연구논문

MODIS 영상을 이용한 행정구역별 알베도 분포 비교평가

김기열* · 엄정섭**

경북대학교 공간정보학과*, 경북대학교 지리학과**

(2012년 2월 22일 접수, 2012년 3월 20일 승인)

Comparative Evaluation of Albedo Distribution according to Administrative Boundary Using MODIS Products

Ki-Youl Kim* · Jung-Sup Um**

Department of Spatial Information Science, Kyungpook National University*

Department of Geography, Kyungpook National University**

(Manuscript received 22 February 2012; accepted 20 March 2012)

Abstract

This paper is primarily intended to present quantitative evidences for land surface albedo difference among seven metropolitan cites in South Korea. An empirical study for experimental sites was conducted to confirm how a standard MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrument offers the viable method of measuring and comparing the regional heterogeneity of albedo among administrative districts. The metropolitan cities like Seoul located in dense building environment do result in much lower albedo than those exposed in much more sub-urban surface (e.g KwangJoo). These experimental results indicate that an urban surface such as building and road is a crucial explanatory variable for lower albedo. It is confirmed that the urban surface such as building and road could be employed as a proxy of the lower albedo burden in the metropolitan area. It is anticipated that this research output could be used as a valuable reference to confirm the potential of introducing the new concept of "administrative districts specific albedo management" to support more scientific and objective decision-making in the process of GHG (Greenhouse Gas) reduction project.

Keywords : Albedo, Administrative Boundary, Comparative Evaluation, MODIS

Corresponding Author: Jung-Sup Um, Department of Geography, Kyungpook National University 1370, Sankyeok-dong, Buk-ku, Daegu, 702-701, South Korea Tel: +82-53-950-5229 Fax: +82-53-950-6227 E-mail: jsaeom@knu.ac.kr

I. 서 론

세계 온실가스의 80% 이상이 지구 전체 면적의 2%에 불과한 도시지역에서 배출되고 있어 UNFCCC(유엔기후변화협약)[1] 등 국제적 · 국가적 노력과는 별도로 도시차원의 기후변화 대응을 위해 저탄소도시[2] 조성 운동이 정착되고 있다(Sawin, 2010). 도시는 콘크리트, 아스팔트 등과 같은 인공재료로 피복된 건물, 도로, 주차장 등 과도한 불투수면으로 인해 다량의 화석연료를 열에너지로 소비하며 지구온난화의 주요 물질인 이산화탄소를 배출하고 있다. 특히, 수면 · 녹지면적의 감소와 빌딩 · 포장면에 의한 토양의 피복은 열의 운송매체인 증발산량의 감소를 초래하고 열반사능과 열전도율을 높게 하여 태양에너지의 축적을 가져온다(Weng and Lu, 2008; Xiao, *et al*.. 2007). Galli(1991)는 온도상승의 정도는 유역의 불투수면에 직접적으로 관련되어 있는 것으로 보고하였으며 불투수면은 열을 흡수하여 들판 및 임야보다 국부적으로 대기 및 지상온도가 10-12℃정도 더 따뜻하다고 언급하였다.

알베도(albedo)는 물체가 빛을 받았을 때 반사하는 정도를 나타내는 단위를 의미하며, 이에 따른 기온변화를 알베도 효과라고 한다. 지구표면에서의 알베도(surface albedo)는 지표면의 특성에 따라 변화하기 때문에 알베도 분포특성이 전 지구 에너지균형에 중요한 영향을 미치는 요소로 부각되고 있다. 도시지역 내 인공구조물의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트는 알베도가 낮아 많은 태양열을 받아들이고 많은 열을 저장하는 성질이 있어 열의 발산 작용이 미약하다. 도시의 고층 건물은 일몰 후 지표 복사에너지의 방출을 막아 복사냉각 효과를 감소시키는 요인으로 작용하여 지표의 온도를 높이는 역할을 하고 있다. 최근 도심지 내 빌딩 등 인공 구조물에 의한 인공열의 증가와 아스팔트화 된 도로 등에 의한 잠열의 감소는 도심지 내 열환경을 변화시키고, 빈번하게 열대야와 열대일을 발생시키고 있다.

알베도에 대한 지역별 인벤토리가 구축되고 감축잠재력 등과 같은 기초정보가 있어야 지역별 알베도 관리 목표를 설정할 수 있다. 또 이를 근거로 서로 상이한 경제, 사회, 지리적 여건을 가지고 있는 각 지역의 특성을 반영한 구체적인 알베도 대응 정책을 마련할 수 있다. 알베도 현상 자체는 지구적인 것이지만, 적응방안이 실행되는 것은 개인 또는 지역단위가 될 수밖에 없기 때문이다. 따라서 가능한 행동을 실천에 옮길 수 있는 지역단위의 알베도 분포 특성 및 취약성 분석을 토대로 대응방안 모색이 필요하다. 지역특성과 알베도 변화는 어떠한 관계에 있는지, 토지이용이나 인구밀도 등 지역여건은 알베도 분포에 얼마만큼 영향을 주는지 또 기상이변 현상이 자주 발생하는 지역의 알베도 수치는 무슨 문제가 있는 지, 알아야 지역에 적합한 대책강구가 가능하다. 지역별로 정확한 알베도 분포의 산정은 온실가스 배출원별 저감방안 수립과 경제주체 단위의 배출량 관리를 위해 가장 기초적인 작업이다.

개별 행정구역은 주거 · 상업 · 업무지역과 관련되는 각종 조례의 제정 및 개정의 권한, 토지이용계획의 권한, 교통관련 기반시설과 관련된 권한 등을 가지기 때문에 알베도 관리를 위한 단위지역으로서 잠재력이 가장 높은 곳으로 확인되고 있다(김선희, 2008). 하지만 국가차원에서 수립된 각종 기후변화 대책들이 행정구역 단위로 시행되고 있으나 행정구역에 따라 인문 사회적 및 지리적 특성, 토지피복분포 및 도시화 현황이 많은 차이가 있어 개별행정구역에 부합하지 않는 한계점을 가지는 사례가 자주 관찰되고 있다(최영국 등, 2008). 개별 행정구역 단위의 정책수립을 위한 기초적인 데이터라고 할 수 있는 알베도 분포 특성 조사방법에 대한 표준화 된

1) 1992년 UN 환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development: UNCED)에서 기후변화협약(UN Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)을 채택하였으며 기후변화협약은 구체적이고 강제성 있는 실천을 위해 1997년 교토의정서(KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (Kyoto, Japan, December.1997))를 채택하였으며 교토의정서는 2005년 2월 16일 발효되었다.

2) "저탄소"란 화석연료(化石燃料)에 대한 의존도를 낮추고 청정에너지의 사용 및 보급을 확대하며 녹색기술 연구개발, 탄소흡수원 확충 등을 통하여 온실가스를 적정수준 이하로 줄이는 것을 말한다 (저탄소 녹색성장 기본법 2조 1항).

지침도 없으며 행정구역별 알베도 차이 등 기초적인 통계의 도시별 집계조차 존재하지 않은 상황이다.

알베도로 인한 환경영향에 대해 지표의 에너지 균형과 생태계의 미기후 변화, 도시 열섬효과, 온실효과에 대한 취약성 등 다양한 선행연구가 보고되고 있다(Akbari *et al*, 2009; Bao *et al*, 2009; Prado and Ferreira, 2005). 또한 지방의 행정구역별 현상에 대해 중앙정부에 의한 일방적인 규제를 통한 방식보다는 행정구역 단위의 관점에서 환경 문제를 접근하려는 다양한 선행연구가 보고되고 있다(안지원, 2005; 이인희 · 장은미, 2009). 이와 같이 환경문제를 보다 광역 차원에서 접근하게 됨에 따라 원격탐사나 GIS를 이용한 알베도 분포도의 작성 및 활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다(Liang *et al*, 2002; Moody *et al*, 2007 Roman, 2010; Schaaf, 2002). 하지만 대표적인 환경지표인 알베도에 대해 행정구역별로 다르게 나타나는 격차를 평가하고 수질이나 대기와 같은 방식으로 행정구역별로 표준화된 통계를 관리하려는 선행연구는 확인되지 않는다.

따라서 본 연구는 환경영향평가나 도시계획 및 토지이용계획에서 알베도의 중요성에 대한 대중의 참여를 이끌어내기에 적절한 규모로 광역행정구역을 상정하고 행정구역별 알베도 감시 지표나 기준을 마련하기 위한 기초자료를 제시하기 위하여 출발하였다. 알베도 분포를 실험적으로 평가하는 시범연구를 통해, 환경영향평가 과정에서 활용하기 위해 필요한 절차 및 기술요소에 대한 일반적인 기준을 마련하여 본격적인 활용과 유통을 지원하고자 하였다. 아울러 원격탐사 기반의 알베도 조사가 환경영향평가 실무에서 자리 잡을 수 있기 위해 향후 조사방법의 변화나 시스템의 확장 등 후속연구 방안을 제시하였다.

II. 데이터 취득

연구의 타당성을 검증하기 위해 많은 행정구역을 비교하고 연구하는 것이 공통적인 문제점 발견과 알베도 감시 유용성을 검증하는 데 도움이 되겠으나 지방자치단체별 관할 공간적 범위나 자연환경, 인문환경 특성이 다른 점을 고려하지 않고 수평적으로 비교함으로써 발생할 수 있는 오류를 방지하고자 6대 광역시 이상 지방자치단체의 관할 행정구역(서울시와 부산시, 대구시, 인천시, 대전시, 울산시, 광주시)에 대해 알베도 분포를 집중적으로 비교평가하는 방식을 취하였다(그림 1).

NASA(National Aeronautics and Space Administration, 미국항공우주국)는 MODIS[3] (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) 위성영상을 제공하는 데, MODIS Product 중 알베도 정보를 추출할 수 있는 MOD43B3을 활용하였다. 알베도 측정과정에서 영상 취득 시기에 따라 지표 중 수분함량과 피복간 분광특성의 차이가 많은 변동을 보이기 때문에 일년 영상 전체를 먼저 확인하고 최적의 영상을 선택하고자 2009년 9월(가을)에서 2010년 8월(여름)까지 영상을 취득하였다. 취득영상의 품질을 평가한 결과 지상에 수분이 많은 여름과 겨울 영상의 결측값이 많이 나타나고 봄 영상도 가을보다는 결측값이 많아 2009년 가을에 관측된 영상 6장을 사용하였다(그림 2).

MOD43B3 자료의 분광해상도는 MODIS 밴드 1-7번과 3개의 광역밴드(broadband, 0.4~0.7μm, 0.7~4.0μm, 그리고 0.25~4.0μm)를 사용하고 있으며 공간 해상도는 1×1km이다. MODIS 알베도 영상의 주기해상도는 16일의 관측 기간 중 가장 우수한 영상을 제공하며, 두 개의 알베도 자료(BSA: Black Sky Albedo, WSA: White Sky Albedo)를 제공한다. 본 연구는 지표면의 알베도 분포 특성을 탐지하는 데 주안점을 두고 있기 때문에 태양 천정

3) MODIS 센서는 미국 NASA의 지구관측 위성인 Terra (EOS AM) 위성과 Aqua(EOS PM) 위성에 각각 탑재되어 있는 주요 관측 센서로 해양과 육상, 대기에 모두 적용이 가능한 다목적 센서이다. MODIS 센서는 705km의 고도에서 하루 또는 이틀에 한번씩 지구표면을 관측하며, 시야각은 ±55degree, 관측폭은 2,330km, 파장대역은 0.4μm에서 14.4μm의 총 36개의 분광밴드를 가진다. 밴드 중 2개의 밴드는 nadir 상태에서 250m 해상도 영상을 만들며, 5개의 밴드는 해상도 500m, 나머지 29개의 밴드는 해상도 1km이다.

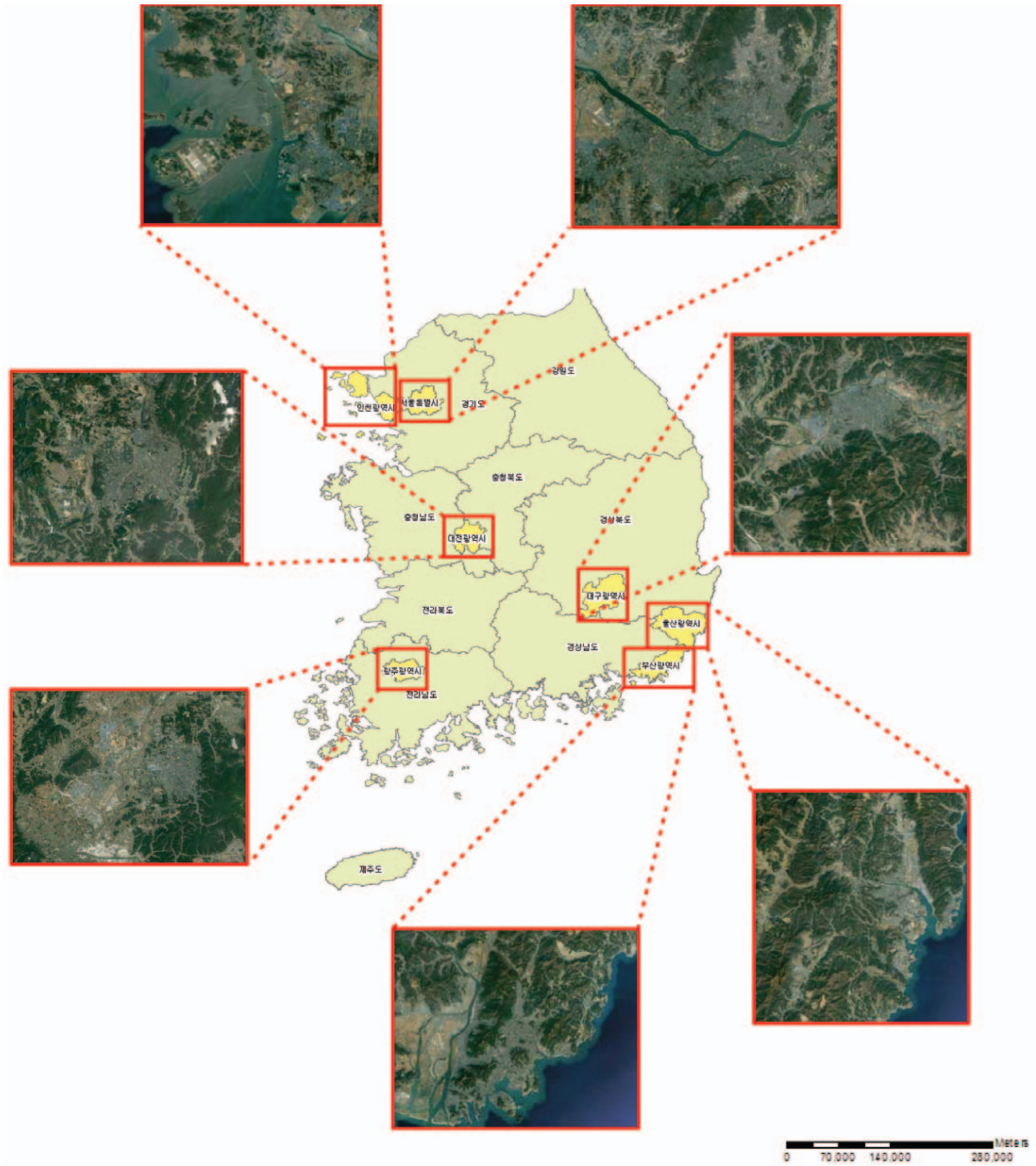


그림 1. 사례연구 지역 행정경계도 및 TM(Thematic Mapper) 영상(출처: Google Earth)

각의 함수로 인한 확산 요소를 반영하지 않는 BSA를 활용하였다. MODIS 알베도 값과 토지이용의 상관성을 평가하기 위해, 도시의 건물과 도로 등 불투수면 현황을 대표할 수 있는 토지피복도[4]를 활용하였다.

연구 전반에 걸쳐 응용 프로그램은 ERDAS Imagine 8.6 영상처리 소프트웨어와 ArcGIS 9.1이 사용되었다. 영상의 결측값을 보정하는 과정에서 ESRI ArcObjects Library 및 Microsoft Visual Basic 6과 GIS 개발엔진 및 프로그래밍 소프트웨

4) 토지피복도는 국토공간의 피복상태를 표현하므로 피복변화의 시계열 분석이 가능하며, 국토의 공간구조 실태를 파악하고 변화추이를 용이하고 신속하게 할 수 있으며, 지역/유역/권역별 오염부하량과 환경용량 산출 등에 활용되고 있다.

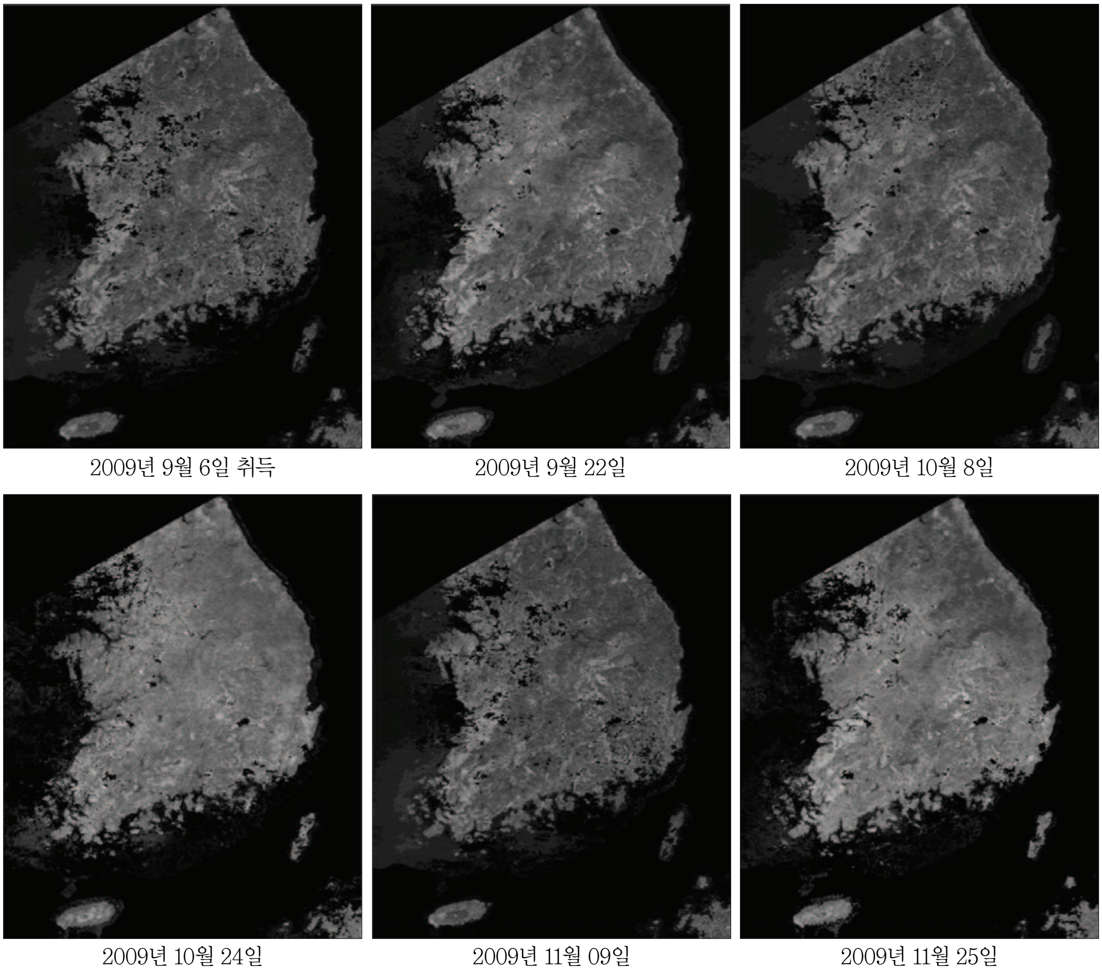


그림 2. 남한지역의 MODIS 알베도 영상(2009년 9월~11월), 결측값 보정 전

표 1. 데이터 및 소프트웨어

구 분	내 용	항 목	용 도
데이터	MODIS	MOD43B3	알베도
	토지피복도	환경부 2009년	토지피복분류별 분석
	수치지형도	행정경계	행정구역별 분석
소프트웨어	영상처리 및 공간분석	ENVI 4.7 ENVI Modis Toolkit	영상 전처리(투영체계변환 등)
		ESRI ArcGIS Desktop 9.3	공간 분석
	프로그래밍	MS Visual Basic 6	결측값 보정 모듈개발
		ESRI ArcObjects Library	GIS 공간연산 라이브러리
	통계	MicroSoft Office Access MicroSoft Office Excel	데이터 베이스 구축 및 통계자료 처리

어를 활용하였다(표 1). MODIS 육상자료들의 투영 방식은 Sinusoidal projection(SIN)이며, 이는 지구 전체를 36(horizontal)×18(vertical)의 tile로 투영하는데, 각각의 tile은 10×10도(1,200×1,200pixel)로 구성된다. MODIS 영상의 투영체계 변환 등 전처리를 위해 NASA에서는 MRT(MODIS Reprojection

Tools)라는 상용 소프트웨어를 제공하고 있다(강신규 등, 2008). 본 연구에서는 자료 처리를 위해 ITT Visual Information Solutions사에서 개발한 The Environment for Visualizing Images (ENVI) program을 이용하여 MODIS 영상자료를 자동화 방식으로 처리하였으며 Projection 및 Data Conversion을 위해서는 MRT와 ENVI MODIS Toolkit을 이용하였다.

III. 데이터 처리 및 가공

본 연구는 사례연구 지역의 선정, 데이터의 수집, 영상의 투영보정, 결측값 보정, 알베도 분류기준 설계, 행정구역별, 토지피복별 자료를 분석하고 비교 · 평가하는 절차로 수행되었다(그림 3). MODIS의 알베도 측정 시스템은 대기를 투과해 온 빛의 흡수 및 반사 신호강도에 의거하고 있기 때문에 측정 당시의 기상상태가 구름이 존재할 경우 관측 픽셀을 모두 제거하고 있어 모든 격자단위에서 자료를 획득하기 어려워 영상에 결측값이 존재하고 있다. Jang *et al*(2008)은 MODIS의 획득률과 정확도를 향상시키기 위해서 에어로졸 gap filling 방법을 이용하여 결측값을 보정할 수 있으며, 맑은 날 에어로졸 자료의 획득률을 개선시키고자 2004년부터 2006년까지의 에어로졸 자료를 시계열로 나타내어 월별 평균값을 구한 후, 결측된 에어로졸 픽셀에 대해서 월별 평균값을 적용할 수 있다고 하였다. 강신규 등(2008)은 알베도 자료의 기준은 BSA로 하였고, 이 자료가 결측되었을 때 WSA를 사용하도록 하였다. 만약 WSA도 결측일 경우에는 결측 픽셀 주변 5 × 5km의 픽셀을 검사하여 토지피복형이 동일한 픽셀만을 선택한 후, 이것을 평균하여 결측된 픽셀을 채우도록 하였다. 만약 이 작업 이 후에도 결측 픽셀이 나온다면, 한 주 전의 자료를 사용하여 filling하도록 하였다.

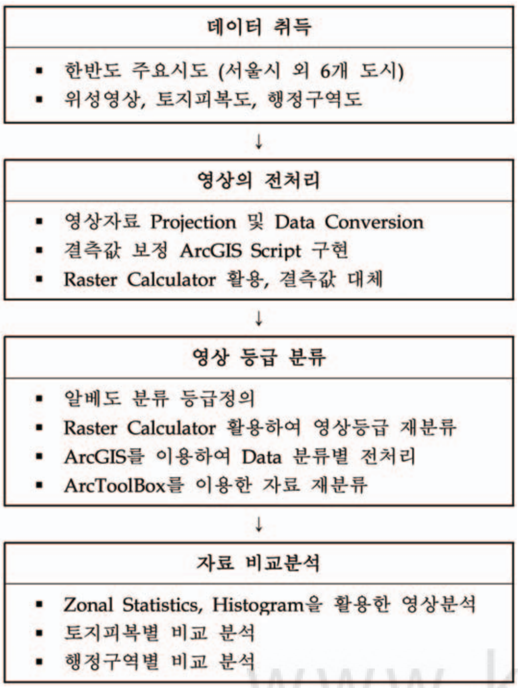


그림 3. 연구수행 절차

결측값의 보정은 선행연구(강신규 등, 2008; Jang *et al*, 2008)에 의거하여 픽셀 단위의 비교분석을 통하여 수행되었다. 영상처리툴이나 GIS 툴의 공간보간 기능들을 통하여 여러 단계의 수작업을 수행하면 결측값 보정이 가능하나, 이를 위해서는 여러 장의 영상자료를 하나씩 변환하고, 토지피복 값을 새롭게 부여하는 번거로운 작업절차가 필요하다. 그럴 경우 분석을 위한 데이터 재가공으로 인하여 오류가 발생할 여지가 있으며, 다양한 조건에 유연하게 대처하지 못하고 복잡한 작업과정으로 인하여 많은 시간이 소요된다. 따라서 ENVI를 통하여 변환된 영상자료에 대해 재가공을 위한 별도의 수작업 절차를 거치지 않고 여러 장의 영상을 한 번에 보정할 수 있도록 ESRI ArcObjects Library, Microsoft Visual Basic 6을 통하여 보정 모듈을 구현하였다(그림 4). Raster 연산 모듈은 영상자료의 비교분석을 위하여 GeoAnalyst Library의 IRasterModel, IRasterAnalysisEnvironment 인터페이스를 활용하였으며 Vector 연산 모듈은 GeoDatabase Library의 IQueryFilter, ISpatialFilter와 Geometry Library의 ITopologicalOperator 인터페이스를 활용하였다.

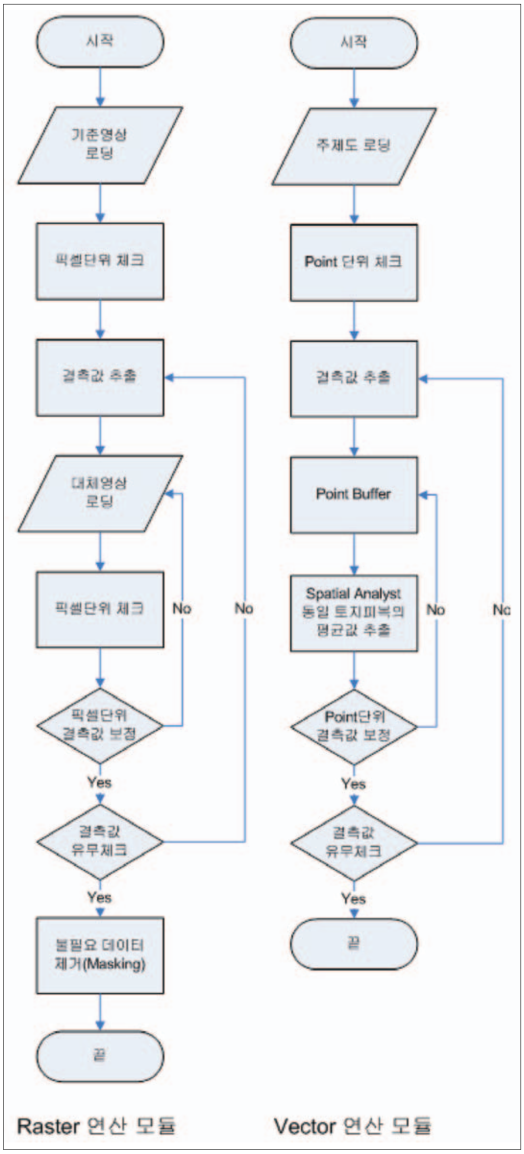


그림 4. 결측값 보정모듈 구현 순서도

구현은 Raster자료와 Vector자료를 보정해주는 함수를 별도로 구현하고, 외부에서는 자료만을 입력해주면 해당 자료의 결측 값을 보정하도록 설정하였다. 자료의 종류가 바뀔 경우 내부 프로그램을 수정하는 것이 아니라, 외부의 자료만 바꾸면 되도록 유연하게 처리하였다. 기준영상의 픽셀단위 연산을 통하여 결측값을 추출한 후 유사시기 영상들의 해당 픽셀의 값을 추출하고 평균하여 기준영상 결측 픽셀의 값으로 대체하였다. 1단계 보정이 완료

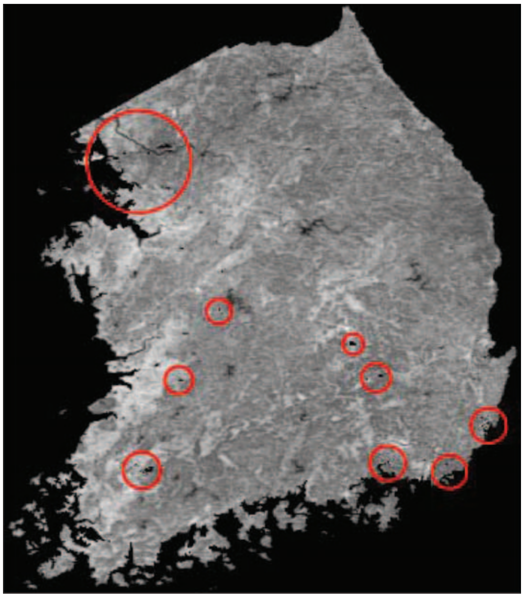
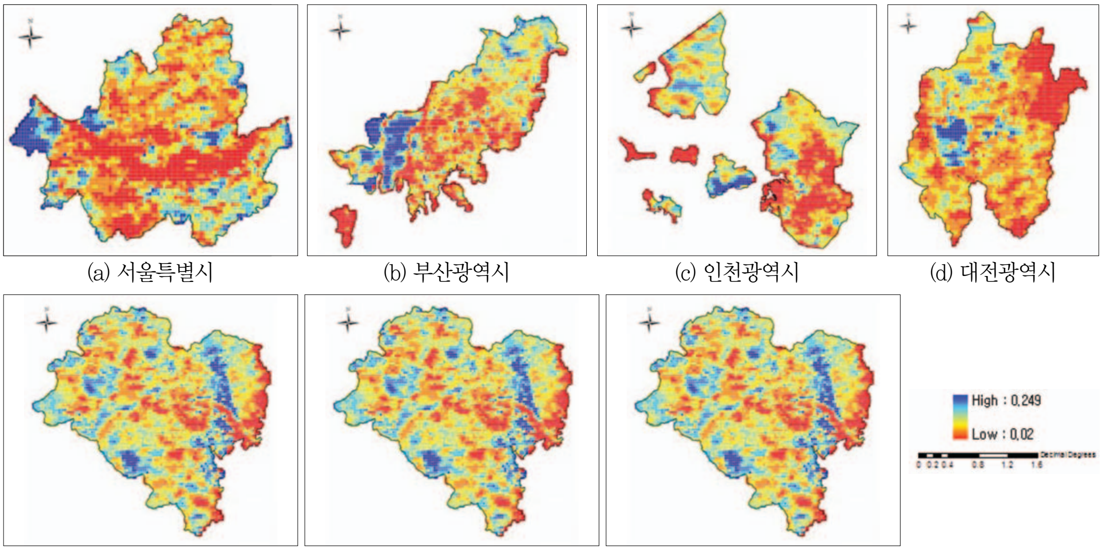


그림 5. 1단계 결측값 보정 후 영상(2009년 가을 영상) 적색원은 1단계 보정후에도 결측값이 존재하고 있는 지역

된 영상은 반경 1km내의 동일한 토지피복을 가진 정보들을 평균하여 결측된 값으로 대체하였다(그림 5). 모듈을 적용시키기 전의 기준영상에서 임의로 raw data를 제거한 후 nearest neighbor 기준에 의거하여 구현한 모듈을 통하여 결측값을 보정해 보니 유사시기 영상을 활용하는 방법과 결측값이 속한 행정구역의 동일한 토지피복지역의 평균값을 활용하는 방법이 원래 영상의 raw data에 가장 근접한 결과를 도출하였다.

결측값 보정작업이 완료된 후 사례연구 지역만 추출하기 위하여 전체 행정구역 중 광역시 이상의 대도시 지역만을 추출(ArcGIS ToolBox의 Masking 기능)하여 신규자료를 생성하였다. 행정구역도 자료와 공간연산을 통하여 토지피복도와 알베도 영상에서 연구대상 지역 외의 자료들은 모두 제거한 후 추출한 대상지의 값을 재조정 하였다. 자료들 간의 비교평가를 위해서는 알베도, 토지피복도, 행정구역도를 이용하였으며, 기준자료에 비교대상 자료를 추가하는 변환작업을 수행하였다. 토지피복도를 행정구역별로 분류하여 비중을 평가해야 하므로 행정구역도와 공간연산을 하여 변환작업



(a) 서울특별시 (b) 부산광역시 (c) 인천광역시 (d) 대전광역시

(e) 울산광역시 (f) 대구광역시 (g) 광주광역시

그림 6. 행정구역별 알베도 분포도

을 수행하고, 알베도는 행정구역별 비중과 토지피복분류별 비중을 각각 비교 · 평가해야 하므로 행정구역도, 토지피복도와 공간연산을 하여 변환작업을 수행하였다.

Ⅳ. 결과 고찰

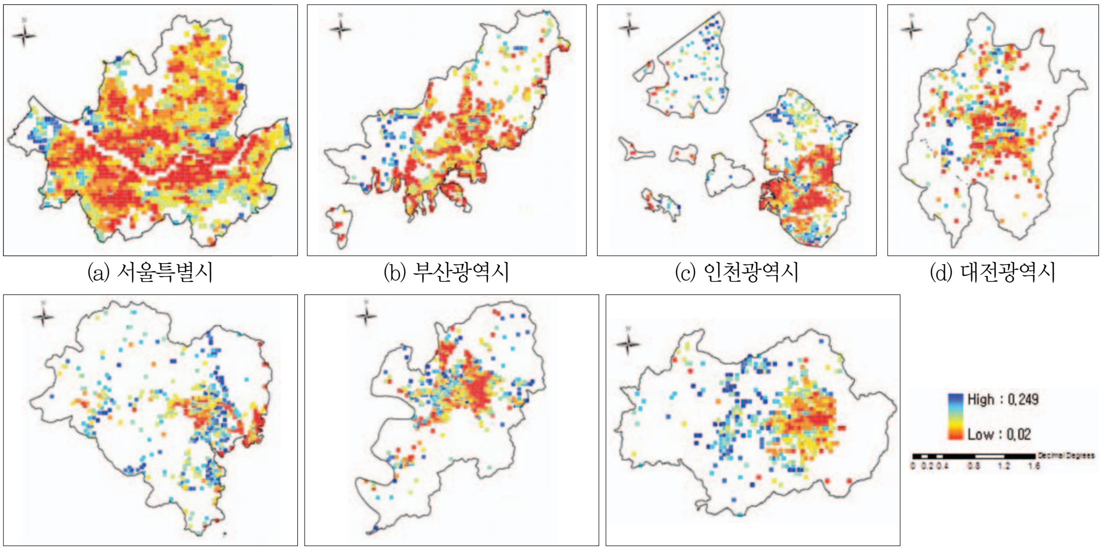
서울, 부산, 인천, 대전, 울산, 대구, 광주 순으로 알베도 값이 낮게 나타나며, 서울과 광주의 알베도 값은 큰 차이를 나타내고 있다(표 2, 그림 6). 이는 서울이 시가화건조지역[5]의 비중이 61.45%로 가장 높고 광주가 농업지역의 비중이 38.54%로 가장 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한 부산과 인천이 서울 다음으로 낮은 알베도 값을 나타내고 있는데, 이 지역 역시 시가화건조지역의 비중이 높기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 시가화건조지역의 인공표면이 농업지역과 산림지역 같은 자연표면에 비해 알베도 값이 낮고 온도에 민감하게 반응하는 것이 확인된다. 즉 행정구역의 토지피복별 비중(표 2)에 따라 알베도 값의 차이가 뚜렷하게 나타나는 것으로 확인된다. 시가화건조지역은 서울이 61.45%로 타 도시에 비해 약 2배 이상 높게 나타나며, 그 다음으로 인천, 부산 순으로 나타난다. 농업지역은 광주의 비중이 38.54%로 타 도시에 비해 약 2배의 비중을 차지하고 있으며, 서울(3.98%)과는 무려 10배의 차이를 보인다. 산림지역은 울산, 대전, 대구의 비중이 대체로 높으며, 서울이 가장 낮게 나타난다.

표 2. 행정구역별 알베도 값 및 토지피복별 비중

행정 구역	알베도	토지피복별 비중(%)		
		시가화건조지역	농업지역	산림지역
광주	0.146	19.81	38.54	36.47
대구	0.133	19.19	20.96	53.91
대전	0.123	21.46	13.86	54.49
부산	0.114	26.11	17.59	49.16
서울	0.104	61.45	3.98	25.00
울산	0.127	16.23	18.30	60.03
인천	0.119	28.17	16.28	40.85

행정구역내의 시가화 건조지역만을 대상으로 알베도를 평가한 결과는 서울, 부산, 대전, 인천, 대구, 울산, 광주 순으로 낮게 나타나며(그림 7, 8), 상업지역과 교통지역의 비중이 대체적으로 높은 서

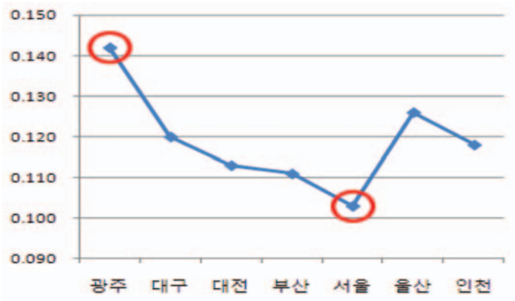
5) 환경부 토지피복도 분류기준 (환경부, 2002)은 USGS 분류체계와 유럽연합의 CORINE(Coordination of Information on the Environment)체계를 검토하여 우리나라 지형과 기후에 맞게 수정한 것으로 대분류에 7개 항목(시가화건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)이 있다.



(a) 서울특별시 (b) 부산광역시 (c) 인천광역시 (d) 대전광역시

(e) 울산광역시 (f) 대구광역시 (g) 광주광역시

그림 7. 시가화건조지역 알베도 분포 지도



행정구역	알베도	토지피복 중분류 비중(%)			
		주거지역	공업지역	상업지역	교통지역
광주	0.142	57.22	12.75	5.68	14.40
대구	0.120	51.74	16.13	9.24	13.73
대전	0.113	46.92	7.66	10.12	22.99
부산	0.111	50.71	8.78	9.81	20.64
서울	0.103	49.50	1.08	14.41	21.60
울산	0.126	41.66	33.47	7.89	10.05
인천	0.118	42.23	27.28	6.82	16.61

그림 8. 시가화건조지역 알베도 값 및 토지피복별 비중

울, 부산, 대전의 알베도 값이 낮게 나타난다.[6] 공업지역의 비중이 타 지역에 비해 2배 이상 높은 울산과 인천이 상대적으로 높게 나타나고, 광주는 상업지역과 교통지역의 비중이 상대적으로 낮고 주거지역의 비중이 가장 높기 때문에 높은 알베도 값을 나타내는 것으로 판단된다.

행정구역 전체의 알베도 값과 시가화건조지역만의 알베도 값을 비교해 보면 행정구역 전체일 경우는 인천이 대전보다 울산이 대구보다 알베도 값이 낮게 나타났으나 시가화건조지역만을 대상으로 한 경우 대전이 인천보다 대구가 울산보다 알베도 값이 낮게 나타난다. 그 이유는 대전과 대구가 상업지역과 교통지역의 비중이 각각 대전이 인천보다 대구가 울산보다 높고 공업지역 비중이 낮기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 알베도 비교평가를 통하여 도시지역이라도 도시화 현황과 특성에 따라 알베도 값의 두드러진 차이가 확인된다.

V. 연구 결과의 적용 방안

행정구역별 관리에 있어 알베도 지표는 현 시점에서 미흡한 점이 많으며, 이를 제도로 도입하기 위해서는 지표를 보다 계량화하고 과학적인 기반 위에서 표준화하여야 한다. 본 연구에서 MODIS 데이터가 알베도 감시에서 활용될 수 있는 가시적인 결

6) 환경부 토지피복도 (환경부, 2010) 중분류는 23개 항목이 있는 데 대분류 시가화건조지역은 중분류에서 주거지역, 공업지역, 상업지역, 위락시설지역 교통지역, 공공시설지역으로 구분된다.

과물을 산출할 수 있다는 것을 검증하였다. 이번 장에서는 본 연구에서 제시된 방법을 중앙부처나 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.

본 연구의 타당성을 검증하기 위해서는 원격탐사 기반의 평가 방식과 현지조사를 통하여 수집된 데이터와 비교하는 것이 필수적이다. 향후 현지조사 기반의 평가에서 사용하는 기법과 원격탐사 기반의 평가기법을 통합한 다양한 기법을 알베도 감시를 위해 연계함으로서 본 연구 결과의 실용성을 증진시킬 수 있는 방안에 대해서 보다 심도있는 연구가 필요하다. 각 지역이나 장소마다 그 특성이 매우 다를 수 있으므로 한두 가지의 연구나 모형으로 알베도 분포특성을 확정할 수 없고 향후에 보다 많은 지역의 서로 다른 특성들에 대해 연구가 진행되어야 한다. 또한 행정구역별 온실가스 감축과 온실가스 인벤토리 구축에 과학적인 근거로 활용될 수 있도록 도시지역 알베도 값에 따른 온실가스 배출량의 상관성에 관한 연구가 계속되어야 한다. 이와 같은 비교 평가과정은 즉 전통적으로 현지조사에 의거한 접근보다 훨씬 과학적이고 객관적인 근거를 제공하여 알베도 규제 단위지역을 선정하기 위한 중요한 근거자료가 될 것이다.

본 연구에서 활용한 1×1 km의 공간 해상도 영상은 픽셀단위로 알베도를 관측하기 광역조망의 관점에서 대표값을 추출하는데 문제는 없지만, 1×1 km 보다 좁은 범위의 토지피복분류에 해당하는 공간객체의 알베도 값은 반영될 수 없는 한계를 가지고 있다. 특히 폭이 좁은 도로나 하천에 대해서는 알베도 관측이 제대로 이루어지지지 못하였는바 향후 고해상도 영상을 활용할 필요가 있다. 알베도의 변화 추세에 의거하여 행정구역별 비교평가를 위해서는 어느 시기의 영상이 필요한 정보를 제공할 수 있는 지가 먼저 규명되어야 한다. 본 연구에서는 2009년 가을영상을 사용하였으나 계절별로 공간객체별 알베도 분포특성이 다르게 나타나므로(예: 시가지 녹지의 활엽수가 가을철에는 활력이 떨어져 알베도가 실제보다 축소되어 평가될 우려가 있다). 알베도의 실체를 제대로 파악하기 위해서는 시간적 범위를 설정하고 다양한 시기의 영상을 비교 · 평가하는 것이 이상적이다.

행정구역별 알베도 값을 측정 시 토지피복의 대분류, 중분류만을 인자로 연구하였으나 동일한 토지피복분류 내에서도 알베도 값에 영향을 미치는 요소들(건물의 재질, 층수, 지붕, 토양의 수분함량 등)이 많으므로 좀 더 정확한 결과 값을 도출하기 위해서는 더 많은 인자들을 고려한 연구가 추가적으로 진행되어야 할 것이다.

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

하지만 현지조사를 주장하는 이론들은 본 연구에서 제시된 결과에 대해 다양한 알베도 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 알베도 관련 기초자료의 주관성 때문에 많은 시행착오를 겪었다. 현상을 단순화하고 등급화하는 과정에서 다소 무리가 따르더라도 원격탐사 기반의 명확하고 구체적인 기준을 정하여 알베도 변화로 인해 초래되는 온실가스 배출을 최소화하려는 발상의 전환이 필요할 때라고 판단된다.

과거에는 도시행정에서 여러 지역을 비교하여 알베도 관련 정책을 수립해야 할 경우 실무자의 경험과 감각적인 판단에 의존하여 업무를 수행하여 온 것이 사실이었다. 이와 같이 원격탐사와 GIS기반의 공간 모델링은 행정구역별 알베도 규제기준을 산정하는 과정에서 광역공간 객체를 유형화하고 이들의 변화추세를 평가하여 문제의 원인을 진단하고 미래의 변화추세를 예측할 수 있어 강력한 도구로 활용될 수 있을 것이다. 본 연구에서 제안된 방식에 의거하여 영상 데이터베이스가 구축되면 각종 개발사업이 알베도에 미치는 영향을 단시간에 평가하여 일정기준을 초과할 경우 사업의 동의 여부, 사업규모 축소, 대체 녹지공간 조성 등 검토의견을 제시할 수 있을 것이다.

각종 개발사업의 계획단계부터 환경영향평가 과정에서 알베도 수치를 기후환경영향평가의 지표로서 활용할 수 있다. 열섬(heat island)현상 등 행정구역 특성에 따라 적절한 개발밀도의 지표로 알베도를 사용하는 방안이다. 예를 들면, 수도권과 같이 지나치게 알베도 수치가 낮은 지역은 고반사율의 도료나 재료를 건물의 지붕 또는 옥상에 사용하도록 권장하는 심의의견을 제시하여 태양복사에너지의 흡수를 최소화하도록 하는 것이다. 또 도시지역이라 하더라도 지역별 알베도 수치가 0.1이하가 되지 않도록 하고 0.1을 상회할 경우 주변에 Cool roof 조성[7] 등 환경시설의 설치를 권장하거나 의무화하도록 하는 방안 등을 고려 할 수 있다.

Ⅵ. 결 론

본 연구는 기존의 연구가 위성영상을 이용하여 행정구역별 알베도 감시를 시도하려는 아이디어 자체도 제시하지 못한 점을 고려하여 MODIS 영상을 활용하여 기초자료 확보의 필요성을 제안하는 최초의 연구이다. 본 연구에서 제시한 방법에 의거 위성영상자료를 이용하여 알베도 변화추세를 평가할 경우 적은 시간과 비용으로 전 국토에 대해 동일한 기준의 일관된 작업과정을 적용함으로써 다수의 조사자에 의한 주관적 판단과 대상 지역의 차이에 따른 불규칙적인 기준 적용의 문제점을 보완할 수 있을 것이다. 본 연구는 각종 개발 사업의 기후환경영향평가에서 객관성을 확보하기 위한 방안으로 알베도라는 평가지표를 제안하였는데 향후에는 환경영향평가과정에서 원격탐사와 GIS를 활용하여 사업단위지구 알베도 분포 통계를 산출하여 제출하는 것을 의무화할 필요가 있다고 사료된다.

행정구역별 알베도 수치를 추출하고 토지피복별(대분류) 알베도 평균값을 비교해 본 결과 토지피복의 분류에 따라 알베도 값은 다양하게 나타나며, 시가화건조지역이 비교적 낮고 농업지역이 높음을 알 수 있었다. 또한 시가화건조지역의 비중이 높은 주요도시의 알베도는 상업지역과 교통지역의 비중이 높은 서울과 부산에서 가장 낮게 나타났으며, 농업지역의 비중이 높은 광주의 알베도 값이 가장 높게 나타났다. 이러한 평가 결과를 통하여 시가화건조지역의 인공표면이 농업지역과 산림지역 같은 자연표면에 비해 알베도 값이 낮고 온도에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있었고, 도시지역이라도 도시화현황과 특성에 따라 알베도 값의 차이가 확연하게 다르다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서 제시된 광범위한 지역의 알베도를 단시간에 평가하는 방법에 의거 영상 데이터베이스를 체계적으로 구축하여 알베도를 다양한 시기별로 따라 수시로 평가할 수 있을 것이다. 본 연구결과가 국가 전체 차원에서 도시에 대하여 알베도의 관리에 대한 표준화된 계획을 정립하는 촉매제가 될 것이다. 아울러 지방자치단체에서도 정책결정자가 보다 적은 인력과 예산으로 합리적인 기준에서 도시내부의 열반사특성의 효율적인 관리계획을 수립하는데 도움을 받을 수 있는 지침이 마련될 것으로 보인다.

---

7) Cool Roof는 지붕이나 기타 표면 등에 태양복사에너지의 반사율이 큰 재료(코팅제, 피막재, 타일, 금속 지붕재 등)을 사용하여 태양의 가시광선, 적외선, 자외선 등을 반사시켜 건물과 주변 대기로의 열전도를 감소시키고 높은 열 방사율로 인해 건물이 흡수한 태양복사 에너지를 빠르게 발산하여 건물의 열획득 감소와 함께 건물의 냉방효율을 증가시키는 기술(Bretz and Akbari, 1997; EPA, 2009)로 기존 건물에도 적용이 용이한 친환경적인 기술로 평가되고 있다.

사 사

이 논문은 2011학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음

참고문헌

강신규, 장근창, 이보라, 김소희, 2008, MODIS 위성자료를 이용한 증발산 지도 제작. 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단 기술보고서, TR2008-13.

안지원, 2005, 전국 주요 행정구역별 PM10 성분의 시 · 공간적 농도분포의 특성조사. 한국지구과학회지. 26(7), 652-660.

김선희, 2008, Post-2012체제에 대비한 신국토관리전략, 국토, 318, 6-17.

이인희, 장은미, 2009, 행정구역단위 CO_2배출량 추정을 위한 기초연구: 위성영상을 이용한 토지피복 · 이용도 구축. 충남발전연구원.

최영국, 정진규, 심우배, 이문원, 임은선, 김명수, 왕광익, 서연미, 박정은, 2008, 기후변화에 대응한 지속가능한 국토관리 전략(I) 자료집, 국토연구원,

환경부, 2002, 인공위성 영상 자료를 이용한 토지 피복지도 구축(용역보고서), 한국 환경정책 · 평가 연구원, p268.

Akbari H, Menon S, Rosenfeld A. 2009, Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO2, Climatic Change. 94(3), 275-286.

Bao Y, Lu S. 2009, Improvement of surface albedo parameterization within a regional climate model(RegCM3). Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 6, 1651-1676.

Bretz, S. and Akbari, H., 1997, Long-term performance of high albedo roof coatings, Energy and Buildings, 25(2), 159-167.

EPA(Environmental Protection Agency), 2009, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies Cool roofs, http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm/

Galli, J. 1991, Thermal Impacts Associated with Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices, Metropolitan Washington Council of Governments, Maryland Department of the Environment, Washington, D.C.

Jang, K, J. Kim, and S. Kang, 2008, Estimation of evapotranspiration using data retrieved from MODIS in South Korea, Korean Meteorological Society Proceeding, 104.

Liang S, Fang H, Chen M, Shuey C, Walthall C, Daughtry C, Morisette J, Schaaf C, Strahler A. 2002, Validating MODIS land surface reflectance and albedo products: methods and preliminary results, Remote Sensing of Environment, 83(1-2), 149-162.

Moody E, King M, Schaaf C, Hall D, Platnick S. 2007, Northern Hemisphere five-year average(2000-2004) spectral albedos of surfaces in the presence of snow: Statistics computed from Terra MODIS land products. Remote Sensing of Environment. 111(2-3), 337-345.

Prado R, Ferreira F. 2005, Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials, Energy and Buildings, 37(4), 295-300.

Roman M, Schaaf C, Lewis P, Gao F, Anderson G, Privette J, Strahler A, Woodcock C, Barnsley M. 2010, Assessing the coupling between surface albedo derived from MODIS and the fraction of diffuse skylight over spatially -characterized landscapes. Remote Sensing of Environment. 114(4), 738-760.

Sawin, J. 2010, State of the World, World Watch Institute

Schaaf, C. 2002, First operational BRDF, albedo nadir reflectance products from MODIS. Remote Sensing of Environment. 83(1-2), 135-148.

Weng, Q. and Lu, D. 2008, A sub-pixel analysis of urbanization effect on land surface temperature and its interplay with impervious surface and vegetation coverage in Indianapolis, United States, *The ITC Journal*, 10(1), 68-83.

Xiao, R, Ouyang, Z, Zheng, H., Li, W. Schienke, E. W. 2007, Spatial pattern of impervious surfaces and their impacts on land surface temperature in Beijing, China, Journal of Environmental Sciences, 19(2), 250-256.

최종원고채택 12. 03. 26