

Google Earth를 이용한 경북대와 홍콩대 캠퍼스의 불투수율 비교평가*

엄 정 섭**

Comparative Evaluation of Impervious Ratio between KNU and HKU Campus Using Google Earth*

Jung-Sup Um**

요약 : 불투수율은 물, 공기, 자연 생태계 등 전체 환경을 악화시키는 요인이 되기 때문에 도시지역의 총체적인 환경 질을 대표하는 지표로서 활용되고 있다. 본 연구는 Google Earth와 수치지도를 이용하여 대학 캠퍼스 불투수율을 정량적으로 비교·평가하는 방안을 제안한다. 경북대학교와 홍콩대학교가 사례연구지역으로 선정되었으며 61cm의 공간해상도를 지닌 퀵버드 영상은 수치지도에서 추출한 레이어와 결합되어 도로, 건물, 주차장 등 세부적인 불투수면의 유형을 추출하였다. 경북대학교 캠퍼스는 도로와 주차장의 숲으로 뒤덮여 있는 것이 확인되었으며 반면에 홍콩대학교는 수목 비율이 31%로 경북대보다 2배 정도 높은 것으로 평가되었다. Google Earth를 이용한 불투수면 감시기법은 동일한 데이터와 일관된 작업과정을 적용할 수 있어 다수의 조사자에 의한 주관적 판단과 대상 지역의 차이에 따른 불규칙적인 기준 적용의 문제점을 보완할 수 있는 현실적인 대안이 될 수 있을 것이다.

주요어 : Google Earth, 불투수율, 대학 캠퍼스

Abstract : The impervious ratio was frequently employed as a fundamental attribute will be used as a proxy of the total environmental burden in the urban area since it may contribute as much or more on a cumulative basis to the overall environmental condition. This research proposes a comparative evaluation framework in a more objective and quantitative way for an impervious ratio in the university campus, using the Google Earth. Two university campuses (Kyungpook National University: KNU, Hong Kong University: HKU) were selected as survey objectives in order to evaluate the potential of Google Earth in monitoring impervious conditions in the campus. The 61cm resolution of Quickbird data combined with digital map realistically identified the major type of impervious surface such as road, building and parking lots in the study area by large scale spatial precision. The impervious zones with persistently high road density and parking space were specifically identified over the KNU campus while the HKU campus was intensively covered by tree, resulting in almost twice (31%), as compared to KNU (18.4%). The methods of characterizing impervious surface used in this study are easily replicable using data that are primarily publicly available, and therefore the collection of impervious coverage data via Google Earth is, therefore, proposed as a practical alternative.

Key Words : Google Earth, impervious ratio, university campus

1. 서론

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). 캠퍼스 내 불투수면의 증가는 물, 공기의 순환을 방해하여 각종 생명체에게

부정적 영향을 미치게 되며, 결국에는 인간의 건강에 영향을 미치게 된다. 불투수면 확산은 어느 한 가지 요인에 의해 발생하는 문제가 아니라 캠퍼스에서 이루어지고 있는 자연, 인문현상의 상호작용에 의한 복합적인 현상이다. 불투수면은 캠퍼스에서 장기간에 걸쳐 이루어진 도로, 건물, 수목관리 등 개발활동으로 축적된 환경영향을 객관적으로 표현하는 지표이다. 이는 캠퍼스 자연환경의 질을 평가하는 유력하고도 중요한 지표로 측정되거나

* 본 과제는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

** 경북대학교 지리학과 부교수 (Associate Professor, Department of Geography, Kyungpook National University) (jsaom@knu.ac.kr)

관리될 수 있으며 어느 캠퍼스에서 보편적으로 적용할 수 있는 개념이다. 불투수공간의 유형화는 제한된 시간과 비용의 한계 속에서 최대한 효율적으로 대학 캠퍼스의 자연환경현황을 파악하고 적절한 보전계획을 수립할 수 있는 도구로 판단된다.

인공위성 영상은 현지 조사에 비해 세부적인 자료를 얻을 수 없다는 단점이 있으나 넓은 지역에 대한 자료 수집이 가능하고 여러 지역을 비교·평가할 수 있어 불투수면 관련 공간객체를 탐지하는데 그간 다양한 분야에서 사용되고 있다(Dougherty et al., 2004; Goetz et al., 2003; Lu and Weng, 2006; Wu and Murray, 2003; Zhou and Wang, 2008). 하지만 저해상도 위성 영상을 이용할 경우 정밀한 불투수면 데이터를 확보하는데 한계가 있고, 고해상도 영상을 이용할 경우 고가의 경비가 소요되어 대학 캠퍼스의 불투수면 평가와 같이 대축척 응용분야에서 원격탐사를 활용하는 사례를 찾아보기가 쉽지 않다. 불투수면 정보가 대학 캠퍼스 자연환경의 질을 평가하는 지표가 되는 만큼 정보 수요자들에게 필요한 자료를 공개하고 원하는 자료를 손쉽게 접근·조회할 수 있는 원격탐사 기법의 도입이 요구된다.

Google Earth는 2006년부터 전 세계에 대해 위성영상지도 서비스를 제공하고 있으며 실행 프로그램만 설치하면 누구나 무료로 사용할 수 있는 영상지도 서비스이다(Google Earth, 2008). Google Earth에서 제공하는 영상은 일반적인 전처리과정을 거쳐 다양한 주제도를 제작하는 데 사용될 수 있다. 대도시 지역의 경우 고해상도 위성영상이 제공되고 있기 때문에 기존의 항공사진 데이터를 대체할 수 있게 되어 종래의 지상측량 및 항공사진 측량에 비해 넓은 지역에 대해 빠른 시간에 효과적으로 주제도를 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다. Google Earth에서 특정 지역을 다운로드하여 컴퓨터 기반의 영상분석을 수행할 수도 있고 필요한 지역을 자동으로 결합하여 합성영상을 제작할 수도 있다. 다양한 지점별 비교 분석이 가능하므로 불투수면 평가부터 복원 정책 수립, 시행된 정책의 효율성 평가 등 투수면 보전 관련 각종 절차에서 아주 유용한 근거자료로 활용할 수 있다.

Google Earth에서 취득할 수 있는 정보에 대해 검증된 선행연구가 부족하지만 다양한 분야에서

Google Earth의 활용가능성을 논의하고 있다(Gramling, 2007; Lefer, 2008; Matthew and Mark, 2007). 불투수면 평가에서도 고가의 데이터를 이용하여 추출하였던 정보를(사공호상, 2003; Defries and Townshend, 1999; Verhoeve and De Wulf, 2002), Google Earth를 이용하여 취득할 수 있다. Google Earth 영상에 의한 불투수율 평가는 저렴한 경비로 넓은 지역에 대한 자료의 수집이 가능하고 다양한 지역에 대한 불투수면 현황을 평가할 수 있다는 점에서 캠퍼스별 불투수율 비교·평가를 통해 투수면 보전 대책 수립과정에서 기초자료를 확보하기 위한 최적의 영상으로 판단된다. 대축척 응용사례로 항공사진으로만 가능하였던 대학 캠퍼스와 같은 국부적인 지역의 불투수면 분류에 Google Earth 영상이 활용가능한 단계에 접어들고 있다. Google Earth를 이용하여 캠퍼스 지도 제작가능성을 언급한 선행연구가 있으며(Zhu, et al. 2008), 대학 캠퍼스 투수면 감시를 위해 1:1000 수치지도와 연계하여 Google Earth를 이용한 연구가(엄정섭, 2008) 본 연구와 가장 근접한 연구로 확인된다. 불투수율 평가라는 특정응용분야에서 Google Earth 영상을 판독하여 대학 캠퍼스 불투수면을 비교·평가하는 연구는 확인되지 않는다.

본 연구에서는 Google Earth를 이용하여 지표면의 각 인자를 불투수성의 관점에서 분류하고 평가결과를 객관화하여 대학캠퍼스의 불투수율을 비교·평가 하고자 출발하였다. 평가과정에서 개선이 필요한 부분에 대하여는 지침을 마련하여 캠퍼스 자연환경의 보전과정에서 발생할 수 있는 문제점과 시행착오 등을 사전에 점검할 수 있는 중요한 기초자료를 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 연구지역 및 데이터 취득

1) 연구지역

Google Earth 기반의 캠퍼스 불투수율 평가의 타당성을 검증하기 위해 많은 캠퍼스를 비교하고 연구하는 것이 공통적인 문제점 발견과 Google Earth 영상의 유용성을 검증하는 데 도움이 되겠으나 자연환경이나 인문환경 등 각 캠퍼스 별 투수 환경이 특성이 다른 점을 고려하지 않고 수평

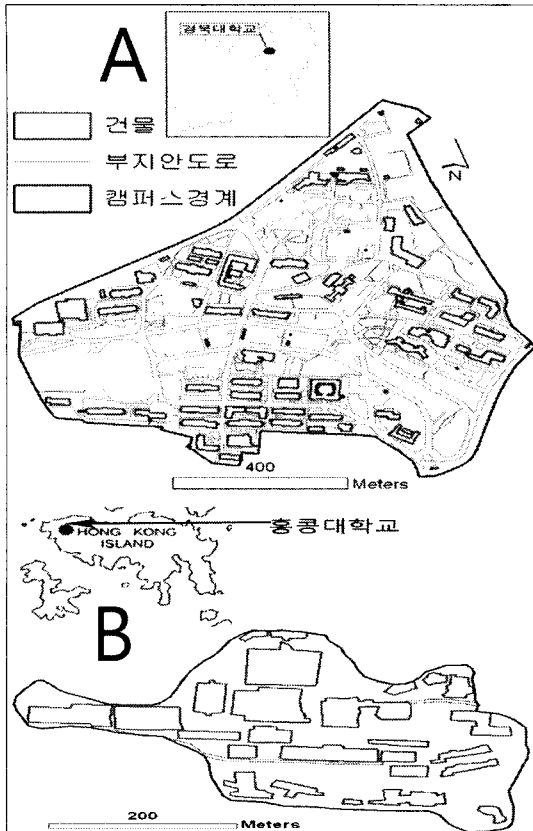


그림 1. 연구대상지역 A: 경북대학교 B: 홍콩대학교

적으로 비교함으로써 발생할 수 있는 오류를 방지하고자 특정 캠퍼스를 집중적으로 비교 평가하는 방식을 취하였다. 사례연구 지역은 불투수면 평가에 대해 가시적인 연구 성과를 산출하여 제시할 수 있을 만큼 독립되어 있으면서 어느 정도의 규모를 가진 대학, 불투수면 확산실태, 불투수면 관련 공간 객체의 분포 특성 등 제반 사항을 비교하여 차별화된 결과가 도출될 수 있을 거라고 예측되는 경북대학교와 홍콩대학교의 메인 캠퍼스를 선정하였다(그림 1). 이와 같이 국내의 대학을 동시에 평가하는 것은 상대적인 비교를 통하여 Google Earth 기반의 캠퍼스 불투수율 평가의 타당성을 보다 구체적으로 검증할 수 있는 장점이 있다고 사료되었다.

홍콩대학교는 도심지역에 위치한 경북대학교 캠퍼스와 유사하게 가용토지의 확보에 어려움을 가지고 있다. 대학교육의 수요증가에 따라 급격히 증대하는 학생인구를 수용하기에 급급하여 이렇다

할 마스터플랜이 없이 제한된 공간에 무질서하게 건물을 증축하고 도로를 개설한 대부분의 국내 캠퍼스들과는 달리 홍콩대학교는 한정된 부지를 효율적으로 활용하고자 도로를 지하로 배치하여 투수공간을 최대한 확보하고 있다. 경북대학교가 통학생 중심의 대학인 반면에 홍콩대학교는 기숙사 중심의 대학이어서 도로 배치나 건물배치에 있어서도 차별화된 결과가 도출될 것으로 예측되었다. 연구지역들은 캠퍼스의 경계가 명확하고, 건물과 도로의 밀도가 두드러진 차이를 보이고 있어 다중이 밀집된 조건에서 투수환경을 평가할 수 있는 다양한 여건을 충족하고 있다. 연구지역들은 대학 캠퍼스에서 투수면 훼손과 보전의 전형적인 과정을 보여주고 있고 좁은 지역임에도 불구하고 불투수면 관련 핵심 공간 객체를 포함하고 있어 불투수면을 비교·평가하는 데 적절한 지역으로 판단되었다. 이 지역의 투수공간에 대한 광역모니터링의 결과가 국내외 여타 캠퍼스에서 Google Earth 기반의 불투수면 감시 가능성을 평가하기 위한 기초 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

경북대학교의 지리적 위치는 대구광역시 북구에 소재하며 경위도 상으로 동경 128°36'~128°37'의 동서구간과 북위 35°53'에 위치하며, 지형적인 높이는 약 35~62m로 완만한 구릉지를 이루고 있다. 교내의 면적은 약 782,000m²이다. 도시의 중심 시가지에 위치한 대부분의 대학과 마찬가지로 연구지역에서 과거 수년 동안 캠퍼스내의 투수공간이 급격히 파괴되어 그중 일부만이 겨우 보존되고 있다. 연구지역은 원래 산격동과 북현동 일대의 야산이었기 때문에 대규모 녹지의 주변에 구릉지와 사면 녹지가 많이 남아 있어 넓은 자연공원을 형성하고 있었다.

홍콩대학교는 (HKU) 1912년 3월 11일 정식 개교하였으며 홍콩아일랜드의 북서쪽에 위치하고 있다. 이는 2007년 영국의 《타임스》지(誌)가 선정한 세계대학 순위에서 18위를 차지한 아시아의 명문대학이다. 홍콩대학교의 지리적 위치는 본햄가(街)에 소재하고 있으며 경위도 상으로 동경 114°08'07"~114°08'24"의 동서구간과 북위 22°17'에 위치하며, 지형적인 높이는 약 88~98m로 구릉지를 이루고 있다. 교내의 면적은 48,400m²이고, 건물은 40여개동이며 폭4m 이상의 도로들이 건물을 연

표 1. 영상의 자원 소개

	Panchromatic	Multi-spectral
공간해상도	0.61m x 0.61m(수직촬영시) 0.72m-0.72m(25도 촬영시)	2.44m x 2.44m(수직촬영시) 2.88m x 2.88m(25도 촬영시)
분광해상도	0.45-0.9 μ m	band 1 : 0.45-0.52 μ m band 2 : 0.52-0.60 μ m band 3 : 0.63-0.69 μ m band 4 : 0.76-0.90 μ m
주기해상도	70cm 해상도에서 1-3.5일	
방사해상도	11 bits	

결하고 있다.

영국식민지 시절에 건설된 대학교라서 영국대학의 캠퍼스와 유사하게 풍부한 투수공간을 보유하고 있다. 말하자면 캠퍼스 투수면 관리에서 동서양이 만나 새로운 방향성을 제시하고 있는 곳이다. 홍콩잉 빌딩(1919), 대학본부(1912) 등 다양한 식민지 시대의 건축물들이 여전히 캠퍼스의 핵심 랜드마크로서 역할을 하고 있다. 영국의 식민지 지배는 1997년 끝났지만 영국식의 자연친화적인 캠퍼스 문화는 홍콩대학에도 깊숙이 스며들어 있다. 한 예로 건물을 수백년 이용하는 영국인의 방식대로 100

년 전에 건축된 많은 건물들이 여전히 기숙사나 강의실 등으로 활용되고 있다. 유니버시티 홀의 경우 1861년 영국인 사업가에 의해 튜터와 고딕양상이 혼합된 건축양식으로 언덕위에 세워졌으며 현재는 남자 기숙사로 이용되고 있다.

홍콩대학교는 급속한 산업화 과정과 물량위주의 도시개발로 도심뿐만 아니라 주변 자연경관의 훼손이 극심하였지만 여전히 주목받을만한 투수경관 자원을 보유하고 있어 캠퍼스가 자체의 고유한 지역적 특성을 보이고 있다. 캠퍼스가 건물이나 도로로 인한 불투수면으로 변모되지 않은 채 험한 산

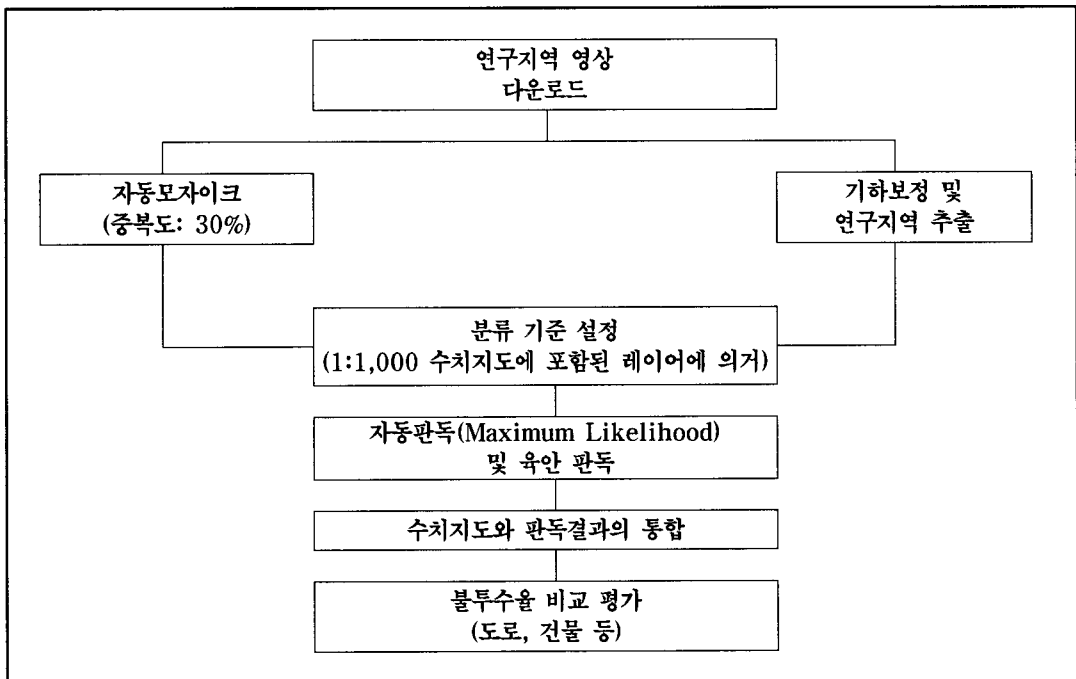


그림 2. 연구 수행 절차

과 가파르게 경사진 지대로 남아있다. 지형특성을 그대로 유지하기 위해 고층건물을 엘리베이터와 에스컬레이터로 연결하고 있다. 홍콩에선 보기 힘든 우거진 숲과 소규모 투수공간에도 의미를 부여하고 보존하여 캠퍼스가 녹색으로 뒤덮인 느낌을 주고 있다. 빌딩사이에 존재하는 소규모 투수공간으로서 수목의 중요성을 인지하고 캠퍼스 전체를 자연과 인공의 조화를 이루도록 하는 데에 있어서는 배울 점이 많다.

2) 데이터 취득

본 연구지역은 Google Earth에서 Digital Globe의 QuickBird 영상을 제공하고 있다. QuickBird 영상의 공간해상도는 61cm이며 위성고도 450km, 관측 폭은 16.5km x 16.5km로 본 연구지역 중 경북대학교 서비스되고 있는 영상은 2007년 4월 29일 촬영된 것이며 홍콩대학교는 2008.4.22일의 영상이다(표 1). 본 연구에서 사용된 데이터는 Google

Earth에서 61cm의 panchromatic 영상과 2.44m의 multi-spectral 영상을 fusion하여 서비스하고 있는 영상이다(Land Info Worldwide Mapping, 2008).

Google Earth에서 제공하는 영상을 영상처리 소프트웨어에서 정량적인 분류나 지도화 작업을 위해서는 개별 프레임을 모자이크하는 절차가 필요하다. 본 연구에서는 Adobe 포토샵 cs 버전이상에서 제공하는 사진 합성기능을 이용하여 모자이크를 수행하였다. 사진 합성과정에서 인접 영상간 중복비율을 정의하여야 하는 데 적절한 중복도에 대해 원격탐사의 관점에서 선행연구가 확인되지 않는다. 본 연구에서는 사진측량에서 횡중복에 적용하는 30%의 기준을 중중복과 횡중복에 적용하여 영상을 프레임별로 저장하고 모자이크를 수행하였다(그림 3). 데이터의 수집에서 불투수율 비교평가까지 연구 진행 과정에 대한 순서도가 그림 2에 제시되어 있다.

경북대학교 영상을 판독하는 과정에서 1/1,000 수치지도를 활용하였다. 이 지도는 국토지리정보원의 지도제작기준에 의거 대구시에서 2002년에 제작하였다 (2002년에 촬영한 항공사진 판독에 의거). 홍콩대학교의 경우 홈페이지(The University of Hong Kong, 2009)에서 제공하는 캠퍼스 안내도를 벡터라이징하여 건물, 도로 레이어 등의 수치지도를 제작하였다. 제작된 수치지도를 20cm 폭으로 디스플레이하였을 때 축척은 1:2570으로 확인되었다.

위성영상은 기하보정(geometric correction)과 방사 보정(radiometric correction)의 전형적인 영상처리 과정을 거쳤다. 경북대학교 영상의 경우 기하보정 작업은 1:1,000의 수치 지도에서 지상 기준점(GCP: Ground Control Points)을 수집하여 좌표를 직접 영상에 입력하여 주는 방법으로 진행하였다. Google Earth의 픽셀 좌표 값은 동부원점(위도 38°, 경도 129°)을 기준으로 TM(Transverse Mercator) 좌표로 변환되었다. 홍콩대학교 영상은 Google Earth에서 제공하는 UTM 좌표로 변환되었다. 영상의 위치좌표 오차를 최소화하기 위해 한 픽셀 이하의 RMSE(Root Mean Square Error) 범위에서 기하보정을 수행하였다. 데이터의 가공을 위해 사용된 소프트웨어는 AutoCAD MAP 2000과 Erdas Imagine 8.6, Arc GIS 9.2, Adobe Photoshop cs3 등이다.

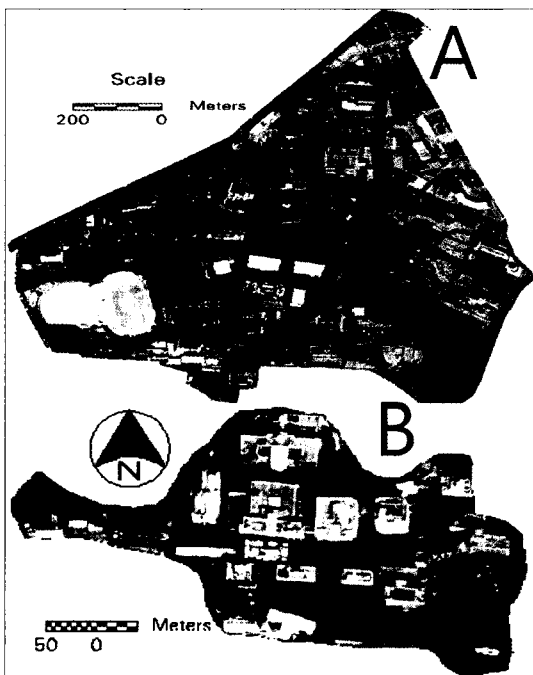


그림 3. 연구지역에 대한 Google Earth 모자이크 영상.
A: 경북대학교, B: 홍콩대학교, 홍콩대의 옥외주차장(진한 녹색)은 주차되어 있는 차가 5~6대 밖에 관찰되지 않음

3. 불투수면 분류

불투수면 평가에 있어서 가장 중요한 것은 평가 기준 및 지표의 타당성과 신뢰성이다. 같은 지역이라고 하더라도 다른 기준으로 불투수면을 구분하면 서로 다른 결과를 나타낸다. 불투수면에 대한 기초자료를 확보하기 위해서는 어떤 변수와 기준을 사용하여야 하며, 또한 몇 개의 변수를 사용하여야 하는가에 대한 의문을 제기하게 된다. 이러한 평가기준은 평가주체에 따라, 연구지역에 따라 다양하게 제시될 수 있어 평가지표 개발에 있어서 가장 큰 문제점 중의 하나가 계량화되고 객관화된 평가가 어렵다는 것이다. 불투수면이라는 용어가 각 분야에서 널리 사용되지만 개념 자체가 매우 다원적이고 복잡적인 뿐 아니라, 객관적인 기준에 근거하여 계량화된 평가결과를 도출하는 것이 결코 용이하지 않은 것이 사실이다. 아직 캠퍼스에 주안점을 두고 불투수면 분류에서 불투수객체의 종류, 객체별 지표점유율 등을 고려한 대분류 중분류 소분류 등의 학술적인 분류 체계가 마련되지 않고 있다.

일반적으로 원격탐사 영상의 판독과정은 대부분 지형도에서 포함하고 있는 레이어에 의거하여 영상을 판독하고 그 결과가 수치 지형도와 통합되어 제시된다. 불투수면 평가에서도 많은 선행연구가 수치지도의 레이어를 연구 주제의 특성에 의거 부분적으로 조정하여 분류 항목으로 활용하고 있다 (Hebble et al., 2001; Slonecker, 2001). 본 연구에

서도 Google Earth 영상은 최대우도법 감독분류에 서그림자 효과나 주변 픽셀 값의 영향으로 인해 잘못 분류된 경우가 많이 나타나 수치지도를 활용하지 않고는 정확한 분류결과를 확보하는 데 한계가 있음이 확인되었다. 우리나라의 1:1,000 축척의 수치지도는 건물이 실제 면적으로 반영되어 있고 도로, 건물, 주차장 등 불투수면 관련 핵심 공간객체와 화단, 호수, 온실, 재배지 등 핵심 투수면이 레이어로 포함되어 있다(표 2). 불투수공간이 개별 캠퍼스별로 고유의 특성을 가지고 있다고 하더라도 기본적으로 대학 캠퍼스가 가지고 있는 불투수공간은 건물, 도로, 주차장, 수목, 오픈스페이스 등 상당한 공통점을 가지고 있다. 따라서 동일한 분류기준을 가지고 불투수면을 평가하여 유형화함으로써 캠퍼스간 비교 평가가 가능할 것으로 판단되었다. 불투수면 관련 공간객체가 워낙 다양하여 1:1,000 축척의 수치지도에서 포함하고 있는 모든 객체를 분류기준으로 설정할 경우 홍콩대학교와 개별 객체별로 비교가 불가능하기 때문에 표 2에 제시된 바와 같이 두 개의 캠퍼스에 공통적으로 존재하는 일반적인 레이어를 영상의 판독기준으로 설정하였다.

홍콩대학교 Google Earth 영상을 육안으로 판독하는 과정에서 이 정도의 공간 객체가 확인하게 구분되어 정확한 판독결과를 확보하여 불투수면의 비교평가가 가능할 것으로 판단되었다. 우리나라의 1:1,000 수치지도에 레이어로 반영된 건축물, 도로, 주차장, 재배지, 화단, 호수 등 투수면 관련 핵심

표 2. 1:1,000 수치지도에서 불투수면 관련 레이어 및 수집정보

레이어 명칭	표준코드 및 데이터 유형	수집 정보
건물	aaa008, polygon	불투수면
부지안 도로	ada085, polyline	불투수면
주차장 경계 (주차장 기호)	ae230 (ae2301), polyline	불투수면
운동장	ba010, polygon	투수면
호수	ba010, polygon	투수면
재배지 경계	da001, polygon	투수면
화단기호	dd0013, polyline	투수면
하천경계	ba001, polygon	투수면
밭 (온실)	aaa005, polygon	투수면
호수	ba010, polygon	투수면

객체를 Google Earth를 이용한 캠퍼스의 불투수면 평가에의 보편적으로 사용될 수 있는 공통적인 평가기준으로 설정하였다(표 2). 투수성에 대한 인위적인 평가 항목 선정, 계급 구분 등은 어차피 보는 사람의 관점에 따라 주관적일 수밖에 없으며 근원적인 한계를 가지고 있다고 하지만 이와 같이 우리나라의 수치지도 레이어에 의거하여 평가기준을 산정하고 두 개의 캠퍼스에 적용한다면 원격탐사와 GIS를 이용할 경우 가시적이고 객관적인 공간 정보가 기록으로 존재하므로 정량적인 비교평가가 가능하다고 판단되었다.

영상의 판독결과는 수치지도에서 추출된 주제도와 비교평가가 이루어졌으며 두 개의 캠퍼스를 동일한 기준으로 일관된 작업과정을 적용하여 객관적인 결과에 의거하여 평가가 수행되었다. 하지만 국내의 수치지도의 레이어에 의거하여 결정된 분류기준은 홍콩대학교에 적용했을 때 일부 구성요소는 객관적인 평가가 불가능하거나 아예 존재하지 않는 공간객체도 있어 이런 요소는 배제하고 평가를 시도하였다. 화단, 호수는 홍콩대학교에도 존재하나 이들이 경북대학교와 같이 독립된 객체로 분류되지 않고 수목으로 뒤덮여 있어 수목으로 분류되었다. 일반적으로 TM(Thematic Mapper)영상을 사용할 경우 자동판독에 주안점을 두고 육안판독은 자동판독결과의 신뢰도를 평가하는 과정에서 수행되고 있다. 그러나 본 연구는 고해상도 영상이 포함하고 있는 정보를 그대로 반영하기 위해 자동판독과 육안판독을 거의 동일한 비중을 두고 자동판독의 결과를 고해상도 영상과 비교하면서 육안판독으로 보완하였다. 영상에서 공간객체에 대한 명확한 경계를 정의하기 어려운 경우 고해상도 영상에서 직접 벡터라이징을 수행하여 그 결과에 의거 영상의 분류를 수정하였다. 경북대학교의 경우 전체 연구지역 면적이 62.27km²나 되므로 고해상도 영상의 육안 판독에 상당한 시간이 소요되었고 그림자 효과나 주변 픽셀 값의 영향으로 인해 육안판독이 어려운 경우도 많이 나타났다. 육안판독 결과는 1:1,000 축척의 수치지도와 병합하여 해석 결과를 개선하는 절차를 거쳤다.

Google Earth 영상에서 캠퍼스에 최근 조성한 공원이나 가로수 조성상태 등을 한눈에 볼 수 있

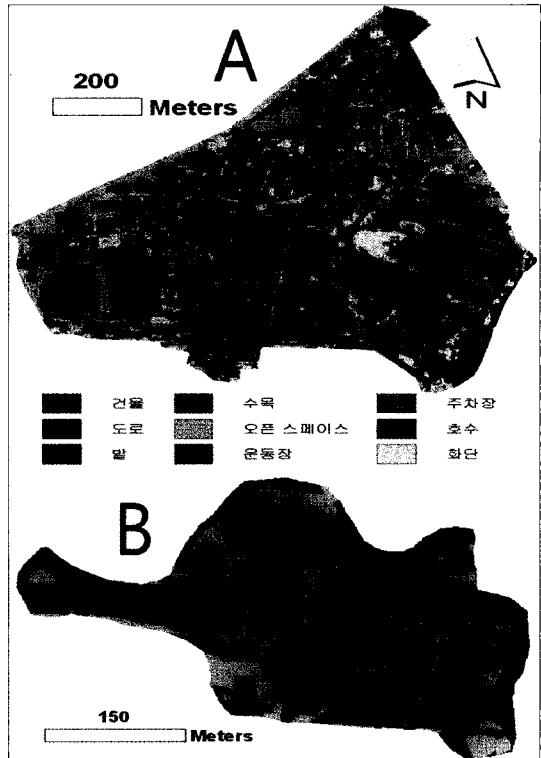


그림 4. 불투수면 분류지도 A: 경북대학교, B: 홍콩대학교

어 거의 현지조사에 가까운 녹지 네트워크의 구성을 파악할 수 있었다(그림 4). 연구지역 내의 좁은 도로망 뿐 만 아니라 가로수의 분포와 몇몇의 고층 건물의 분포를 쉽게 파악할 수 있었다. 자동 분류 및 육안판독을 거쳐 도로나 건물을 추출하기 보다는 도로는 수치지도로 중첩시키는 것이 훨씬 정확하게 도로를 추출할 수 있었다. 따라서 도로는 training 과정에서 배제하고 분류 결과물에 수치지도로 중첩시킨 후 영상의 육안판독결과를 반영하였다. 홍콩대학교의 경우 홈페이지에서 제공하는 캠퍼스 지도에서 건물, 도로 등을 벡터라이징하여 영상 분류지도와 통합하였다. 따라서 판독결과는 Google Earth 영상이 지니고 있는 정보라기보다는 수치지도가 가지고 있는 정보를 Google Earth 영상판독 결과에 반영하였다는 표현이 적절할 것으로 판단된다. 선이나 기호의 형태로 구성되어 있던 수치지도가 영상과 결합되어 캠퍼스의 현황을 사실 그대로 묘사하고 있다(그림 4).

4. 불투수율 비교평가

경북대학교 캠퍼스는 총면적에서 도로 22%, 건물 18.1%, 주차장 1.7%로 불투수면이 전체면적의 60%를 넘었다. 이에 비해 나무와 화단이 차지하는 비율은 33.2%(18.4+14.8)에 그쳤다(표 4-5, 그림 4). 홍콩대학교는 총면적에서 도로 1.9%, 건물 46.5%로 건물 비율이 홍콩대가 훨씬 높아 투수율의 수치 자체에서는 경북대가 홍콩대보다 부족하지 않는 것으로 나타난다. 두 대학교의 가장 큰 차이점은 건물, 도로, 수목의 비율이며 아울러 투수면에 영향을 미치는 공간객체들의 수에서도 두 대학이 상당한 차이를 보여주고 있다. 홍콩대학교의 수목 면

적은 전체 대학교 면적 대비 녹지비율이 약 31%로 상당히 높아 경북대보다 2배 정도 앞서는 수치를 나타낸다.

홍콩대는 지하주차장을 활용하는 대신 건물 주변에 수목을 조성하여 이들이 건물사이에서 녹지 네트워크를 보전하는 역할을 하고 있다(그림 5). 옥외 주차장의 비율은 홍콩대와 경북대가 유사하지만, 홍콩대의 옥외 주차장은 단 한곳에만 위치하여 옥외주차장을 집중 배치하는 접근을 하고 있다. 하지만 옥외 주차장이 캠퍼스 중심부에 위치하고 있지 않고 캠퍼스에 진입하기 위한 외곽지에 위치하고 있어 주차장이 캠퍼스의 자연환경을 저해하는 핵심요소로서 역할을 하지 않고 있다(표 5). 홍콩대의 옥외주차장은 주차되어 있는 차가 5~6대 밖에 관찰되지 않는데 대부분 강의실이나 연구실에 연결된 지하주차장을 이용하기 때문으로 판단된다. 경북대의 경우 수치지도에서 주차장으로 분류된 면적은 1.7%에 불과하나 캠퍼스 전체가 주차공간으로 변질되어 있다(그림 5). 따라서 경북대에서 오픈 스페이스로 분류된 지역은 캠퍼스의 투수환경에 긍정적인 역할을 하는 것이 아니라 오히려 부정적인 요소로 작용하고 있다. 반면에 홍콩대에서 오픈 스페이스로 분류된 지역은 주차장이 아니라 문자 그대로 오픈스페이스로 자리잡아 캠퍼스의

표 4. 불투수면 분류결과 (단위 %)

	경북대학교	홍콩대학교
건물	18.1	46.5
도로	22	1.9
주차장	1.7	1.5
운동장	4.8	0.6
공터	17.6	18.6
밭 (온실)	2.3	no data
화단	14.8	no data
호수	0.3	no data
수목	18.4	31

표 5. 경북대학교와 홍콩대학교 캠퍼스의 불투수율 비교 평가

(단위 %)

	경북대학교	홍콩대학교
불투수율	건물(18.1), 주차장(1.7), 오픈 스페이스(17.6), 도로(22) 소계: 60%	건물(46.5), 도로(1.9), 주차장(1.5) 소계: 50%
투수율	운동장(4.8), 밭(2.3), 화단(14.8), 수목(18.4) 소계: 40%	운동장(0.6), 오픈 스페이스(18.6), 수목(31) 소계: 50%
주차장	옥외주차장이며 주차공간이 부족하여 캠퍼스 전체가 주차공간으로 변질	지하주차장 위주이며 옥외주차장이 캠퍼스 외곽에 위치하여 캠퍼스의 자연환경에 영향적음
도로	옥외도로이며 도로가 캠퍼스의 핵심 랜드 마크로 파악됨	지하도로 위주이며 캠퍼스에 진입하는 외곽지대에만 지상도로가 있음
수목	캠퍼스가 도로와 주차장, 건물로 뒤덮여 숲이라고 부를 수 있는 공간이 아주 적음: 수목(18.4)	지상도로와 주차장이 적어 캠퍼스 전체가 숲으로 덮힌 느낌을 주고 있음
오픈 스페이스	오픈스페이스가 주차장으로 변질	오픈스페이스가 캠퍼스 숲과 연계되어 녹지 네트워크 구축의 거점 역할
건물	건물과 인접하여 식재된 수목이 없음	건물과 수목이 어울려서 캠퍼스 전체가 숲과 같은 느낌을 줌

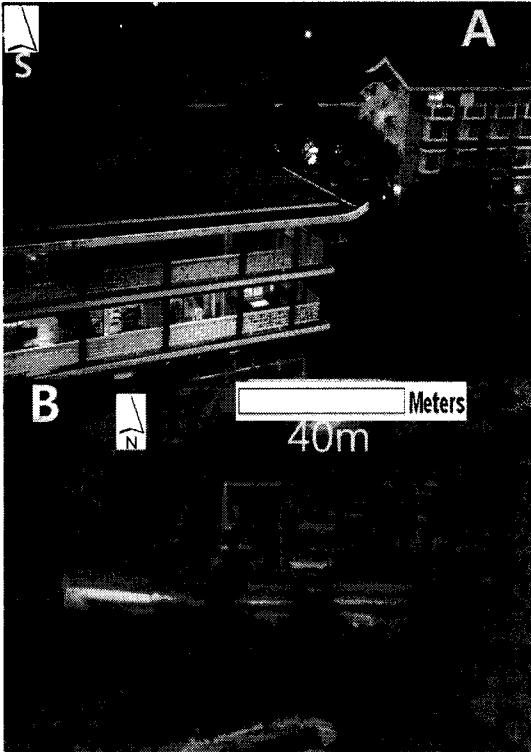


그림 5. 홍콩대학교 Robert Black College 주변 영상 (B)과 현장 사진(A), 동일한 위치가 그림 3의 B에 별표로 표시되어 있음. 건물주변이 주차장으로 변모되어 있는 경북대학교와는 달리 수목이 건물을 둘러싸고 있음

투수환경에 긍정적인 요소로 녹지축의 연계망으로 역할을 수행하고 있다.

홍콩대학교의 지상 도로비율이 1.9%인 데 비해 경북대학교의 도로비율이 22%여서 도로와 건물 위주의 개발로 인하여 캠퍼스 전체가 불투수면으로 몸살을 앓고 있음이 영상을 통해 가시적으로 확인된다(그림 4). 홍콩대는 캠퍼스 내부의 도로망을 지하에 배치하고 주차장도 지하에 배치하여 캠퍼스에 녹화할 공간을 확장하고 있다. 도로망 배치의 차이가 두 대학 캠퍼스의 투수공간에 결정적인 영향을 미치고 있다. 도로와 주차공간 대신에 다양한 종류의 수목을 식재하여 캠퍼스의 투수면을 관리하고 있어 경북대의 캠퍼스의 정비과정에서 고려하여야 할 중요한 사례가 될 수 있을 것으로 판단된다. 홍콩대의 경우 녹지가 캠퍼스의 중심이 되어 있는 반면에 경북대는 도로와 주차장, 건물이 캠퍼



그림 6. 경북대학교 복지관 주변 영상(아래)과 현장 사진, 동일한 위치가 그림 3의 A에 별표로 표시되어 있음. 영상과 현장 사진의 동일한 위치를 영문(a, b)으로 표기하고 있음. 백색의 패치로 선형 군집을 이루고 있는 것이 주차된 차량임. 캠퍼스 전체가 주차장화 되어 있어 홍콩대학교와 두드러진 차이를 보여주고 있다.

스의 중심이 되어 있는 상황이다.

경북대학교의 경우 건물이 신축되면 도로와 주차장이 동반하여 건설되게 되어 각종 건물이 무질서하게 섞여 있고, 도로와 주차장만이 회색 콘크리트 캠퍼스의 랜드마크로서 두드러지고 있는 현상이 그대로 영상에 반영되어 있다(그림 6). 영상에 중첩된 도로 레이어를 통해 시멘트 콘크리트 도로만이 캠퍼스 전체에 존재하는 것이 확인되었다(그림 4A). 최근에 논의되고 있는 녹도나 자전거 도로 등 환경친화적인 도로는 아예 찾아볼 수 없었다. 경북대학교는 지상에 도로와 주차장이 있어 도로가 주차장이 아닌 곳에 많은 차량이 주차되어 있어 주차장 부족으로 학교 전체가 주차장화 되어 있는 것이 확인된다. 경북대에서 오픈스페이스로 분류된 지역(17.6%)은 대부분 주차장으로 활용되고 있는 반면에 홍콩대에서 오픈스페이스로 분류된 지역은 자연 흙이나 투수성이 강한 보도 블록으로 덮여 있다. 경북대의 경우 주차장에 주차공간이 있

더라도 교수나 학생들이 주차장까지 도보로 이동하는 시간을 단축하기 위해 주차장이 아닌 공간에 주차하는 사례가 빈번하다는 것이 영상에 그대로 반영되고 있다(그림 6). 복지관 인근의 소로가 거의 녹화되지 않고 가로가 주차장화 되고 있어 삭막한 환경이 조성되고 있는 대조적인 현상이 가시적으로 파악된다(엄정섭, 2008).

홍콩대의 경우 영상을 육안으로 확인하면, 건물을 나타내는 회색과, 수목을 나타내는 짙은 녹색이 영상을 거의 다 덮고 있을 정도로, 홍콩대학교의 토지이용은 건물과 수목으로 단순하다. 건물과 수목이 반반을 차지하고 있을 정도로, 홍콩대학교의 녹지공간은 많다. 홍콩대학교의 토지 이용을 보면 경북대에서 보유하고 있는 화단이나 잔디가 숲과 분리되어 나타나지 않는다. 숲의 일부로 화단이나 잔디가 존재하기 때문이다. 캠퍼스가 건물의 숲이 아니라 숲과 건물이 공존하는 자연과 인간이 공존하는 형태를 보여주고 있다. 숲이 조성되면 잔디·초본류가 숲속에 서식하게 되어 숲은 초본류에 비해 훨씬 높은 자연성을 가지고 생태적으로 중요한 가치를 지니게 된다. 홍콩대 캠퍼스는 수목 중심의 생태적인 숲으로 구성되어 있는 반면에 경북대는 잔디·초본과 숲이 혼재하는 양상을 보여주고 있다. 경북대에는 캠퍼스 내부에 위치해 일상 생활에서 학생들이 빈번하게 접하거나 찾을 수 있는 숲, 즉 생활권 수목이 홍콩대학교에 현저하게 떨어진 다. 경북대는 나무와 야생풀이 뺄뺄하게 우거져 학생들이 들어가기를 두려워했을 정도였던 캠퍼스 안의 밀림, 장미원을 주차장을 건설하면서 없애버렸다. 장미원 주변을 산책할 때 캠퍼스의 미세기후가 이곳에서 조절되고 있다는 느낌을 가질 정도로 숲의 향기를 만끽할 수 있었지만 이제는 사라지고 없다. 홍콩대학교는 이러한 생활권 수목지대가 캠퍼스 전체의 직접적인 환경 개선에 크게 기여하고 있다.

캠퍼스의 수목지대는 독립적으로 존재하는 것보다는 여러 개가 네트워크로 연결되었을 때 생물의 서식공간으로서의 효용이 높다. 따라서 캠퍼스 내에 크고 작은 숲들이 연결되어 상호보완적인 기능 수행이 필요하다. 경북대의 수목지대는 곳곳에서 도로 등으로 단절되어 숲간의 연계가 불충분하며, 숲의 구성내용도 관상식재 위주로 조성하여 자연

성이 떨어지며 층위구성이 미약하다. 캠퍼스 거의 대부분이 포장공간으로 생물이 서식하기에 부적합한 환경이다. 도로는 대부분 포장되어 있어 생물이 서식하고 이동하는 통로로 사용되기에 어렵고, 편리성과 쾌적성을 추구하는 인간에게조차 여름철 그늘부족으로 생활통로로 사용하기에 불편하게 조성된 경우가 많다. 이와같이 양적으로 부족하고 네트워크가 단절된 경북대학교 수목지대는 많은 곳에 스텝기가 버려져 있거나 잔디밭이 뜯겨져 있고 나무들은 딱딱하게 다져진 땅에서 호흡부족으로 활력이 부족한 상태가 관찰되고 있으며 성장이 멈춘 상태가 여러 곳(인문대 전면 광장 등)에서 관찰되고 있다.

불투수면은 건축물의 지붕과 그 지붕들을 이어주는 각종 교통체계로 구성되어 있다. 대부분의 경우 교통체계에 의한 불투수면 면적이 지붕(주택, 건물)으로 인한 불투수면 면적을 초과하고 있다. 실제 한강유역에서 측정된 단독, 아파트, 상업지역 부지에서의 교통관련 불투수면은 전체 불투수면 면적의 63~70%를 구성하고 있다(최지용·장수환, 2003). 우리나라의 경제성장과 더불어 급속하게 늘어난 자동차는 지난 20년 동안 불투수면 면적 중 교통체계의 상대적인 크기를 증가시켰다. 경북대학교의 경우 도로(22)와 주차장(1.7)의 비율이 23.7%를 차지하고 있는 반면에 건물이 18.1%여서 통계 자체로는 양호한 것으로 보이나 캠퍼스내 공터 17.6%를 주차장 면적으로 반영할 경우 41.3%가 되어 캠퍼스 전체 불투수면 비율에서 69.5%를 차지하고 있어 불투수면에 대한 교통체계의 기여 비율이 우리나라의 전형적인 특성을 보여주고 있다. 반면에 홍콩대학교는 도로와 주차장의 면적이 1.5%에 불과하여 교통체계가 불투수면 구성요소로서 아주 적은 기여를 하고 있으며 46.5%를 차지하고 있는 건물이 불투수면의 93%를 차지하고 있다. 도시의 토지이용규제에서 단위 면적당 허용 가능한 건물의 면적 등(건폐율, 용적율 등)은 규제하나 교통관련 시설은 규제가 없기 때문에 이와 같이 교통체계에 의한 불투수면이 대학 캠퍼스의 자연환경을 훼손하는 핵심요소로 작용하고 있는 것이다(최지용·장수환, 2003). 캠퍼스의 토지이용계획에서 건축물의 규모나 종류 등은 학생 수에 따라 일반적으로 확정되어 있어 단시간내에 줄이기 어렵

다. 하지만 주차장 도로 등 교통요소는 캠퍼스 관리계획을 통해 충분히 감소시킬 수 있다. 따라서, 캠퍼스 토지이용계획에서 불투수면 관리를 위해 허용가능한 교통체계의 지표가 마련되어야 할 것으로 판단된다.

5. 결론 및 시사점

본 연구의 결과는 캠퍼스 불투수율의 비교평가에서 Google Earth의 활용 및 설계에 대한 통일적이고 일관성 있는 평가기준의 기초자료로 사용될 수 있을 것이다. 이와 같은 전세계 차원의 평가과정은 캠퍼스 투수면의 배치 및 운영과정에서 다양한 국가의 각 대학별로 축적된 노하우와 문제점들을 공유하고 교환할 수 있는 메커니즘으로 작용할 것으로 사료된다. 캠퍼스 불투수율 평가를 위한 참고가 될 기준이 없는 상황이어서 홍콩대학교와 같이 장기간 동안 투수면 보전에 우선순위를 두고 캠퍼스를 관리하였던 사례는 경북대학교 등 국내 대학의 캠퍼스 불투수면 관리지침을 제시하는 중요한 기초자료가 될 것이다. 본 연구의 결과에 의거하여 경북대학교는 캠퍼스 고유의 자연환경과 주변 지역의 특성에 부합한 투수면 관리방향을 설정할 수 있을 것이다. 이는 단순히 대학 캠퍼스의 불투수율 현황을 비교평가하는 차원을 넘어 향후 캠퍼스의 마스터플랜 수립 등 정책적 대안제시를 위하여 활용될 수 있을 것이다.

홍콩대학교의 경우 홈페이지에서 제공하는 캠퍼스 안내도를 벡터라이징하여 건물, 도로 레이어 등의 수치지도를 제작하여 국내대학에 대해 사용한 실제 수치지도보다 상세한 정보가 부족하다. 홍콩대학교에 대해서는 제작과정이나 축적의 관점에서 국내의 수치지도와 동일한 자료를 활용하지 않았기 때문에 연구결과를 통하여 사례 연구지역의 실제 상황을 비교·평가하는 데는 한계가 있다. 본 연구의 타당성을 검증하기 위해서는 수치지도와 Google Earth 기반의 평가 방식과 현지조사를 통하여 수집된 데이터와 비교하는 것이 필수적이다. 향후 현지조사 기반의 평가에서 사용하는 기법과 Google Earth 기반의 평가기법을 통합한 다양한 기법을 연계함으로써 본 연구 결과의 실용성을 증진시킬 수 있는 방안에 대해서 보다 심도있는 연

구가 필요하다. 본 연구에서 제시된 Google Earth 기반의 불투수면 평가 모델이 현지조사와 비교평가 등 검증과정 등의 한계가 있다고 하더라도 지금까지 시도된 원격탐사 기반의 불투수율 평가에 대한 연구결과를 Google Earth에 적용함으로써 향후의 연구에 시사점을 제공하고 대학 캠퍼스 투수면 보전 실무를 수행하는 사람들에게 작은 길잡이 역할을 할 수 있다면 연구의 가치가 있다고 할 것이다.

본 실험연구는 학술연구라는 자체적인 한계 때문에 단기간에 수행된 단 2개의 사례지역에 걸친 국한된 결과이다. 투수면 관련 정보가 상당히 넓은 범위에서 파악될 수 있는 데도 연구의 범위를 축소하여 집중적으로 검토하고자 본 연구에서 사용한 위성영상에서 판단가능한 공간 객체에 의거하여 투수성을 평가하였다. 본 연구에서는 경북대학교와 홍콩대학교를 동일한 분류지표에 의거 불투수율을 평가하였지만 또한 각 지역이나 장소마다 그 특성이 다를 수 있으므로 한두 가지의 연구나 모형으로 투수면 평가기법을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다.

불투수면 관련 정보가 상당히 넓은 범위에서 파악될 수 있는 데도 연구의 범위를 축소하여 집중적으로 검토하고자 불투수면 분류과정에서 검토되어야 할 핵심 공간객체들을 1:1,000 수치지도 레이어에 의거하여 연구자가 자의적으로 선정하고 평가하였기 때문에 타당성에 한계가 있었다. 불투수면의 감시 차원에서 Google Earth를 활용하기 위해서는 투수면 분류기준 설정과정에서 축척별, 지역별, 인지특성(자연환경, 인문환경) 등 다양한 관점에서 심도 있는 연구가 필요하다. 향후 다양한 캠퍼스에서 비교 연구를 진행함으로써 불투수면이 일관된 기준으로 분류될 수 있도록 보완될 필요가 있다. 불투수면의 분류결과는 시간에 따라 변화하는 속성을 가지며 일정기간 내에서만 의미를 부여할 수 있다. 수치지형도를 제작하기 위한 항공사진 촬영시기와 영상취득시기의 시간적인 차이에서 오는 오류는 최근에 취득된 영상에서 추출된 정보에 의해 보정되었다고 판단되나 불투수면의 실체를 보다 객관적으로 파악하기 위해서는 동일한 시기의 영상과 수치지도를 사용하는 것이 이상적이다.

사사

이 논문에서 사용된 Google Earth 영상은 Google Earth에서 제공하는 free download 기능을 이용하여 취득하였습니다. 영상을 제공하여준 Google Earth에 감사를 드립니다.

문헌

- 사공호상, 2003, "IKONOS 위성영상을 이용한 불투수지표면 분석방법에 관한 실증연구," 한국GIS학회지, 11(4), 509-518.
- 엄정섭, 2008, 1:1000 수치지도와 연계된 Google Earth 영상 지도: 대학 캠퍼스 투수면 감시를 사례로, 사회과학 담론과 정책, 1(1), 23-43.
- 이도원, 2001, 경관생태학-환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리, 서울대학교 출판부, 321쪽.
- 이명우, 1995, "토지이용으로 인한 수질영향," 한국조경학회지, 22(4), 198-202.
- 이창우, 2000, 서울시 환경용량에 관한 연구(II), 서울시정개발연구원 연구보고서.
- 최지용 · 장수환, 2003, 유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표 개발과 적용(I), 한국환경정책평가연구원 연구보고서, 161쪽.
- 홍콩대학교, 2009, <http://www.hku.hk/visitors/> (검색일: 2009.3.28).
- Couch, C., 1997, Fish dynamics in urban 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.
- Dougherty, M., Dymond, R. L., Goetz, S. J., Jantz, C. A., and Goulet, N., 2004, Evaluation of impervious surface estimates in a rapidly urbanizing watershed, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(11), 1275-1284.
- Goetz, S. J., Wright R K. Smith, A. Zinecker E. and Schaub E., 2003, IKONOS imagery for resource management: tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region. *Remote Sensing of the Environment*, 88(1-2), 195-208.
- Google Earth, 2009, Welcome to Google Earth Outreach, <http://earth.google.com/outreach/tour.html> (검색일: 2009.3.28).
- Gramling, C., 2007, Google Planet: with Virtual Globes, earth scientists see a new world, *Geotimes*, 52(2), 38-39.
- Hebble, E. E., Carlson, T. N., and Daniel, K., 2001, Impervious surface area and residential housing density: a satellite perspective, *Geacarto International*, 16(1), 13-18.
- Land Info Worldwide Mapping, 2009, <http://www.landinfo.com/index.htm> (검색일: 2009.3.20).
- Matthew A. Z. and Mark G.M., 2007, The creative reconstruction of the Internet: Google and the privatization of cyberspace and DigiPlace, *Geoforum*, 38, 1322-1343.
- 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.
- Slonecker, E. T., Jennings, D. B., and Garofalo, D., 2001, Remote Sensing of Impervious Surfaces: A Review, *Remote Sensing Reviews*, 20(3), 227-255.
- The University of Hong Kong, 2009, <http://www.hku.hk> (검색일: 2009.3.20).
- Verhoeve, 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.
- Wu, C., and Murray, A. T., 2003. Estimating impervious surface distribution by spectral

- mixture analysis. *Remote Sensing of the Environment*, 84(4), 493 - 505.
- Zhou, Y. Wang, Y.Q. 2008, Extraction of impervious surface areas from high spatial resolution imagery by multiple agent segmentation and classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 74(7), 857-868.
- Zhu, C. Wang, H. Zhou, L., 2008, How to make use of Google Earth to draw campus map, *Hubei University Natural Science Edition*, 30(1), 93-96, (in Chinese).
- (접수: 2009.4.17, 수정: 2009.5.18, 채택: 2009.6.15)