변화 분석: 경기도 광주시를 사례로*, 경희대학교 대학원 석사학위논문, 2005.

[9] 국립환경연구원, *전국 주요하천 기초조사*, 1983.

[10] 손충현, *농촌유역에서의 비점오염원 유출특성에 관한 연구*, 충주대학교 산업대학원 석사학위논문, 2004.

[11] 한국수자원공사, *다목적댐 저수지 수질조사 보고서*, 1991.

[12] 환경청, *서남해권 환경보전 종합계획사업*, 1986.

[13] 환경부, *비점오염원 조사연구사업 보고서*, 1995.

[14] 환경부, *오염총량 관리지침*, 1999.

[15] 김홍주, *토지피복도를 활용한 유역내 비점오염원 부하량 산정에 관한 연구*, 성균관대학교 대학원 석사학위논문, 2003.

[16] 환경부, *창녕 우포늪 생태계보전지역 보전·관리 대책수립*, 2002.

[17] 박대제, *수계오염총량관리 시행을 위한 지역오염원조사에 관한연구: 산청군지역을 중심으로*, 진주산업대학교 산업대학원 석사학위논문, 2005.

[18] 송은엽, *내륙습지의 관리를 위한 기능평가에 관한 연구: 야생동물 서식처 기능을 중심으로*, 서울대학교 대학원 석사학위논문, 2002.

[19] 김철, 김석규, "GIS를 이용한 주암호 유역의 오염부하량 산정 및 수질모의", *한국지리정보학회지*, Vol.5, No.3, pp.87-98, 2002.

[20] 김유리, *경기도 안산천 유역에서 도시지역과 비도시지역의 유출 및 비점오염원 특성 분석을 위한 SWMM 적용*, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 2003.

[21] A. M. Quenzer and D. R. Maidment, "A GIS assesment of the total loads and water quality in the Corpus Christi Bay System," CRWR Online Report 98-1, Center for Research in Water Resources, University of Texas, 1998.

[22] 엄명철, *하구담수호 유역의 시공간적 오염물질 배출구조 해석*, 서울대학교 대학원 박사학위논문,

2004.

- [23] 장정렬, 농업유역 비점원오염 저감을 위한 인공 습지 설계인자 평가, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2005.
- [24] USDA Soil Conservation Service, *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Technical Release 55, 2nd ed., 1986.
- [25] 김경탁, “정밀토양도를 이용한 CN산정에 대한 제안,” 한국수자원학회지, 2003, 36(4): 45-53.
- [26] LMNO Engineering, Research, and Software, *SCS TR-55 Peak Discharge and Runoff Calculator: Hydrologic calculations for Peak Discharge, Runoff Depth, Runoff Curve Number, Time of Concentration, and Travel Times, Based on the USA Soil Conservation Service publication TR-55 (1986): Urban Hydrology for Small Watersheds*, 1999.
- [27] Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*, USDA Handbook 537, Washington, D.C.: U.S. GPO, 1978.
- [28] Morgan, R.P.C., *Soil Erosion and Conservation*, John Wiley & Sons, 1986.
- [29] Brady, N.C., *The Nature and Properties of Soil*, Ninth Edition, New York: MacMillan Publishing Company, 1984.
- [30] 서동조, 위성영상의 규칙기반 분류기법을 적용한 우포늪 지역의 비점오염원 정보추출, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 2006.

저자 소개

서 동 조(Dong-Jo Seo)

정회원



- 1990년 8월 : 서울대학교 환경대학원(조경학석사)
 - 2006년 8월 : 서울대학교 대학원(공학박사)
 - 2001년 12월 ~ 현재 : 서울디지털대학교 컴퓨터공학부, 조교수
- <관심분야> : 공간정보의 수집 및 분석, 오픈 소스 소프트웨어, 위성영상처리 및 정보 추출