

연구논문

도로밀도에 대한 소하천 유역 기반의 총량규제 기초자료 확보 방안

엄 정 섭

경북대학교 지리학과

(2005년 8월 22일 접수, 2005년 9월 30일 승인)

Acquisition of Evidential Information to Control Total Volume of Road Density per Tributary Watershed

Jung-Sup Um

Department of Geography, Kyungpook National University

(Manuscript received 22 August 2005; accepted 30 September 2005)

Abstract

This paper is primarily intended to propose a new concept of "aggregate control of road density" which is defined as the area-wide road surface per watershed area. An empirical study for experimental sites was conducted to confirm how a standard GIS technology can be used to assist in estimating the road density in terms of total volume threshold control. Guidelines for a replicable methodology are presented to provide a strong theoretical basis for the standardization of factors involved in the estimation of the road space threshold; the meaningful classification of road types, delineation of watershed boundary, interpretation for distribution trends of road density etc. A variety of visual maps using overlay analysis can be generated over large areas quickly and easily to show the fact that some degree of road space already exists in the experimental sites. They could be used as an evidence to limit further construction of road network in comparison with other tributary watershed. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference to confirm the potential of introducing the new concept of "site specific road density" to support more scientific and objective decision-making in the process of road construction project.

Key words : Road density, Aggregate control, Tributary watershed, GIS

1. 서론

1. 연구 배경

도로건설은 선형적으로 연속되는 사업으로 수십 또는 수백 킬로미터의 길이를 가지고 있어 영향범위가 긴 구간에 걸쳐서 나타난다. 도로 건설과정은 최단거리의 경로를 선정하여 개발사업의 비용을 최소화하려는 사업자와 자연환경의 훼손을 최소화하려는 보전론자간에 끊임없는 논쟁의 대상이 되어왔다. 도로 개발사업이 진행되는 곳은 대부분 생명이 숨쉬는 자연환경의 대상에서 시멘트 콘크리트나 아스팔트만 남아있는 개발지역으로 변모하기 때문에 영향을 최소화한다는 말이 도로개발사업에는 존재하지 않는다. 도로개발사업에서는 생태계가 보전되든지, 파괴되든지 양자택일일 뿐인 경우가 대부분이다. 이런 속성을 갖고 있는 도로 개발사업의 환경영향평가는 국가자연환경의 백년대계를 위해서 매우 중요한 의미를 지닌다. 도로 건설로 인한 환경문제는 생태계 단편화나 수환경이나 녹지 공간의 부족에 국한된 것이 아니라, 대기오염, 소음의 증가 등 전체 환경을 악화시키는 방향으로 진행된다.

더구나 도로개발사업은 산지, 습지, 하천 등 자연환경에서 보전우선순위가 높은 지역을 통과하여 인간 생활권을 연결하는 경향이 있기 때문에 다양한 유형의 자연환경을 통과하면서 생태계단절, 경관훼손 등 통상의 면형 개발사업(예: 공단건설)보다 자연환경에 광역적이고 부정적인 영향을 미치는 것이 사실이다. 면형 개발사업은 사업지역의 범위와 환경영향권을 비교적 쉽게 파악하고 대처방안을 마련할 수 있으나 도로 등 선형 개발사업은 환경영향의 광역성 때문에 개발사업으로 인한 환경영향권을 객관적으로 설정하기가 무척 난해한 점이 있다. 각종 개발사업의 50% 이상이 선형으로 분류되고 있지만 환경영향평가와 관련된 많은 연구와 기술개발은 면형개발사업에 집중되고 있다(Um, 1997). 우리나라에서도 도로건설사업은 연간 200 여건의 환경영향평가서 중 35~45% 정도를 차지할 정도로(이수재 등, 2004), 환경

영향평가 대상사업 중 단일사업으로는 가장 많음에도 평가단계의 영향 예측과 공사시 및 운영시 실제 영향의 정도가 정밀하게 파악되지 못하고 있다. 도로 건설 사업은 환경영향평가 단계에서 노선선정에 따른 시비가 잦고 협의기간이 길어지는 대표적인 사업이다(권영인, 2005).

개발사업에 대한 사전 환경성 검토나 환경영향평가 등 각종 정책수단에서는 특정지역의 도로 포장율이 해당 소유역에 미치는 영향을 통제하는 데 상당한 한계를 가지고 있다. 대부분의 국가에서 신규 도로 개발사업에 대해서만 환경영향평가를 실시하고 있고, 이미 특정지역에 건설된 도로의 분포 비율 그 자체에 대해서는 영향평가를 실시하지 않는다. 또한 각종 도로 건설이 개별 사업별로 추진되는 반면 단위 지역의 도로밀도¹⁾가 유역전반에 미치는 영향을 고려하지 않아 난개발로 이어지는 사례가 빈번하다. 이는 많은 나라의 도시가 아스팔트나 콘크리트의 숲으로 변한 원인이 되며 유역 전체의 물이나 공기 순환 장애를 가져와 결국에는 대기, 수질, 수량, 생태계에 심각한 영향을 미치게 된다. 도로 건설이 어느 곳에서 이루어지던지 녹지, 수변 공간 등 투수면에 대한 영향이 개입되는 것이 필연적이다. 현행 환경영향평가는 특정장소나 지역에서 장기간에 이루어진 도로 건설 사업 또는 환경영향평가 대상이 아닌 도로 사업 등에 의한 누적 영향에 대해 대안을 마련할 수 없는 근원적인 문제를 가지고 있다.

도로건설사업은 추진주체, 재원, 도로의 종류 등에 따라 다양한 경로로 추진되므로 환경정책의 일관성 있는 반영이 어려운 대표적인 개발사업이다. 고속도로와 국도, 지방도의 건설 및 관리 주체가 건설교통부, 지방자치단체, 지방국도관리청 등으로 상이함에 따라 인접한 구간에서 국도확장과 고속도로 및 신도로 건설사업이 중복·병행 실시되는 경우가 종종 관찰된다. 산업의 발전이나 다양한 교통수요를 충족하기 위해 불가피한 것이라고는 하지만 국도가 지나가는 곳에 고속도로가 반복하여 통과하는 경우도 다반사이다. 지방자치체가 도입되면서 민선 자치단체

장들이 주민들의 개발 욕구를 충족시키고자 교통수요를 과대하게 예측하고 부풀려진 수요에 의거 수립된 교통계획을 추종하는 도로건설이 자주 이루어진다. 도로건설 시에도 공사를 나누어 규모를 줄이거나 사실상 신설공사임에도 확장공사 형식을 취해 환경영향평가를 피하고, 기존 도로 활용보다는 새 노선을 선호함으로써 이중의 환경파괴와 경제적 낭비를 낳고 있다. 이런 이유 때문에 이미 충분한 도로가 건설되어 있으므로 더 이상 도로부문에 투자하지 말고 환경문제와 교통수요를 줄이기 위해서 자전거 도로나 대중교통 시설 투자에 역점을 두어야 한다는 주장도 커지고 있다.

2. 연구 목적

결국 현재 환경 정책의 문제점을 극복하기 위해서는 지역별 도로의 배치계획이 총체적으로 규제되어야 한다. 일반적으로 각종 도시계획 및 토지이용 계획에서는 단위 면적당 허용 가능한 건폐율이나 주거밀도 등 주로 건축물만을 규제해 왔고, 환경 전체에 영향을 줄 수 있는 유역 내 도로 밀도에 대한 통제 장치가 없다(최지용, 장수환, 2003). 도로 밀도는 토지개발의 각 단계에서 명확히 정량화하여 관리할 수 있는 핵심변수라는 점에서 유역관리에 있어서 중요한 인자이다. 도로가 유역의 수질 및 수량 등 전반적인 환경에 미치는 영향을 고려할 때 도로 밀도라는 단일의 지표가 설정되어야만 효율적인 국토환경보전이 이루어질 것으로 판단된다. 즉 대기, 수질 등을 지역별로 총량규제하는 방식과 같이 도로 밀도를 단일 지표로 관리한다는 의미이다.

결국 개별 도로 건설 사업별로 환경영향을 평가하는 방식에서 벗어나 전체 자연 환경이나 사회경제환경에 대한 핵심 대상으로 도로의 면적을 관리할 것이 요청된다. 최근 누적적 환경 영향으로부터 수량, 수질, 생태계를 보호하는 포괄적인 수단으로 유역 단위의 환경 관리가 주도적인 패러다임으로 정착되어 가고 있다. 도시환경 관리의 과학화와 규제제도의 효율성을 제고하기 위한 기반을 마련한다는 장기적 안목

에서 소유역을 기본단위로 도로로 인한 포장율의 허용한계를 제시하는 것이 핵심적인 해결수단으로 사료된다. 이를 위해서는 소유역 단위별로 도로 밀도에 대한 평가를 실시하고 이를 토대로 각종 개발 사업계획에 관한 검토가 유역차원에서 이루어지도록 해야한다. 이는 도로로 인한 불투수면의 확산방지를 위해 환경 규제방식을 개별 도로 사업별 방식에서 소유역별, 수계별, 총량규제방식으로 전환하는 것을 의미한다.

도로 밀도의 규제 기준 설정과정에서 유역의 범위와 경계설정은 가장 중요한 요소이다. 우리나라에서 도로를 불투수면 관리차원에서 변수로 고려한 사례가 있지만 한강, 낙동강 대책 등 대부분의 유역 계획이 대규모의 유역(2만내지 3만km² 이상)을 대상으로 진행되어(최지용, 2003), 도로 밀도가 유역에 미치는 영향을 객관적으로 파악하는 데 상당한 한계가 있었다. DeShazo and Garrigan(1996)은 불투수면 관리차원에서 130km² 이하 규모의 유역에 초점을 맞추는 것이 중요하다고 지적한 바 있다. 이는 광대한 국토를 가진 미국의 관점에서 비교적 넓은 지역을 언급한 것이지만 국내의 4대강을 기준으로 하는 유역관리보다는 훨씬 좁은 범위를 계획단위로 지적하고 있다. 유역이 일정규모 이상으로 커짐에 따라 많은 하부 유역들을 고려해야 했고, 다양한 종류의 도로와 시가지, 비시가지 등 도로 분포 양상을 정확히 분석하여 대책을 수립할 수 없었다. 한 예로 낙동강 유역의 도로 밀도를 10%로 제한하게 되면 대상 지역이 너무 광대하여 관련 지방자치단체나 주민들이 도로 밀도를 줄이기 위해 구체적으로 어떻게 해야 하는지에 대한 구체적인 행동계획을 세울 수 없다.

우리나라의 취락^①은 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 마음 속의 고향이라는 의미를 부각시킬 수 있는 지역단위가 될 수 있다. 소하천 유역 단위로 도로 밀

도를 조사하고 도로의 확장이나 신설을 규제하지는 구체적인 목표를 세울 경우 주민들의 참여를 이끌어 내는 데 용이할 것이다. 주민들의 삶의 토대가 되어 있던 소하천 유역 전통취락이 도로 개설로 인해 살기에 불편한 공간이 되어 가는 현실이 다반사이다. 천혜의 자연경관인 산허리를 자르거나 조상들이 지금까지 잘 가꾸어 물려준 하천이나 습지가 하루아침에 흉물로 변하고 있는 현실이 자주 대두되고 있다.

따라서 본 연구는 환경영향평거나 도시계획 및 토지이용계획에서 대중의 참여를 이끌어내기에 적절한 규모로 동네를 통과하여 흐르는 소하천 유역을 상징하고 도로 밀도에 대한 지표나 기준을 마련하기 위한 기초자료를 제시하기 위하여 출발하였다. 도로 밀도를 실험적으로 평가하는 시범연구를 통해, 환경영향평가 과정에서 활용하기 위해 필요한 절차 및 기술요소에 대한 일반적인 기준을 마련하여 본격적인 활용과 유통을 지원하고자 하였다. 아울러 GIS기반의 도로 밀도조사가 환경영향평가실무에서 자리잡을 수 있기 위해 향후 조사방법의 변화나 시스템의 확장 등 후속연구 방안을 제시하였다. 본 연구는 사례연구 지역의 선정, 연구지역에서 단위지역 분류기준 설계, 단위 지역별 도로 밀도의 비교 평가 등의 절차를 거쳐 도출된 결과를 환경영향평가과정에서 적용할 수 있는 지를 검증하는 방식으로 연구가 수행하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구

우리나라는 경제성장과 함께 국민소득 수준의 향상으로 급격한 자동차의 증가를 초래하였으며, 급격히 증가하는 교통수요를 수용하기 위하여 도로 건설이 급진적으로 착수되었다. 1970년대와 1980년대에는 주로 도로 포장에 주력하여 2001년 말 현재 일반국도의 포장율은 민통선 이북을 제외한 전국이 96.5%에 달하고, 지방도 및 시도, 군도의 포장율은 78.5%, 74.4%, 49.9%에 달해 산간 오지, 농어촌까지 교통의 혜택이 돌아가는 정책을 유지하였다. 이와 같이 이미 도로가 너무 많다는 일반인들의 인식이 확

산됨에도 불구하고 2000년부터 2020년까지의 제4차 국토종합계획을 살펴보면 2000년말 현재 약 88,000km인 전국 도로연장을 200,000km까지 확대할 예정으로 계획되어있다. 고속도로의 신설 및 확장은 물론이고 국도를 4차선화하여 고속국도화를 계획하고 있으며, 읍·면 이상의 지역에 우회도로를 신설할 것을 계획하고 있다(이수재 등, 2004).

도로건설사업은 단계별로 공사의 필요성 등을 고려하는 기본구상 단계, 장래 교통수요를 예측하고 개략비용의 산출 및 노선대를 선정하는 타당성 조사단계, 비교노선의 선정과 관계기관 협의 등을 통하여 최적 노선을 선정하는 기본설계단계, 정확한 공사비의 산출과 구조물의 상세설계 및 공정계획을 수립하는 실시설계 단계로 이루어진다. 교통영향평가 등 도로 건설과정에서 환경성이 고려된다고 하지만 전통적으로 경제성과 기술성에 대한 비중이 워낙 커 환경성에 대한 고려가 실제 설계에 반영되기는 어려운 상황이다. 이와 같이 도로의 기본계획시 노선 및 형태가 주로 경제적 타당성에 의해 결정되기 때문에 사업집행을 위한 주민설명회 및 공청회 등 협의단계에서 환경피해와 관련한 문제가 빈번히 제기되고 있다. 주민과 환경단체의 반대에 부딪혀 사업계획이 여러 차례 보완되거나 사업추진이 중단되기도 한다(권영인, 2005). 이러한 문제는 무엇보다도 전체적인 도로사업의 추진과정 속에서 환경영향을 체계적으로 반영할 제도적 장치가 미비하기 때문이며 더욱이 환경영향을 도로계획상에 적용·평가하기 위한 환경친화적 계획요소나 기법 등이 부재하기 때문이다.

도로 건설 사업에서의 환경성 검토가 원활히 이루어지기 위해서는 제도의 시행에 앞서 충분한 연구를 거쳐 충실하게 준비된 평가기법의 개발이 필요하다. 그간 평가항목 등이 법령에 일률적으로 규정되어 있어 지역특성이나 사업특성 등에 따른 환경영향을 충분히 고려치 못함으로써 평가의 실효성이 떨어지는 것이 문제점으로 지적되어 왔다. 특히, 노선선정 단계에서의 평가기법은 각각의 노선을 비교함에 있어 비교노선별, 평가항목별로 수많은 장·단점이 존재

하고, 각각의 평가항목이 여타의 평가항목보다 어느 정도 중요한지를 객관적으로 표현하기가 매우 어렵다. 어느 평가항목에 무게를 두고 평가하느냐에 따라서 항목간 충돌이 많이 발생하고 있다. 현재의 평가 기법으로는 이런 복잡한 고려인자들을 객관적이고 합리적으로 명확히 비교·분석하여 빠른 시간에 최적노선을 선택하기란 매우 어려운 실정이다. 많은 경우에 도로 건설의 효과가 어떻게 될 것인가에 관해서는 그 시설의 영향권에 있는 사람들 또는 이해집단이 가지고 있는 생각에 따라 교통시설의 위치결정에 직접적인 영향을 미치게 되어 객관적인 평가가 어렵다.

하지만 도로분포의 밀도는 사업지역에 대하여 환경현황에 대한 구체적이고 명확한 기준이 될 수 있다. 도로 밀도의 실태조사 결과나 평가지도 등을 이용해 도로 노선의 입지 타당성을 환경 측면에서 검토하고 산림 훼손, 생태 축 단절 등을 막을 수 있는 대안을 제시하거나 주변 환경과 조화를 이룰 수 있는 방안을 객관적으로 제시할 수 있다. 도로 밀도를 기준으로 할 경우 평가대상 기준보다 사업의 규모가 작아 평가대상에서 누락되는 사업이라도 지역특성 및 사업특성상 환경영향이 심각하게 고려되어야 하는 경우에는 반드시 환경영향에 대한 평가를 시행할 수 있을 것이다. 도로 밀도와 같이 모든 사업에 포괄적으로 적용하는 작성규정을 근거로 환경영향평가를 시행할 경우 사업시행자 및 검토자 모두 임의적인 해석이 불가능하여 불필요한 마찰 및 낭비요인이 상당히 줄어들 것으로 판단된다. 또한 특정 유역이나 지역에서 도로 밀도에 대한 정보는 경사도별 도로 분포나 고도별 도로 분포에 대한 정보를 수반하게 되므로 도로 건설의 기술성, 안전성, 경제성 등 장기적으로는 도로건설을 구성하는 모든 분야에 대하여 종합적이며 객관적인 비교·검토가 가능한 지표가 될 수 있을 것으로 판단된다.

도로 건설과 관련하여 GIS는 다양한 부문에서 활용되어 왔다. 노선선정 단계에서 GIS의 뛰어난 공간 분석 기능과 네트워크 분석기능을 활용하여 최적노선을 추정한 사례에 대한 상당한 선행연구가 보고되고

있다(Arampatzis et al., 2004; Shrestha, 2003). 자연환경, 생활환경, 사회경제환경 등 여러 가지 속성을 동시에 고려하여 최단거리를 구하는 과정은 많은 시간과 인력이 필요하며, 그 결과를 시각적으로 확인하고자 한다면 더 많은 노력과 시간을 낭비해야 한다. GIS를 이용하여 시점과 종점을 택한 후 다양한 변수를 동시에 고려하여 최단거리를 용이하게 구할 수 있으며, 노선의 변경이나 여러 대안별 공간속성 자료의 분석을 손쉽게 수행할 수 있다. 또한 GIS의 디스플레이 기능을 이용하여 공간 분석 결과를 즉시 시각적으로 확인하는 것은 도로분야에서 GIS를 활용하는 일반화된 접근방식이다(Li et al, 1999). 또한 도로의 신설보다는 기존 시설의 이용효율을 극대화하여 교통혼잡의 완화를 추구하는 지능형 교통시스템(ITS: Intelligent Transport Systems)에 관한 연구가 지난 10여년 전부터 선진국을 중심으로 활발히 전개되고 있다(Breunig and Baer, 2004). 교통혼잡이 극심한 우리나라도 최근 들어 정적인 정보와 동적인 정보를 연결지어 교통혼잡에 대안을 마련하는 ITS에 많은 관심을 기울이고 있다.

도로건설로 인한 환경 훼손 문제는 한가지 요인에 의해 발생하는 문제가 아니라 대상지역내의 자연, 인문 현상의 상호작용에 의한 복합적인 현상이다. 따라서 그 환경 영향에 대한 연구도 도로 자체만을 고려하기보다는 도시의 불투수면으로서 도로와 건축물 등을 총체적으로 다루는 연구가 주를 이루고 있다(Brown and Affum, 2002). 불투수면의 증가로 인한 환경영향에 대해 하천 생태계의 파괴, 도시의 대기질의 악화, 홍수에 대한 취약성, 범칙의 증가 등 다양한 선행연구가 보고되고 있다(김수봉, 김해동, 2002; 이도원, 2001; 이동근 등, 2002; Brack, 2002; Shashua-Bara and Hoffman, 2002). 특정 지역의 환경관리를 위해 도로 밀도를 지표로 활용하는 국가는 아직 없지만 불투수면을 측정하는 과정에서 도로를 변수로 다루는 연구는 상당히 있다(Harrison and Dunlap, 1997; Kluitenberg, 1994; Prisløe et al., 2000; Roberts, 1999). 미국의 일부

주에서는 불투수면을 억제하기 위한 개선된 단계 계획(Better Site Development: BSD) 및 저영향 개발(Low Impact Development: LID) 방안이나 유역의 환경을 개선하기 위해 불투수면 모델(Impervious Cover Model: ICM)을 개발하여 적용하는 과정에서 도로밀도를 고려하고 있다(Center for Watershed Protection, 1998).

이와 같이 도로 건설 과정에서 노선 선정, 최단거리 분석, 또한 교통 체증에 대한 대안 마련을 위해 GIS를 활용하는 것은 이미 실용화 단계에 있는 응용 분야이다. 지리정보시스템(GIS)의 도래로, 도로 밀도를 계산하고 추정하는 작업이 용이해졌으며, 소하천 유역관리 지표로서 도로 밀도의 유용성은 더해졌다. 그러나 GIS를 활용하여 수질이나 대기와 같은 방식으로 동네 소하천 유역의 도로의 밀도를 지역별로 평가하여 환경영향평가 과정에서 활용하려는 선행연구는 나타나지 않는다. 동네 소하천 유역의 도로 밀도를 토지 이용 규제차원에서 평가할 경우 도로의 종류를 어떻게 분류해야 하며, 각 도로 별 특성을 경사도 등 분포 실태 차원에서 재정의하는 연구도 전문한 실정이다. 동네 소하천 유역의 도로 밀도를 환경영향평가의 기초자료로 사용할 경우 단위 지역을 정의하는 기준에 대한 연구도 보고되지 않고 있다.

III. 사례연구 지역 및 데이터

1. 단위 유역 규모 및 연구 지역

배수구역은 공간적 위계성 (spatial hierarchy)에

따라 다양한 명칭으로 불려지고 있는데(표 1), 규모에 따라 집수구역(catchment), 세유역(subwatershed), 소유역(watershed), 중유역(subbasin), 대유역(basin)으로 다섯 단계로 구분할 수 있다(Schueller, 1995). 여기서의 대유역은 가장 큰 단위의 유역으로서 보통 둘 이상의 광역자치단체를 포함하는 경우가 많다. 유역 면적은 미국의 상황에 의거 제안된 것으로 우리나라 실정에 맞게 조절하여 해석하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 우리나라의 경우, 한강, 낙동강, 금강, 영산강(2~3만km²)을 대유역(basin)으로 보는 것이 적절하다. 따라서 낙동강 수계로 유입되는 금호강이 중유역(subbasin)을 형성하는 하천이 될 것이다.

유역의 크기에 따라 도로가 지역의 환경에 미치는 영향의 정도가 달라지며 유역의 규모가 작을 수록 하천 수질이나 생태계에 미치는 영향이 뚜렷이 나타난다. 따라서, 집수구역은 불투수성 포장면에 따라 가장 많은 영향을 받으며 대유역은 불투수면에 따른 직접적인 영향이 미미하다고 할 수 있다. 적절한 규모의 유역관리 대상설정은 효과적인 유역관리계획 수립을 위한 가장 중요한 변수의 하나이다. 불투수면의 효과를 정확히 관리할 수 있는 규모가 필요하며 40 km²이하가 적절하다는 것이 외국의 연구 결과이다(최지용, 장수환, 2003). 이 정도의 유역규모가 비교적 짧은 시간(6-12 개월)에 조사할 수 있고, 지도 작성을 비롯한 유역관리를 위한 기초 작업을 효율적으로 실행할 수 있다고 하여 본 연구에서는 연구지역을 40km² 정도의 소유역 범위로 설정하였다. 소유역 하부의 단위유역은 소유역에 포함되므로 상위유역과의

표 1. 단위 유역 구분 기준

단 위	면적(km ²)	관련 수계 및 법정동	관련 지방자치단체의 위계
집수구역(catchment)	0.13-1.3	읍내동, 동호동	대구시 북구 읍내동, 동호동
세유역(subwatershed)	1.4-26	학정동	대구시 북구 칠곡 일부
소유역(watershed)	27-260	팔거천	대구시 북구
중유역(subbasin)	261-2600	금호강	경상북도, 대구시
대유역(basin)	2600-26000	낙동강	강원도, 경상북도, 경상남도, 대구시, 부산시

출처: Schueller (1995)로부터 수정

연계성 및 상위유역의 관리지표에 적합하도록 설정해야 한다. 하부단위유역에서 불투수면의 관리계획은 더 큰 유역의 관리계획 내에서 조정되어야 하므로 하부 단위 유역별로 도로 밀도의 분포특성을 조사하고자 소유역(watershed)의 세유역(subwatershed)과 집수구역 규모의 단위 유역을 연구지역으로 선정하였다.

본 연구의 사례연구지역(그림 1)인 팔거천 유역은 도로 개설로 인해 하천수질이 심각하게 위협받고 있어 연구결과가 활용될 수 있는 문제점을 가장 잘 포괄하고 있는 지역이다. 낙동강 오염의 주범으로 지목되는 금호강의 지류인 팔거천은 행정구역상 경상북도 칠곡군 동명면 동명저수지를 수원으로 발원하여 대구시 동호동, 읍내동, 학정동 등을 지나 북구 팔달동에서 금호강과 합류하는 하천이다. 팔거천 영향권에 들어가는 지역은 1981년 대구광역시에 편입된 예전의 칠곡읍 지역이며 칠곡지역은 동, 서, 북쪽 모두 산으로 둘러 싸인 지형이어서 팔거천이 칠곡을 가로지르는 지역의 젓줄인 셈이다. 팔거천은 명봉산(402m) 줄기와 함지산(288m) 줄기 사이에 형성된 하나의 침식곡으로 볼 수 있으며 팔거천 유역은 강의

상류 지역에서 나타나는 곡저평야의 대표적인 경우이다.

칠곡은 대구와 구미 사이에 위치하여 최근 10여년 동안 아파트 개발사업의 진행으로 팔거천 주변 지역 인구의 폭발적인 증가와 맞물려 심각한 환경훼손이 이루어졌다. 고속도로로 인해 산허리가 절개되어 있고 소로가 삼림을 베어내고 거의 산정상 턱밑까지 자동차가 기어오를 수 있도록 뚫려져 있다. 산지 주변을 파헤치고 건축된 위락 시설이 도시의 자연성을 심각하게 훼손하고 있다. 무태와 칠곡을 잇는 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. 지가나 사업의 특성상 대구나 구미에 자리잡기 어려운 대구의 섬유업체와 구미 전자업체를 지원하는 하청공장 등 소규모의 공장들이 칠곡에 분포하고 있다. 팔거천 상류에는 시멘트 공장, 종축장 등 수질 오염을 크게 일으키는 시설들이 입지하고 있어 가축의 배설물과 생활하수가 팔거천으로 유입되어 강물 오염의 주요인으로 작용하고 있다. 소규모의 식당들

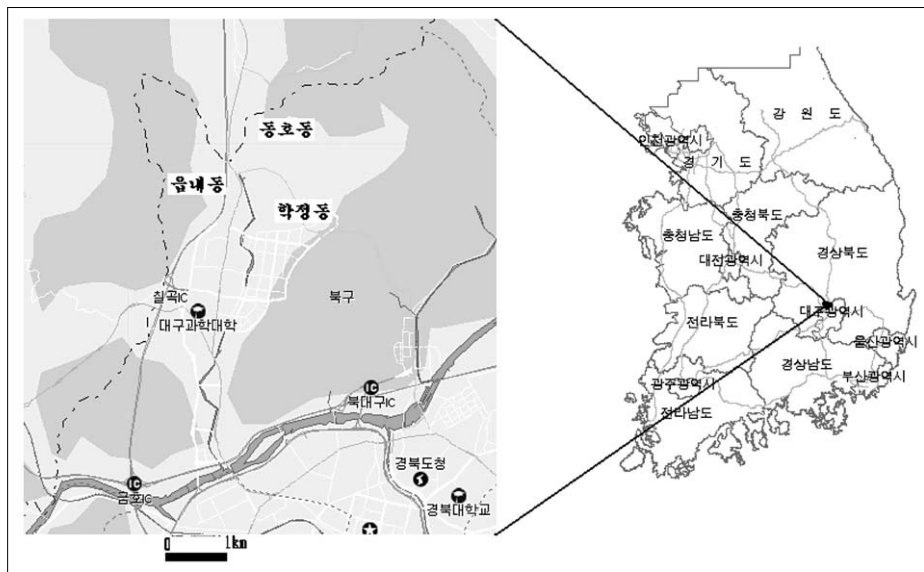


그림 1. 연구 지역 지도

이 하수분리시설이 제대로 갖추지 않고 있어 팔거천 수질에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다. 팔거천의 수질오염은 탁도와 부유물질이 심각하게 생성되어 육안으로도 확인이 가능한 상태이다.

팔거천 일대는 악취와 벌레 때문에 민원이 급증하고 있으며 특히 모기문제가 심각하다. 태전동과 동천동 등 팔거천 주변 동네주민들이 밤마다 몰려드는 모기와 하루살이 때문에 몸살을 앓고 있다. 갈수기의 경우 유량이 감소하면서 수질이 악화되면서 심한 악취가 진동하고 있다. 최근 몇 년 사이 이곳에 주택가가 잇따라 형성되면서 불빛을 보고 몰려드는 하루살이 떼로 예전에 없던 '하루살이' 민원이 폭주하고 있다(이호준, 2004, 5. 11). 거미 등 해충의 경우 여름철에 특히 피해를 주고 있다. 관련 지방자치단체인 대구시나 북구청의 경우 임시방편으로 방역작업과 제초작업에만 의존하고 있다. 방역작업을 지속적으로 실시함으로써 해충의 천적인 개구리나 미꾸라지가 사라지고 오히려 모기나 하루살이, 거미가 기승을 부리고 있다. 날로 심각해지는 팔거천을 되살리기 위해 주민들 스스로 지킴이로 나서고 있으며 자체적으로 팔거천 생태조사도 진행되고 있다. 팔거천이 생명의 하천으로 다시 태어나기 위해서는 오랜 시간과 엄청난 비용이 소모될 것이고 불투수면의 관리차원에서 도로 밀도의 통제 등 근본적인 대책 마련이 요구되는 지역이다.

2. 데이터 취득 및 가공

선행연구에서는 소유역의 불투수면을 추정하기 위하여 위성사진, 항공사진의 분석 그리고 수치 주제도 등 여러 가지 기법을 이용해왔다(Mena and Malpica, 2005). 항공사진이나 위성사진으로부터 마을 소하천 유역의 도로 밀도를 규제하기 위한 근거 자료로서 가치를 지닌 도로 정보를 추출하기 위해서는 지형도를 제작하는 과정을 거쳐야 하므로 시간과 경비에서 한계가 있다. 수치지도는 항공사진을 해석하고 현지 측량을 거쳐 제작된 것이므로 본 연구에 가장 적절한 자료로 판단된다. 수치지형도와 지적도

중 어느 것을 활용하여야 하는 문제가 있다. 지적도는 법정동 별로 도로 지목을 관리하고 있어 법정동의 경계와 유역경계는 전혀 다르기 때문에 유역별로 도로 밀도를 추출하는 데 어려움이 있다. 지적도에서는 모든 도로를 단일의 지목으로 기술하고 있어 국도, 지방도, 소로 등 다양한 도로를 구분하여 도로 밀도에 대한 공간 분석을 수행하는 것이 불가능하다. 대규모 도시지역의 전체적인 도로 면적을 파악하기 위하여 지목을 이용하는 것이 편리한 방법이 될 수 있으나 마을 단위 소유역을 대상으로 한 연구에 활용하는 데는 한계가 있다. 지적상 도로 지목을 시가화 지역과 비시가화 지역으로 구분하고 경사도별 도로 분포에 대한 공간 분석을 수행할 경우를 고려하면 지적을 이용하는 방법은 비용이 많이 들고, 시간 소모적인 방법이다. 지적도에 반영된 사항과 실체가 일치하지 않는 경우도 자주 관찰되고 있다. 도로 건설을 위해 토지를 수용하였으나 도로로 사용하지 않으면서 도로 지목으로 관리하는 경우도 있으며 도로 주변에 나무를 심은 지역도 도로 지목에 포함하고 있는 경우도 있어 지적도가 반드시 도로밀도를 정확히 반영한다고 볼 수도 없다. 지방자치단체의 도로과에서 세부적인 도로의 건설까지 지적과에 알려주어야 지목 변경이 되는 데 소규모 사업의 경우 지목을 변경하지 않고 도로로 사용되는 경우가 있어 지목과 토지 형질이 일치하지 않는 경우가 종종 관찰되고 있다.

GIS-DB 구축과정에서 고려되어야 할 중요한 요인 중의 하나가 축척인 데 이는 업무의 내용에 따라 요구되는 정확도가 다르기 때문에 신중하게 결정하여야 한다. 대축척의 경우 소축척에 비하여 자료의 양이 많아지게 된다. 시가화 지역에 대한 지적도의 경우 1:500-1200 수준의 축척으로 전산화되어 있는데 현행 지적도를 활용할 경우 시간과 경비의 측면에서 한계가 있다. 1/5,000의 지도를 사용하여 할 경우에 1/500의 축척을 활용할 경우 1/500 도엽 지면의 크기로 100배가 필요하다. 소하천 유역 차원의 도로 밀도 조사에 있어서는 개략적인 현황파악이 중요하므로 대축척의 지적도를 활용할 경우 불필요하게

경비를 낭비하게 될 것이다. 본 연구가 시, 군이나 지방자치단체에서 지역지구 지정 등 법정동 차원의 접근보다는 넓은 지역을 단위로 하는 근거자료가 될 것을 전제로 하고 있기 때문에 본 연구에서는 1:5000을 기본 축척으로 하였다. 국토지리정보원에서 제작한 1:5000 축척의 수치지도는 도로가 실제 폭으로 반영되어 있으며 국도와 고속도로가 구분되어 있고 지방자치단체에서 건설한 도로도 건설 주체별로 구분되어 있다. 또한 도로의 중심선에 대한 정보가 포함되어 있고 인도가 구분되어 있기도 하여 도로 밀도에 대해 보다 실체에 근접한 정보를 추출할 수 있을 것으로 판단되었다.

본 연구에 활용한 주제도는 NGIS(National Geographic Information System)과정에서 제작되어(1997년) 국토지리정보원에서 공급하는 1:5000 DXF(Drawing Exchange Format)포맷 파일에서 추출하였으며 데이터의 가공을 위해 사용된 소프트웨어는 AutoCAD MAP 2000과 ArcGIS, Erdas Imagine이다. DXF의 형태로 되어있는 수치지도를 GIS환경에서 활용하기 위해 팔거천 지역에 대한 1:5000 축척의 수치지도 25장이 활용되었다. 데이터의 수집에서 지도의 제작까지 연구 진행 과정에 대한 순서도가 그림 2에 제시되어 있다. 25개의 도엽을 AutoCAD MAP 2000의 도면 부착 기능과 조회 기능을 이용하여 하나의 지도로 병합하였다. 통합된 수치지도에서 도로 밀도를 산출하기 위해 필요한 레이어인 도로망, 등고선 등을 추출하여 주제도를 정비하였다. 경위도 좌표 값은 동부원점(위도 38°, 경도 129°)을 기준으로 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변환되었다. 수치지도에서 도로망이 선으로 표기되어 있기 때문에 도로의 면적을 계산하기 위해 도로 중심선 레이어에서 buffer 명령을 활용하여 실폭도로 지도를 제작하였다. 추출된 도로 레이어에 대해 활용된 도엽 번호, 표준 코드, 중심선 코드, 버퍼 간격 등 세부적인 정보가 표 2에 제시되어있다.

국토지리정보원에서 공급하는 수치지도를 이용하여 도로의 실폭을 산출할 경우 가장 큰 문제점은 도

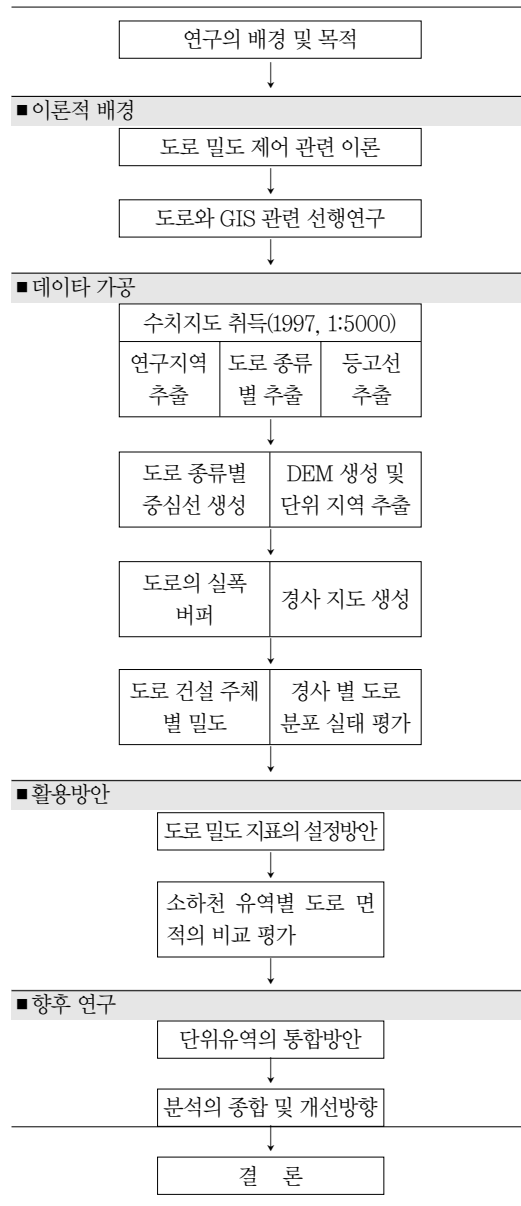


그림 2. 연구 수행 절차

로에 해당하는 레이어의 특성이 열려있는 선으로 구성되어 있는 것이다. 도로의 면적 데이터를 취득하는 과정에서 각각의 열려있는 선의 구조를 완전한 면으로 구성하기 위해 수작업과 ArcGIS가 지원하는 구조화 자동화 프로그램을 활용하였다. 고속도로, 일반

표 2. 추출된 도로 레이어 및 버퍼간격

표준코드(건설중인 도로 코드)	도로의 종류	도로 중심선 레이어 코드	실제 도로폭
3111 (3141)	고속도로	3211	30m
3112 (3142)	일반국도	3212	34m
3115 (3145)	시도	3215	6m
3117 (3147)	면리간도로	3217	4m
3118	부지안도로	3218	
3119	소로		2m
3224	인도		2m

활용된 도엽 번호 (25장): 35803001-35803005, 35803011-35803015, 35803021-35803025, 35803031-35803035, 35803041-35803045

국도, 시도는 중심선이 수치지도에 반영되어 있으나 소로, 인도의 경우에는 중심선 레이어가 없어 ArcTool box에서 실폭 도로에 중심선을 자동으로 생성하는 기능(collapse dual lines to center line)을 활용하여 도로 중심선을 생성한 후 수치 지도상에서 실제의 도로폭을 측정 한 후 이에 의거하여 buffer 명령을 수행하여 도로의 실폭을 산출하였다. 도로의 중심선 레이어가 존재하더라도 실제 폭을 나타내는 레이어와 중첩시켰을 때 정확하지 않거나 누락된 경우에는 자동으로 중심선을 생성하였다. 도로의 실제 폭을 산출하기 위한 버퍼과정에서 의도하지 않았던 면(sliver)의 생성으로 인한 불필요한 데이터는 일정 면적 이하를 선택하여 삭제하였다. 또한 동일 레이어 내에서 도로의 폭이 다른 경우에는 수치지도를 ArcMap에서 디스플레이하여 실제 도로폭을 측정하여 도면마다 각각 떨어져 있는 선들을 연결시켜 다각형으로 정비하여 도로 면적을 측정하였다. 이와 같이 정비된 지도를 ArcGIS에서 레이어로 인식할 수 있는 Geodatabase 포맷으로 변환하였다.

지형고도자료를 제작하기 위해서 5m 간격의 주곡선으로 된 7111번 레이어와 25m 간격의 계곡선으로 된 7114번 레이어를 병합하여 하나의 등고선 레이어로 만들었다. 래스터 형태의 표고자료를 만들기 위해 10m 간격으로 등고선을 추출하여 TIN (Triangulated Irregular Network)으로 변환시킨 후, ArcGIS에서 TIN to raster 명령어를 사용하여 수치 고도 모델

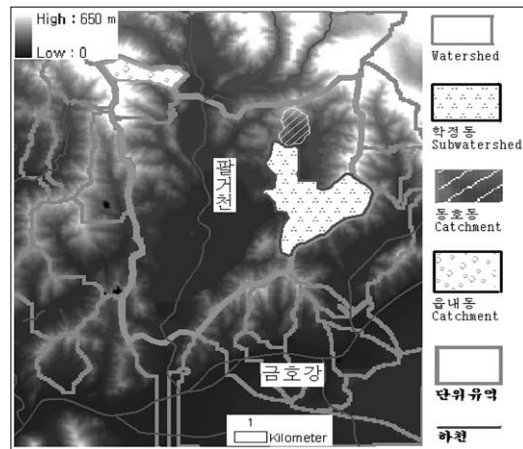


그림 3. 연구지역의 수치고도모델 (DEM)에 중첩된 배수구역 구분도

(DEM, Digital Elevation Model)을 제작하였다(그림 3). 생성된 DEM 자료를 이용하여 해당지역의 표고 및 경사에 관한 자료를 추출하였다. 소유역을 추출하기 위하여 유역관리시스템(Watershed Management System: WMS)을 이용하였다. WMS는 1990년대 초 Brigham Young University의 Dr. Jim Nelson과 Dr. Chris Smemoe에 의해 개발된 유역평가모델이다. WMS는 유역 분석 전문 소프트웨어로서 HEC-1³⁾, HEC-HMS, TR20, TR55, 합리식 모델 등 처리 기능이 하나의 패키지로 묶여있다. 수치 고도 모델(DEM)을 이용하여 유역 및 소유역의 경계를 생성하고 수문 분석에 필요한 매개변수를 계산

할 수 있다. 본 연구에서는 Hydrologic Engineering Center의 Hydrologic Modeling System(HEC-HMS)을 이용하여 소유역, 단위 소유역, 집수구역을 추출하였다. 이 소프트웨어에서 유역을 분할하는 과정은 대상 유역의 표고, 하천망, 배수분구를 구축한 후 유역을 소유역으로 분할하게 된다. 복잡한 유역을 분수계에 따라 비교적 균질의 소유역으로 세분화하기도 하고 반대로 세분화된 유역을 통합하여 보다 광역 유역을 도출하기도 한다. 본 연구에서는 집수구역 단위로 유역을 추출한 후 팔거천에 인접한 지역을 통합하여 소유역을 추출하였다(그림 3).

IV. 유역별 도로 밀도 평가

분석결과를 살펴보면, 팔거천 주변 소유역의 면적은 40km² 정도로 분석되었으며 도로 밀도(도로면적/유역면적)가 8.8%로 나타났다. 불투수면 비율에 대한 연구를 종합하여 보면 약 10%의 불투수면 비율에서부터 유역 수환경의 악화가 시작되고 25%를 넘으면 심각한 악화가 예상된다고 한다(Gibson et al., 1993; Schueler, 1994; Shaver et al., 1995). 불투수면은 두 개의 주요 요소로 구성되어 있는데, 각종 건물의 지붕(rooftops)과 이 건물을 연결해주는 교통 체계(transport system)이다. 선행연구에서 도로 불투수면은 전체 불투수면 면적의 대개 50%를 차지하고 있는 것으로 밝혀지고 있어(최지용, 장수환, 2003), 연구지역의 불투수면 밀도는 이미 심각한 상태에 이른 것으로 판단된다. 주택 등 여타 불투수면 구성요소를 제외한 도로밀도가 이미 10%에 근접하고 있어 불투수면으로 인해 팔거천의 수질이 심각하게 영향을 받고 있음을 보여주고 있다. 특히 시가화 지역은 도로 불투수면 밀도가 18%로 나타나는 데 본 연구에서 사용된 수치지도가 제작된(1997) 이후 철곡지역에서 아파트 단지 개발 사업이 계속 진행되고 있어 실제 도로 밀도는 훨씬 높을 것으로 판단되는 바, 도로가 팔거천 유역의 질을 악화시키는 핵심 인자로 작용하고 있는 것으로 분석된다.

도로를 건설하는 주체에 따라 도로 분포 비율로 인한 환경영향의 평가기준이 달라질 것이다. 이들 도로는 통과 지역에서 볼 때 전국적인 범위에서부터 시·도단위, 광역권 단위에 이르기까지 여러 가지가 있다. 팔거천 유역을 통과하는 고속도로는 고속주행을 위한 도로의 특성상 보다 직선화 하려는 경향이 강하게 반영되어 있으며 산지를 직선화하여 통과하는 고속도로로 인하여 곳곳에 훼손된 자연 경관이 관찰된다. 도로 종류별로 밀도를 살펴보면 중앙정부에서 건설하는 고속도로와 일반국도가 15% 정도로 나타나고 지방자치단체에서 건설한 도로가 85%를 차지하고 있어 도로 건설로 인한 환경문제의 핵심은 지방자치단체에서 발주하는 도로 사업인 것으로 확인되고 있다(표 3, 그림 4). 최근 민선 지방자치 단체장들이 선거공약으로 무분별하게 도로 개설을 제시하여 시도 등 지방도로의 비율이 급격히 증가하고 있는 것으로 판단된다. 농어촌 도로 등 비법정 도로는 시장군

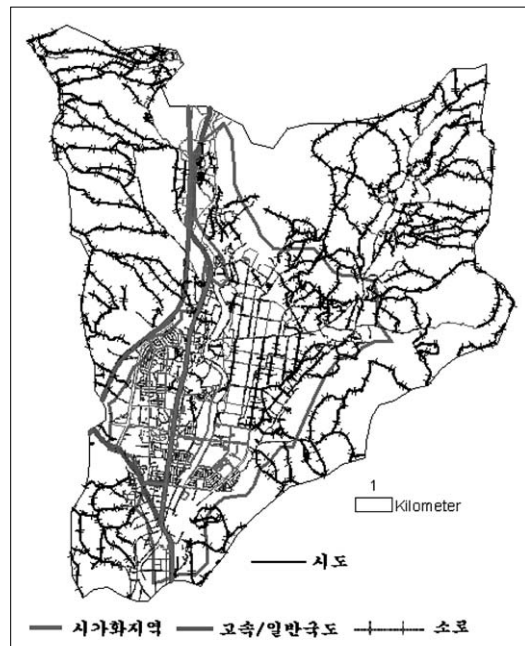


그림 4. 팔거천 유역의 도로 분포 지도, 비시가화 지역에는 대규모 시에서 건설한 소로가 두드러지고 시가화지역은 시도가 집중적으로 분포하고 있는 것이 육안으로도 관찰된다.

표 3. 시가화지역과 비시가화 지역의 도로 종류별 밀도 차이

(단위 m²)

	전 체(%)	시가화 지역(%)	비시가화 지역(%)
고속도로	195,651 (5.54)	0	195,651
일반국도	339,582 (9.6)	222,271	117,311
시 도	2,093,291(59.3)	1,669,251 (72.9)	424,040 (34.2)
면리간도로	130,392(3.7)	61,057	69,335
부지안도로	64,343(1.88)	64,343	0
소 로	558,969(15.9)	134,073 (24)	424,896 (34.3)
인 도	146,697(4.2)	139,355	7,342
도로 면적 총계	3,528,925	2,290,350 총도로면적 대비 시가화지역 도로면적: 64%	1,238,575 총도로면적 대비 비시가화지역 도로면적:35%
도로 밀도(도로면적/총유역면적)	8.8	18	4.5
	총유역면적: 40,118,142m ² : 40km ²	시가화 지역 면적 12,673,616m ²	비시가화지역 면적 27,444,526m ²

수가 재량을 가지고 건설할 수 있어 건설과정에서 기술 심의 등 관련 절차를 거쳐야 하는 법정도로 보다 환경훼손이 심한 것으로 사료된다. 특히 시가화 지역에서는 시도가 전체도로의 73% 정도를 차지하고 있는 등 지방자치단체에서 건설한 도로가 더 많은 비중을 차지하고 있다. 집수구역과 단위 소유역에서는 중앙정부에서 건설한 고속도로나 국도는 존재하지 않고 시도, 면리간 도로, 소로만 분포하여 산지를 통과하는 도로는 지방자치단체에서 주로 건설하는 것으로 나타나고 있다.

'94년 개정된 국토이용관리법에서 개발이 용이한 준농림지역 제도가 도입됨에 따라 토지이용 제한방식이 금지행위 일거방식으로 대규모 시설 및 환경오염 우려가 있는 시설을 허용하였던 것이 연구지역의 도로밀도 분포를 설명할 수 있는 근거가 될 수 있을 것이다. 시장, 군수가 1ha 미만의 보전임지를 전용할 수 있는 권한을 갖는 등 산지전용 권한범위가 넓었고 산지전용에 대한 협의기준 미비 등으로 전용이 용이하고 또한 땅값이 저렴하여 산지에 건설된 도로는 모두 지방자치단체가 건설하게 되었을 것이다. 환경영향평가과정에서 고속도로나 국도 등 대형도로 건설 사업에만 주안점을 두고 있는 것이 사실이다. 그러나 지방자치단체에서 건설한 도로가 양적으로 압도적으

로 많은 비중을 차지하고 있고 이들이 소규모 자연경관의 패치나 코리도를 사라지게 하는 주범으로 판단된다. 소유역별 시가화 지역과 비시가화 지역의 도로 분포 특성을 감안하여 환경영향을 평가하여야 할 것으로 사료된다.

현재 유역에 대한 도로 밀도 분포는 그림 4에서 보는 바와 같이 시가지에서 밀집하여 증가하는 경우와 비시가지 유역에서 산발적으로 분포하는 경우로 구분할 수 있다. 온통 숲으로 감싸져 있는 산간지방의 도로 밀도와 시가지 사이에 놓인 도로의 밀도는 인간 활동의 정도와 유형에 미치는 영향이 전혀 다른 관점에서 해석되어야 한다. 또한 하나의 유역에서 자연지역과 개발지역의 도로 면적이 같은 경우라도 어떻게 배치하고 어디에 배치시켰느냐에 따라 주변 대기와 수자원의 질은 달라진다. 특히, 우리나라는 산지가 전 국토의 60-70%를 차지하고 있어 도로 건설을 위해 산지를 이용하지 않을 수 없는 실정이다. 본 연구에서는 TM(Thematic Mapper)영상(1998. 10월 촬영)을 활용하여 연구지역을 시가화지역과 비시가화 지역으로 구분하고(그림 5), 단위 지역별로 도로밀도를 평가하였다. 비시가화 지역에 시도와 소로가 70% 정도를 점유하고 있어 토지수용과 관련된 민원발생 등의 이유로 산지를 이용한 도로건설 비용이 심각하

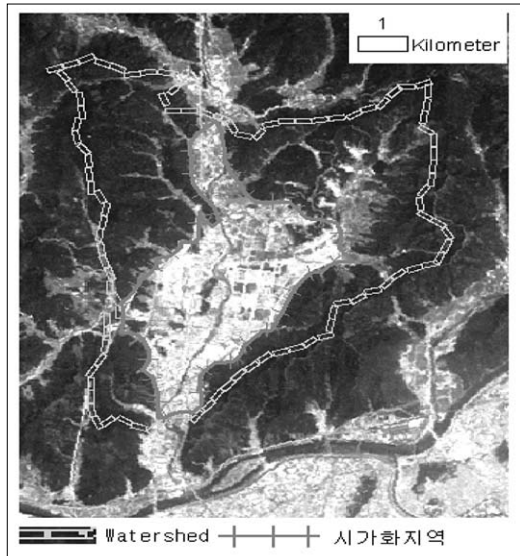


그림 5. TM 영상에 의거 구분된 팔거천 유역의 시가화 지역과 비시가화 지역

게 높아진 것으로 보인다. 소로는 도시지역을 우회하고 산림지역이나 농지를 절·성토로 통과하는 특성이 나타나고 있다. 결국 산지 도로건설에 따라 많은 양의 성·절토가 발생하며, 이로 인한 생태계 파괴는 물론 경관저해 등의 폐해는 심각할 것으로 판단된다.

비시가화 지역에 위치한 동호동 인근 집수구역은 인해 도로 밀도가 2%로 나타나 비교적 적은 밀도의 도로 건설이 이루어졌다. 반면에 읍내동 인근 집수구역은 비시가화 지역 평균 도로 밀도에 근접한 4%의 도로 밀도를 보여주고 있다. 최소 유역 관리 단위로 1.3km² 이하의 면적을 가진 두 곳의 집수구역이 도로 밀도에서 두배의 차이를 보여주는 것은 불투수면 관리를 위해 도로 밀도를 활용할 경우 중요한 시사점을 제공하여 준다. 도로 건설로 생태계 훼손이 적은 지역을 기준으로 도로의 노선을 결정할 경우 도로 밀도 2%인 곳은 4%인 집수구역에 비해 우선 순위를 부여하게 되는 객관적인 근거로 활용될 수 있을 것이다. 개발에 민감하지 않은 지역에 도로를 집중시켜야 할 경우는 도로 밀도가 높은 집수구역에 신규 도로 건설의 우선 순위가 부여될 것이다. 또한, 이미 인위적인 요소가 지배적인 지역을 개발하고자 할 경우에

도 도로 밀도가 높은 지역이 미래의 개발 대상이 될 것이다.

세유역(subwatershed)은 Schueler(1995)의 기준에 따르면 2.6-26km²에 해당하는 지역으로 HEC 프로그램에서 유역으로 산출한 지역이다. 위성영상(그림 5)이 보여주는 바와 같이 개발지역이 상당히 포함되어 있음에도 불구하고 도로 밀도는 3.2%에 불과하여 비시가화 지역의 평균 밀도인 4.5%에 미치지 못하고 있다. 집수구역, 세유역 등 단위 지역별로 도로 밀도의 차이에서 일정한 유형이 나타나지는 않는다. 보다 많은 단위 지역을 설정하여 통계적인 유의성을 확보하여야 할 것이나, 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 단기간에 수행된 단 1개의 사례지역에 걸친 국한된 결과이기 때문인 것으로 판단된다. 일반적으로 집수구역 단위에서 불투수면이 하천수질에 가장 심각한 영향을 미치는 것으로 선행연구에서 밝히고 있어, 하나의 소하천 유역을 구성하는 세유역, 집수구역에 대한 사례연구를 통하여 상호 비교함으로써 도로 밀도 분포의 유형을 평가하여야 할 것으로 사료된다.

미국 농무성이나 건설교통부에서는 토양침식의 위험도를 판단하는 핵심기준으로 경사도를 제시하고 경사도 5°이상의 지형을 지속적인 관리대상으로 규정하고 있다(Rattan, 2000). 연구지역에 위치한 도로의 20% 이상이 5°이상의 비탈진 언덕에 위치하고 있기 때문에 침식에 대한 위험성이 높은 지역으로 판단된다(양진석 등, 2000). 연구지역에서 토양침식의 가능성이 가장 높은 유형, 즉 경사도 15% 이상의 지역에 위치한 도로가 전체 도로의 3.7%로 나타나고 있다. 급경사 지역에 건설된 도로를 추적하기 위해서는 연구지역 전체의 경사도 자료보다는 집수구역이나 소유역별 경사도별 도로밀도를 조사할 필요가 있다. 소로의 경우에는 17.7%가 15%이상의 경사를 가지고 있고(표 4) 산지를 통과하는 비율이 압도적으로 높아 산사태, 토양유실 등 산림 생태계 훼손의 주요 변수로 역할을 할 것으로 보인다. 비시가화 지역에 위치한 집수구역(catchment)과 세유역(subwatershed)

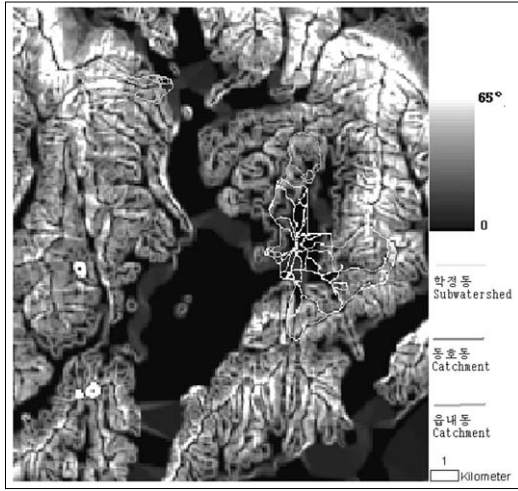


그림 6. 경사 분포도와 중첩된 단위 지역별 도로 분포도, 읍내동 유역은 육안으로도 급경사 지역이 확인되지만 높은 도로 분포 비율을 보여주고 동호동 유역은 완경사 지역이지만 훨씬 적은 비율의 도로가 통과하고 있다.

수준의 유역들은 도로면적률이 낮은 반면, 경사도 10%이상에 분포하는 도로 밀도가 높은 것으로 나타나(표 5), 토양침식 및 사면붕괴 등으로 인한 토사유출의 발생 가능성이 높을 것으로 판단된다.

비시가화 지역에 위치한 읍내동 인근 집수구역은 도로의 35.2%가 15° 이상의 경사지역에 위치하고 있어 안정된 사면을 확보하기 어려움에도 불구하고 비교적 높은 밀도(4%)의 도로 건설이 이루어졌다(그림 6). 읍내동 인근 집수구역은 60%이상의 도로가 10° 이상의 경사지역에 위치하고 있어 집수구역 전체의 도로가 급경사 지역에 건설되었음을 보여주고 있다. 반면에 동호동 인근 집수구역은 15° 경사를 가지고 산지를 통과하는 도로의 비율이 연구지역 전체의 평균(3.7%)보다 낮은 2.9%의 도로 밀도를 보여주고 있

표 4. 경사도에 의거한 도로 분포도 (단위 m²)

	0° - 4° (% 총도로면적 대비 4° 이하 경사 도로면적)	5° - 14° (%)	15° 이상(%)	계
고속국도	143,752 (73)	42,564	9,334	195,651
일반국도	288,477(85)	39,815	11,290	339,582
시도	1,886,987(90.1)	200,781	5,523	2,093,291
면리도로	105,425(80.8)	19,537	5,430	130,392
부지안 도로	63,266(98.3)	1,076		64,343
소로	214,904(38.4)	254,216(45.5)	98,849(17.7)	558,969
인도	137,835(94)	8,539	323	146,697
계	2,840,646 (80)	566,528 (16)	130,749 (3.7)	3,528,925

표 5. 집수구역과 세유역 수준에서 경사도별 도로 분포 현황 (단위 m²)

단위 유역 (유역면적)	0° - 4° (% 총도로면적 대비 4° 이하 경사 도로면적)	5° - 9° (%)	10° - 14° (%)	15° 이상(%)	계	도로밀도(%) 유역면적 대비 도로면적
읍내동 집수구역 (1044144m ²)	9343(23)	7068 (17)	10631(25.5)	14,701(35.2)	41743	4.0
동호동 집수구역 (721992m ²)	3683(25.9)	6645(46.7)	3494(24.6)	399(2.9)	14221	2.0
학정동 세유역 (4,891,851m ²)	115462(74)	23983(15.3)	10574(6.7)	6,808(4.3)	156827	3.2
	128,488	37,696	24,699	21,908		

다. 최소 유역 관리 단위로 1.3km² 이하의 면적을 가진 두 곳의 집수구역이 경사도별 도로 밀도에서 현격한 차이를 보여주는 것은 불투수면 관리를 위해 도로 밀도를 활용할 경우 중요한 시사점을 제공하여 준다. 본 연구 결과는 향후 신규도로 노선 선정과정에서 가파른 경사지역을 따라 불필요하게 도로를 건설하는 것을 피할 수 있는 객관적인 근거자료로 사용될 수 있을 것이다.

V. 토론 및 고찰

유역관리에 있어 도로 밀도 지표는 현 시점에서 미흡한 점이 많으며, 이를 제도로 도입하기 위해서는 지표를 보다 계량화하고 과학적인 기반 위에서 표준화하여야 한다. 본 연구에서 GIS기법이 도로 밀도 규제과정에서 활용될 수 있는 가시적인 결과물을 산출할 수 있다는 것을 검증하였다. 이번 장에서는 본 연구에서 제시된 방법을 중앙 부처나 지방자치단체의 관련 실무자들이나 관심을 가진 사용자들이 환경영향평가 과정에서 활용하기 위한 방안을 제시하고자 한다. 아울러 본 실험연구가 연구기간, 연구지역의 수, 비용, 데이터, 장비 등의 관점에서 한계를 가지고 수행하였기 때문에 직면한 문제점을 지적하고 개선이 필요한 부분에 대해 의견을 정리하였다.

1. 연구 결과의 검증 및 실무에서의 활용 방안

1) 각종 도로 건설사업의 계획단계부터 환경영향평가 과정에서 불투수면을 최소화하기 위한 지표로서 도로 밀도를 활용할 수 있다. 유역의 특성에 따라 적절한 개발밀도로 유지하기 위한 지표로 사용하는 방안이다. 예를 들면, 상수원 유역과 같이 민감한 유역은 도로 비율을 10%이하로 제한하는 방안 등이다. 또한 직접 하천으로 배출하는 불투수면으로서 기능을 수행하는 도로가 건설되지 않도록 하는 등의 지표로 활용이 가능하다. 또 도시지역이라 하더라도 지역별 도로비율이 최대한 20%를 넘지 않도록 하고 20%를 상회할 경우 도로 주변에 녹지조성 등 환경시설의

설치를 권장하거나 의무화하도록 하는 방안 등을 고려할 수 있다.

2) 도로건설사업은 국가 도로망에 이미 계획되어 있으므로, 계획 중인 도로에 대한 환경성을 도로 밀도 지표에 의거 사전에 살펴 볼 필요가 있다. 이 연구에서는 도로 밀도의 현황 파악을 통하여 도로 건설로 인한 환경평가의 개선방안을 중점으로 다루었기 때문에 이에 대한 후속 연구가 필요하다. 기존 도로의 밀도에 의거 계획 중인 도로의 적절성을 평가하면 도로의 계획단계에서 환경성을 적극적으로 반영할 수 있는 좋은 방법이 될 수 있을 것이다.

3) 도로 밀도는 불변의 값이 아니라 계속 변화하는 바, 대상지역의 환경영향에 대한 지표로서 도로의 역할을 알아내기 위해서는 가장 최근의 데이터로부터 소유역의 도로 밀도를 추정하는 것이 바람직하다. 신규 도로의 개설 필요성을 판단할 때 최근 몇 년 간의 도로 밀도의 변화양상은 중요한 근거자료가 될 수 있을 것이다. 시가지개발, 신도시건설, 지역 확장이 급격히 일어날 경우 단시간 내에 도로밀도가 급증하게 되므로 안정적인 도시와 서로 비교하면 도로 밀도의 변화양상이 전혀 다르게 나타날 것이다. 단일 시점에서 대상 지역별 도로 밀도의 상대적인 비교보다는 적절한 기간을 설정하여 도로 밀도의 변화 추세를 근거로 활용하는 것이 타당할 것이다.

4) 노선선정과정에서 여러 후보 지역을 비교하여야 할 경우 과거에는 실무자의 경험과 감각적인 판단에 의존하여 업무를 수행하여 온 것이 사실이었다. 지형도를 이용하여 환경영향평가의 항목 및 평가의 범위(공간적, 시간적 대안의 범위)를 상당히 주관적으로 판단하고 도로의 노선을 선정하는 것이 일반적인 관행이다. 기존의 노선 선정과정은 기초 조사결과와 지도의 검색은 지도나 통계를 육안으로 일일이 확인하고 각종 속성자료를 도면에 옮기는 등 모든 작업을 수작업에 의존하였다. 따라서 검색하는데 시간이 많이 소요되고 정확도도 많이 떨어질 수밖에 없었다.

소유역, 세유역, 집수구역, 다양한 지역 범위에서 도로 밀도의 평가 데이터는 노선을 결정하는 과정에

서 가시적이고 객관적이며 정량화된 근거로 사용될 수 있다. 본 연구에서 제안된 방식에 의거하여 GIS 데이터베이스가 구축되면 각종 도로개발 사업이 투수공간에 미치는 영향을 단시간내에 평가하여 규제 총량을 초과할 경우 사업의 동의 여부, 사업규모 축소, 대체 투수공간 조성 등 검토의견을 제시할 수 있을 것이다. 도시지역의 경우 이미 도로비율이 최대한 20%를 초과할 경우 신규도로의 개설보다는 ITS를 도입하여 기존 도로를 효율적으로 활용하는 방안을 강구하라고 의견을 제시하고 도로 비율이 낮은 지역으로 노선을 변경할 수 있을 것이다. 다양한 조건에 맞추어 예비 후보지를 순식간에 물색하고 도로의 종류, 도로 밀도, 경사도, 고도 등 기준을 여러 가지 유형으로 설정하여 다양한 분석결과를 얻고 활용할 수 있을 것이다.

2. 연구의 한계

1) 이 실험연구는 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 단기간에 수행된 단 1개의 사례지역에 국한된 결과이다. 도로 밀도 관련 정보가 상당히 넓은 범위에서 파악될 수 있는 데도 연구의 범위를 축소하여 집중적으로 검토하고자 본 연구에서 사용한 수치지도에서 추출 가능한 정보에 의거하여 도로 비율을 평가하였다. 포장도로와 비포장도로 등 도로의 재질에 대한 상세한 속성 정보가 수치지도가 반영되어 있지 않아 도로 특성별 밀도에 대한 정보를 제시하지 못하였다. 도로 밀도의 분류결과는 시간에 따라 변화하는 속성을 가지며 일정기간 내에서만 의미를 부여할 수 있다. 다양한 시점에 제작된 수치지도가 아직 국내에 보급되지 않고 있어 최근의 도로 밀도를 산출하지 못하였기 때문에 연구결과를 통하여 사례 연구지역의 실제 상황을 평가하는 데는 한계가 있었다.

2) 환경영향평가 차원에서 도로밀도를 산정하기 위해 GIS를 적용하기 위해서는 공간 객체로서 도로의 분류기준, 도로 밀도를 산정하기 위한 단위 유역, 도로 분포의 고도나 경사별로 분류 기준 등 다양한 개념이 사전에 정의되어야 한다. 이를 위해서는 도로

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

3) 규제대상 단위 지역의 경계를 설정하는 것은 중요한 문제이다. 특정 지역에 고속도로가 통과할 경우 전체 도시의 도로 밀도에 심각한 영향을 미칠 것이다. 이와같이 고속도로가 단위 지역의 경계에 포함되어 면적이 변화되는 곳에서 변화가 심하지 않은 도시와 비교하여 도로 밀도를 규제할 경우에는 국가차원의 사업에 조상대대로 살아온 자연환경을 훼손하면서 희생하였는데 지방도를 건설하는데 지장을 받는다면 상당한 민원이 발생할 것으로 사료된다. 아직까지 이러한 권역간의 도로 밀도의 상호 메카니즘에 대한 연구가 확인되지 않는 바, 도로 밀도 관리에 있어서도 소유역을 통합하여 대유역 관리로 전환할 수 있는 방법, 지금까지의 행정구역 중심의 관리에서 유역단위 관리로의 전환 방법, 유역관리 체계의 선정방법 등에 관한 구체적인 방안에 대해 심도있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4) 도로의 밀도를 환경영향평가의 기초자료로 활용하는 과정에서 국토 전체에 대해 동일한 기준으로 적용하는 것은 문제가 있다. 도시의 규모, 자연환경 등 다양한 지역이나 장소마다 그 특성이 매우 다르므로 한두 가지의 연구나 모형으로 도로 밀도의 규제 기준을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 도로의 분포 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다. 산지를 통과하는 도로와 시가지지를 통과하는 도로 등 대상 지역별로 도로 밀도에 대해서 환경영향에 대해 상대적인 비교평가가 이루어져야 한다. 도로가 개설되는 지역마다 도로개설로 인한 환경영향의

수용능력이 다르기 때문에 지역특성을 고려한 도로 밀도를 설정하기 위한 보다 실용적인 방안에 대한 후속 연구가 필요하다. 고속도로가 통과하는 지역과 소로가 통과하는 지역은 도로로 인한 환경영향이 다르고 도로의 종류에 따라 불투수면에 미치는 영향, 생태계 파편화에 대한 기여강도 등 다양한 관점에서 환경영향을 평가할 수 있다. 따라서 고속도로, 소로, 인도 등의 도로 특성에 따라 환경영향을 평가하고 관리 방안을 제시할 필요가 있다.

VI. 결 론

본 연구는 기존의 연구가 도로 밀도의 총량규제를 시도하려는 아이디어 자체도 제시하지 못한 점을 고려하여 GIS를 활용하여 도로 밀도 평가의 필요성을 제안하는 최초의 연구이다. 본 연구는 소하천 유역에 의거하여 도로 밀도를 평가하는 보편적인 틀과 모형을 제시하였다. 도로 밀도에 대한 기초자료를 확보하기 위해 고속도로, 국도 등 다양한 도로에 대한 면적을 측정하는 방안의 표준화를 시도하였다. 도로 밀도를 경사, 시가지, 단위유역 등 다양한 관점에서 분류하고 GIS 공간분석을 기반으로 도로 밀도의 평가과정을 객관화하여 보다 신뢰성 높은 도로 밀도 정보를 확보하기 위한 방안을 제시하였다. 결국 이 연구는 도로 밀도의 평가에 대한 연구가 거의 이루어지지 않은 상황에서 평가기준을 정하고 이를 토대로 평가하여 보았다는 점에서 의의가 있다고 할 것이다. 본 연구는 도로건설 사업의 환경영향평가에서 객관성을 확보하기 위한 방안으로 도로 밀도라는 평가지표를 제안하였는데 향후에는 환경 영향평가과정에서 GIS를 활용하여 소하천 유역별 도로 밀도의 분포 통계를 산출하여 제출하는 것을 의무화할 필요가 있다고 사료된다.

註

1) 본 연구에서 사용되고 있는 도로 밀도라는 용어는 실무

에서 사용하고 있는 노선의 길이에 중심을 두고 있지 않고(단위 면적당 도로의 길이), 유역면적 대비 도로의 면적을 의미한다.

- 2) 일반적으로 널리 사용되고 있는 村落이란 용어는 연구자에 따라 다양한 의미로 사용되고 있다. 聚落, 集落, 마을 등의 용어와 혼용되기도 하고 연구자 마다 서로 지칭하는 대상이 다른 경우마저 있다. 村落이란 용어를 都市에 대한 반대개념으로 이해하고 있는 경우도 있다(홍경희, 1985). 환경 영향을 평가하는 관점에서 취락에 대한 정의와 聚落群에 대한 연구를 찾아 볼 수 없어 본 연구에서는 소하천의 유역 단위로 형성된 거주지를 취락, 마을 또는 동네라는 의미로 사용하였다.
- 3) HEC-1 모델은 1967년 미국 육군 공병단에 의해 최초로 개발되었으며 하나의 유역을 서로 연결되어 있는 여러 개의 수문학적 및 수리학적 단위로 간주하여 각 단위별로 강우량에 대한 유역의 표면유출량을 시뮬레이션하게 되어 있다. HEC란 US Army Corps of Engineers 소속의 Hydrologic Engineering Center를 의미한다.

사 사

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

참고문헌

- 권영인, 2005, 한국의 도로사업 갈등사례 및 정책 방향, 제9회 한일도로회의의 발표의제, 한국교통연구원, 12.
- 김수봉, 김해동, 2002, 도시의 수목이 기온의 조절에 미치는 영향. 한국조경학회지, 30(3), 25-35.
- 양진석, 권순식, 문영수, 박종관, 2000, 환경지리학:토지이용과 지구시스템의 과학(번역서), 시그마프레스, 430.
- 이도원, 2001, 경관생태학-환경계획과 설계 관리를 위한 공간생리, 서울대학교 출판부, 321.
- 이동근, 오규식, 윤소원, 2002, 녹지가 갖는 환경적 경제적 효과에 관한 기초적 연구, 환경복원 녹화, 5(4), 10-18.
- 이수재, 최준규, 최상기, 이희선, 정홍락, 이관규, 강

- 영현, 서성철, 2004, 도로 건설사업의 환경영향 예측과 사후모니터링 비교 분석, 한국환경정책평가연구원, 246.
- 이호준, 2004, 팔거천: 모기와와의 전쟁 (5.11. 기사), 매일신문.
- 최지용, 2003, 유역관리에 관한 정책방안 도출, 환경부, 25.
- 최지용, 장수환, 2003, 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표 개발과 적용(I), 한국환경정책평가연구원 연구보고서, 11, 174.
- 홍경희, 1985, 촌락지리학, 법문사, 23-27.
- Arampatzis, G., Kiranoudis, C. T., Scaloubacas, P., and Assimacopoulos, D., 2004, A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies, *European Journal of Operational Research*, 152(2), 465-475.
- Brack, C. L., 2002, Pollution mitigation and carbon sequestration by an urban forest, *Environmental Pollution*, 116, 195-200.
- Breunig, M. and Baer, W., 2004, Database support for mobile route planning systems, *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(6), 595-610.
- Brown, A. L. and Affum, J. K., 2002, A GIS-based environmental modelling system for transportation planners, *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 577-590.
- Center for Watershed Protection(CWP), 1998, Better Site Design: A Handbook for Changing Development Rules in Your Community. Ellicott City, Maryland, 202.
- DeShazo, R. P. and Garrigan, P., 1996, Merrimack River initiative, watershed connections, lessons learned in subwatersheds of the Merrimack River watershed: New England Interstate Water Pollution Control Commission, Wilmington, 35.
- Gibson, G. M., Barbour, J. S., and Karr, J., 1993, Biological Criteria: Technical Guidance for Streams and Small Rivers, USEPA Assessment and Watershed Protection Division, Washington, D.C.
- Harrison, R. and Dunlap, J., 1997, Mapping impervious surface coverage for watershed monitoring and land use planning, Grand Traverse County Drain Commissioner's Office, Traverse City, MI.
- Kluitenberg, E., 1994, Determination of impervious area and directly connected impervious area, Memo for the Wayne County Rouge Program Office, Detroit, MI.
- Li, X., Wang, W., Li, F., and Deng, X., 1999, GIS based map overlay method for comprehensive assessment of road environmental impact, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 4(3), 147-158.
- Mena, J. B. and Malpica, J. A., 2005, An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery, *SHORT COMMUNICATION, Pattern Recognition Letters*, 26(9), 1201-1220.
- Prisloe, M. G. and Sleavin, W., 2000, Determining impervious surfaces for watershed modeling applications, Non-point Education for Municipal Officials (NEMO), Haddam, CN.
- Rattan, L., 2000, Integrated watershed management

- in the global ecosystem, CRC Press, Washington, D.C.
- Roberts, M., 1999, Holliston environmental zoning report: GIS and hydrological analyses, Draft Report. Charles River Watershed Association, Auburndale, MA.
- Schueler, T., 1994, The importance of imperviousness, *Watershed Protection Techniques*, 1.1(3), 100-111.
- Schueler, T., 1995, Environmental land planning series: site planning for urban stream protection, Metropolitan Washington Council of Governments.
- Shashua-Bara, L. and Hoffman, M. E., 2002, The green CITC model for predicting the air temperature in small urban wooded sites, *Building and Environment*, 37(12), 1279-1288.
- Shaver, E. J., Curtis, M. G., and Carter, D., 1995, Watershed protection using an integrated approach, In *Storm water NPDES Related Monitoring Needs*, Engineering Foundation, American Society of Civil Engineers, Crested Butte.
- Shrestha, B. C., 2003, Developing a computer-aided methodology for district road network planning and prioritization in Nepal, *International Journal of Transport Management*, 1(3), 157-174.
- Um, J. S., 1997, Evaluating Operational Potential of Video Strip Mapping in Monitoring Reinstatement of a Pipeline Route, Unpublished PhD Thesis, University of Aberdeen, UK, 146.