

연구논문

도시의 불투수면 총량규제에서 원격탐사와 GIS의 활용

엄 정 섭

경북대학교 지리학과

(2004년 8월 11일 접수, 2004년 10월 14일 승인)

Utilization of Remote Sensing and GIS in Aggregate Control of Urban Impervious Coverage

Jung-Sup Um

Department of Geography, Kyungpook National University

(Manuscript received 11 August 2004; accepted 14 October 2004)

Abstract

This research is primarily intended to propose a new concept for aggregate control of impervious coverage using remote sensing and GIS. An empirical study for a case study site was conducted to demonstrate how a standard remote sensing and GIS technology can be used to assist in implementing the aggregate control for impervious coverage as intermediary between decision makers and scientists. Guidelines for a replicable methodology are presented to provide a strong theoretical basis for the standardization of factors involved in the aggregate control; the meaningful definition of land mosaic in terms of pervious areas, classification of pervious intensity, change detection for pervious areas. Detailed visual maps (e.g. estimation of impervious surface allowable) can be generated over large areas quickly and easily to increase the scientific and objective decision-making for the aggregate control. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference to confirm the potential of remote sensing and GIS in the aggregate control for impervious coverage.

Key words : aggregate control, impervious surface coverage, remote sensing, GIS

I. 연구배경 및 목적

도시내에 다양한 인공 건조물이 주변 자연환경에 대한 배려가 없이 무분별하게 건축됨에 따라, 주거지 주변에 녹지공간과 오픈스페이스가 사라지고, 대부분의 도시가 시멘트 콘크리트의 숲으로 전락해버렸다. 도시 자연환경의 훼손은 불투수성 포장면의 증가를 유발하여 자연의 자정작용을 근본적으로 파괴하는 비극을 초래하고 있다. 불투수성 포장면이라 함은 콘크리트, 아스팔트 등과 같은 인공재료로 피복된 보도, 차로, 대형건물의 옥상, 주차장 등으로서 빗물이 토양 및 지하수로 침투되지 못하는 지면을 의미한다. 도시내 불투수면의 증가는 물, 공기의 순환을 방해하여 각종 생명체에게 부정적 영향을 미치게 되며, 결국에는 인간의 건강에 영향을 미치게 된다. 이미 훼손된 불투수면을 투수면으로 전환하기는 어렵지만 더 심각한 문제는 아직까지 투수공간으로 남아있는 지역이 지속적인 도시개발로 파괴될 것으로 전망된다.

이러한 도시내 불투수면은 단순히 물이 스며들지 않아 생물이 서식하기 어려운 공간이 아니라 도시 생태계의 질을 좌우하는 핵심 요소로서 작용하고 있다. 불투수층의 증가로 인한 환경영향에 대해 하천 생태계의 파괴, 도시의 대기질의 악화, 홍수에 대한 취약성, 범람의 증가 등 다양한 선행연구가 보고되고 있다(이도원, 2001; 이명우, 1995; 이창우, 2000; Couch et al., 1997; Michael, 1984; Schueler, 1994; Schueler, 1995). 도시 내에 잔존하는 공원, 녹지, 나대지 등이 향후 불투수성 포장재료로 피복되는 것을 최대한 지양하여야 하며, 주차장이나 하천둔치 등의 공간은 가능한 한 투수성 포장재로 전환하거나, 기존의 불투수성 포장면을 제거하는 등의 조치가 있어야 할 것으로 판단된다.

최근 청계천 등 하천 복원은 도시내 불투수면을 투수면으로 복원하는 대표적인 예일 것이다.

또한 투수성을 높이기 위하여 도시에 녹지면적을 늘리거나 인공 습지를 조성하거나 학교이전 부지를 공원 등으로 조성하는 등 다양한 활동이 증가하고 있는 추세이다. 분당 등 계획도시에서는 투수공간을 늘리기 위해 신도시 건설 당시에 인공호수를 조성하거나 인공습지, 인공녹지를 조성하는 사례가 있다. 각종 지방자치단체에서도 유사한 조치의 도입계획을 가지고 있다(경남개발연구원, 1995; 임승빈, 1996; 안동시, 1997; 이종현, 1998; 김포시, 1999; 경기개발연구원, 2001; 용인시, 2001; 대구광역시, 2002).

불투수면으로 인한 환경문제는 수환경이나 녹지 공간의 부족에 국한된 것이 아니라, 생태계 전반에 걸친 자연자원의 효율적 관리와 각종 환경문제를 사전에 예방하기 위한 핵심 요인이다. 따라서 이러한 불투수면의 환경영향을 고려하지 않은 환경 관리는 한계를 가질 수밖에 없고, 물, 공기 자연 생태계 등 전체 환경을 악화시키는 방향으로 진행된다. 개발사업에 대한 사전 환경성 검토나 환경영향 평가 등 각종 정책수단에서는 특정지역의 개발에 따른 불투수성 포장율이 해당 소유역에 미치는 영향을 통제하는 데 상당한 한계를 가지고 있다. 대부분의 국가에서 구체적인 개발사업에 대해서만 환경영향평가를 실시하고 있고, 다양한 개발 사업이 이루어지는 장소 그 자체에 대해서는 영향평가를 실시하지 않는 것이 많은 나라의 도시가 콘크리트 숲으로 변한 이유로 사료된다.

도시에서 이루어지는 각종 개발활동이 어느 곳에서 이루어지던지 녹지, 수변 공간 등 투수면에 대한 영향이 개입되는 것이 필연적이다. 특정 장소에서 시행되는 개별사업이 투수면에 미치는 영향은 미미하여 환경영향평가 대상이 되지 않는 경우가 대부분이다. 현행 환경영향평가는 특정장소나 지역에서 장기간에 이루어지는 여러 개의 사업 또는 환경영향평가 대상이 아닌 사업 등에 의한 누적 영향에 대해 대안을 마련할 수

없는 근원적인 문제를 가지고 있다. 그리하여 전 국토가 평가대상 사업이 아닌 소규모의 사업으로 난개발이 이루어지고 도시 전체가 불투수면으로 황폐화되고 있는 실정이다.

결국 현재 환경 정책의 문제점을 극복하기 위해서는 투수면의 이용계획 및 시행이 총체적으로 규제되어야 한다. 녹지, 습지, 오픈 스페이스, 하천, 해안 등 다양하게 분화되어 있는 관리 실태가 투수면 보전이라는 단일의 지표로 통합되어야 하고 개별 사업별 관리 방식에서 벗어나 전체 자연자원에 대한 핵심 대상으로 투수면을 관리할 것이 요청된다. 도시환경 관리의 과학화와 규제제도의 효율성을 제고하기 위한 기반을 마련한다는 장기적 안목에서 도시내 소단위 배수구역을 기본단위로 한 불투수성 포장율의 허용한계를 제시하는 것이 핵심적인 해결수단으로 사료된다. 이는 불투수면 확산방지를 위해 환경 규제방식을 개별 시설물이나 개별 개발 사업별 방식에서 지역별, 수계별, 총량규제방식으로 전환하는 것을 의미한다.

본 연구에서는 위성영상을 이용하여 지표면의 각 인자를 투수성의 관점에서 분류하고 GIS 공간분석을 기반으로 투수면 총량 변화과정을 객관화하여 총량규제를 위해 보다 신뢰성 높은 공간 정보를 확보하기 위한 방안을 제시하고자 하였다. 본 연구는 사례연구 지역의 선정, 분류기준 설계, 투수면 변화추세 평가 등의 절차를 거쳐 도출된 결과를 총량규제 과정에서 적용할 수 있는 지를 평가하는 방식으로 연구가 수행하였다. 불투수면의 총량규제를 위한 기초자료를 확보하기 위해 도시내 투수공간에 대한 주제도 제작 방안의 표준화를 시도하였으며 이를 토대로 GIS를 활용하여 이러한 다양한 토지모자이크를 수공간의 지표 점유율, 수공간의 종류 등 투수강도에 따라 효과적으로 유형화할 수 있는 방안을 제시하였다. 분류된 투수면 지도를 활용하여 투수면 변화추세를 평가하고 확보하여야 할 투수면 총량을 예보하는 방안을 제시하였다.

즉 총량 규제 차원에서 토지이용, 토지피복 등 다양한 환경인자들을 통합적으로 고려한 불투수면 총량 예보를 위한 기초자료를 제시하였다. 궁극적으로 이 연구에서는 투수면 총량규제 차원에서 토지모자이크를 실험적으로 평가하는 시범연구를 통해, 총량규제 도입과정에서 필요한 절차 및 기술요소에 대한 일반적인 기준을 마련하여 본격적인 활용과 유통을 지원하고자 하였다. 아울러 원격탐사와 GIS기반의 투수면 총량규제가 자연환경 조사실무에서 자리잡을 수 있기 위해 향후 조사방법의 변화나 시스템의 확장 등 후속 연구 방안을 제시하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구

기존 매체별, 사안별로 다루어져왔던 환경문제를 유역단위의 종합적인 관점에서 파악하고 해결 방식을 모색하려는 다양한 선행연구가 보고되고 있다. 또한 개별 개발 사업에 대해 중앙정부에 의한 일방적인 규제를 통한 방식보다는 지역단위의 통합적 관점에서 환경 문제를 접근하려는 다양한 선행연구가 보고되고 있다(김선희, 1999; 이창희 등, 1999; 김종원, 2000). 특히 수질 분야에서 기존의 점오염원 중심의 환경 정책에서 유역규모에서의 인간 활동을 비롯한 자연생태계를 구성하는 요소들의 상호작용을 고려한 통합 환경관리로의 전환이 활발히 이루어지고 있다(日本國立環境研究所, 2001; Heggem et al., 2000; Jones et al., 2001). 하지만 도시 내부의 난개발 방지, 그리고 시설물의 분산 등으로 투수 공간을 확보하여 지역균형개발, 한정된 자원의 배분을 위한 총량규제는 아직 논의되지 않고 있다.

현재 국내에서 도시 투수면과 관련된 자료는 사업주체 및 활용목적에 따라 매우 다양한 형태로 폭 넓게 수집되고 있으나, 대부분 현장조사에 의존하여 식생, 지형, 습지, 수변 공간, 수공간 등 도시 전체 공간구조에 대해 미시적이고 경험에

표 1. 원격센서 결정요인에 의거한 영상의 특성 소개

	Landsat TM 영상	IKONOS 고해상도 영상
Spatial resolution	30m×30m	1m×1m
Spectral resolution (단위 : μm)	7 band 1 : 0.45-0.52 blue 2 : 0.52-0.60 green 3 : 0.63-0.69 red 4 : 0.76-0.90 Near IR 5 : 1.55-1.75 Middle IR 6 : 10.4-12.5 Thermal IR 7 : 2.08-2.35 Middle IR	4 band 1 : 0.45-0.53 blue 2 : 0.52-0.61 green 3 : 0.64-0.72 red 4 : 0.77-0.88 Near IR
Radiometric resolution	8 bit	8 bit
Temporal resolution	16 일	2 일
Ground coverage	185km×185km	11km×11km
Altitude	705km	680km

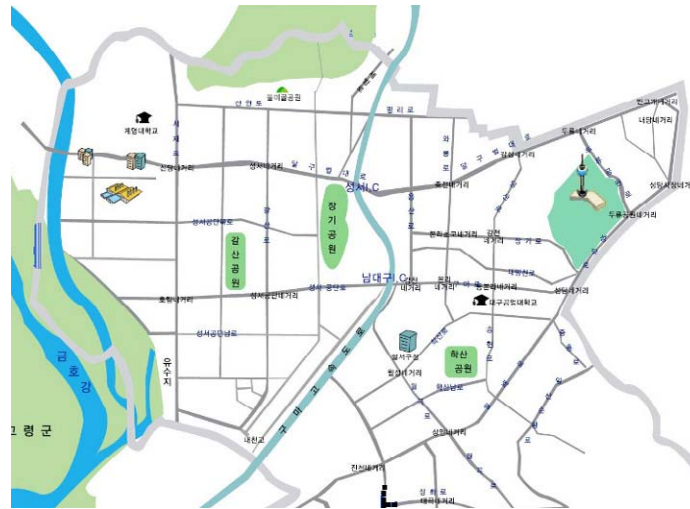


그림 1. 연구지역 지도

의존한 평가가 이루어지고 있다. 대부분의 조사가 불투수면의 심각성을 인식하고 이에 대한 대안을 마련하기 위해 수집되는 것이 아니라 각종 개발사업의 환경영향평가에서 자연환경의 기초조사를 위해 자료가 수집되거나 각종 연구 프로젝트에서 수집되는 자료가 넓은 의미에서 투수면 관련 자료로 분류될 수 있을 정도이다. 광대한 지역에 걸쳐 다양한 자연조건을 가지고 분포하는

불투수면은 유량, 지형, 주변 토지 이용 등 주변 환경에 따라 자연성의 상태가 불규칙하게 나타나고 있다. 이와 같이 광대한 지역을 현장조사에 의거 투수성의 차이에 따른 분포상태를 파악하여 녹지 조성, 인공습지 조성, 하천 복원 등 투수면 보전정책을 수립한다는 것은 이론적으로 상당한 한계가 있다.

총량관리제도를 도입할 때 예상되는 문제점은

불투수면 허가면적의 총량의 설정과 지역별 상한선의 객관적인 배분기준을 설정하는 것이다. 불투수면을 필요로 하는 수요가 공급을 초과할 때 가수요가 발생할 가능성 등 주로 시행상의 문제와 총량관리가 국가의 시민에 대한 통제로 비쳐질 소지가 있다는 점이다. 총량규제에서 가장 어려운 문제는 규제대상 불투수면의 총량을 어떤 기준으로 결정하느냐의 문제이다.

현장중심의 불투수면 평가에서는 자연환경의 단위가 조사자가 현장에서 바라볼 수 있는 범위에 한정되어 즉 사람의 눈으로 볼 수 있는 범위에 한계가 있으므로 광역자연환경에 대한 평가가 불가능하다. 지역적 대표성을 가지는 일부 지점을 샘플링하는 방법은 많은 인력과 경비를 필요로 하면서도 조사지점만의 단편적인 정보를 제공하여 불투수면의 총량규제를 위해 필수적인 정보인 토지 피복의 광역적인 변화 추이에 대한 시각적인 정보를 입수하는 데 상당한 한계가 있다. 현지 불투수면 조사는 많은 인력과 시간, 경비가 요구되면서도 다양한 시기별로 변화된 투수면의 변화 추세에 대한 광역 공간정보를 제공하지 못한다.

원격탐사나 GIS를 이용한 토지피복 분류도의 작성 및 활용에 관한 연구가 상당히 많이 보고되고 있다(Defries and Townshend, 1999; Verhoeve

and De Wulf, 2002). 그러나 토지 모자이크 분류도를 불투수면 평가차원에서 구축할 경우 토지피복의 종류를 어떻게 설정해야 하며, 각 토지피복 항목을 어떻게 추출하며, 이를 몇 년 주기로 갱신해야 하는지에 대한 연구가 전무한 실정이다.

III. 사례연구 지역 및 데이터

사례연구지역은 대구 성서 지방산업단지가 위치하고 있는 달서구로 면적 62.27 km², 인구 60만(2003)으로 대구의 7개구 가운데 가장 늦게 설치된 구로, 도시의 확장에 따라 습지와 녹지지역이 아파트나 공단으로 급속하게 개발되고 있다(그림 1). 한국의 대부분의 도시와 마찬가지로 연구지역이 갖고 있는 천혜의 자연 경관이 불투수면의 확대로 급속히 훼손되고 있다. 특히 연구지역은 저표고의 구릉지가 많은 지형특성을 지니고 있으나 대규모 공동주택지나 고층건물의 건설 등 불투수면의 확대에 의해 자연경관이 시각적 조망대상에서 사라지고 있는 실정이다.

연구지역의 성서공단은 바람 길을 고려하지 않은 도시개발로 인하여 대구시의 계절풍이 불어오는 길목에 위치하여 공단에서 발생된 대기오염물질이 도심으로 이동하여 대구 시내 전체가 거의



그림 2. 연구지역의 TM 영상, 좌측은 85년 10월, 우측은 98년 10월에 취득. 밴드 2, 3, 4를 이용한 적외선 FCC (False Color Composite), 논문에서 칼라 영상을 흑백으로 제시하였으나 내용설명은 칼라영상에 의거하였다.

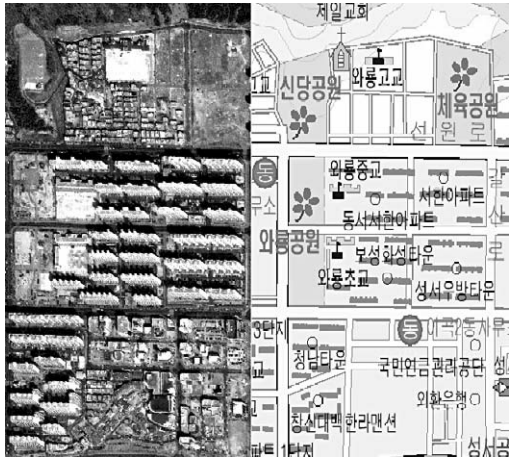


그림 3. 고해상도 영상 (좌) 및 동일 지역의 지도 (우)

매일 매연으로 뒤덮여 시정이 차단되고 있다. 시 외곽에 위치한 연구지역의 산자락에 무분별하게 난립 개발돼 있는 고층아파트들은 산골짜기로부터 밤새 불어오는 산바람들을 차단해 도시내부 대기오염물질의 자연정화 순환을 방해하고 있다. 연구지역은 비가 적은 대구의 특성을 그대로 지니고 있는 지역이어서 맹독성 수질 오염물질을 다량 배출하는 섬유 및 중화학 공업이 입지하기에는 부적합한 지역이나 성서지방산업단지에는 섬유업이 여전히 핵심분야로 나타나고 있다. 수질오염으로 인해 수경관이 근본적인 한계를 지니고 있는 지역이어서 불투수면 총량규제의 도입이 시급하게 요청되는 지역이다.

본 연구에서 사용된 LANDSAT TM영상은 1985년 10월과 1998년 10월에 촬영된 것이며(표 2, 그림 2) 30m의 공간 해상도를 가지고 있으며 촬영고도는 705km, 관측주기가 16일, 관측폭이 185km×185km이다. 고해상도 인공위성 데이터는 1999년 11월에 발사된 세계 최초의 고해상도 위성인 미국 Space Imaging사의 IKONOS영상을 이용하였다. 달서구 이곡2동이 좁은 지역임에도 불구하고 투수성 관련 핵심 공간 객체를 포함하고 있어 투수성 분류 가능성을 평가하는 데 적절하다고 판단되어 이 지역의 고해상도 영상을 이용

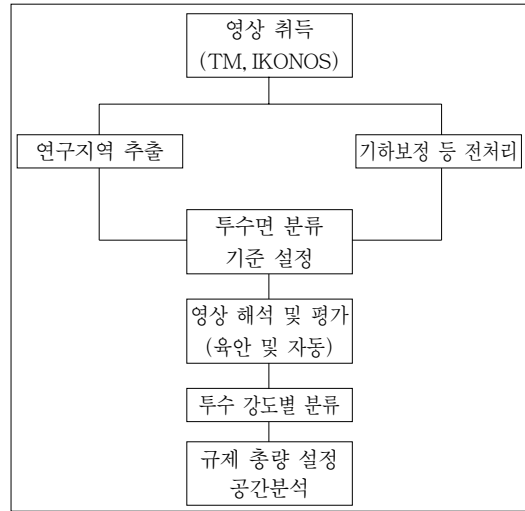


그림 4. 연구 수행 절차

하였다(표 1, 그림 3).

데이터의 공간해상도는 1m이며 위성고도 680km, 관측 폭은 11km×11km로 2001년 2월 10일 촬영된 것이다. 이 위성영상은 4m의 다중분광 영상도 획득이 가능하며, 입체영상을 이용하여 수치표고모형(DEM: Digital Elevation Model)을 추출할 수도 있다. 이 지역의 토지 투수면에 대한 광역모니터링의 결과가 국내의 여타 지역에서 원격탐사와 GIS를 이용한 불투수 공간 평가를 수행하기 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 연구 전반에 걸쳐 사용된 응용 프로그램은 ERDAS Imagine 8.4 영상처리 소프트웨어가 사용되었다. 데이터의 수집에서 지도의 제작까지 연구 진행 과정에 대한 순서도가 그림 4에 제시되어 있다.

IV. 토지모자이크 분류

불투수면 총량 규제를 위해 원격탐사 영상을 활용하는 것은 원격탐사의 전형적인 활용분야인 토지 모자이크의 분류에 속한다. 토지모자이크는 인간의 시각을 통해 인식되기 때문에 여러 가지

요소가 영향을 미치게 되며 조망대상, 경관에 대한 거리, 경관의 범위, 조망시점의 위치 등에 따라 여러 가지 유형으로 분류할 수 있다. 토지 모자이크 분류도는 활용목적에 따라 매우 다양하게 토지피복단계들을 설정할 수 있다. 예를 들면 근래에 이동 무선통신을 위한 기지국 선정을 위해서도 토지피복 분류도가 사용되고 있으며, 여기서 분류의 기준이 되는 것은 대상지역을 점유하고 있는 시설물의 높이가 매우 중요한 인자가 된다. 반면에 자연환경부분에서 필요로 하는 토지피복 분류도는 생물 서식 공간의 추정 및 서식처 확대, 산소생산량, 이산화탄소 흡수량 등 환경통계의 작성에 활용될 수 있어 여기서는 식생부문과 수역 부문이 매우 중요한 인자가 된다. 또한 대기오염 모델링에서 토지피복자료는 대상지역을 차지하고 있는 물체들의 높이와 밀도, 표면상태가 중요한 분류기준이 된다(한국 환경정책 평가연구원, 1999). 불투수면 총량 규제를 위해서도 이와 같은 분류체계를 설정하여야 한다. 원격영상에서 공간객체를 분류하는 과정은 영상이 포함하고 있는 정보를 수요자의 필요에 따라 조작하는 과정이다. 토지 모자이크를 구성하는 개별 공간객체는 관점에 따라 등질성이 여러 가지로 나타나게 된다.

표 2. 다시기 영상의 토지 모자이크의 분류 결과

	1985 화소수(퍼센트)	1998 화소수(퍼센트)
산림	26478(36)	21305(28)
나대지	23635(32)	11943(16)
수공간	1897(3)	1284(2)
습지	6593(9)	3144(4)
개발지역	15094(20)	36291(49)
계	73,697	73,967

본 연구에서는 연구지역에 나타난 투수성 관련 공간 객체를 산림, 나대지, 수공간, 습지, 개발지역으로 설정하였다(표 2). 영상의 육안판독과정에서 이 정도의 공간 객체가 확연하게 구분되어 신속하게 자동계측이 가능할 것으로 판단되었다. 실무에서 활용할 것을 고려하더라도 적절한 정도의 항목이며 판독과정의 행정비용도 크게 문제되지 않고 정확한 판독결과를 확보할 수 있을 것으로 사료되었다. 토지모자이크를 분석한 결과에 따르면 85년도에는 나대지가 전체면적의 32%를 차지하고 있었으나 98년도에 16%로 줄어들었다(표 2). 반면에 아파트, 공단 등 개발지역은 20%에서 49%로 늘어나 연구지역의 자연환경이 심각하게 훼손되었음을 가시적으로 보여주고 있다(그림 5). 투수성 변화추세는 연구지역에 분포하는 주거지역, 상업지역, 공업지역 등이 차지하는 비율로서

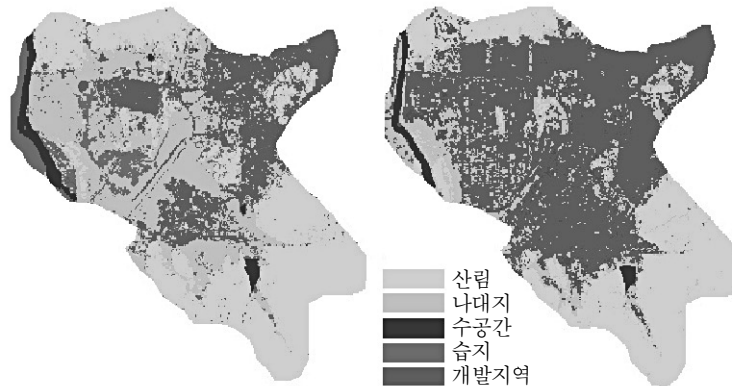


그림 5. 토지 모자이크의 변화 추세 평가지도

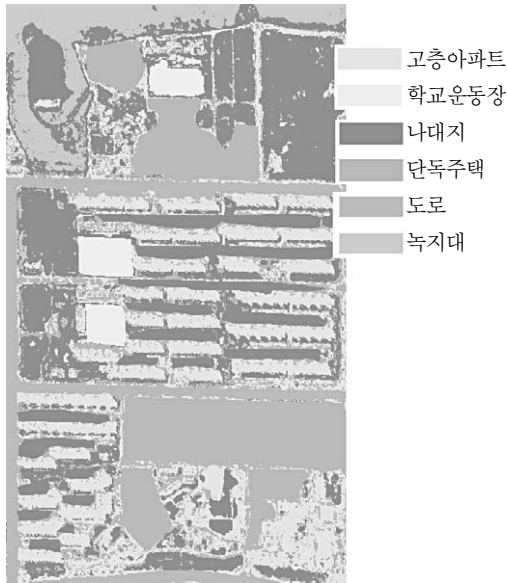


그림 6. 고해상도 영상의 판독 결과

인간에 의한 토지이용강도, 즉 도시화 정도를 파악하기 위한 지표이다. 연구지역에서 투수성이 훼손된 지역이 34%여서 연구지역의 1/3이 불투수면으로 변화되었음을 보여주고 있다(표 5).

전체 연구지역 면적이 62.27km²나 되므로 고해상도 영상을 활용한 투수면 조사 가능성을 평가하기 위해 연구지역의 일부분을 절취해서 시범지역에 대해서 분류지도를 제작하였다. 그림 6은 동일한 지역에 대한 육안판독과 디지털 분류 영상을 나타낸 그림이다. 최대우도법(maximum likelihood classification) 감독분류에서 고해상도 영상은 그림자 효과나 주변 픽셀 값의 영향으로 인해 잘못 분류된 경우가 많이 나타났다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 육안판독의 경우 해상도가 높아 TM영상보다 세부적인 공간객체를 식별할 수 있었다. 하지만 이론적인 관점에서 TM영상에 비해 900(30×30)배의 공간 해상도를 가진 영상에서 추출될 수 있는 정보로는 상대적으로 한계가 있었다.

물론 투수성의 관점에서 추출될 수 있는 연구

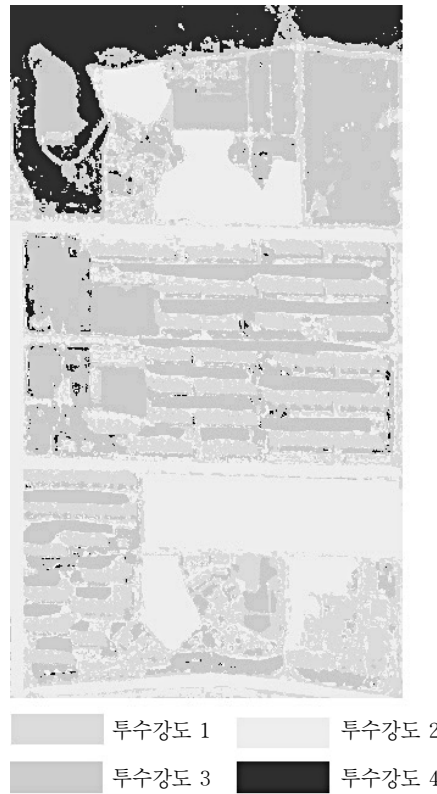


그림 7. 고해상도 영상의 판독 결과를 투수강도별로 재분류한 지도

지역의 토지모자이크가 단순할 수밖에 없는 한계가 있을 것으로 사료된다. 하지만 상용 소프트웨어에서 제공하고 있는 영상처리 기능이 기존의 중·저해상도 영상을 위해 개발된 기술인데 이를 그대로 고해상도 영상에 적용한 것이 문제의 원인으로 판단된다. TM 영상에서 그림자를 제거하기 위한 전처리나 특별한 분류기법을 적용하지 않아도 필요한 공간 객체를 추출하는 데 큰 문제가 없었다. 때로는 그림자 영역이 인공 구조물과 그 주변 배경과의 대비를 강조하여 영상에서의 특징물 추출에 도움이 되는 요소로 작용하기도 하였다. 대형 건물이 밀집된 고해상도 영상에는 그림자 영역이 차지하는 비율이 급격히 증가하여 자동판독에 심각한 오류를 야기하였다. 본 연구

표 3. 고해상도 영상의 판독 결과 및 투수원단위에 의거한 재분류 결과

범례	분류된 화소수(퍼센트)	투수강도	화소수(퍼센트)
고층아파트	197510(23)	1(고층아파트)	197510(23)
도로	127102(15)	2(도로+단독주택)	279287(33)
단독주택	152185(18)		
나대지	267438(32)	3(나대지+학교운동장)	288839(35)
학교운동장	21401(3)		
녹지대	80978(10)	4(녹지대)	80978(10)
계	846,614	계	846,614

에서는 이를 육안 판독을 통하여 해결하였지만 고해상도 영상을 투수면 총량규제에 활용하기 위해서는 자동분류 기술 개발, 그림자 제거 등 관련 기술개발이 선행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 투수강도별 분류

투수면의 분포 특성, 시기별 변화 추이에 의거 분류결과가 산출되면 개별 공간 객체가 투수성에 기여하는 원단위를 산출하여야 한다. 투수 원단위는 지표면의 물을 지하로 흘려 보낼 수 있는 능력에 의거하여 투수성의 관점에서 재분류하는 것으로 투수 강도라고 할 수 있을 것이다. 대상지역의 공간 객체 분포 특성은 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미친다. 즉 공간객체의 특성에 따라 침투능이 상이하므로 총강우 중 직접 유출로 유하하는 유효우량의 크기도 다르게 나타난다. 동일한 공간 객체라도 위치에 따라 투수강도가 달라질 수 있으므로 총량 규제 단위 지역의 배출 특성 등 다양한 측면을 고려하여야 한다. 특정지역의 호수와 동일한 면적의 농지와는 투수성에 기여하는 효과가 전혀 다르다는 점이 한 예가 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 표 3과 같이 투수원단위를 설정하였으며 투수성의 관점에서 재분류된 주제도를 GIS 환경에서 디스플레이한 결과가 그림 7에 제시되어 있다. 도로와 단독주택은 동일한 투수강도로 구분되었고 나대지와 학교가 동일한 투수강

도로 구분되었다. 이 지역은 지속적인 개발압력이 작용하고 있을 뿐만 아니라, 최근에는 대규모의 아파트 단지 등으로 조성됨으로 인하여 도시지역의 확산이 급속히 진행되고 있는 상태에 있어 투수강도 1로 분류된 아파트가 23%의 면적을 차지하고 있는 반면에 투수강도 4로 정의된 녹지대는 10%밖에 되지 않는다.

불투수면 확산은 어느 한가지 요인에 의해 발생하는 문제가 아니라 대상지역내의 자연, 인문, 사회현상의 상호작용에 의한 복합적인 현상이어서 주관적으로 투수강도를 설정하는 것 자체가 한계를 지니게 된다. 투수성에 대한 인위적인 평가 항목 선정, 계급 구분 등은 어차피 보는 사람의 관점에 따라 주관적일 수밖에 없으며 근원적인 한계를 가지고 있다. 본 연구의 결과를 실무에 도입하기 위해서는 관련 문헌이나 전문가들의 의견을 수렴하여 다양한 지역의 공간객체별 투수강도를 설정해야 할 것이다.

VI. 규제 총량 설정

불투수면 총량규제는 이미 개발된 지역의 투수면 총량을 확보하기 위해 미개발 지역 주민들의 개발이익이 침해가 된다는 점에서는 논쟁을 피할 수 없다. 총량규제 비용을 누가 부담하느냐의 문제에 대해 미개발지역의 주민들은 기존의 개발지역의 주민들이 혜택을 입게 되므로 “수혜자 부담”이라고 주장할 것이다. 국토의 효율적인 이용이라

표 4. 투수성 변화 추세의 공간 모델링을 위한 매트릭스

1985 \ 1998	산림	나대지	수공간	습지	개발지역
산림	1	2	3	3	2
나대지	3	1	3	3	2
수공간	2	2	1	4	2
습지	2	2	4	1	2
개발지역	3	3	3	3	1

1: 투수성 유지/불변 2: 투수성 훼손 3: 투수성 개선 4: 투수성 변화

표 5. 투수성 변화 추세의 공간 모델링 결과

(단위: 화소수)

투수성 유지/불변(퍼센트)	투수성 훼손	투수성 개선	투수성 변화	총계
44193(60)	25043(34)	3966(5)	495(0.7)	73,697

는 명분아래 조상 대대로 살아오던 양식이 적절한 보상없이 제한 또는 금지되어야 한다는 대해 설득력을 확보하기 위한 객관적인 근거를 제시하는 것이 제도 도입의 관건이라고 할 수 있다.

일단 투수면 평가 주제도가 제작되면 투수면의 총량관리를 위해서 관리단위 지역을 선정하고 이 지역의 환경용량을 토대로 적절한 불투수 공간의 허용한계를 설정하여야 한다. 투수면 관리차원에서 규제총량은 투수면의 분포에 영향을 미치는 인위적 경관요소(토지이용)와 토양, 물, 식생, 대기 등의 자연환경 요소들간의 상호작용을 고려하여 설정하여야 한다. 구체적인 규제 총량의 설정은 대상 지역의 생태계를 구성하는 요소와 그들간의 상호작용에 대한 종합적인 이해를 통해 설정될 것이다. 총량관리는 단위사업 또는 지엽적 입장보다는 대상 지역 전체를 대상으로 문제를 파악하고 대책을 수립해야 하기 때문에 규제단위 지역 설정과정에서 투수면 평가 주제도는 투수면 현황에 대한 객관적인 자료와 문제의 우선순위를 파악할 수 있는 과학적인 도구로 역할을 할 것이다.

다시기 영상의 판독결과는 총량규제 단위지역 설정과정에서 단순히 개별 공간 객체의 변화를 설명할 수 있을 것이다. 그러나 총량규제를 적용하는 단위지역을 선정하기 위해서는 개별 공간객

체에 대한 정보와 더불어 투수성에 주안점을 두고 토지 모자이크의 변화에 대한 정보가 필요하다. 이와 같은 정보 수요를 충족시키기 위하여 다시기 영상의 해석결과를 중첩하여 투수성의 관점에서 다시기 영상의 분류결과에 대한 재분류 과정이 표 4에 제시되어 있다. 다시기 영상의 분류결과를 규제총량의 측면에서 재구성하기 위해서는 투수성 변화의 관점에서 공간객체가 재정의되어야 한다.

산림이 수공간이나 습지로 변화하였을 경우 투수성이 개선된 것으로 정의하였지만 나대지로 변했을 경우 투수성이 훼손된 것으로 보았다. 나대지가 습지로 변화되었을 경우는 투수성이 개선된 것이지만 개발지역으로 변화되었을 때는 투수성이 훼손된 것으로 보았다. 여기서 습지라는 개념은 흐르거나 고인 수공간의 개념을 포함하지 않은 좁은 의미로 사용되고 있으며 습지가 수공간으로 전환되었을 경우는 투수성이 변화가 없는 것으로 재정의하였다.

투수성이 변화된 공간 객체는 물리학이나 화학 등과 같은 순수 과학에서 취급하고자 하는 대상의 물질적 현상이 아니라, 인간 본위의 현상이다. 투수성 변화를 평가하는 주체가 인간이기 때문에 인간의 평가와 근본적인 연계성을 갖고 있다. 인간은 자신의 관심사나 전공영역 등에 의거하여

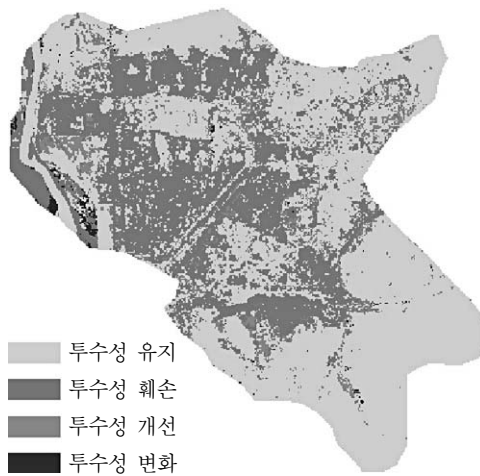


그림 8. 투수성 변화 추세의 공간 모델링 결과 출력 지도

규제총량의 관점에서 투수성 변화를 재정의하게 된다. 예를 들어, 도시 주변 투수면의 훼손 상태에 대해 같은 도시에 거주하는 주민이라도 개발 우선적 사고를 가진 사람과 환경 보전론자의 경우 전혀 다른 관점을 가지고 있을 것이다. 또한 투수성의 관점에서 습지나 수공간, 녹지 등 공간 객체를 다양한 학문에서 보는 시각이 차이가 있을 수 있다. 녹지가 습지보다 투수성의 관점에서 보다 중요한 객체로 보는 관점이 있을 수도 있다. 결국 규제총량의 관점에서 공간객체를 재구성하는 과정은 특정 전공영역이나 방법에 의존하여 설명될 수 없는 복잡성을 띄고 있어서 제반 기술 분야와 전문지식이 유기적으로 결합되어야 한다.

투수성 변화의 관점에서 다시기 영상의 분류결과를 중첩하여 재분류한 결과가 그림 8에 제시되어 있다. 연구지역의 34%가 85-98년 사이에 투수성이 악화되었다는 총체적인 공간 분석 결과를 제시하고 있다(표 5). 이는 대상지역의 규제 총량 범위와 면적에 대한 근거자료로 활용될 수 있을 것이다. 즉 특정기간 동안에 투수성 훼손의 범위를 고려하여 허용가능한 투수성 훼손 범위를 설정할 수 있을 것이다. 이러한 공간 분석 결과물은

사용자 친화적인 지도로 생성되어 제시될 수 있어 개발 사업지역의 투수성 변화에 대한 동적인 결과를 표현하는 데 효과적인 수단이 될 수 있을 것이다.

도시전체를 대상으로 지역별 규제 총량을 선정하기 위해서는 선행되어야 작업이 불투수면의 변화실태에 대한 모니터링 데이터가 축적되어야 하며 차후에 이들을 효율적으로 이용해서 현상을 모델링하는 등 보다 구체적인 문제에 대한 접근이 이루어질 수 있다. 이와 같이 공간 모델링은 투수면 규제 총량 선정 등 자연현상에 대한 설명이나 예측 등을 할 때 강력한 도구가 된다. 위치를 기반으로 하지 않은 전통적인 모델링에서 광역환경 문제의 원인을 진단하는 데 상당한 한계가 있었다. 원격탐사와 상호 보완적인 관계로 연계된 GIS 공간모델링은 이와 같이 가시적이고 객관적인 데이터에 의거하여 문제의 원인을 진단하고 대안을 마련할 수 있다는 실례를 보여주고 있다. 원격탐사가 GIS와 연계될 경우 다른 정보체계들과 구별되는 가장 중요한 것은 총량규제와 같은 공간문제 해결에 필요한 정보를 종합적이고 체계적으로 분석하고 표현할 수 있다는 데에 있다.

VII. 연구의 한계 및 개선방안

새로운 제도나 기술을 제안하고자 할 때는 이들의 긍정적인 면 뿐 만 아니라 한계를 명확히 인식하고 제대로 활용할 수 있어야 한다. 이런 관점에서 본 연구에서 제안한 총량규제차원에서 원격탐사와 GIS의 활용방안은 다음과 같은 한계를 가지고 있다는 점을 지적하고자 한다. 아울러 실무에서 본 시스템이 도입되기 위해 개선이 필요한 부분에 대해 의견을 정리하였다.

1. 불투수면의 총량규제 차원에서 원격탐사와 GIS를 적용하기 위해서는 투수성의 관점에서 공간 객체의 분류기준, 투수 원단위, 규제총량 설정 등 다양한 개념이 사전에 정의되어야 한다. 이를

위해서는 불투수면 총량규제 주무부처, 지방자치단체, 일반 시민 등 다양한 이해당사자들을 대상으로 장기간에 걸쳐 폭넓게 사용자 요구조건을 조사하여 구체화하는 작업을 필요로 한다. 한 예로 총량규제 차원에서 투수면 분류기준을 결정하기 위해서는 축척별, 지역별, 인지특성(자연환경, 인문환경) 등 다양한 관점에서 심도 있는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 불투수면 총량규제과정에서 검토되어야 할 핵심개념들을 연구자가 자의적으로 선정하고 평가하였기 때문에 타당성에 한계가 있었다.

2. 본 연구의 타당성을 검증하기 위해서는 원격탐사와 GIS 기반의 평가 방식과 현지조사를 통하여 수집된 데이터와 비교하는 것이 필수적이다. 향후 현지조사 기반의 평가에서 사용하는 기법과 원격탐사와 GIS 기반의 평가기법을 통합한 다양한 기법을 불투수면의 총량규제를 위해 연계함으로써 본 연구 결과의 실용성을 증진시킬 수 있는 방안에 대해서 보다 심도있는 연구가 필요하다.

3. 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 이 실험 연구는 단기간에 수행된 단 1개의 사례지역에 걸친 국한된 결과이다. 투수면 관련 정보가 상당히 넓은 범위에서 파악될 수 있는 데도 연구의 범위를 축소하여 집중적으로 검토하고자 본 연구에서 사용한 위성영상에서 판독가능한 공간 객체에 의거하여 투수성을 평가하였다. 예산상의 문제로 인하여 최근의 영상을 이용하지 못해 연구결과를 통하여 사례 연구지역의 실제 상황을 평가하는 데는 한계가 있다.

4. 각 지역이나 장소마다 그 특성이 매우 다를 수 있으므로 한두 가지의 연구나 모형으로 규제 총량을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다. 이와 같은 비교 평가과정은 즉 전통적으로 현지조사나, 지도에 의거한 접근보다 훨씬 과학적이고 객관적인 근거를 제공하여 규제 총량별 단위지역을 선정하기 위한 중요한 근거자료가 될

것이다.

5. 불투수면의 총량규제를 위한 정보서비스는 기초 DB 구축으로 종료되는 것이 아니라, 데이터를 해석하여 투수면 보전을 위해 적용할 수 있도록 지원하는 것이 중요한 목적의 하나이다. 본 연구에서 제시된 결과는 시범연구차원에서 하나의 예를 보여준 것이지 실무에 도입활용하기 위해서는 보다 심층적인 연구가 필요하다.

VIII. 결 론

본 연구는 기존의 연구가 장소에 의거하여 투수공간의 총량규제를 시도하려는 아이디어 자체도 제시하지 못한 점을 고려하여 장소나 지역에 주안점을 두고 원격탐사와 GIS를 활용하여 투수성 평가의 필요성을 제안하는 최초의 연구이다. 본 연구에서 제시된 광범위한 지역의 투수성을 단시간에 평가하는 방법에 의거 영상 데이터베이스를 체계적으로 구축하여 투수성을 다양한 관점에 따라 수시로 평가할 수 있을 것이다. 투수공간의 총량규제라는 보다 현실적이고 합리적인 전략이 시행된다면 그간 일선 실무자들이나 민원인들로부터 제기되었던 시멘트 콘크리트 회색 도시라는 오명을 해결할 수 있는 기초가 정립될 것으로 전망된다. 본 연구결과가 국가전체 차원에서 도시에 대하여 투수성 평가지도를 제작하기 위해 표준화된 계획을 정립하는 촉매제가 될 것이다. 아울러 지방자치단체에서도 정책결정자가 보다 적은 인력과 예산으로 합리적인 기준에서 도시내부의 투수면의 효율적인 보전 및 복원계획을 수립하는데 도움을 받을 수 있는 지침이 마련될 것으로 보인다.

1. 일단 확보된 원격탐사 영상은 환경에 대한 전문적인 지식이 없는 사람들도 수직조망(vertical vantage point)의 관점에서 투수공간의 현황을 광역적으로 파악할 수 있게 하여 현장조사의 한계점을 극복하는 데 중요한 역할을 수행할 것이다.

GIS 공간 분석 기법은 투수공간에 대한 정보를 사용자가 원하는 핵심지역만을 단시간에 선정하여 볼 수 있다는 점에서 넓은 지역에 대한 정보를 얻는데 있어서 기존의 현장조사와 비교하여 경제적이며 시·공간을 초월하여 조사하고자 하는 지역에 접근하여 분석 평가할 수 있는 장점을 확실하게 보여 줄 것이다.

2. 훌륭한 조사방법과 투수성 판정기준이 마련되어도, 최종적인 활용은 결국 지도에 의존하게 되는데 영구적인 기록으로서 보존된 영상을 필요에 따라 주요조사 지역별로 샘플링하고 투수성 평가항목을 여러 가지 유형(공간객체별 가중치, 단위 지역별 특성 등)으로 설정하여 다양한 분석 결과를 투수성 분포도로 출력할 수 있을 것이다. GIS환경에서 지도와 속성자료를 처리하게 됨으로써 자료 검색시간이 단축되고 고차원의 공간 정보가 산출될 수 있을 것이다. 본 시스템을 통해 주거지, 녹지, 상업지 등 다양한 토지이용에서 나타나는 광역 투수성의 실태를 확인할 수 있고, 축척에 따라 다르게 나타나는 투수성의 변화양상을 객관적으로 확인할 수 있을 것이다.

3. 도시 행정에서 여러 지역을 비교하여 투수공간 관련 정책을 수립해야 할 경우 과거에는 실무자의 경험과 감각적인 판단에 의존하여 업무를 수행하여 온 것이 사실이었다. 본 연구에서 제안된 방식에 의거하여 영상 GIS 데이터베이스가 구축되면 각종 개발사업이 투수공간에 미치는 영향을 단시간내에 평가하여 규제총량을 초과할 경우 사업의 동의 여부, 사업규모 축소, 대체 투수공간 조성 등 검토의견을 제시할 수 있을 것이다.

4. 궁극적으로 본 연구에서 제시된 방안이 실무에 도입되어 다년간, 다계절의 영상 데이터베이스가 구축되었을 경우, 과거의 투수면 변화 실태의 확인 필요성이 제기될 때는 영구적인 기록으로 보존되고 있는 영상을 통해 현재의 상황과 비교할 수 있어 불투수공간의 확대 및 환경 악화의 원인을 분석하는데 중요한 도구로 사용될 수 있

을 것이다.

사 사

이 논문은 2003년도 경북대학교 특성화연구팀(KNURT) 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- 경기개발연구원, 2001, 경기도 경관관리기본 계획, 286.
- 경남개발연구원, 1995, 도시경관정비 기준설정에 관한연구-진주시를 대상으로, 경남개발연구원, 120.
- 김선희, 1999, 국토생태통합네트워크 구축과 관리 방안 연구, 국토연구원 연구보고서, 234.
- 김종원, 2000, 하천유역별 통합 물관리체계 연구, 국토연구원 연구보고서, 140.
- 김포시, 1999, 김포시도시경관기본계획, 경기개발연구원, 250.
- 대구광역시, 2002, 대구광역시 도시경관기본계획, 경북대학교 환경과학연구소, 416.
- 안동시, 1997, 안동 도시경관보전연구, 77.
- 용인시, 2001, 용인시 경관형성기본계획, 경기개발연구원 환경연구부, 479.
- 이도원, 2001, 경관생태학-환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리, 서울대학교 출판부, 321.
- 이명우, 1995, 토지이용으로 인한 수질영향, 한국조경학회지 22(4), 198-202.
- 이종현 1998, 인천광역시 도시경관정비 기본 구상, 인천발전연구원
- 이창우, 2000, 서울시 환경용량에 관한 연구(II), 서울시정개발연구원 연구보고서
- 이창희, 이병국, 최지용, 김은정, 1999, 물자원의 효율적 이용을 위한 유역관리 방안: 낙동강 수계관리를 중심으로, 한국환경정책·

- 평가연구원 연구보고서.
- 日本國立環境研究所, 2001, 流域環境管理に關する國際共同研究.
- 임승빈, 1996, 부산도시경관관리의 방향, 부산발전연구원, 264.
- 한국 환경정책 평가 연구원 1999, 인공위성 영상을 이용한 토지피복 분류.
- Couch, C., 1997, Fish dynamics in rrbn streams near Atlanta, George, Technical Note 94, Watershed Protection Techniques 2(4), 511-514.
- Defries, R.S. and Townshend, J.R.G. 1999, Global land cover characterization from satellite data: from research to operational implementation, *Global Ecology & Biogeography*, 8(5), 367-378.
- Forman, R. T. T., 1995, *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press, 632.
- Heggen, D.T., Edmonds, C.M., Neale, A.C., Bice, L., and Jones, K.B., 2000, A landscape ecology assessment of the Tensas river basin, *Environmental Monitoring and Assessment*, 64, 42-54.
- Jones, K.B., Neale, A.C., Nash, M.S., Van Remortel, R.C., Wickham, J.D., Riitters, K.H., and O'Neill, R.V., 2001, Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics: A multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region, *Landscape Ecology* 16, 301-312.
- Michael, H., 1984, City form and natural process: towards a new urban vernacular, Van Nostrand Reinhold.
- Schueler, T., 1994, The importance of imperviousness, *Watershed Protection Techniques*, 1(3), 100-111.
- Schueler, T., 1995, Site planning for urban stream protection, Metropolitan Washington Council of Government, Washington, D.C.
- Verhoeye, J. and De Wulf, R. 2002, Land cover mapping at sub-pixel scales using linear optimization techniques, *Remote Sensing of Environment*, 79(1), 96-104.