The Journal of GIS Association of Korea, Vol. 16, No. 2, pp. 173-192, July 2008

국토 공중모니터링 현황과 발전방향[1)]

신 휴 석* · 박 충 기** · 김 연 미** · 황 선 영** · 박 기 호***

Current status and Prospects on the Aerial Monitoring

Hyu-seok Shin* · Chung-ki Park** · Yeon-mi Kim** · Sun-young Hwang** · Key-ho Park***

요 약

전 세계적으로 기후변화와 환경변화로 인한 재난, 재해의 발생 빈도가 빈번해지고 규모가 커지면서 지구시스템의 변화를 이해, 감시, 예측하기 위한 지구관측(Earth Observation)관련 국제협력이 강화되고 있다. 이에 지구관측에 필수적인 원격탐사 자료를 이용한 공중모니터링의 중요성이 매우 커지고 있다. 이와 같은 상황에서 이 논문은 국내외 공중모니터링 관련 협력체계 및 연구 현황을 살펴본 후, 국내의 공중모니터링 체계의 발전방향에 대하여 연구적 측면, 조직 및 제도적 측면, 전략적 측면에서 논의하였다. 이 연구의 결과는 체계적인 공중모니터링 방안 수립에 대한 토대를 제공하고 향후 국내 전지구관측시스템(Global Earth Observation System of Systems) 구축을 위한 기초적 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 공중모니터링, 지구관측, 원격탐사, 전지구관측시스템

ABSTRACT : Recent climate fluctuation and environmental change at global scale are causing more incidences of disasters and calamities over the world. In a response to this environmental crisis, international collaboration for Earth Observation(EO) is obtaining more significance in order to understand, watch, and forecast changes in the earth system. As such, aerial monitoring based on remotely sensed data, indispensable for EO, is also drawing more attentions. In this context, we discuss diverse aspects of future developments in the Korean domestic system for aerial monitoring. This paper first thoroughly examines current status of national and international collaboration system and research of aerial monitoring. It then suggests specific development plans for four critical dimensions such as research, organization, institutional systems, and strategies.

*서울대학교 지리학과 박사과정(kevin52@snu.ac.kr)
**서울대학교 지리학과 석사과정({papion12,kcym83,dogrambo}@snu.ac.kr)
***서울대학교 지리학과 교수(khp@snu.ac.kr)
1) 이 논문은 2008 GIS공동춘계학술대회 발표논문을 수정·보완하였음

Our study would facilitate systematically establishing policies for aerial monitoring in Korea and creating a domestic GEOSS(Global Earth Observation System of Systems) in the near future.

Keywords : aerial monitoring, earth observation, remote sensing, GEOSS(Global Earth Observation System of Systems)

1. 서 론

최근 전 세계적으로 이상기후 및 급격한 환경변화로 인한 재난, 재해가 빈번하게 발생하고 있고 피해의 규모도 대형화되고 있다. 현재 세계 여러 국가들이 이러한 추세가 지구온난화와 같은 지구환경의 변화와 밀접하게 관련되어 있다는 데에 인식을 같이하여 지구시스템의 변화를 이해, 감시, 예측하기 위한 지구관측(Earth Observation)관련 많은 국제협력기구들을 조직, 운영하고 있다.

이 같은 상황에서 범지구적인 환경변화와 스케일의 문제를 고려할 때 주로 관측센서를 탑재한 위성과 항공기에서 얻어지는 원격탐사자료를 이용한 공중모니터링(Aerial Monitoring)의 중요성이 매우 커지고 있다. 국내에서도 2015년까지 총 19개의 위성발사 계획을 수립하였으며 무인항공기 개발 및 다양한 관측 센서개발에 연구역량을 강화하고 있다.

그러나 데이터획득에 관한 기술개발 이전에 더욱 중요한 것은 영상자료 획득에서부터 마지막 의사결정에 이르기까지 거치게 되는 다양한 프로세스를 정확한 목표의식 하에 조직적이고 체계적인 형태로 진행하는 일이다. 실제로 국내 최초라 할 수 있는 아리랑 2호가 발사된 후 2년이 되어가는 이 시점에서도 위성영상을 본격적으로 활용한 연구들은 미비하다. 또한, 우리나라는 지구관측에 관한 많은 국제협력기구에 동참하고 있지만 최근까지도 공중모니터링에 관한 구체적이고 실질적인 논의가 부족한 실정이다.

이 같은 문제 인식하에 이 연구는 현재 국내외의 공중모니터링 관련 연구 및 국제협력 현황을 살펴보고 이를 바탕으로 현재의 국내외적 상황에서 국내 공중모니터링 발전 방향에 대해 연구적 측면, 조직 및 제도적 측면, 전략적 측면에서 살펴보는 것을 목적으로 한다.

2. 국내외 공중모니터링 관련 연구 현황

가. 주요 연구기관 연구 현황

(1) 국내 주요 연구기관 연구현황

국내 공중모니터링에 관련된 사업은 주로 건설교통부(현 국토해양부) 주관으로 국토지리정보원이 '국토모니터링사업'이라는 명칭으로 지난 2001년부터 2006년까지 총 3단계에 걸쳐 추진하였다. 1단계 사업('01.8~'04.8)에서는 장단기 국토모니터링 구

축방안 및 국토모니터링에 필요한 정보의 생산과 서비스에 대한 기술방안을 제시하였고, 2단계 사업('04.11~'05.11)에서는 국토변화도 시범제작이 이루어졌으며, 마지막 3단계 사업('05.12~'06.7)에서는 국토변화탐지 자동화 방안을 도출하였다.

이외에 과거 해양수산부, 환경부, 산림청, 자원연구소, 수자원공사, 기상청, 소방방재청, 서울시정개발원, 국토연구원 등에서 국토모니터링 관련 연구가 수행되어 왔다.

이러한 국내의 연구들은 전반적으로 자료 구축에 관한 연구가 대부분이며 전문기관의 부재로 주로 외부 용역을 통해 이루어지고 있는 상태며 이는 국내의 연구(대한측량협회, 2004)에서도 한계점으로 지적된 바 있다. 추가적인 문제점으로는 체계적인 자료수집 및 공유체계에 대한 사전 작업 없이 연구가 수행되어 연구 결과의 활용도가 낮으며, 부처 간 연구 결과의 공동 활용이 이루어지고 있지 않아 각 부처별로 독립적인 연구 형태를 띠고 있다는 점이다. 특히, 기술적인 측면의 연구들이 주를 이루고 있어 공익적 가치를 지닌 사회적 이익과 관련된 구체적 활용분야에 관한 연구가 미진하다.

(2) 국외 주요 연구기관 연구 현황

세계 많은 국가들에서도 공중모니터링 연구들이 진행 되고 있다. 외국의 경우 공중모니터링이라는 용어는 직접적으로 사용하고 있지는 않지만 대부분 원격탐사 자료를 이용한 시스템 구축 연구가 이루어지고 있다. <표 1>은 미국, 유럽, 호주, 캐나다의 주요 연구기관의 공중모니터링 관련 연구 현황 및 내용을 요약·정리한 것이다. 이외에도 일본의 JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) 및 유럽의 EEA (European Environment Agency), 러시아의 RFSA (Russian Federal Space Agency) 등에서 모니터링에 대한 연구가 진행되고 있다.

이 기관들의 주요 특징은 대부분 중앙부처 소속기관이며, 자국내 원격탐사자료의 공유체계를 확립하고 있고 웹 서비스를 통하여 일반인들에게도 정보를 제공한다는 점이다. 또한 실제 사회적 이익과 관련된 사업을 진행함으로써 보다 실용적인 접근을 하고 있다. 특히, 기상/기후 및 재난/재해 분야의 경우 모든 해외기관의 주요 연구 분야이다. 이는 국내의 연구 현황을 살펴볼 때 시사하는 바가 매우 크다. 이 같은 점은 다음 절의 국토 부문별 연구 현황에서 검토하였다.

나. 국내외 국토 부문별 학술연구 현황

국토 부문별 공중모니터링에 관련된 학술적인 연구 동향을 재난/재해, 기후/기상, 농업/산림/생태계, 수자원/해양, 국토공간정보 등의 총 5개의 부문으로 나누어 각 분야에 대해 1975년에서 2007년까지 발표된 국내외 학술문헌을 중심으로 국토부문별, 관측 센서별 연구사례 및 현황을 조사하였다.

국내문헌의 경우 KCI(Korea Citation Index) 기준 등재후보지 이상의 논문들을 KERIS학술연구정보서비스(www.riss4u.net), 한국학술정보(주)(kiss.kstudy.com), 누리미디어(www.dbpia.com)를 통해 관련 문헌을 검색하였고, 외

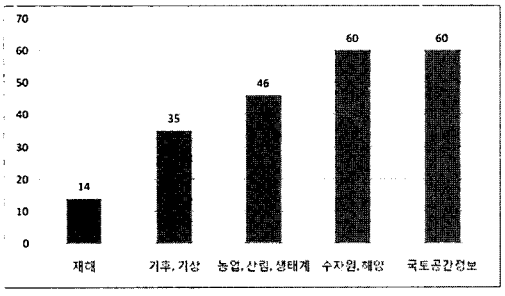
<표 1> 공중모니터링 관련 국외 주요 연구기관 현황

국가	연구기관	주요 현황 및 연구 내용
미국	USGS (U.S.Geological Survey) (http://www.usgs.gov)	• 미 국무성산하기관 • NASA, NIMA, ICSU, USAID, EPA등 여러 기관과 협력체계를 갖추고 있음 • 대기와 기후, 지질, 생태 환경, 수문, 자연재해, 자원 등의 다양한 분야에서 모니터링이 이루어지고 있음 • 미국 전역의 지도 및 지형정보, 위성영상 및 항공사진들의 정보들을 제공하고 있으며 모니터링 결과를 지도 형태로 실시간으로 제공하고 있음
유럽 연합	ESA (European Space Agency) (http://www.eas.int)	• 프랑스, 독일, 영국 등 유럽의 13개 회원국과 준회원국으로 구성된 다자간 정부기구 • 유럽우주기술센터(ESTEC), 유럽 위성 운용센터(ESOC), 유럽 우주 연구소(ESRIN)등의 산하기관을 가짐 • 1993년부터 원격탐사 자료를 이용한 지구감시프로젝트(Earth Watching Project) 및 Envisat 위성을 이용한 지구관측프로그램이 진행됨. • 지구의 환경변화와 기후변화, 자원, 육상표면, 대기권 모니터링, 재난재해 등의 광범위한 모니터링 프로그램이 진행됨
호주	GA (Geoscience Australia) (http://www.ga.gov.au)	• 원격탐사를 이용한 포괄적인 지구관측이 이루어지고 있음 • 호주의 위성원격탐사 기관인 ACRES와 연계 • 측량정보, 자연재해 관련정보, 자원매장량 정보, 해양 정보에 관한 모니터링이 이루어지고 있음
캐나다	CCRS (Canada Center for Remote Sensing) (http://ccrs.nrcan.gc.ca)	• 지구관측을 통한 경제적인 이익과 친환경 조성, 공공의 안전 및 보호 등을 목표로 하고 있음 • 정부산하기관으로 캐나다의 CGDI(Canadian Geospatial Data Infrastructure) 중 원격탐사 데이터의 자료 수집 및 배포 등을 담당

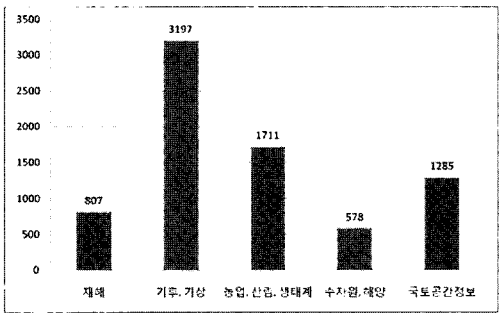
국문헌은 Thomson사의 학술 정보 웹 플랫폼 'ISI Web of Knowledge'를 통해 SCI (Science Citation Index) 또는 SSCI(Social Science Citation index)급의 관련 문헌을 검색하였다.

(1) 국토부문별 연구현황

검색된 국내 논문은 215건이며, 외국의 경우 7578건 이었다. 국내외 분야별 논문건수는 [그림 1, 2]와 같다. 국내 논문건수



[그림 1] 국내 국토부문별 논문건수



[그림 2] 국외 국토부문별 논문건수

가 절대적으로 적은 상태에서(외국의 논문에 비해 약 3%) 둘 간의 논문건수를 비교를 하는 것은 다소 무리가 있어 전체적인 경향을 비교한다는 데에 의의를 둔다.

먼저 가장 두드러진 점은 다른 분야에 비하여 기후/기상 분야 및 재난/재해 관련 국내 논문의 비중이 국외에 비해 매우 낮다는 점이다. 국외에서 발표된 전체 논문 중에 약 42%(3197건) 달하는 수의 논문이 기후/기상에 관련된 논문이었다. 그러나 국내의 경우에는 약 16%(35건)로서 전체 논문에서 차지하는 비율을 살펴볼 때 국외의 절반에도 지나지 않았다. 재난/재해 분야의 경우에도 국외는 약 11%(807건)에 달하나 국내는 약 6%(14건)에 지나지 않는다.

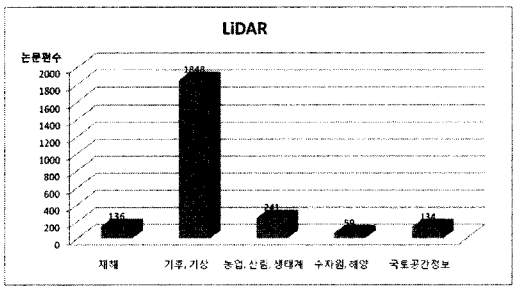
이 같은 결과는 국외의 주요 기관들이 공통적으로 추진하고 있는 분야가 기후/기상 및 재난/재해 분야라는 사실과 일치하는 결과이다. 국외의 경우 공중모니터링 관련 추진 사업들이 학술적으로도 충분한 뒷받침을 받고 있다는 점을 시사하고 있다.

(2) 관측 센서별 연구현황

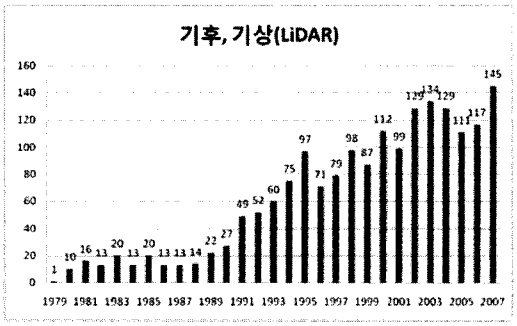
관측센서별로 국내외 연구현황을 살펴본 결과 국내의 경우 수동형센서 보다 능동형센서를 이용한 연구들이 국외보다 상대적으로 매우 적었다. 우선 능동형 센서 중의 하나인 LiDAR(Light Detection And Ranging)는 측정가능한 대상물질의 종류가 다양하고, 넓은 공간에 대해 빠르게 자료를 얻을 수 가 있으며, 다른 분석방법에 비해 시공간적 제약이 적다는 장점으로 인해 미국, 독일, 프랑스, 러시아 등의 여러 나라에서 대기환경이나 기상 및 국방 분야를 중심으로 적용을 확대하고 있다(Lillesand et al., 1994; 김석철, 2003)

이를 반영하듯 LiDAR 영상을 이용한 국외 논문들(총2418건) 중 기후/기상 분야에 관련된 논문건수의 비율은 약 76%(1848건)를 차지할 정도이며[그림 3], 1990년대에 이르러 매년 꾸준히 증가하는 추세이다[그림 4].

기후/기상 분야뿐만 아니라 재해나 농업/산림/생태계 분야에도 LiDAR를 이용한 논문이 꾸준히 발표되고 있는데 황사의 분포특성이나(Birmili et al., 2008) 수목의 수고 측정(Vega et al., 2008), 수목 탐지



[그림 3] LiDAR영상을 이용한 국토부문별 국외 학술논문건수



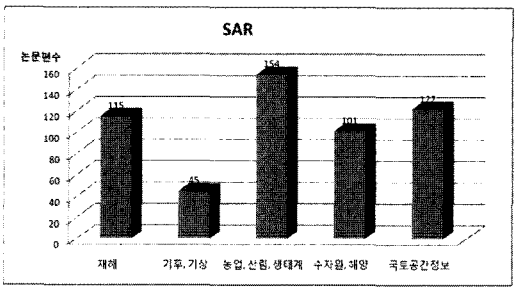
[그림 4] 국외 LiDAR를 이용한 기후/기상관련 논문건수의 추이

(Palenichka et al., 2007) 등의 연구가 이루어지고 있다<표 2>.

국내의 연구들도 다양한 분야에서 연구가 진행 되고 있다. 이근상 외(2004)는 홍수지도를 제작하기 위한 지형자료 구축 방법론을 제시하였고, 성층권의 오존 분포 특성을 파악한 연구(방소영 외, 2004), 에어로졸 관련 연구(김상우 외, 2001), 수목모델링(장안진 외, 2006), 3차원 수치지도 제작(이현직 외, 2007), 3차원 건물모형 복원(유환희 외, 2006) 건축물의 3차원 경계추출(이인수, 2007), 시가지 건축밀도 평가(이근상 외, 2003) 등의 연구들이 이루어졌다. 그러나 국내의 경우 LiDAR 영상을 이용한 활용분야 연구는 총 25건에 불과 하였고 단편적인 연구들이 많아 외국과의 관련기술 격차를 줄이기 위해서는 지속적이고 꾸준한 연구가 필요할 것이다.

또 하나의 능동형 센서인 영상레이더 SAR (Synthetic Aperture Radar)는 전자파를 이용하는 센서로 구름이나 비와 같은 기상 조건이나 일조현상에 제약을 받지 않으며 파장이나 탐지거리에 무관하게 고해상도 영상을 획득 할 수 있다(Lillesand et al., 1994). 이러한 장점은 다양한 분야로의 응용가능성을 의미하는데 [그림 5]에 나타나 있듯이 SAR영상을 이용한 기후/기상 분야(45건, 전체의 약 8%)외에 모든 분야에서 널리 활용되고 있음을 알 수 있다.

최근 연구들도 이를 잘 반영하고 있는데 쓰나미로 인한 피해지역 탐지(Bovolo et al., 2007), 대기상의 메탄 탐지(Walter et al., 2008), 바람의 속도와 방향정보 탐지 (Young et al., 2007), 생물의 다양성 파악



[그림 5] 국외 국토부문별 SAR영상을 이용한 논문건수

<표 2> LiDAR 영상을 이용한 최근의 연구들

분야	방법	연구자	내용
Climate (Dust plume)	이미지 분석	Birmili W., et al., (2008)	현장(in-situ)과 원격탐사측정을 통한 황사의 입체적 분포등 특성을 밝힘
Climate (CO_2)	시그널 분석	Zhao, PT., et al. (2008)	이탄화탄소의 집중을 실시간으로 모니터링 하기위한 방안 연구
Agriculture (Forest canopy)	Image-matching	Vega, C., et al. (2008)	고해상도 지도에 기반하여 주요수목의 높이를 재구성하기 위해 CHMs(canopy height models)라고 불리는 새로운 방법을 제안함
Agriculture (chlorophyll)	DCI (derivative chlorophyll index)	Thomas, V., et al. (2008)	아한대의 혼합목 지역의 엽록소(chlorophyll)와 카로티노이드(carotenoid) 집중을 예측하는 방안 연구
Land Use (Tree detection)	Multi scale isotropic matched filtering (MIMF)	Palenichka, RM., Zaremba, MB(2007)	LiDAR데이터로부터 자동 수목탐지방법을 개발하여 산림과 거주지 지역의 수목의 밀도와 분포를 살펴봄

(Zhang et al., 2006), 수자원 탐색(White et al., 2008), 조림의 높이 분석(Andersen et al., 2008), 말라리아 매개 모기의 밀도와 관련 있는 벼의 성장단계 파악(Diuk-Wasser et al., 2006), 토양습도 탐색(Kong et al., 2008), 토지피복도 작성(Santoro et al., 2007)등 거의 전 분야에 걸쳐 SAR영상을 활용한 연구가 활발히 진행되고 있다<표 3>.

본 연구와 활용분야 분류체계는 다르지만, SAR 영상관련 영어로 출간되는 저널 중심으로 논문 통계분석을 실시한 이훈열(2006)의 연구에서도 이와 유사한 결과를 보여주고 있다.

이 결과는 주요 선진국들이 SAR 영상기술을 이용하여 군사적, 경제적, 사회적 이익의 선점에 나서고 있는 상황과 일치한다. 최근 독일은 SAR관련 영상기술의 주도권을 강화시키기 위하여 2007년 6월 15일에 1m 공간해상도를 지원하고 고주파 X밴드 SAR센서가 장착되어 있는 레이더위성(TerraSAR-X)을 발사하였고 2009년도에는 기능이 더욱 강화된 TerraSAR-X-2

<표 3> SAR 영상을 이용한 최근의 연구들

분야	방법	연구자	내용
Disaster (tsunami)	SBA(split-based approach)	Bovolo, F., et al.(2007)	쓰나미(tsunamis) 피해로 인한 연안지역의 변화를 탐지하고 쓰나미 위험 평가에 효율적인 시스템을 연구
Climate	이미지 분석	Walter, KM., et al.(2008)	빙호(ice lake)에서 온실가스인 메탄(CH4)의 방출을 탐지하고 지도화함
Weather (wind)	이미지 분석	Young, GS., et al.(2007)	바람 속도와 방향 정보를 탐지하고 공간적 패턴 분석을 통해 기상예측 모델의 정확성을 향상시킴
Biodiversity	HHI(Height heterogeneity index), Shannon's index	Zhang, CH., et al.(2006)	캐나다의 Saskatchewan지역에서 생물의 이질성, 다양성을 탐지함
Water	이미지 분석	White, DM., et al.(2008)	SAR영상을 이용한 호수 수자원 탐색
Agriculture (Forest canopy)	x-band canopy height model	Andersen, HE., et al.(2008)	조림의 높이, 경사 밀도 등의 구조와 변화를 고해상도의 IFSAR(interperometric SAR)시스템을 이용하여 관측함
Health (Malaria)	밴드별 산란분석	Diuk-Wasser, MA., et al.(2006)	말라리아 매개 모기의 밀도와 관련 있는 벼 경작의 순환 기간을 알기위해 벼의 성장단계를 SAR영상으로부터 탐지하고 벼의 생산지역을 지도화 함
Land cover (Soil Moisture)	PCA(Principal Components Analysis)	Kong, X., et al.(2008)	ASAR(Advanced SAR)영상으로부터 주성분분석을 이용하여 지표의 토양습도를 주기적으로 모니터링함
Land use	coherence modeling	Santoro, M., et al.(2007)	28분 간격으로 포착된 이미지의 차이를 통해 토지피복분류, 산림·비산림의 지도화, 작은 초목의 생물물리학적 특징을 측정함

위성을 발사할 예정이다.

국내 연구 논문의 경우에도 기후/기상 분야를 제외한 많은 분야에서 연구 논문들이 출판되고 있다. 그러나 총 연구건수는 27건으로 국외 논문대비 약 5%(27/537)에 지나지 않는다.

최근 우리나라에서 40cm급 고해상도 SAR를 개발한 상황이며 SAR를 탑재한 다목적 실용위성5호가 2010년에 발사될 예정이므로 외국과의 학술적 성과의 격차를 줄이기 위해서는 SAR 영상과 관련된 제반 연구가 활성화 되어야 할 것이다.

LiDAR 및 SAR와 같은 능동형 센서 이외에 초분광영상(hyperspectral image)을 이용한 국내 응용 연구도 미진한 편이다. 국외의 경우 검색된 논문의 건수는 총 270건이며 그 중 농업/산림/생태계 분야의 논문수가 133건으로 약 50%에 달하였고 재해분야를 제외한 기후/기상, 수자원/해양, 국토공간정보 분야 모두 15%내외의 빈도를 보였다.

그러나 국내 논문의 경우 농업/산림/생태계 분야에 3건, 국토공간정보 분야에 1건 등 총 4건에 지나지 않았다. 초분광영상의 경우 국내에 소개 된지가 얼마 되지 않았기 때문에 활용사례가 많지 않을 수 있다. 그러나 다양한 종류의 지표물에 대한 정확한 분광정보를 얻을 수 있는 초분광영상은 기존의 다중분광영상의 한계를 극복할 수 있어 연구가 더욱 진행되어야 할 분야이다.

3. 공중모니터링 관련 국제 협력

가. 주요 국제 협력 조직

원격탐사자료를 이용한 공중모니터링 관련 국제적인 협력은 환경변화에 대한 인식 전환이 계기가 되어 더욱 공고히 협력체계가 이루어지고 있다. 주요 국제협력 조직으로는 CEOS(지구관측위성위원회), GCOS(전지구기후관측시스템), GOOS(전지구해양관측시스템), GTOS(전지구육지관측시스템) 등이 있다<표 4>.

이러한 주요 국제 협력 조직들의 특징은 참여 국가들의 인위적인 노력이 아닌 자발적인 노력에 의해서 창설되었다는 점과 주변 국가 또는 관계 조직들 간 연계 및 협력을 강화하고 있다는 점이다. 위 네 개의 주요 국제 협력 조직은 다시 하나의 통합 전략, IGOS(통합 지구 관측 전략: Integrated Global Observing Strategy)를 통해 통합적 체계로 발전하고 있다.

IGOS는 전략 계획 프로세스로서 전지구 관측을 위해 주요 위성기반 및 현장(in-situ) 기반 시스템을 종합하여 기후, 대기, 해양, 해안, 지표면, 지구내부와 관련된 관측들을 통합하는 전략으로 개발되고 있는 중이다.

나. 국제 협력 프로그램

현재 공중모니터링 관련 분야 국제 협력 프로그램들 중에서 기상/기후 관련 프로그램들이 가장 활발히 운영되고 있다. WMO(세계기상기구)에서 운영하고 있는

<표 4> 공중모니터링 관련 주요 국제 협력 조직

조직	주요 목표 및 활동 내용	연계 및 협력 조직
CEOS (지구관측위성위원회, Committee on Earth Observation Satellites)	• 우주에 기반한 지구관측 임무의 국가간 통합 협력을 통해 얻어지는 잠재적인 편익들의 촉진을 목표로 함 • 세계의 주요 민간 우주기구들로 이루어짐 • 상임 사무국(standing secretariat)은 유럽우주기구(ESA)가 설립 • 미국의 NASA/NOAA와 일본 MEXT/NASDA와 주최조직이 매년 총회를 개최하여 성과와 향후 계획을 논의함	NASA(미항공우주국), NOAA(미해양대기청), ESA(유럽항공우주국), EUMETSAT(유럽기상위성기구), JAXA(우주항공연구개발기구)
GCOS (전지구 기후관측 시스템, Global Climate Observing System)	• 기후 관련 문제를 해결하기 위해 기후관련 관측정보의 구득에 관한 국가간 협력체계를 공고히 할 목적으로 설립 • 물리적·화학적·생태적 속성들과 대기·해양·수문·빙권·육상 프로세스들을 포함한 전체적인 시스템을 다룸	WMO(세계기상기구), UNEP(국제연합환경계획), ICSU(국제학술연합회의)
GOOS (전지구 해양 관측시스템, Global Ocean Observing System)	• 바다와 해양 관리를 개선하고 기후 예측을 향상시키고자 하는 국가들의 요구에 응하여 하나의 세계라는 모토 하에 1991년 IOC(정부간해양위원회)가 창설 • 파일럿 프로젝트(pilot project)를 통해 새로운 기술을 개발하고 혁신을 이루고자 함	WMO, UNEP, ICSU
GTOS (전지구 육지관측 시스템, Global Terrestrial Observing System)	• 지속가능한 개발을 지원하기 위해 육상생태계를 관측, 모델링, 분석하는 프로그램이 진행되고 있음 • 연구자들과 정책결정자들이 지구적·지역적 환경 변화를 탐지하고 관리할 수 있도록 육상생태계의 정보분야 중심의 협력체계가 구축됨	UNEP, FAO(유엔식량농업기구), UNESCO, ICSU, WMO

주요 다자간 프로그램은 WWW(세계기상감시 프로그램), WCP(세계기후프로그램), AREP(대기권 연구 및 환경 계획 프로그램), AMP(기상학 응용 프로그램), WWRP (세계 기상 연구 프로그램), SAT(WMO 우주 프로그램), DRR(재해위험감소 프로그램) 등의 7개의 프로그램이 운영되고 있으며, 각 프로그램에서도 또 다른 많은 세부 프로그램들이 운영되고 있다(http://www.wmo.ch).

이외에도 많은 분야에서 국제 협력 프로그램들이 운영되고 있는데 최근 중요시되고 협력 구축이 활발히 이루어지고 있는 분야는 재난/재해 분야이다. 재난/재해 분야 관련 대표적인 국제 협력 프로그램은 UN이 주도하고 있는 UN-SPIDER(United Nations Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response) 프로그램이다. 이 프로그램은 재해 관리 지원을 위한 공간정보에 대한 관문(gateway) 역할과 재해 관리와 공간 커뮤니티를 연결하는 매개 역할을 하며 각국의 능력개발과 제도적 강화의 촉진자로서의 기능을 하고 있다(http://www.unoosa.org).

이외에도 GMES(Global Monitoring for the Environment and Security)와 International Charter 등의 프로그램들이 운영되고 있다. GMES는 유럽연합과 유럽우주기구가 입안한 프로그램으로 각종 재난/재해뿐만 아니라 기후변화 대처, 지속가능한 개발, 시민의 보호 등을 목표로 활발히 운영되고 있으며 점차적으로 관련 분야의 조직들과의 연계 협력을 강화하고 있다(http://www.gmes.info). International Charter는 유럽우주기구와 프랑스우주기구 합동으로 '우주와 주요 재해'(Space and Major Disasters)라는 주제로 발의한 국제적 헌장으로 2000년 11월 1일, 공식적인 운영이 선포되었다. 이 프로그램 역시 NOAA(미국해양대기관리처), ISRO(인도우주연구기관), CONAE(아르헨티나우주기구), JAXA(일본우주항공연구개발기구), USGS(미국지질조사소), BNSC(영국국립우주센터)/DMC(재해모니터링연합), CNSA(중국 국립우주국) 등과의 연계 협력을 강화하고 있다.

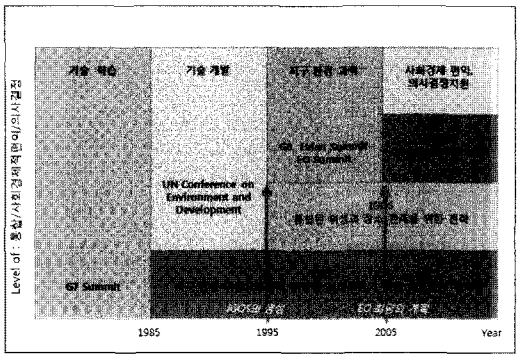
전체적인 재난/재해에 관련된 프로그램들 이외에 하나의 특정 재해와 관련된 프로그램들도 전 세계적으로 운영되고 있다. 이 중 대표적인 것은 북미가뭄모니터링(North American Drought Monitor : NADM)이다. 미국은 국내에서 자발적으로 계획하고 추진한 가뭄모니터링 프로그램의 성공을 바탕으로 NADM을 수립하였다. NADM은 미국, 캐나다, 멕시코 세 나라의 협력을 바탕으로 가뭄 모니터링을 강화하기 위한 프로그램으로 전지구 가뭄초기경보시스템(Global Drought Early Warning)의 가이드북을 제공하면서 세계 각 국가 간 가뭄 정보뿐만 아니라 많은 위성영상 정보를 공유하여 재해나 기상분야에서의 각 국가 간 협력체계 구축의 발판이 되고 있다.

다. 전지구관측시스템(The Global Earth Observation System of Systems: GEOSS)

위절에서 살펴본 국제협력기구 및 프로그램 이외에도 많은 기구 및 프로그램들이 현재 운영되고 있다. 그러나 너무 많은 기구들이 산재해 있어 자료 및 인력이 중복되고 조직의 비효율성이 커져 기존의 기구들을 일관성을 지닌 하나의 체계로 발전시켜야 한다는 주장이 꾸준히 제기되어져 왔다.

이에 2003년 6월 프랑스 레비앙에서 개최된 G-8 선진 8개국 정상회담에서는 전지구관측의 국제협력을 강조하여 관측전략의 긴밀한 협력을 결의하였다. 이를 바탕으로 2003년 7월 워싱턴에서 개최된 제1차 지구관측장관급회의(EOS-I)에서 지구관측특별그룹(ad hoc GEO)를 설립하였다. 그 후 여러 차례의 회의를 거쳐 2004년 4월에 전지구관측시스템(Global Earth Observation System of Systems : GEOSS) 10개년 이행계획 기본문서를 채택하고 이 계획을 실행할 지구관측그룹(Group on Earth Observations : GEO)을 정식 출범시켰다. 지구관측그룹은 현재 총 72개국, 52개 국제기구가 참여하고 있을 정도로 세계 관측과 관련한 가장 큰 조직이다(http://earthobservations.org).

전지구관측시스템은 지구계의 기상, 기후, 해양, 육지, 생태계, 국토정보 등을 포괄적·지속적·조정된 관측을 수행하고 관측자료를 분석·예측한 후, 유용한 최종 정보를 수요자에게 신속하게 전달하는 포괄적



[그림 6] 지구관측을 위한 협력체계의 발전양상 (IWGEO(2004))

인 시스템을 목표로 최근 활발히 운영되고 있다. 기존의 모든 시스템들의 시스템(System of Systems)으로서, 향후 기존의 지구관측 관련 시스템들의 유기적인 협력 및 통합을 위한 시스템으로서의 역할을 수행할 것으로 기대되고 있다[그림 6].

4. 국내 공중모니터링 체계 발전방향

지구관측 관련 협력이 전 지구적으로 이루어지고 있는 이 시점에서 세계적인 추세에 적절한 대응체계를 갖추기 위해서는 국내에서도 공중모니터링에 대한 전략과 계획이 구체적으로 마련되어야 할 것이다. 이를 위해 국내외 연구현황 및 국제 지구관측관련 협력체계 등의 내용과, 국토연구원과 공동으로 2008년 3월부터 약 한달 동안 공중모니터링 관련 19개 유관기관 전문가를 대상으로 실시한 「공중모니터링 계획 및 방안수립을 위한 담당기관 설문조사」 결과를 바탕으로 연구적 측면, 조직 및 제도적 측면, 전략적 측면으로 나누어 국내 공중모니터링에 대한 발전방향에 대하여 논의하였다.

가. 연구적 측면

- 사회적 편익 및 수요자 중심의 연구방향 설정

위에서 살펴본 공중모니터링 관련 국제조직 및 프로그램들을 주도한 국가들은 모두 자국내의 사회적 편익 추구를 출발점으로 삼았다는 공통점을 지닌다. 실질적인 사회적 또는 공익적인 효용가치를 판단 후, 이를 실현할 수 있는 국내 조직을 구성하고 이를 바탕으로 근린 국가와의 협력체계를 모색하였다. 이렇게 구성된 협력체계는 향후 전지구적인 협력체계를 구축하는 방향으로 진행되고 있다. 이러한 구체적인 예가 이미 언급했던 북미가뭄 모니터 프로그램(North American Drought Monitor : NADM)의 효시가 되는 미국의 가뭄 모니터링(U.S. Drought Monitor) 프로그램이다.

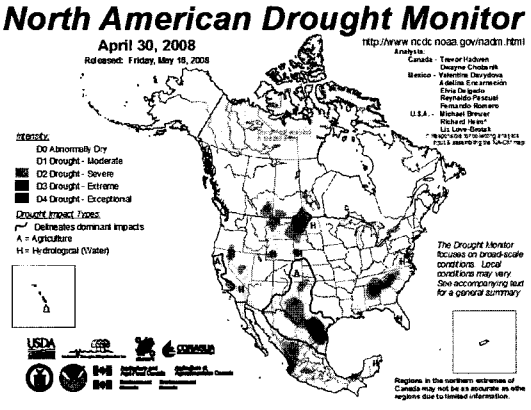
1980년 이후, 주요 가뭄으로 인한 경제적 손실은 미국에서 1000억 달러를 초과하는 등, 가뭄은 날씨와 관련된 가장 피해가 큰 재해중의 하나였다(Lott et al., 2000). 문제는 가뭄은 그 영향이 다양하고, 시공간적 경계가 뚜렷하지 않아 일반적인 관측 또는 지수적인 요약으로는 가뭄의 심각성이나 시작을 밝히는데 효과적이지 않다는 것이다(Heim, 2002).

따라서 다양한 시공간해상도와 분광해상도를 파악할 수 있는 위성기반 또는 항공기반의 관측시스템들이 가뭄의 공간적

범위와 심각성을 밝히는데 필수적이다.

이러한 점을 파악한 미국은 자국의 미국해양대기관리처(National Oceanic and Atmospheric Administration : NOAA)의 국립기후자료센터(National Climate Data Center), 기후예측센터(Climate Prediction Center), 농림부(US Department of Agriculture)등을 연계하여 가뭄 모니터링 체계를 구축한 후 성공적인 결과를 만들어 냈다.

미국은 이 가뭄모니터링 프로그램의 성공을 바탕으로 북미 가뭄모니터프로그램(NADM)을 수립하였고, 이를 통해 미국, 캐나다, 맥시코 세 나라의 협력을 바탕으로 국경을 넘는 데이터와 정보의 공개된 교환을 촉진하는 프로세스가 수립되었다(Western Governors Association, 2004). 또한 위에서 언급한 바와 같이 이 프로그램은 재해나 기상분야에서의 각 국가 간 협력체계 구축의 발판이 되었다. 현재 NADM은 2003년 이후 월별로 북미지역의 가뭄상황을 웹을 통하여 제공하고 있다[그림 7].



[그림 7] 북미가뭄모니터링 상황
(http://www.ncdc.noaa.gov)

이 같은 사례는 다른 분야에서도 찾아볼 수 있다. 호주의 NCAS(National Carbon Accounting system)은 토지 및 인간의 활동에서 기인한 모든 종류의 온실가스배출을 모니터링하기 위한 호주 정부가 설립한 시스템이다. 탄소배출권 시장확대에 따르는 사회적 편익 관점에서 출발하여 점차 안정되고 효율적인 체계로 발전시켰고 이후 국제적인 온실가스에 관한 모니터링 시스템인 GCMS(Global Carbon Monitoring System)에 NCAS를 확장할 것을 제안하고 있다.

이 밖에 NASA, USGS, USDA(U.S. Department of Agriculture)도 농업과 관련된 편익을 증대시킬 수 있는 의사결정을 지원하는 객관적이고 과학적인 정보를 자국뿐만 아니라 많은 국가들과 공유하면서 협력체계를 구축하고 있다.

위의 사례들이 시사하는 바는 아직 체계적이지 못한 국내 공중모니터링의 연구 방향은 사회적 편익을 극대화 할 수 있는 연구 분야를 지향해야 한다는 것이다. 국가 간의 공통되는 사회적 편익은 국제사회의 협력을 이끌어 낼 수 있는 중요한 동인이며 이를 통해 더 큰 편익을 창조하는 시너지 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 따라서 공중모니터링에 대한 기술적인 국가차원의 로드맵 혹은 실질적인 분야가 없는 거시적인 모니터링 통합체계 로드맵보다는 사회적 편익과 관련된 구체적인 국토부문에 대한 로드맵이 필요하다. 이미 살펴본 외국의 학술부분 연구동향에서도 사회적 편익과 관련된 분야의 논문건수가 많은 비중을 차지하고 있다는 사실도 시사하는 바가 크다.

나. 조직 및 제도적 측면

- 국토 부문별 전담 조직 설치 및 기관협조체계 구축

지구관측에 관한 많은 기구들과 프로그램들이 세계 각지에서 조직되고 수행되고 있듯이 국내에서도 적지 않은 조직에서 많은 연구 및 프로그램들이 진행되고 있다. 위에서 언급했듯이 문제는 국내의 경우 대부분 특정 연구 분야에 하나의 특정 연구기관을 중심으로 연구가 이루어지고 있다는 점이다.

하나의 사회적 편익 분야에 관련된 기관은 한 개의 기관이 아니라 여러 기관이 연관되어 있다. <표 5>는 미국 및 국내 기관에서 사회적 편익 분야에 관계된 자료의 제공 또는 이용 현황을 나타낸 것으로, 재해 분야의 경우 미국 및 국내 모두 모든 공공기관에 데이터를 제공 또는 이용하고 있다. 다른 사회적 편익 분야도 많은 기관에서 관련 데이터를 제공 또는 이용하고 있다.

이는 단일 기관만의 연구로는 제대로 사회적 편익과 관련된 분야 연구가 진행될 수 없음을 의미한다. 미국가뭄모니터링의 첫 출발은 자국의 미국해양대기관리처(NOAA)의 국립기후자료센터(NCDC), 기후예측센터(CPC), 농림부(DOA), 상무부(DOC) 등을 연계로부터 시작되었고, 네브라스카-링컨 대학의 국립가뭄완화센터와도 협력하였다. 또한 부분적으로 미국 내무부 산하 지질조사국(USGS), 농무부 산하 국립수자원기후센터(NWCC), 미국해양대기관리처 산하 기후분석센터(CDC), 지역기후센터(RCC) 등 가뭄과 관련되어 있는 거의 모든 기관과의 협력체계를 구성하였다.

협력체계를 구성할 경우 많은 기관들 또는 전문가들 사이에 존재하는 이해상충을 해결하고 조직된 체계와 전문인력을 지휘, 조정할 수 있는 통합기구 또는 상위 조직은 필수적이다. 이때의 통합체계

<표 5> 미국 및 국내 기관별 모니터링 데이터 제공 및 이용 현황(IWGEO(2004), 기상연구소(2005) 수정)

사회적 편익 P = 데이터 제공 U = 데이터 이용 B = 데이터 제공/이용	국외(미국) 기관 DOC/NIST	DOC/NOAA	DOD	DOE	DHHS/NIEHS	DHS/FEMA	DOI/USGS	DOS	DOT	EPA	NASA	NSF	Smithsonian	USAID	USDA	국내 기관 소방방재청	보건복지가족부	지식경제부/한국지질자원연구원	기상청	국토해양부/수자원공사	환경부	농진청/농업과학기술원	산림청	국토해양부	교육과학기술부/한국천문연구원	교육과학기술부/한국항공우주연구원	국토해양부/국토지리정보원
기상		B	B	U	U	U	U		B	U	B	U	U	B	B	U	U	U	B	U	U	B	U	B	B	P	P
재해	U	P	B	U	U	U	B	U	U	U	B	B	U	U	U	B	U	B	P	B	P	P	B	B	B	B	P
해양		B	B	B	U	U	B	U	U	B	B	B	U	U		U	U	U	B	U	U	U	U	B	P	P	B
기후		B	U	B	U	U	B	U	U	B	B	B	U	B	B		U	B	B	U	B	B		B	P		P
농업	U	P		U	U	U	P	U		B	P	B	U	B	B		U		B	B	P	P	B			P	P
건강	U	P		P	B			U	U	B	P	B	U	B			B		P	P	U			P	P		P
자연환경	U	B	B	B	U		B	B		B	B	B	B	B	B		U	U	B	B	B	B	B	P		P	P
물	U	B	B	B	U	U	B	B	U	B	B	B	U	B	U	U	U	B	B	B	B	B	B	P		P	P
에너지	U	P		B	U	U	B	P	U	B	P	U	U	U		U		B	P	B		P		P	P		P

는 수요자중심으로 구축되어야 역할 분담이 명확히 되어 선택과 집중을 통한 각종 예산과 인력 자원배분이 이루어질 수 있다.

따라서 국내 공중모니터링 체계는 제도적으로 통합된 최상위 기관 하에 여러 수요자 중심의 국토부문별 전담조직을 신설하여 관계기관의 협력을 제도화 한 후 자발적인 협력을 이끌어 내는 체계로 조직되어야 한다.

- 관측 분야별 데이터 운영 관리 조직체계 확립

사회적 편익 분야 중심의 연구방향과 주요기관의 연계협력이 이루어 질 때 중점적으로 고려해야 하는 사항은 데이터이다. 이미 살펴보았듯이 한 분야의 자료는 한 기관에서만 이용 또는 제공하는 것이 아니며 또한 단일한 사회적 편익분야에만 한정되어 사용되지 않는다.

한편, <표 6>을 통해 알 수 있듯이 하나의 관측분야는 중요도 측면에서는 다소간 차이가 존재하지만 거의 모든 사회적 편익 분야에서 필요로 한다. 역으로 하나의 사회적 편익 분야에 수많은 관측데이터가 필요하다는 의미이기도 하다.

문제는 위성이미지나 항공사진으로부터 얻어지는 관측 정보가 일괄적인 데이터 처리 과정으로 얻어질 수 있는 것이 아니라 각 분야별 전문가 집단들 혹은 기관들이 가지고 있는 특정 처리 기술로부터 얻어진다는 사실이다.

따라서 관측 분야별로 데이터를 체계적으로 분류하여 통합 관리하는 방안이 필요하다. 예를 들어 육지 표면 이미지관측, 강우관측, 해양관측, 대기관측 등의 데이터 관리 분야의 대분류를 설정한 후 각 데이터 관리 센터에서 각 분야별 전문가를 통해 가공 처리된 데이터를 서로 공유하는 체계가 효율적일 것이다.

국제협력의 사례에서 각 국의 연계협력 시에 반드시 수반되었던 사항은 데이터 관련 사항이다. 데이터의 공유체계가 마련되어야만 실질적인 협력체계가 이루어질 수 있다. CEOS, GCOS, GTOS의 세 조

<표 6> 지구 관측 분야와 사회적 편익(IWGEO (2004) 수정)

지구관측	사회적 편익								
중요도 H = 높은 M = 보통 L = 낮음	기상	재해	해양	기후	농업	보건의료	자연환경	수자원	에너지
육지고도와 지표면 변화	M	H	L	L	M	M	M	H	L
토지이용/토지피복	M	M	L	M	H	H	H	M	M
생태계요소	L	L	H	H	H	M	H	M	L
화재	L	H	L	L	H	H	H	L	L
토양 수분	M	M	L	H	H	H	M	H	L
지표면과 해수면 온도	H	H	H	H	H	H	H	M	H
대기구성 성분	L	H	M	H	L	H	L	H	H
대기 상태	H	H	L	H	L	M	L	L	L
풍속과 방향	H	H	H	H	M	H	M	L	L
운량	H	M	M	H	M	L	L	L	L
강우	H	H	M	H	H	H	H	H	H
지진과 화산활동	L	H	L	M	L	L	L	L	L

직들을 통합지구관측전략을 바탕으로 연계협력을 강화할 때 중점적으로 고려했던 사항은 전지구관측시스템정보센터(Global Observing Systems Information Center : GOSIC)라는 기상정보 인터넷포탈시스템의 구축이었다. 이를 통해 데이터의 중복성을 제거하고 표준화하는 작업을 통해서 수요자의 데이터 접근성을 강화시켰다.

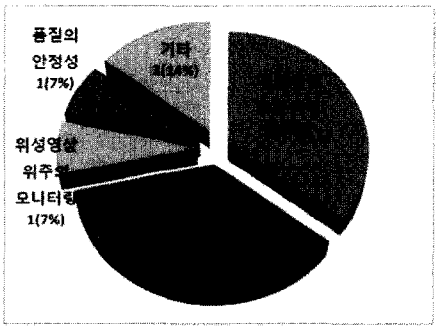
유럽전반의 대기, 수질, 생물다양성, 토지이용 등의 환경관련 데이터의 흐름은 EEA (European Environment Agency)와 38개 이상의 나라와 300개 이상의 기관들이 구성하고 있는 EIONET(European Environment information and Observation Network)에서 다루어지는데 이를 바탕으로 GMES가 효율적으로 운영되고 있다는 사실도 유념해야 할 것이다.

국내의 상황은 공중모니터링 관련 분야의 실무를 담당하고 있는 전문가들의 설문조사 결과에 잘 나타나 있다. 19개 유관기관에 종사하는 전문가들에 대한 설문조사에서 나타난 공중모니터링체계 구축에 있어서의 문제점으로 '자료 공유체계 미비' 및 '자료 수집체계 미비'를 지적한 전문가가 각각 5(36%)명으로 집계되었다[그림 8]. 이 모두 자료에 대한 문제점을 지적한 것이며 이는 전체 지적 내용의 72%에 달한다.

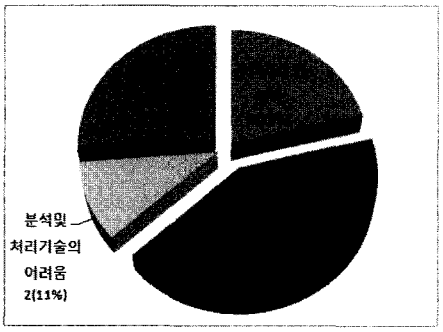
자료에 대한 구체적 설문으로서 공중모니터링자료를 이용함에 있어서의 애로사항에 대한 문항에 대해서는 '구입비용의 과다'를 지적한 전문가가 총 8명으로 전체의 42%를 차지했다[그림 9]. 그 다음으로 '관련자료의 부족'이라고 대답한 전문가가 총 4명(21%)이었다.

이 결과는 현재 국내 공중모니터링 관련 연구에 있어서 가장 큰 현실적인 문제를 보여주고 있다. 국내 전반적인 모니터링 사업이 단일기관 중심으로 이루어졌기 때문에 데이터 공유에 대한 제도적인 장치나 협력이 이루어지고 있지 않아 단일기관에서 얻을 수 있는 자료는 제한적일 수밖에 없다.

따라서 공중모니터링 관련 데이터 센터를 마련하여 자료의 획득·저장을 일원화시키며 국토부문별로 데이터 처리 및 공급센터를 운영하여 공중모니터링 자료에 대한 수요자의 접근성을 높이기 위한 제도적 장치가 필요하다. 물론 이를 위해서



[그림 8] 공중모니터링 체계 구축에 있어서의 문제점



[그림 9] 공중모니터링자료를 이용함에 있어서의 애로사항

는 사전에 공유 데이터 구조 설계 및 메타데이터 구축 작업 등이 선행되어야 할 것이다.

다. 전략적 측면

- GEOSS와의 연계 및 협력체계 추진

세계적인 기후패턴과 생태계 순환시스템은 복잡하고 전례가 없는 방식으로 전 지구적인 영향을 받고 있다. 전 지구적인 환경 변화의 이해 속에서만이 사회적 편익을 극대화 시킬 수 있는 실질적인 모니터링이 이루질 것임은 자명하다. 따라서 북미 가뭄모니터링 사례에서 보듯이 한 국가의 시스템을 국가 간의 시스템으로 확장하는 노력이 필요하다.

현재 조직된 공중모니터링 관련 세계 협력 체계 중 가장 활발히 진행되고 있는 체계는 GEOSS(전지구관측시스템)이다. GEOSS는 그 자체가 하나의 계층적 위계조직을 가진 시스템이 아닌 시스템들의 시스템으로써 수평적인 지위들을 가진 시스템들의 체계적인 조직이라 할 수 있는데(Baüer et al., 2006), 이 점이 GEOSS가 세계 각국의 협력을 이루어내었던 중요한 측면이다.

기존의 세계적 협력 기구들은 어느 정도의 성과를 이루어 내고 있는 조직들이 대부분이다. 이러한 조직들의 독자성을 인정해 주지 않는 한 통합의 의미는 퇴색될 것이다. GEOSS는 이 점을 인식하여 기존의 시스템들을 하나의 관문을 통해 연결을 유지하는 형태를 취하기 때문에 기존의 협력 체계의 독자성을 인정해 주면서 상호 발전할 수 있는 계기를 마련하였다.

또한 GEOSS는 다음과 같은 협력을 통해 이루고자 하는 9개 분야의 사회경제적 편익을 제시하고 있다(GEOSS-10year implementation plan reference document, 2005).

- 자연적 또는 인위적인 재해로부터의 인명과 재산 피해의 감소
- 인류의 건강과 삶의 질에 영향을 미치는 환경 요소들의 이해
- 에너지 자원관리의 향상
- 기후변동과 변화에 관한 이해, 평가, 예측, 완화, 적응
- 물순환의 이해를 통한 수자원 관리의 향상
- 기상 정보, 예보 및 경보의 향상
- 지상, 해안 및 해양 생태계의 관리와 보호의 향상
- 지속가능한 농업 지원 및 사막화 방지
- 생물다양성의 이해, 모니터링 및 보존

이 같은 사회적 편익은 국가 간 협력에 대한 명확한 목표점을 제시해 주고 있어 국제협력의 강력한 동인이 되고 있다.

이러한 GEOSS의 체계 및 전략은 공중모니터링 관련 국제 협력조직 및 프로그램들이 모두 궁극적으로 GEOSS와의 연계를 목표로 하는데 결정적인 역할을 하고 있다.

따라서 국내의 공중모니터링 체계도 국내의 조직을 정비한 이후 GEOSS와의 연계 및 협력이라는 발전 전략을 갖추어 세계적인 통합체계의 일원이 되어야 할 것이며, 그 안에서도 독자적인 기능을 하면서 국제적인 리더쉽을 발휘해야 하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

5. 결 론

이 연구는 공중모니터링에 대한 중요성이 커지고 있는 현재의 시점에서 국내외의 공중모니터링 관련 협력체계 및 관련 연구 현황을 살펴보고 국내의 공중모니터링의 발전방향에 대하여 논의하였다.

국내의 연구기관에서 이루어지고 있는 공중모니터링 관련 연구의 문제점은 전문기관의 부재로 외부 용역을 통한 연구가 주로 이루어지고 있어 연속적인 연구성과를 얻기 힘들며, 체계적인 자료수집 및 공유에 대한 사전 작업 없이 연구가 이루어져 결과의 활용도가 부족하다는 것이다.

국외의 경우 전문적인 기관을 중심으로 연관기관과의 체계적인 연계 및 협력체계를 구축하여 자국 내의 시스템을 공고히 한 후에 국가 간 협력을 이루면서 활용 시스템의 확장 및 발전을 도모하고 있다.

활용분야별 학술연구 측면에서는 전반적으로 연구가 미진한 상태이며 특히 기후/기상 및 재난/재해 분야 연구가 외국에 비하여 활성화 되지 않아 이 분야에 대한 관심과 노력이 필요하다. 센서별로는 능동형센서인 SAR 및 LiDAR 영상, 그리고 초분광영상을 이용한 활용 연구들이 미진하다.

이 같은 결과를 바탕으로 이 논문은 다음과 같은 세 가지 측면에서 국내 공중모니터링 발전 방향을 제시하였다.

첫째, 연구적 측면으로 사회적 편익 및 수요자 중심의 연구방향 설정이다. 사회적 편익 및 수요자 중심의 연구방향은 국제적인 협력을 이끌어 낼 수 있는 가장 중요한 동인이 될 수 있으며, 뚜렷한 목표를 제시할 수 있어 국가 간 공중모니터링 연계협력을 위한 필수 요건이다.

둘째, 조직 및 제도적 측면으로 국토부문별 전담조직 설치 및 기관 협조체계 구축과 관측 분야별 데이터 운영 관리 조직 체계 확립이다. 한 분야의 사회적 편익과 관련된 기관은 여러 기관들이며 한 분야의 관측 자료는 한 개의 기관 또는 단일한 사회적 편익분야에만 이용되는 것이 아니다. 국토부문별 전담조직의 설치를 통해 관계기관을 연계하는 제도적인 장치를 갖추어 효율성을 극대화 시켜야 하며 관측 분야별 데이터 운영 체계를 갖추어 데이터 공유 및 접근성을 향상시켜야 할 것이다.

셋째, 전략적 측면으로 전지구관측시스템과의 연계 및 협력체계 추진이다. GEOSS는 그 자체가 계층적 위계조직을 가진 시스템들이 아닌 시스템들의 시스템으로써 수평적인 지위들을 가진 시스템들의 체계적인 조직이므로 기존의 조직들의 독립성을 보장하면서 상호 발전할 수 있는 시스템을 제공해주고 있다. 또한 세계 국제협력에 있어서 강력한 동인을 제공해 주는 9개의 사회적 편익 분야 제시는 본 논문이 제안한 국내 공중모니터링의 전향적 연구 방향과도 일치한다. 따라서 GEOSS와의 연계 및 협력체계 추진은 반드시 필요하다.

이 논문에서 제시한 국내의 공중모니터링의 발전방향을 토대로 체계적인 공중모니터링 방안이 수립되기를 기대하며, 향후 국내 전지구관측시스템 구축시 선도적 역할을 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

기상연구소, 2005, 전지구관측시스템 국가대응체제 구축 연구.

김상우·원재광·이병일·윤순창, 2001, "ACE-Asia IOP 중 제주 고산에서 측정한 에어러솔 LIDAR 데이터의 해석", 대기, 11(3), pp. 516-519.

김석철, 2003, "[세계의 기계기술] 대기환경 계측기술:LIDAR", 기계저널, 43(12), pp.72-74.

방소영·조경숙·최재천·최병철·김성균·오성남, 2004, "차등흡수방식의 오존라이다 시스템을 이용한 한반도 성층권 오존농도 관측", 한국기상학회지, 40(2), pp.217-228.

대한측량협회, 2004, 국토모니터링체계구축 기술개발 연구보고서.

유환희·김경환·김성삼, 2006, "LiDAR자료기반의 3차원 건물정보 구축", 한국지형공간정보학회지, 14(3), pp.13-22.

이인수, 2007, "지상라이다를 이용한 건축물의 3차원 경계 추출", 한국GIS학회지, 15(1), pp.53-65.

이근상,고덕구,김우구, 2003, "항공레이저측량 자료를 이용한 시가지 건축밀도 평가에 관한 연구", 한국GIS학회지, 6(3), pp.95-106.

이근상·고덕구·김우구, 2004, "수치지형도를 활용한 홍수지도 제작용 지형자료의 효과적인 구축방법 연구", 한국지리정보학회지, 7(1), pp.52-61.

이현직·유지호, 2007, "항공레이져측량 데이터를 이용한 3차원 수치지도제작 및 정확도 향상 방안", 대한토목학회논문집D, 27(3), pp.359-368.

이훈열, 2006, "SAR관련 논문 통계 분석에 의한 SAR 시스템, 기술, 활용분야 고찰", 대한원격탐사학회지, 22(2), pp.153-174.

장안진·유기윤·김용일·이병길, 2006, "컬러 항공사진과 LiDAR데이터를 이용한 수목 개체 및 수고 추정", 대한원격탐사학회지, 22(6), pp.543-551.

Andersen, H.E., Mcgaughey, R.J., Reutebuch, S.E, 2008, "Assessing the influence of flight parameters, interferometric processing, slope and canopy density on the accuracy of X-band IFSAR-derived forest canopy height models", INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 29(5), pp.1495-1510.

Baüer, P., Gérard, F., Minster, J., 2006, "Observing the Earth : An international endeavour", COMPTES RENDUS GEOSCIENCE, 338(14-15), pp.949 -957.

Birmili, W., Schepanski, K., Ansmann, A., et al, 2008, "A case of extreme particulate matter concentrations over Central Europe caused by dust emitted over the southern Ukraine", ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS, 8(4), pp.997-1016.

Bovolo, F., Bruzzone, L., 2007, "A split-based approach to unsupervised change detection in large-size multitemporal images: Application to tsunami-damage assessment", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 45(6), pp.1658-1670.

Diuk-Wasser, MA., Dolo, G., Bagayoko, M., et al., 2006, "Patterns of irrigated rice growth and malaria vector breeding in Mali using multi -temporal ERS-2 synthetic aperture radar", INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE

SENSING, 27(3), pp.535-548.

GEOSS-10year implementation plan reference document, GEO 1000R/ESA SP1284, ESA Publications, 2005.

Heim, Jr., Richard R., 2002, "A review of Twentieth -Century drought indices used in the United States", BULLETIN OF THE AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY, 83, pp.1149 -1165.

IWGEO, 2004, Strategic Plan for the U.S. Integrated Earth Observation System.

Kong, X., Dorling, S.R., 2008, "Near-surface soil moisture retrieval from ASAR wide swath imagery using a principal component analysis", INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 29(10), pp.2925-2942.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., 1994, Remote sensing and image interpretation 3rd ed, John Wiley & Sons, Inc.

Lott, N., Ross, T., 2000. NCDC Technical Report 2000-02, A Climatology of Recent Extreme Weather and Climate Events. [Asheville, N.C.], National Climatic Data Center.

Palenichka, RM., Zaremba, MB., 2007, "Multiscale isotropic matched filtering for individual tree detection in LiDAR Images", IEEE TRANS-ACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 45, pp.3944-3956.

Santoro, M., Askne, JIH., Wegmuller, U., et al., 2007, "Observations, modeling, and applications of ERS-ENVISAT coherence over land surfaces", IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 45(8), pp.2600-2611.

Thomas, V., Treitz, P., McCaughey, JH., et al., 2008, "Canopy chlorophyll concentration estimation using hyperspectral and lidar data for a boreal mixedwood forest in northern Ontario, Canada", INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 29, pp.1029-1052.

Vega, C., St-Onge, B., 2008, "Height growth reconstruction of a boreal forest canopy over a period of 58 years using a combination of photogrammetric and lidar models", REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 112(4), pp.1784 -1794.

Walter, KM., Engram, M, Duguay, CR., et al., 2008, "The potential use of synthetic aperture radar for estimating methane ebullition from Arctic lake", JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, 44(2), pp.305-315.

Western Governors Association, 2004, Creating a Drought Early Warning System for the 21st Century: The National Integrated Drought Information System, Western Governors Association.

White, DM., Prokein, P., Chambers, M., et al., 2008, "Use of synthetic aperture radar for selecting Alaskan lakes for winter water use", JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION, 44(2), pp.276-284.

Young, GS., Sikora, TD., Winstead, NS., 2007, "Manual and semiautomated wind direction editing for use in the generation of synthetic aperture radar wind speed imagery", JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY AND CLIMA-TOLOGY, 46(6), pp.776-790.

Zhang, CH., Guo, XL., Wilmshurst, J., et al., 2006, "Application of RADARSAT imagery to grassland biophysical heterogeneity assessment", CANADIAN JOURNAL OF REMOTE SENSING, 32(4), pp.281-287.

Zhao, PT., Zhang, YC., Wang, L., et al., 2008, "Measurement of tropospheric CO2 and aerosol extinction profiles with Raman lidar", CHINESE OPTICS LETTERS, 6(3), pp.157-160.

http://www.ccrs.nrcan.gc.ca (Canada Center for Remote Sensing).

http://www.dbpia.com (누리미디어).
http://www.earthobservations.org (The Global Earth Observation Systems of Systems).
http://www.esa.int (European Space Agency).
http://www.ga.gov.au (Geoscience Australia).
http://www.gmes.info (Global Monitoring for Environment and Security).
http://www.isiwebofknowledge.com (Thomson사의 학술정보 서비스).
http://www.kiss.kstudy.com (한국학술정보(주)).
http://www.ncdc.noaa.gov (National Climatic Data Center).
http://www.riss4u.net (KERIS학술연구정보서비스).
http://www.unoosa.org (UN Spider).
http://www.usgs.gov (U.S. Geological Survey).
http://www.wmo.ch (World Meteorological Organization).

접수일 (2008년 6월 18일)
수정일 (2008년 7월 15일)
게재확정일 (2008년 7월 21일)