

Landsat TM 위성영상 픽셀 기반의 녹지 연계망 평가

Evaluating Green Network based on Pixel of Landsat TM Satellite Image

이 동 윤^{*} 엄 정 섭^{**}
Dong Youn Lee Jung Sup Um

요약 현재 녹지 연결성 조사는 대부분 현지조사에 의존하고 있어, 특정시기의 특정지점에서 조사된 결과에 주관점을 두고 있다. 그리하여 조사지점의 대표성에 한계가 있고 많은 시간이 소요되고, 조사 대상물 위치의 부정확, 경제적 비효용 등이 문제점으로 지적되어왔다. 본 연구는 이러한 문제에 대한 대안을 제시하기 위해 Landsat TM (Thematic Mapper) 영상의 픽셀에 의거한 녹지 연계망을 평가하고자 출발하였다. 그리하여 원격탐사 기법이 녹지 연계망을 평가할 수 있는 도구로서의 가능성을 지니고 있는지를 평가하고자 특정 사례 연구지역에 대해 실증적인 연구가 수행되었다. 조사지점에만 국한된 현지조사 방식과 달리 픽셀 기반의 평가는 광역적인 녹지 연계망의 분포상태를 단시간에 제시하였다. 녹지 연계망 훼손 추세 평가는 다양한 시기의 녹지 변화 상태를 정량적으로 제시하고 있기 때문에 그 결과가 녹지 연계망 보전과정에서 설득력을 지닌 근거자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구가 녹지 연계망 감시에서 객관적인 데이터에 의거한 정책결정이 아닌 직관에 의존하여 왔던 관행을 개선될 수 있는 계기가 되어 향후 녹지 연계망 보전관련 중요한 참고자료가 될 수 있을 것으로 사료된다.

키워드 : 녹지 연계망, 픽셀, Landsat TM

Abstract At present, monitoring programmes for green network have been mainly based on field sampling, which relies on attributes of an area at one point in time, reflecting an emphasis on the small number of in-situ data. One of the major disadvantages of traditional field monitoring is that it is costly, laborious and time consuming due to the large number of samples required. The aim of this research was to evaluate green network based on pixel of Landsat TM satellite image. An empirical study for a case study site was conducted to demonstrate how a standard remote sensing technology can be used to assist in monitoring the green network based on pixel. The pixel-based analysis made it possible to identify area-wide patterns of green network subject to many different type of artificial structures, which cannot be acquired by traditional field sampling. It was demonstrated that the degradation trends of green network could be used effectively as an indicator to restrict further development of the sites since the quantitative data generated from remote sensing can present area-wide visual evidences by permanent record. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference to support more scientific and objective decision-making in monitoring green network.

Keywords : Green Network, Pixel, Landsat TM

1. 연구의 배경 및 목적

도시에서의 녹지 연계망이란 산림과 도시주변의 산을 생물종의 저장 공간 또는 유전자의 공급원 (gene pool)으로서 핵으로 규정하고, 도시 내 소규모 모 산, 도시공원, 습지 등을 녹색의 거점으로, 도시

를 가로지르는 선상의 하천을 선으로, 도시 내의 정원, 옥상공원, 가로수 등을 점으로 생태 통로로 연계하는 것이다. 즉, 생물과의 공생이 가능한 도시, 이것이 바로 도시에서의 녹지 연계망의 개념이다. 녹지연계망과 유사한 개념들로는 그린웨이[1-3], 그린 인프라[4], 코리도 녹도, 바이오툼 네트워크, 서식

[†] 이 논문은 2009년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

^{*} 경북대학교 공간정보학과 박사과정 iamuni@dreamwiz.com

^{**} 경북대학교 지리학과 교수 jsaeom@knu.ac.kr(교신저자)

처네트워크, 녹지축, 생태네트워크[5] 등 실로 다양하나, 상호독립적인 정의라기보다는 유사한 현상에 대하여 다른 용어를 사용하고 있다 [6-8]. 현재로서는 녹지 연계망에 대해 관련학문이나 실무에서 개념정립이 미약하고 전 세계적으로 표준화된 구체적인 실행 지침이 없기 때문에 녹지연계망의 당위성은 방향 및 구호수준에 머무르는 수준이다.

도시 녹지 연계망과 관련된 연구는 다양한 형태로 수행되고 있으나, 대부분 현장조사에 의존하여 초본, 삼림, 가로수 등 개별 식물 종이나 지형, 습지, 수변공간, 수공간 등 서식처 전체 공간구조에 대해 미시적이고 경험에 의존한 평가가 이루어지고 있다 [9-10]. 현지조사 중심의 녹지 연계망 평가는 조사자의 주관적 판단이 많은 영향을 미치고, 사람의 눈으로 볼 수 있는 범위에 한계가 있으므로 광역녹지 연계망을 평가하기에 미흡한 점이 많다. 이에 대한 대안으로 조사자의 녹지에 대한 지리적 인지도를 높이고 광역 녹지현황을 평가하기 위해 위성영상이나 이미 제작된 녹지 관련 지도를 GIS 환경에서 녹지 연계망을 구축하거나 평가하는 기초자료로 활용하는 사례가 보고되고 있다[11-13]. 녹지 연계망의 훼손 문제는 한 가지 요인에 의해 발생하는 문제가 아니라 대상지역내의 자연, 인문 현상의 상호작용에 의한 복합적인 현상이어서 원격탐사 자료로부터 추출된 주제도와 자연환경, 생활환경, 사회경제환경 등 여러 가지 주제도와 속성을 동시에 고려하여 녹지 연계망을 추적하는 선행연구가 보고되고 있다 [14-16].

대부분의 선행연구에서 경관생태학적 접근방법에 따라 대상지역을 바탕(matrix)으로 보고 중요한 패취(patch)와 코리더(corridor) 등을 확인하는 데 주안점을 두고 있다[17-18]. 핵심지역과 연결지역을 설정하는 것이 기본이고, 이를 위해 면적기준이나 토지의 환경성 평가 등 다양한 기법을 활용하고 있다[19]. 녹지 연계망을 평가할 때 핵심 문제인 네트워크의 연결지점으로 분류될 수 있는 녹지패치의 크기, 네트워크의 스케일, 녹지의 질, 지역적인 특성의 반영 등 다양한 변수에 대해 어느 평가항목에 무게를 두고 평가하느냐에 따라서 녹지 연계망의 밀도가 달라질 수 있다[9]. 특히, 평가기법에 따라, 평가항목별로 수많은 장·단점이 존재하고, 각각의 평가항목이 여타의 평가항목보다 어느 정도 중요한지를 객관적으로 비교하기가 아주 난해하다[17][20]. 도시 가로수, 삼림, 수공간, 옥상녹화지역 등 복잡한

인자들을 객관적이고 합리적으로 명확히 비교·분석하여 녹지 연계망의 밀도를 파악하기는 매우 어려운 실정이다.

원격탐사 분야에서 픽셀에 의거하여 필요한 정보를 추출하는 것은 표준화된 접근으로 자리잡고 있다[20-22]. 픽셀의 digital value 분포 실태를 이용하여 녹지연결성을 추적할 경우 선행연구에서 직면한 녹지 연계망 평가 결과의 주관성, 자의적인 평가과정 등 많은 한계를 극복할 수 있는 대안으로 판단된다. 원격탐사 영상을 분류한 지도의 픽셀에 의거하여 녹지 연계망을 추적할 경우 영구적인 기록으로서 보존된 영상을 필요에 따라 주요 연계지역별로 샘플링하고 녹피율 평가항목을 여러 가지 유형(공간객체별 가중치, 단위계지역별 특성 등)으로 설정하여 다양한 분석결과를 녹피율 분포도로 출력할 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 산지, 시가지, 수공간 등 다양한 토지 모자이크에서 나타나는 광역 녹지공간의 실태를 확인할 수 있고, 영상의 주기 해상도에 따라 시기별로 다르게 나타나는 녹지 연계망의 변화양상을 객관적으로 확인할 수 있다. 영상의 픽셀은 녹지 연계망 평가의 각 단계에서 명확히 정량화하여 관리할 수 있는 핵심변수이며 다양한 변수를 대표할 수 있는 단일의 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

영상의 픽셀에 의거하여 녹지 연계망을 평가할 경우 하나의 픽셀 주위로 연결 가능한 녹지 픽셀수의 비율을 산출할 수 있다. 픽셀은 격자 형태로 구성되어 있으므로 한 개의 녹지를 둘러싼 픽셀의 총 수는 8개가 된다. 그러므로 가운데 픽셀 주변의 모든 픽셀이 모두 녹지일 경우 연결된 최대 녹지수는 8개이며 녹지 연계망이 100%라는 결과가 산출될 것이다. 연구지역의 전체에 대해 이와 같이 픽셀단위로 분석된 녹지 연계망 밀도가 도출될 수 있다. 녹지축 분석을 위한 거시적인 관점의 연결성과 정량적인 분석을 위한 미시적인 관점의 분석까지 픽셀단위로 추적이 가능하다. 본 연구는 위성 영상을 이용하여 지표면의 각 인자를 녹피율의 관점에서 분류하고 녹지 연계망을 평가하는 것을 연구의 목적으로 한다.

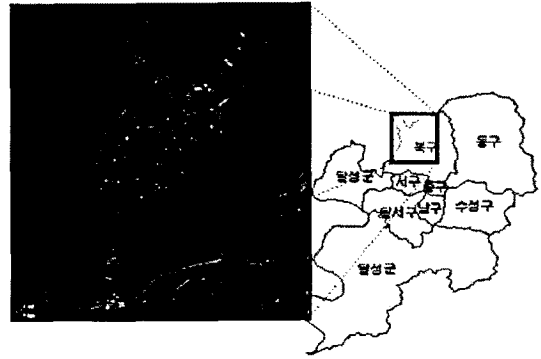
2. 연구 지역 및 데이터 취득

녹지 연계망을 평가하는 과정에서 단위 지역의

범위와 경계설정은 가장 중요한 요소이다. 우리나라의 경우를 보면, 대부분의 환경관리는 행정구역 단위를 바탕으로 이루어지고 있다. 공공기관의 통계자료들이 행정구역 단위로 구축됨에 따라 이들과의 통일성을 주기 위함으로 생각된다. 그러나 이러한 관리의 편의성에도 불구하고 행정구역상 관리는 몇 가지 문제를 수반할 수 있다. 특히, 생태계 관리와 관련해서는 한 행정구역내에서도 지리, 지형, 지질, 기후, 생물상 등 생태적 요인이 다를 수 있으므로 더욱 그러하다. 행정구역 구분은 산맥과 계곡을 중심으로 한 대단위 분수령을 구분한 역사성을 갖고 있으나, 그것이 생태적 통일성을 의미하거나 고유한 장소성을 대변한다고 말하기에는 무리가 있다[23].

우리나라의 취약은 배산 임수라는 풍수지리 이론에 의거 대부분 하천과 산을 끼고 있는 소하천 유역을 단위로 형성되어 있다. 주민들은 소하천 유역을 기반으로 형성된 전통 취락 단위에서 공동체 의식을 가지고 있고 사회적 유대를 유지하고 있다. 소하천 유역은 주민의 삶의 토대이며 공간적 고리를 형성하며 마음속의 고향이라는 의미를 부각시킬 수 있는 지역단위가 될 수 있다. 주민들의 삶의 토대가 되어 있던 소하천 유역 전통취락이 각종 개발 사업으로 인해 살기에 불편한 공간이 되어 가는 현실이다. 천혜의 자연경관인 산허리를 자르거나 조상들이 지금까지 잘 가꾸어 물려준 하천이나 습지가 하루아침에 흉물로 변하고 있는 현실이 자주 대두되고 있다. 소하천 유역 단위로 녹지 연계망의 밀도를 조사할 경우 생태계의 특성을 반영하는 경계를 활용하면서 녹지 연계망의 보전을 위해 전통 취락 단위의 도로의 확장이나 신설을 규제하자는 구체적인 대안을 도출하는 데 용이할 것으로 판단되어 [24], 본 연구는 40km² 정도의 대구광역시 북구 팔거천 유역을 단위지역으로 수행하였다(그림 1).

팔거천 영향권에 들어가는 지역은 1981년 대구광역시에 편입된 예전의 칠곡읍 지역이며 칠곡지역은 동, 서, 북쪽 모두 산으로 둘러싸인 지형이어서 팔거천이 칠곡을 가로지르는 지역의 젓줄인 셈이다. 칠곡은 대구와 구미 사이에 위치하여 최근 10여 년 동안 아파트 개발사업의 진행으로 팔거천 주변 지역 인구의 폭발적인 증가와 맞물려 심각한 녹지 연계망의 훼손이 이루어졌다. 고속도로로 인해 산허리가 절개되어 있고 소로가 삼림을 베어내고 거의 산 정상 턱밑까지 자동차가 기어올 수 있도록 뚫려



좌측은 대구광역시 북구 팔거천 유역 Google Earth 영상, 우측은 대구광역시 행정경계도

그림 1. 연구지역 지도

져 있다. 산지 주변을 파헤치고 건축된 위락 시설이 도시의 자연성을 심각하게 훼손하고 있다. 무태와 칠곡을 연결하는 국우터널이 만들어지면서 산봉우리에 구멍을 만들면서 경관을 훼손하고 있다. 칠곡 주변의 산들이 거의 대부분 대단위 묘지와 묘지 개발되는 과정에서 개설된 도로로 인해 산사태나 토사 유실 등의 문제를 가지고 있다. 팔거천 유역이 생명의 하천으로 다시 태어나기 위해서는 오랜 시간과 엄청난 비용이 소모될 것이고 녹지 연계망의 보전차원에서 도로 밀도의 통제 등 근본적인 대책 마련이 요구되는 지역이다.

연구 전반에 걸쳐 응용 프로그램은 ERDAS Imagine 8.6 영상처리 소프트웨어와 ArcGIS 9.1이 사용되었다. 데이터의 수집에서 녹지연계망 추적까지 연구 진행 과정에 대한 순서도가 그림 2에 제시되어 있다. 분류된 영상으로 녹지 연계망을 추적하는 과정에서 ESRI ArcObjects Library 및 Microsoft Visual Basic 6과 GIS 개발엔진 및 프로그래밍 소프트웨어를 활용하였다. 본 연구에서 사용된 자료는 Landsat TM(Thematic Mapper) 영상(그림 3)으로 30m의 공간해상도를 가지고 있으며, 다양한 시기와 계절의 영상을 사용함으로써 식물 생육주기와 기상특성을 고려한 녹지 연계망 평가를 시도하기 위해 취득시기가 유사한 1985년 10월, 2001년 11월 영상을 활용하였다(표 1). Landsat TM은 1970년대부터 국내에 공급되어 활용중인 최초의 위성영상으로 적외선 등 다양한 파장대를 가지고 있는 만큼 녹지관련 공간객체를 탐지하는 데 그간 다양한 분야에서 사용되고 있다[25-26].

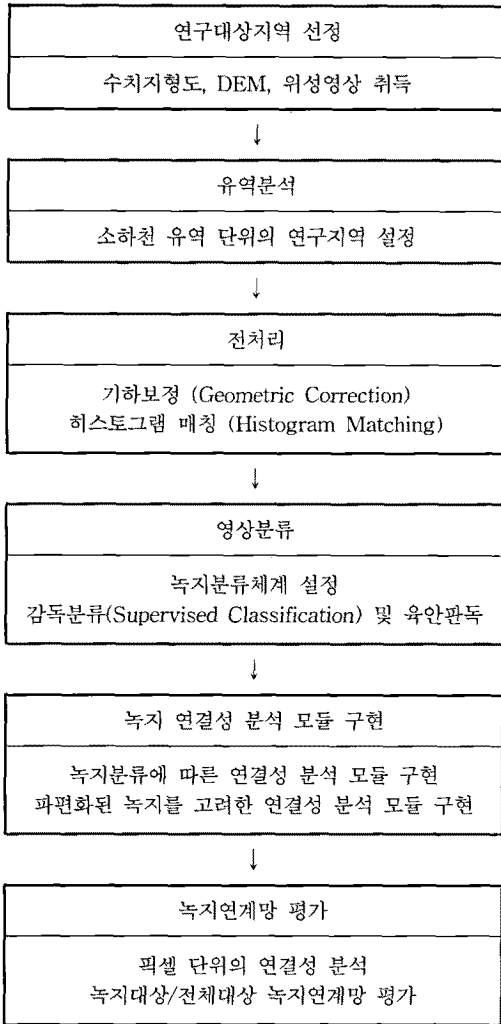
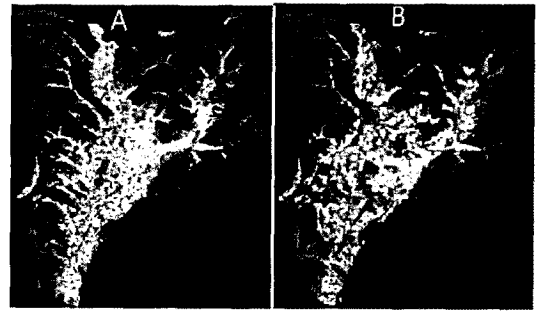


그림 2. 연구수행 과정

TM 영상에 의한 녹지분류 자료는 현지 조사에 비해 세부적인 자료를 얻을 수 없다는 단점이 있으나 넓은 지역에 대한 자료의 수집이 가능하고 동일 지역에 대한 과거의 녹지현황을 평가할 수 있다는 점에서 녹피율의 변화추세 평가를 통해 녹지 연계성에 대한 기초자료를 확보하기 위한 데이터로서 최적의 영상으로 판단된다. 아울러 TM 영상의 자동판독 결과를 IKONOS 1m급 고해상도 영상을 활용하여 육안판독을 통해 보완함으로써 TM 영상에서 공간해상도의 취약성이 상당부분 해소될 수 있을 것으로 판단되었다.



A는 85년 10월, B는 2001년 11월에 취득. 밴드 2, 3, 4를 이용한 standard FCC(False Color Composite) 디스플레이

그림 3. 연구지역의 TM 영상

3. 영상 전처리 및 녹지 분류지도 제작

변화 탐지를 위해서는 두개의 화상의 좌표를 서로 일치시키면서 동시에 실제 좌표에 일치시키는 image rectification 과정이 필요하다. 취득일이 다른 다양한 영상들을 공간적으로 정확하게 중첩(registration)하는 것은 효과적인 change detection을 위해 필수적인 절차이다. 영상들을 비교하여 변화를 추출하는 과정에서 오차를 최소화하기 위한 픽셀 이하의 RMSE(Root Mean Square Error) 범위에서 기하보정을 수행하였다. 변화탐지를 위해 사용되는 원격탐사 데이터는 취득 당시에 구름, 대기상태, 토양 습윤도 등 환경 조건이 다르기 때문에 이를 동일조건으로 맞추어 주어야 한다. 이와 같이 근본적으로 다른 환경 조건에서 취득된 다시기 영상에서 이러한 영향을 제거하는 과정을 방사보정(radiometric normalisation)이라고 한다. 이상적인 방사보정 과정은 데이터 취득 당시 조사지역의 기상 데이터를 분석하여 원격영상의 방사 값을 보정하는 것이다. 그러나 이와 같이 보정을 위한 데이터를 확보하기도 어렵고 이에 근거하여 영상의 방사 값을 보정한다고 하더라도 신뢰할 만한 보정의 기준을 설정한다는 것이 상당히 어렵다. 다양한 선행 연구와 실무에서 정착되어[27], 활용되고 있는 다시기 영상의 히스토그램을 매칭(histogram matching)하는 방식이 본 연구에 적용되었다. 다시기 영상 중 2001년 영상을 기준(master or reference)으로 설정하고 1985년 영상을 종속변수(slave)로 두고 히스토그램을 보정하였다. 1985년 영상의 경우 ground truth가 근본적으로 불가능하므로 분류결과를 확인

표 1. 연구자료 및 수행도구

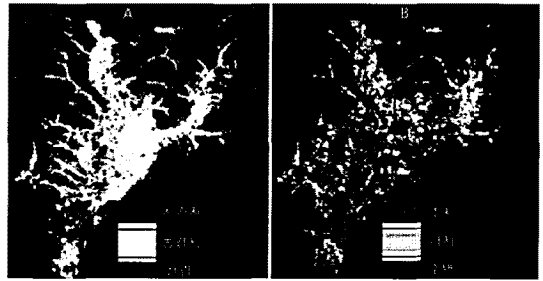
구분	내용	항목	용도
연구자료	Landsat TM	1985년 10월 2001년 11월	픽셀 단위 분석 change detection
	IKONOS	2001년 1월	육안판독
	DEM	대구시 30m 격자	유역분석
	수치지형도	행정경계	연구지역의 행정경계 확인
연구도구	GIS	ERDAS Imagine 8.6	위성영상자료 처리 및 데이터 구축
		ESRI ArcGIS Desktop 9.1	공간 분석
		Arc Hydro for ArcGIS 9.0/9.1	유역분석
	프로그래밍	MS Visual Basic 6	연결성 평가기법 프로그램 개발
		ESRI ArcObjects Library	GIS 공간연산 라이브러리

할 수 있는 2001년 영상을 master로 설정하였다.

원격영상에서 공간객체를 분류하는 과정은 영상이 포함하고 있는 정보를 수요자의 필요에 따라 조작하는 과정이다. 토지 모자이크를 구성하는 개별 공간 객체는 관점에 따라 등질성이 여러 가지로 나타나게 된다. 즉 비록 같은 지역이라고 하더라도 다른 기준에 의한 토지 모자이크를 구분하면 서로 다른 결과를 나타낸다. 녹지 연계망의 기초자료를 확보하기 위해서는 가장 합리적으로 어떤 변수와 기준을 사용하여야 하며, 또한 몇 개의 변수를 사용하여야 하는가에 대한 의문을 제기하게 된다. 아직 녹지 연계망에 주안점을 두고 토지 모자이크 분류에서 식생의 지표점유율, 식생의 종류 등을 고려한 대분류, 중분류, 소분류 등의 분류 체계가 마련되지 않고 있다.

녹지 연계망을 추적하기 위한 기초자료로 영상을 분류하고자 하면 개발활동으로 파괴되는 녹지에 대한 정보를 확보하는 것이 핵심 사안이다. 국토면적이 상대적으로 좁은 우리나라에서 도시화와 산업화로 인한 농경지, 산림지의 용도변화가 지속적으로 일어나고 있다. 아파트 신축이나 도로의 신설 및 확장이 녹지 파괴의 주요원인이다. 이러한 인공적인 변형은 일정한 형태적 특성을 갖고 있기 때문에 30m의 TM 영상으로 필요한 정보를 추출할 수 있다[28]. 본 연구에서는 녹지 연계망 평가과정에서 필요한 핵심정보로 판단되는 공간 객체를 환경부 토지피복도 분류 기준[28]에 의거하여 시가지, 건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역으

로 설정하였다(표 2). 이 기준에 의거하여 영상을 육안 판독하였을 때 대부분의 공간 객체가 확인하게 구분되어 그간 녹지 관련 주제도의 한계로 누차에 걸쳐 지적되어온 객관성의 한계를 극복할 수 있다. 선행연구를 확인하여 보면 Landsat TM을 이용하여 본 연구에서 다루고 있는 대부분의 공간객체를 구분하는 데는 큰 어려움이 없는 것으로 판단된다[25-26].



A는 85년 10월, B는 2001년 11월 영상

그림 4. 영상분류 결과

일반적으로 TM 영상을 사용할 경우 자동판독에 주안점을 두고 육안판독은 자동판독결과의 신뢰도를 평가하는 과정에서 수행되고 있다. 그러나 본 연구는 IKONOS 영상이 포함하고 있는 정보를 그대로 반영하기 위해 자동판독과 육안판독을 거의 동일한 비중을 두고 자동판독의 결과를 IKONOS 영상과 비교하면서 육안판독으로 보완하였다. TM 영상에서 공간객체에 대한 명확한 경계를 정의하기

표 2. 토지피복분류 면적변화

구 분	1985년		2001년	
	면적(m ²)	면적비율(%)	면적(m ²)	면적비율(%)
시가화건조지역 ¹⁾	48,240	3.46	335,010	24.05
농업지역 ²⁾	357,360	25.66	158,340	11.37
산림지역 ³⁾	918,450	65.95	869,460	62.43
초 지 ⁴⁾	54,600	3.92	13,500	0.97
나 지 ⁵⁾	9,660	0.69	12,900	0.93
수 역 ⁶⁾	4,380	0.31	3,480	0.25
녹지전체	1,344,450	96.54	1,057,680	75.95

- 1) 주거지역, 산업지역, 상업지역, 혼합시가화, 교통지역, 공공시설물 등
 3) 활엽수림, 침엽수림, 혼효림
 5) 운동장, 기타나지

- 2) 논, 밭, 하우스, 기타재배지
 4) 자연초원, 공원묘지, 도심녹지 등
 6) 하천, 호소 등

어려울 경우 IKONOS 영상에서 직접 벡터라이징을 수행하여 그 결과에 의거 TM 영상의 분류를 수정하였다. 따라서 판독결과는 TM 영상이 지니고 있는 정보라기보다는 고해상도 영상이 가지고 있는 정보를 TM 영상에 반영하였다는 표현이 적절할 것으로 판단된다.

녹화율이 좋은 외곽지의 산림 녹지 구조가 화면에 선명하게 나타남으로써 일반인도 쉽게 자기가 거주하는 지역의 녹지구조를 이해할 수 있었다. 연구지역이 갖고 있는 천혜의 녹지 자원(주로 경작지)이 최근 대규모 공동주택지의 개발로 훼손되고 있다는 증거를 쉽게 확인할 수 있었다. 일부 기존의 도심지 녹지, 수공간이 인공경관으로 대체되었음을 알 수 있었다. 2001년 영상에는 시가지에는 녹지가 거의 사라지고 작은 구릉지 정도가 녹지축을 형성하면서 분포하고 있음을 알 수 있었다. 연구대상지역은 1985년에서 2001년에 걸쳐 시가화 건조지역이 48,240m²(3.46%)에서 335,010m²(24.05%)로 매우 크게 증가하였으며(그림 4, 표 2), 이는 아파트개발 등의 개발 사업이 많이 이루어졌음을 알 수 있다. 또한 농업지역이 357,360m²(25.66%)에서 158,340m²(11.37%)로 많이 줄어들어 농경지에 개발 사업이 특히 많이 이루어졌음을 알 수 있다. 시가화 건조지역을 제외한 나머지, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역을 포함한 녹지전체 면적은 1,344,450m²(96.54%)에서 1,057,680m²(75.95%)으로 녹지가 감소하였다.

TM 영상에서는 산지, 하천, 구릉지 등 상당히 넓은 범위에 걸쳐있는 녹지의 존재 여부, 분포를 파악하는 데 용이하지만 도심지 내부에 국부적으로 나타나는 작은 규모의 공원 및 주거지, 상업지, 공원 오픈스페이스들의 식별은 어려웠다. 하지만 IKONOS 영상에서는 중심지 오픈스페이스, 시가지 녹지 등의 자연적 요소와 급격한 산업화로 인해 단기간에 난립한 인공구조물, 건축물 등을 확인할 수 있었다. 2001년 영상에서는 중심시가지에 전체적으로 녹지가 부족하다는 것을 가시적으로 확인할 수 있었으며 건물의 밀집으로 녹지가 들어설 틈을 남겨두지 못하고 있음을 알 수 있었다. 도심지 공원이나 도심부 주변공원의 경우 주변 환경과 연계성이 부족하여 공원 안으로 찾아 들어가지 않고서는 녹지의 혜택을 누릴 수 없도록 조성되어 있다는 것이 확인되었다.

통상 TM 영상의 판독결과는 항공사진이나 고해상도 영상을 가지고 정확도 평가를 수행하여 왔다. 본 연구는 육안판독과정에서 IKONOS 영상을 이용하였기 때문에 이들을 이용하여 정확도 평가를 수행한다는 것은 방법론 차원에서 한계를 가지고 있다. 하지만 본 연구와 유사한 공간객체를 대상으로 수행된 많은 선행연구가 80% 이상의 정확도를 확보하였다고 보고하고 있는 점을 감안한다면[25-26], IKONOS 고해상도 영상이 가지고 있는 정보를 그대로 반영하고 있는 본 연구의 결과는 이보다 훨씬 높은 정확도를 가지고 있을 것으로 판단된다.

4. 녹지 연계망 평가

녹지의 연결성을 분석하는 방법은 여러 가지가 있으나(표 3) α, β, γ 지수가 많이 사용되고 있다 [29]. 연결성의 정도를 나타내는 지수로 α 지수는 이동시 틈(gap), 교란, 포식자, 사냥 등 장애가 있는 경우 대안적 경로의 정도를 나타내는 지표이며, β 지수는 연결(Link)을 경관조각(Node)의 수로 나누어 값으로 단순히 경관조각에 대한 통로의 비를 나타낸다. γ 지수는 이동시 단절되지 않고 연결될 수 있는가에 대한 지표이다. γ 지수는 이동시 단절되지 않고 연결될 수 있는가에 대한 지표이다. 연계망의 연결성을 측정하는 방법으로 보통 α지수와 γ지수가 이용된다. 녹지 연결성을 분석하는 α, β, γ 지수 중에 본 연구에서 의미하는 연결성과 일치하는 지수는 γ 지수이므로 이를 활용하여 픽셀단위의 연결성을 계산하였다. γ 지수는 연결 가능한 최대의 링크수에 대한 실제 연결된 링크수의 비로써 모든 경관조각이 연결되어 있지 않는 상태인 0에서부터 모든 경관조각이 다른 모든 경관조각과 연결된 상태인 1까지의 값을 가진다. γ 지수가 나타내는 연결성은 동물의 이동시 짧은 경로를 선택할 수 있는 정도를 나타낸다 [30]. 녹지연계성 평가 방법은 식 1과 같이 이동시 단절되지 않고 연결될 수 있는가에 대한 지표를 나타내는 γ지수를 이용하여 픽셀단위로 분석한다.

$$\gamma = \frac{L}{L_{max}} = \frac{L}{3(V-2)} \quad (1)$$

γ : 연결성 L : 연결체 수(연결된 링크 수)

V : 경관조각의 수

Lmax : 가능 연결체 수의 최대 값

(연결 가능한 최대의 링크 수)

식 2 및 그림 5와 같이 γ지수를 통해 픽셀단위로 분석된 연결성 값의 합을 총 픽셀수로 나누어 연구지역의 녹지연계성을 평가한다. 이때 두 가지 방법을 통해 연결성을 평가한다. 첫째 녹지만을 대상으로 하는 방법과, 둘째 대상지역에서 전체 픽셀을 대상으로 하는 방법이다.

$$\text{녹지연계성} = \frac{\sum \gamma_{xy}}{N} \quad (2)$$

γ_{xy} : 개별 픽셀의 연결성(γ)

N : 총 픽셀 수

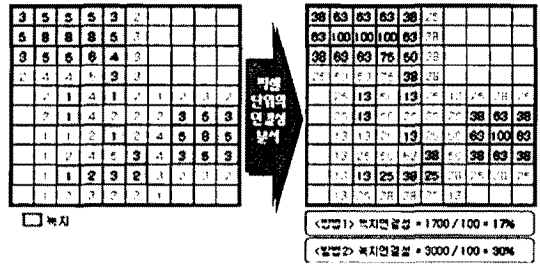


그림 5. 녹지연계망 평가 방법

이와 같은 녹지연계망 평가 방법을 기반으로 하여 그림 6과 같이 ESRI ArcObjects Library와 Microsoft Visual Basic 6을 통해 연결성 분석 모듈을 구현하였다. 구현된 소프트웨어는 녹지분류체계에 따라 농업지역, 산림지역, 초지, 나지, 수역에 대한 개별 연결성 및 녹지전체에 대한 연결성을 분석하도록 하였다. ArcGIS Spatial Analyst의 Neighborhood statistics 분석 기법을 활용하여 녹지만을 대상으로 하는 경우와 비녹지 지역을 포함한 대상으로 두가지 방법에 대한 연결성을 분석해주는 함수를 별도로 구현하고, 외부에서는 녹지의 종류만을 입력해주면 해당 녹지의 연결성을 분석하도록 설정하였다. 녹지의 종류가 바뀔 경우 내부 프로그램을 수정하는 것이 아니라, 외부의 녹지 설정 값만 바꾸면 되도록 유연하게 처리하였다. 소프트웨어 테스트 방법으로는 화이트박스 테스트(white box test)와, 블랙박스 테스트(black box test)가 있다. 화이트박스 테스트는 프로그램의 소스코드를 통한 테스트이고, 블랙박스 테스트는 소프트웨어의 내부 동작은 알 수 없는 상태에서 소프트웨어가 목적으로 하는 동작만으로 수행되는 테스트이다. 본 연구에서는 녹지 연계성 평가라는 기능의 수행여부가 소프트웨어 평가의 핵심목표이므로 블랙박스 테스트를 통해 프로그램의 정확성을 검증하였다. 다양한 경계 값을 가지는 영상의 분류결과를 입력하여 구현한 모듈을 통해 연결성을 분석하면 원하는 기대치가 결과 값으로 도출되었다.

분석대상은 녹지지역 및 전체지역으로 구분하여 평가하였다. 첫 번째 방법은 녹지만을 대상으로 하여 연결성을 분석하는 방법이고, 두 번째 방법은 연구지역 전체를 대상으로 하여 분석하는 방법이다. 그림 7에서 해당 픽셀의 값이 녹지인 것(녹색으로 칠해진 픽셀)을 대상으로 분석하면 개별 픽셀의 연

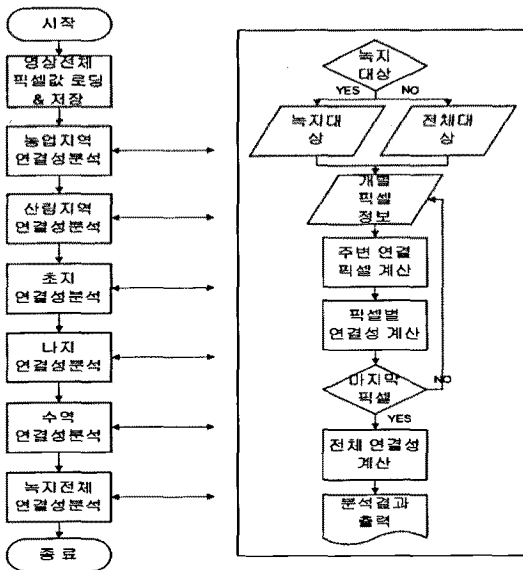


그림 6. 녹지 연결성 분석 모듈 구현 순서도

결성 총합은 1,700이고 총 녹지 수는 34개이다. 1,700을 34로 나누면 전체연결성은 50%가 나온다. 녹지만을 대상으로 분석하는 첫 번째 방법이 γ 지수 분석의 기본적인 방법이나, 이 경우 녹지 연결수가 많은 녹지가 소실될 경우에는 정상적인 연결성 감소가 평가되지만, 파편화된 녹지 즉, 연결성이 낮은 녹지가 소실될 경우 연결성이 상대적으로 높아질 것으로 예상된다. 그림 7을 보면 녹지만을 대상으로 분석한 경우 연결 녹지수가 적은 점선안의 녹지가 소실될 경우 녹지의 양이 감소하였음에도 불구하고 전체연결성은 50%에서 52.3%로 증가하였다. 하지만 전체지역을 대상으로 분석을 하면 30%에서 28%로 감소함을 볼 수 있다. 그래서 객관적이고 정량적인 분석을 통해 녹지연결성의 정확성을 확보하기 위해 전체지역을 대상으로 분석하는 두 번째 방법의 도입이 필요하다.

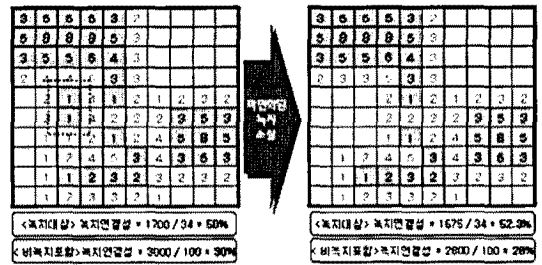


그림 7. 녹지소실시 연결성 변화

녹지연결성을 분석한 결과 모든 항목의 녹지면적이 감소함을 확인할 수 있다. 농업지역의 면적과 면적비율의 감소가 가장 높게 나타났듯이(표 2), 연결성 또한 녹지만을 대상으로 분석한 경우 77.50%에서 51.43%으로 전체지역을 대상으로 분석한 경우 25.54%에서 11.32%로 줄어들어 농경지에서 특히 개발사업으로 인한 파편화가 많이 이루어졌음을 알 수 있다. 표 4와 같이 녹지만을 대상으로 분석한 경우 1985년 2001년까지 전체녹지의 면적은 1,344,450 m²에서 1,057,680m²로 감소하였고, 녹지연결성은 97.99%에서 92.95%로 감소하였다. 전체지역을 대상으로 분석한 경우는 전체 면적은 1,392,690m²이고 연결성은 95.62%에서 75.08%로 감소하였다. 이와 같이 면적의 감소에 따른 녹지연결성도 감소하여야 하나, 녹지만을 대상으로 분석한 경우를 살펴보면 1985년 산림지역의 면적이 918,450m²에서 2001년 869,460m²로 감소하였으나 녹지연결성은 91.60%에서 93.09%로 증가하였다. 이는 파편화된 녹지가 소실되어 총 픽셀 수에서 제외됨으로 인해 전체 평균 연결성을 증가시키는 결과를 초래하였다.

녹지만을 대상으로 분석하는 경우 녹지의 훼손에 따른 연결성의 변화량이 대상지역 전체를 분석할 때 보다 명확히 나타나는 하나, 파편화된 녹지가 완전히 소멸되는 경우 연결성이 높아지는 단점을

표 3. 녹지연계망 평가방법 비교

연결성 분석방법	분석단위	소규모 녹지변화반영	비 고
본연구 (γ 지수활용)	픽셀	가능	- 픽셀크기에 따라 다른 결과
γ 지수	패치	불가능	- 패치간의 연결기준이 모호
중력모형	패치	일부가능	- 중심점간 거리측정 - 주변부 녹지과피 시 연결성 변화 미비
Fragstats 연결지수	패치	불가능	- 연결가능거리 지수에 따라 다른 결과

표 4. 녹지연결성 분석

구 분	녹지만을 대상으로 분석한 경우				전체지역을 대상으로 분석한 경우			
	1985년		2001년		1985년		2001년	
	면적(m ²)	연결성(%)	면적(m ²)	연결성(%)	면적(m ²)	연결성(%)	면적(m ²)	연결성(%)
농업지역	357,360	77.50	158,340	51.43	1,392,690	25.54	1,392,690	11.32
산림지역	918,450	91.60	869,460	93.09		65.18		61.64
초지	54,600	28.57	13,500	14.00		3.91		0.96
나지	9,660	27.33	12,900	36.86		0.69		0.92
수역	4,380	58.22	3,480	54.74		0.30		0.24
녹지전체	1,344,450	97.99	1,057,680	92.95		95.62		75.08

가지고 있다. 이에 파편화된 녹지의 소멸까지 파악할 수 있는 대상지역 전체 픽셀을 기반으로 연결성을 분석하는 방법이 적절한 방법으로 판단된다.

5. 토론 및 고찰

실증적인 결과를 제시하지는 않았지만 국내에서 정책보고서 차원에서 녹지 연계망 평가에 대한 논의가 그간 주로 현지조사 위주로 진행되어왔다. 녹지 연계망의 범위, 밀집도, 녹지 조각의 파편화 정도, 수령, 멸종 위기종, 종의 다양성 등 다양한 관점에서 논의가 진행되고 있다[6-7]. 현지조사에서는 넓은 지역에 대한 정보를 영구적인 기록으로 제공하지 못해 녹지 연계망 보전의 핵심 사항인 규제의 객관적인 근거자료를 제공하는 데 한계를 가지고 있다. 기존의 분석방법은 패치중심점간의 거리측정으로 인한 분석결과의 오류를 내포하고 있으며, 패치가 나누어질 경우에만 변화 파악이 가능한 단점을 가지고 있었다[31-32]. 녹지 연계망 평가의 방향은 과거 현장조사 방식에서 벗어나, 정량적이고 객관적인 평가가 가능한 원격탐사와 GIS의 활용이 필수적으로 요구되고 있다. 녹지 연계망 보전문제는 단위사업 또는 지역적 입장보다는 대상 지역 전체를 대상으로 문제를 파악하고 대책을 수립해야 하기 때문에 녹지 연계망 평가 결과는 녹지 현황에 대한 객관적인 자료와 문제의 우선순위를 파악할 수 있는 과학적인 도구로 역할을 할 것이다. 녹지 연계망 평가 결과에 의거 최근 20년 동안에 연계망 훼손이 30% 이상인 지역을 대상으로 향후 녹지 연계망 훼손을 대상지역면적의 10% 이내로 제한한다

는 방식으로 녹지 연계망 보전조치를 시행할 수 있을 것이다.

현지 조사를 주장하는 이론들은 본 연구에서 제시된 결과에 대해 다양한 녹지 연계망 분포 현상을 단순한 정의와 몇 가지의 예로 모두 표현하고 명확한 등급을 매기기란 불가능하다고 반박할 수 있을 것이다. 하지만 그간 현지조사에서 지나치게 다양한 변수를 고려하는 과정에서 녹지 연계망 조사 자료의 주관성 때문에 많은 시행착오를 겪었다. 전 국토에서 상당한 면적의 녹지 연계망이 이미 훼손되었음을 감안한다면 현상을 단순화하고 등급화하는 과정에서 다소 무리가 따르더라도 원격탐사 픽셀기반의 명확하고 구체적인 기준을 정하여 남아있는 녹지 연계망이라도 확실하게 보전하려는 발상의 전환이 필요할 때라고 판단된다.

본 연구에서는 인간의 간섭 정도, 식물군락의 종 조성 및 보전상태, 식생의 생육상태, 현존량 및 생산량 등 정량화하기 어려운 인자들은 배제하였다. 녹지를 수종 및 군락단위로 구분하거나 수관밀도, 식물의 연령 등 세부적인 대상을 고려하기보다 녹지 연계망 제도를 도입하는 데 있어 시급하게 필요한 정보를 대상으로 동일한 기준으로 일관된 작업 과정을 적용하여 단순화할 수 있는 공간객체를 분류의 기준으로 설정하였다. 이와 같이 미시적인 녹지 정보로는 그 규모나 형태적인 특성으로 인해 도시 녹지 연계망의 핵심 요소로 작용하고 있는 도시 전체의 자연적인 요소, 특히 산과 물(하천, 호수 등)을 거시적인 관점에서 인식하는 데 한계가 노출되기 때문이다.

녹지 연계망 보전의 근거자료는 결국 지도에 의

존하게 될 것인데 영구적인 기록으로서 보전된 영상을 필요에 따라 주요조사 지역별로 샘플링하고 녹지 연계망 평가항목을 여러 가지 유형(공간객체별 가중치, 단위 지역별 특성 등)으로 설정하여 다양한 분석결과를 제시할 수 있을 것이다. 현지조사에 의해서는 녹지 연계망 보전의 핵심근거자료인 이와 같은 정보를 산출하는 데 상당한 한계가 있다. 원격탐사환경에서 지도와 속성자료를 처리하게 됨으로서 자료 검색시간이 단축되고 고차원의 녹지 연계망 분포 정보가 산출될 수 있다. 환경영향평가에서 녹지연결성 항목을 추가하거나, 소규모 도시개발 사업에서 녹지훼손에 따른 연결성 감소를 막을 수 있는 대안을 제시하거나, 공원, 녹지, 하천 등의 도시계획시설 입지 시 녹지연결성을 감안하여 계획을 수립하는 등 다양한 실무에서 본 연구를 결과를 활용할 수 있을 것이다.

녹지 연계망의 관점에서 원격탐사를 적용하기 위해서는 공간 객체의 분류기준, 녹피율 변화추세의 재분류 등 다양한 개념이 사전에 정의되어야 한다. 녹지연계망 추적결과는 시간에 따라 변화하는 속성을 가지며 일정기간 내에서만 의미를 부여할 수 있다. 녹지연계망 변화의 관찰을 위한 시간적 범위(time-scale)도 사전에 정의되어야 한다. 이를 위해서는 녹지 연계망 주무부처, 지방자치단체, 관련 전문가 등 다양한 이해당사자들을 대상으로 장기간에 걸쳐 폭넓게 사용자 요구조건을 조사하여 구체화하는 작업을 필요로 한다. 본 연구에서는 녹지연계망 추적과정에서 검토되어야 할 핵심개념들을 연구자가 자의적으로 선정하고 평가하였기 때문에 타당성에 한계가 있었다.

본 연구는 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 단기간에 수행된 단 1개의 사례지역에 걸친 국한된 결과이며 연구지역을 대구광역시 북구 팔거천 일대로 국한하였기 때문에 조사지역의 한계가 명확하여 비교적 이상적인 조건하에서 수행된 결과이다. 녹지 연계망 평가의 관점에서 대표사례가 될 수 있는 지역들을 분석하여 분석 방법론의 타당성을 검증하는 절차가 필요하다. 도시의 규모, 자연환경 등 다양한 지역이나 장소마다 녹지 연계망의 특성이 매우 다르므로 특정 사례지역에 대한 분석으로 녹지연계망의 평가 기준을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 녹지연계망의 분포 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다.

6. 결론

본 연구는 기존의 연구가 위성영상의 픽셀 개념에 의거하여 녹지 연계망을 추적하려는 아이디어 자체도 제시하지 못한 점을 고려하여 픽셀의 digital value 간의 연결성을 계산하여 녹지 연계망 평가의 필요성을 제안하는 연구이다. 본 연구를 통해 산지, 시가지, 수공간 등 다양한 토지 모자이크에서 나타나는 광역 녹지 연계망의 실태를 확인할 수 있고, 영상의 취득시기에 따라 다르게 나타나는 녹지 연계망의 변화양상을 객관적으로 확인할 수 있었다. 본 연구는 원격탐사 영역에서 다루지 않았던 도시 내 녹지 연계망 추적방안을 제시하여 도시 환경관리에서 새로운 방향성을 제시하였다는 데 가장 큰 의의가 있다. 본 연구는 경관 생태학의 연구나 선진국의 제도나 관행을 고려하면서 픽셀의 장소적 특성에 주안점을 두고 녹지 연계망 평가가 가능하도록 보편적인 평가 틀과 모형을 제시하였다. 결국 이 연구는 픽셀에 기반을 둔 평가가 거의 이루어지지 않은 상황에서 기존의 평가기준에 의거하여 픽셀기반의 평가를 시도했다는 점에서 의의가 있다. 이와 같은 픽셀에 의거한 평가가 기존의 현지조사나 각종 주제도를 GIS 환경에서 결합하는 다양한 변수 중심의 평가에서 축적된 선행연구와 집목됨으로서 그간 녹지 연계망 평가의 객관성, 과학성에 대해 누차에 걸쳐 제기된 문제에 대해 향후의 연구에 중요한 시사점을 제공할 것이다. 녹지 연계망 평가는 변수에 따라 너무 많은 차이를 보이기 때문에 픽셀에 기반을 둔 평가방식은 결과의 객관성을 담보할 수 있다는 점에서 효과적인 모델로 자리 잡을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Walmsley, A., 2006, Greenways: multiplying and diversifying in the 21st Century, *Landscape and Urban Planning*, Vol.76, No.1-4, pp.252-290.
- [2] Yokohari, M., Amemiya, M., and Amati, M., 2006, The history and future directions of Greenways in Japanese new towns, *Landscape and Urban Planning*, Vol.76, No.1-4, pp.210-222.
- [3] Zakaria, K., and Imam, E.A., 2006, Role of urban greenway systems in planning residential com-

- munities: a case study from Egypt, *Landscape and Urban Planning*, Vol.76, No.1-4, pp.192-209.
- [4] Weber, T., Sloan, A., and Wolf, J., 2006, Maryland's green infrastructure assessment: development of a comprehensive approach to land conservation, *Landscape and Urban Planning*, Vol.77, No.1-2, pp.94-110.
- [5] Rob, J., and Gloria, P., 2004, *Ecological Networks and Greenways : Concept, Design, Implementation*, Cambridge University Press.
- [6] 환경부, 1995, 전국그린네트워크회구상-사람과 생물이 어우러지는 자연 만들기, 서울
- [7] 환경부, 1997, 그린네트워크 사례, 서울
- [8] 변병설, 이병준, 2002, 쾌적한 도시환경을 위한 녹지확보방안. 한국환경정책·평가연구원.
- [9] Scotti, M., Podani, J., and Ferenc, J., 2007, Weighting, scale dependence and indirect effects in ecological networks: A comparative study, *Ecological Complexity*, Vol.4, No.3, pp.148-159.
- [10] Erickson, D., 2006, *MetroGreen: Connecting Open Space in North American Cities*. Island Press. pp.41-59, pp.269-293.
- [11] 차재규, 정응호, 류지원, 김대욱, 2007, 도시열섬현상 완화를 위한 녹지네트워크 및 바람길 구축, 한국지리정보학회지, 제10권 제1호, pp.102-112.
- [12] Pascual-Hortal, L., and Saura, S., 2007, Impact of spatial scale on the identification of critical habitat patches for the maintenance of landscape connectivity, *Landscape and Urban Planning*, Vol.83, No.2-3, pp.176 - 186.
- [13] Vuilleumier, S., and Pre'laz-Droux, R., 2002, Map of ecological networks for landscape planning, *Landscape and Urban Planning*, Vol.58, No.2-4. pp.157-170.
- [14] 박창석, 오규식, 이영숙, 김재호, 이동우, 김기돈, 2007, 도시생태네트워크 구축을 위한 토지이용계획 연구, 한국환경정책·평가연구원 pp.245-288.
- [15] Opdam, P., Steingrover, E., and Van Rooji, S., 2006, Ecological networks: a spatial concept for multi-actor planning of sustainable landscapes, *Landscape and Urban Planning*, Vol.75, No.3-4, pp.322-332.
- [16] Marulli, J., and Mallarach, J. M., 2005, A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area, *Landscape and Urban Planning*, Vol.71, No.2-4, pp. 243-262.
- [17] Cook, E. A., 2002, Landscape structure indices for assessing urban ecological networks, *Landscape and Urban Planning*, Vol.58, No.2-4, pp.157-170.
- [18] Zhang, L., and Wang, H., 2006, Planning an ecological network of Xiamen island (China) using landscape metrics and network analysis, *Landscape and Urban Planning*, Vol.78, No.4, pp.449-456.
- [19] Benedict, M. A., and McMahon. E.T., 2006, *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities*. Island Press.
- [20] Latham II L. G., and Scully E. P., 2002, Quantifying constraint to assess development in ecological networks, *Ecological Modelling*, Vol.154, No.1-2, pp.25-44.
- [20] Busetto, L., Meroni, M., and Colombo, R., 2008, Combining medium and coarse spatial resolution satellite data to improve the estimation of sub-pixel NDVI time series, *Remote Sensing of Environment*, Vol.112, No1, pp.118-131.
- [21] Latifovic, R., and Olthof, I., 2004, Accuracy assessment using sub-pixel fractional error matrices of global land cover products derived from satellite data, *Remote Sensing of Environment*, Vol.90, No.2, pp.153-165.
- [22] Ju, J., Kolaczyk, E. D., and Gopal, S., 2003, Gaussian mixture discriminant analysis and sub-pixel land cover characterization in remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, Vol.84, No.4, pp.550-560.
- [23] 전성우, 2002, 국토생태네트워크의 추진전략에 관한 연구, 환경정책평가연구원
- [24] 엄정섭, 2005, 도로밀도에 대한 소하천 유역 기반의 총량규제 기초자료 확보 방안, 환경영향평가, 제14권 제5호, pp.317-335.
- [25] 구자용, 2002, 위성 영상 자료의 분석을 위한 영상 융합기법 연구, 한국GIS학회지, 제10권 제2호, pp.345-363.

- [26] 박정재, 구자용, 김병선, 2007, 위성영상을 이용한 중분류 토지피복도의 제작과정 개선, 한국GIS학회지 제15권 제1호, pp.67-80.
- [27] 엄정섭, 2004, 디지털 시대의 원격탐사, 경북대학교 출판사
- [28] 환경부, 2003, 인공위성 영상 자료를 이용한 토지 피복지도 구축(4차)-낙동강 권역 토지피복지도 구축 사업.
- [29] Forman, R. T. T., and Godron, M., 1986, Landscape Ecology.
- [30] 김명수, 2002, 대도시 녹지 연결성과 생물이동성 평가기법 개발 : 경관생태학적 접근, 박사학위 논문, 서울대학교.
- [31] 사공정희, 나정화, 2006. 녹지 상호간 연계성 및 기질특성 평가를 통한 녹지 연계망 조성방안, 한국조경학회지, 제34권 제4호, pp.18-36.
- [32] 윤은주, 2006, 서울시 도시녹지 평가를 위한 경관 지수의 민감성 및 변별력 분석, 박사학위 논문, 서울시립대학교



이 동 윤

2001년 영남대학교 공학사
2008년 경북대학교 지역정보학과 이학 석사
2008년~ 현재 경북대학교 공간정보학과 박사과정

관심분야 GIS, 원격탐사, 도시계획



엄 정 섭

1985년 전남대학교 문학사
1992년 아시아 과학기술원 (Asian Institute of Technology: AIT), 이학 석사
1998년 영국 애버딘 대학교, 이학박사

1987년~1999년 환경부

1999년~현재 경북대학교 교수

관심분야 GIS, 원격탐사, 환경영향평가

논문접수 : 2010.03.14

수 정 일 : 1차 2010.04.27 / 2차 2010.05.11

심사완료 : 2010.05.12