

변화지역에 대한 갱신주기별 모니터링 운영방안

Monitoring Management Plan for Changed Region with respect to Revision Periods

한유경¹⁾ · 염준호²⁾ · 김용일³⁾ · 이병길⁴⁾

Han, You Kyung · Yeom, Jun Ho · Kim, Yong Il · Lee, Byoung Kil

Abstract

Due to the increasing need for spatial information, there have been a lot of research related with monitoring and revision of changed regions for the acquisition of the accurate and latest information. In this paper, the optimal monitoring management plan for changed regions with respect to the revision periods was proposed. For this purpose, the representative monitoring methods, which are based on database, professional manpower and crowdsourcing of continuous revision, and aerial imagery, satellite imagery and LiDAR of cyclic revision, were investigated. Then, the properties and application status of monitoring systems in Korea were illustrated according to the methods. Finally, the optimal monitoring management plan for continuous and cyclic revisions was suggested through the comparison of properties and revisionable objects of each method. From the result, it was shown to be appropriate for the optimal monitoring management plan of continuous revision as using Internet-Architectural Information System (e-AIS) database cooperated with professional manpower and crowdsourcing, and cyclic revision as using domestic high-resolution satellite images and LiDAR data processed semi-automatically.

Keywords : Revision period, Monitoring management plan, Continuous revision, Cyclic revision

초 록

최근에 공간정보에 대한 수요가 증가함에 따라, 이에 대한 지속적인 모니터링과 변화지역에 대한 효과적인 갱신을 수행하여 정보의 최신성을 확보하고 보다 정확한 정보를 취득하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 연구의 일환으로, 본 연구에서는 변화지역에 대한 갱신주기별 최적의 모니터링 운영방안을 도출하고자한다. 이를 위해, 갱신주기를 실시간갱신과 주기갱신으로 나누어 각각에 대한 대표적인 모니터링 방법의 특성과 현재 우리나라의 적용현황에 대해 서술하였다. 각 방법에 대한 장단점을 파악하여 실무 적용 가능성을 평가해보았으며, 이를 토대로 최종적으로 실시간갱신과 주기갱신 각각에 대한 최적의 모니터링 운영방안을 도출하였다.

핵심어 : 갱신주기, 모니터링 운영방안, 실시간갱신, 주기갱신

1. 서 론

모니터링이란 대상지역의 다양한 변화를 종합적으로 파

악하고 관리하기 위해서 대상공간에서 이루어지는 각종 자연 및 인문현상을 지속적으로 관측, 탐사, 조사하여 자료를 수집하고, 이를 체계적으로 분석하여 변화 양상을 파악하

1) Member · Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: han602@snu.ac.kr)

2) Student Member · Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: salt2525@snu.ac.kr)

3) Member · Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University (E-mail: yik@snu.ac.kr)

4) Corresponding Author · Member · Department of Civil Engineering, Kyonggi University (E-mail: basil@kyonggi.ac.kr)

고 추후 상황을 예측할 수 있도록 체계적으로 구축한 시스템 및 자료를 의미한다(Singh, 1989; Yun *et al.*, 2008; Oh, 2009). 공간정보에 대한 모니터링이 효과적으로 수행됨으로써 적절한 갱신 기법을 적용하여 정보의 최신성을 확보할 수 있다. 영국의 국립 지도 제작국인 Ordnance Survey는 공간정보 갱신 작업을 크게 두 가지로 나누고 있다(Ordnance Survey, 2011). 첫 번째는 실시간갱신(continuous revision)으로서, 이는 국가적인 관심 지역의 변화나 도시 개발로 인한 변화를 반영하여 사용자들에게 제공하는 것을 목적으로 한다. 실시간갱신은 수시갱신 혹은 상시갱신이라고도 하며, 대상 지물이나 사용자의 요구 정도 등에 따라 다르지만 일반적으로 최근 6개월 이내에 건설된 건물이나 도로 등의 정보를 제공함으로써 사용자들의 주된 관심 분야인 도시 환경의 변화에 대한 정보를 제공한다. 두 번째는 주기갱신(cyclic revision)으로, 도시 환경에 비해 주기적이며 더디게 변화하는 인공 및 자연 환경을 효과적으로 갱신하는데 이용되며, 항공 측량, 영상 분석 기법 등을 이용하여 정해진 기간에 따라 체계적인 갱신작업을 수행한다.

공간정보의 정확도와 최신성을 확보하고 유지하기 위해서는 가능한 한 짧은 갱신주기와 고시가 필요하나 예산의 한계와 효율성 문제가 발생한다. 따라서 국내특성에 적합한 효과적인 모니터링 운영방안을 도출하는 것은 정보의 최신성을 확보하고 보다 고차원의 정밀하고 정확한 정보를 취득하기 위해 매우 중요하다. 이에 본 연구에서는 실시간갱신과 주기갱신 각각을 위한 대표적인 모니터링 방안을 정리하였고, 이를 토대로 각 기술별 장단점을 파악하여 실무 적용 가능성을 평가하였다. 최종적으로, 각 갱신주기에 따라 적용 가능한 최적의 모니터링 운영방안을 도출하고자 하였다.

2. 갱신주기별 모니터링 방법

실시간갱신을 위한 모니터링 방안으로는 크게 데이터베이스에 의한 모니터링, 전문 인력을 이용한 모니터링, 그리고 크라우드소싱(Crowd-sourcing)에 의한 모니터링으로 나눌 수 있고, 주기갱신을 위한 모니터링 방안으로는 이용 데이터에 따라 항공사진 활용 기술, 위성영상 활용 기술, 라이다(LiDAR) 시스템 활용 기술을 이용한 모니터링으로 나눌 수 있다. 최적의 모니터링 운영방안을 도출하기 위해서는 실시간갱신과 주기갱신을 대표하는 각 방법에 대한 특성과 현재 우리나라의 적용현황에 대한 정확한 이해가 요구된다.

2.1 실시간갱신 모니터링 방법

2.1.1 데이터베이스에 의한 모니터링

3D 프레임의 신규 제작 또는 수정이 가능한 대상에 대한 실시간 모니터링 및 갱신을 수행하기 위한 방법 중에 하나는 준공도면을 활용하는 것이다. 준공도면이란 지형지물의 변경을 수반한 공사가 완료된 후 법적 문제가 없는지, 혹은 당초 설계된 대로 시공되었는지를 확인하기 위해 작성된 도면으로, 지표의 형질이 변경되는 대부분의 공사는 변경된 결과를 준공도면으로 제출하도록 규정되어 있다. 준공도면은 하나의 시설물에 대한 매우 세밀한 수준의 공간정보를 담고 있을 뿐만 아니라 높은 위치정확도를 가지고 있다. 따라서 도면을 이용하여 변화지역에 대한 모니터링을 수행한다면, 건물의 변화를 탐지하는데 있어서 최신성과 정확성을 동시에 확보할 수 있다(Korea Institute of Construction Technology, 2009). 준공도면을 포함한 건물정보에 대해 데이터 구축 및 지속적인 갱신이 이루어지고 있는 대표적인 데이터베이스로는, 한국토지정보시스템(Korea Land Information System, KLLIS), 건축행정정보시스템(Internet-Architectural Information System, e-AIS), 새주소관리시스템, 건물기본지리정보를 들 수 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010).

2.1.2 전문 인력에 의한 모니터링

변화가 발생했다는 확신이 있거나 높은 정확도와 정밀한 측량 결과를 요하는 지역에 대해서는 인력에 의한 직접측량을 통해 변화지역에 대한 갱신을 수행하는 것이 유리하다. 예를 들어 건축물이 신축, 증축, 개축 등으로 인해 변화가 발생한 지역이나 보다 정확한 모니터링 결과가 필요한 경우 측지측량 업체에 의뢰하여 경계복원측량 및 지적현황측량을 요구함으로써 해당지역에 대한 수시갱신이 가능하다. 2012년 4월 기준으로, 대한지적공사를 비롯한 약 96개의 업체가 측지측량업을 수행하고 있으며, 필요한 경우 민간 업체에 측량 의뢰를 하여 변화지역에 대한 모니터링 및 갱신을 실시할 수 있다(National Geographic Information Institute, 2012).

직접측량에 대한 시간적, 인적 한계를 극복하기 위해 최근에는 차량을 운행하며 주변 지형지물을 측량하는 모바일매핑시스템(Mobile Mapping System, 이하 MMS) 기반의 모니터링 기법이 대두되고 있다. MMS는 위치측위기술(GPS), 관성측량기술(INS), 3차원 레이저측량기술, 사진측량 기술로 구현된 다양한 센서들을 통합하여 차량에 탑재하고, 차량의 운행과 함께 도로 주변에 있는 지형지물의 위치측정과 시각 정보를 취득할 수 있도록 구현한 시스템을 말한다. MMS를 이용할 경우 수시로 변화하는 지형지물에 대한 정보를 즉시

국가기본도에 반영할 수 있으며, 건물의 명칭과 층수 등을 직접 사람이 조사하는 기존 현지조사 공정을 MMS 촬영성과를 활용하여 대체할 수 있다. 직접측량을 수행할 경우 약 10cm 내외의 정확도를 도출할 수 있고, MMS 측량 또한 50cm 오차 범위 이하의 정확도를 도출할 수 있다(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2010).

2.1.3 클라우드소싱에 의한 모니터링

클라우드소싱이란 Crowd와 Outsourcing의 합성어로, 대중을 활용한 아웃소싱이라고 할 수 있다. 즉, 클라우드소싱은 웹 2.0의 중요한 축인 집단지성(Collective intelligence; 다수의 개체들이 서로 협력하거나 경쟁을 통하여 얻게 된 지적 능력의 결과로 얻어진 집단적 능력)을 활용하는 개념을 말한다. 변화된 지역내 건물의 공간 및 속성정보에 대한 실시간 모니터링과 갱신을 위해서는 해당 지역에 대한 접근성이 용이한 대중의 참여는 필수적이다.

클라우드소싱에 의한 모니터링의 가장 대표적인 예로는 인터넷 기반 웹서비스 지도인 네이버(Naver)나 다음(Daum) 지도의 지도수정요청을 들 수 있다(Naver Map, 2013; Daum Map, 2013). 네이버 지도의 주소나 도로 정보가 잘못 되었거나 상호명이 바뀐 경우는 물론이고, 네이버 지도 서비스 중 하나인 길 찾기 정보에 대한 요청도 가능하다. 다음 지도에서도 마찬가지로 지도 이미지, 건물의 명칭 및 위치, 주소, 교통길찾기, 로드뷰 등 다양한 항목에 대해 사용자가 수정을 요청할 수 있다. 대상물의 3D 프레임을 신규 제작 또는 수정하는 경우에도 클라우드소싱을 이용할 수 있다. 구글(Google)에서 제공하는 '3D warehouse'는 웹사이트를 통하여 사용자가 직접 도시모델링에 참여할 수 있는 클라우드소싱 형태의 프로그램으로, 구글 3D 이미지갤러리에 자신이 제작한 모델을 게시할 수 있으며 이를 여러 사람들과 공유할 수 있다(3D Warehouse, 2013).

2.2 주기갱신 모니터링 방법

2.2.1 항공사진을 이용한 모니터링

항공사진을 활용하여 수치지도를 갱신하는 방법인 도화는 방법에 따라 크게 아날로그 도화, 해석(analytical) 도화, 디지털 도화로 나뉜다. 1960년대에는 필름 스테레오 항공사진의 물리적·기계적 모델링을 통해 수동으로 도화를 수행하였으며 1970년대에 들어서는 해석도화기를 이용해 수동측정 뿐만 아니라 연산프로그램을 바탕으로 해석적 도화를 수행하였다. 1990년 이후에는 필름 항공사진을 디지털 항공사진이 대체함에 따라 항공, 위성, 지상영상 등의 다양한 디지털 자료

의 센서 모델을 바탕으로 디지털 도화가 이루어지고 있다. 과거의 도화가 정밀한 광학 기계를 이용하며 기능과 경험이 중요시된 하드웨어 중심의 도화였다면, 현대에는 다양한 디지털 공간정보를 대상으로 하는 컴퓨터와 프로그램 기반의 소프트웨어 중심의 도화라고 할 수 있다. 최근에는 디지털 도화에서 나아가 유비쿼터스 및 스마트 환경에서 사용자 중심의 범용 맵핑이 가능하도록 웹 기반의 도화로 진화하고 있다.

디지털 도화를 통한 수치지도 제작방법은 Table 1과 같다(Daegu-Gyeongbuk Development Institute, 2005). 항공사진 촬영계획을 수립하고 촬영을 진행한 후, 도화 작업에 필요한 기준점의 측지좌표를 결정하기 위해 지상기준점을 측량하고 대응되는 사진 기준점을 결정한다. 판독이 곤란한 점을 보완하기 위해서 도화원도, 확대 항공사진, 현지 측량을 수행하여 지리조사를 수행한다. 이후 도화기를 이용하여 지형과 지물의 자료를 생성하고 도화 성과를 수치지도에 입력한다. 갱신된 수치지도를 기존의 지도와 병합함에 있어서 정확성을 담보하기 위한 데이터 통합 구축과정인 정위치 편집과 인접도면 간의 도형구조를 병합하는 구조화 편집을 거친 후, 최종적으로 지도의 도식구획과 표준도식에 부합하도록 수치지도를 검토하게 된다.

Table 1. Production Process of Digital Map Using Analytical Plotter

Process	Contents
Aerial Photography	Fundamental materials of map production
GCP Measurement	Determination of ground control points and coordinate system for plotting
Image Reference Point	Coordinate system of image reference points
Complementary Research	Complementary research of non-interpretable points
Details Plotting	Terrain and object data production using plotting instrument
Field Check Data Editing, Position Correction Editing	Editing of plotting results and map input data
Structurize Editing	Topological editing of terrain and object
Digital Mapping and Editing	Final editing by standard map scheme

2.2.2 위성영상을 이용한 모니터링

고해상도 상업위성, 레이더(radar) 위성, 지구환경 모니터링 위성 등과 같은 다양한 위성을 세계 각국에서 지속적으로 발사함에 따라 다양한 시기의 공간정보를 제공하는 영상들이 공급되고 있고, 위성영상 처리 기술 분야의 성장을 바탕으로 위성영상을 활용한 수치지도 제작과 도심지의 변화를 탐지하는 기술 역시 발전을 보이고 있다. 일반적으로 고해상도 위성영상의 비수직관측(off-nadir) 촬영을 이용할 경우 동일 지역에 대해 1-5일 내에 영상 재수집이 가능하며, 이는 대상지역의 변화를 정기적으로 조사하고 그 변화 과정을 묘사할 수 있다는 장점이 있다. 또한 촬영영역이 매우 넓기 때문에 도심의 개발상황이나 수치지도 갱신 등과 같은 국토 관리 업무에 효과적으로 활용이 가능하다. 위성영상을 이용한 모니터링 및 수치지도 제작은 비교적 넓은 범위의 주기적인 모니터링, 또는 소축척의 수치지도 제작 및 갱신 등에 이용할 경우에 보다 높은 효율성을 확보할 수 있다. 위성영상을 이용한 모니터링 방법은 일반적으로 영상의 화소값을 이용하는 직접적으로 이용하는 방법과 영상분류(image classification)를 통한 모니터링 방법이 있으며, 모니터링을 수행하는 대상의 특성이나 조건에 따라서 적절한 기법을 적용하는 것이 필요하다(Civco et al., 2002; Jang, 2006).

2.2.3 라이다를 이용한 모니터링

라이다 시스템은 3차원 위치정보의 정확성, 항공사진과의 통합 취득 가능성, 경제성 등의 측면에서 강점을 지녀 상용화의 가능성이 높으며 기상 조건에 영향을 덜 받는다는 특징과 나뭇잎 등을 투과하여 지표면에 대한 데이터 취득이 가능하다는 장점을 지녀 국가 공간정보 제작 및 갱신에 효과적인 이용이 가능하다. 국내에서는 수치표고모델과 등고선 등을 제작하는데 항공레이저 측량 자료가 중요한 역할을 하고 있으며 지자체 및 민간 분야에서 라이다 데이터, 위성영상, 항공사진, 3차원 모델링 및 텍스처 매핑 자료를 이용하여 실세계 및 가상도시를 표현하고자 시도하였다. 한국개발연구원(Korea Development Institute, 2010)의 3차원 공간정보구축사업 예비타당성조사에 따르면, 주요 국가들 대부분이 3차원 공간정보 생성을 위한 기초 자료인 수치표고모델 제작하기 위해 라이다 측량을 활용하고 있다. 미국에서는 통계청, 재난청, 국방부, 지질국, 산림청, 지방관청 등에서 인프라부터 환경관리까지 위성영상과 항공사진의 한계를 극복하기 위해 과학적인 라이다 시스템을 이용하고 있다. 독일과 일본에서도 공공측량작업에 라이다를 활용하기 위한 실험을 통해 수직 위치에 대해서 1:1,000 지형도의 정확도 기준을 만족시키는 것을 확인하였다.

3. 모니터링 방법별 실무 적용 가능성 비교평가

앞서 서술한 각 모니터링 방법의 실무 적용 가능성을 평가하기 위해서, 각 방법들 간의 비교평가를 수행한 결과는 Table 2와 같다. 실시간갱신 모니터링 방법으로 데이터베이스를 이용하는 경우를 먼저 살펴보면, 건물의 용도와 면적, 높이, 층수 등 건축대장에 작성된 모든 건물에 대한 속성정보가 추출 가능하다는 장점이 있다. 데이터베이스를 구축 및 유지·관리하는 비용 외에는 별 다른 비용이 들지 않는다는 측면에서 다른 모니터링 기법에 비해 경제적이라고 할 수 있다. 준공도면을 이용하여 건물에 대한 모니터링과 갱신을 수행할 경우에는 건물의 형태와 면적에 대한 높은 정확도를 얻을 수 있는 반면, 데이터베이스와 모니터링 시스템 간의 좌표 체계가 일치하지 않는 경우 이를 일치시키는 과정이 필요할 뿐만 아니라 이 과정에서 위치 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 갱신을 위한 데이터 획득 주기나 모니터링 가능 범위가 구축된 데이터베이스에 의존적인 단점 또한 있다. 전문 인력에 의한 모니터링은 직접측량 및 MMS 측량을 이용함에 따라 다른 기법에 비해 높은 정확도를 갖는 것이 가장 큰 장점이다. 뿐만 아니라 측량 기관이나 업체에 의뢰하는 요청에 따라서 모니터링 주기를 결정할 수 있고, 필요할 경우 건물의 용도와 면적, 높이, 도로 노면 정보 등 원하는 정보를 추가적으로 얻을 수 있다. 하지만 인력을 활용하는데 드는 비용이 높아서 넓은 지역에 대해서 주기적으로 모니터링을 수행하는데 많은 어려움이 있으며 한번에 모니터링을 수행하는 범위가 좁고 실제 접근이 가능한 지역에 대해서만 갱신 작업이 가능하다는 단점이 있다. 크라우드소싱을 이용할 경우 모니터링 가능 범위나 지역에 제한이 없으며 추출 가능한 정보 또한 건물의 용도, 도로 노면정보, 텍스처 정보, 3차원 모델 등 다양한 공간 및 속성 정보를 제공받을 수 있다. 사용자의 적극적인 참여가 이루어질 수 있도록 초기 시스템을 구축하는데 드는 비용을 제외하고는 유지관리 비용 외에 큰 비용이 들지 않는다는 장점 또한 가지고 있다. 하지만 사용자의 참여유도의 측면에서 한계가 있고, 많은 데이터를 얻을 수 있더라도 그에 대한 정확성과 신뢰성이 떨어지는 것이 크라우드소싱을 통한 모니터링의 가장 큰 문제점이라고 할 수 있다.

주기갱신을 위한 모니터링 기법으로 항공사진을 이용하는 경우, 항공기의 운행이 제한되는 A공역을 제외한 대부분의 비행가능지역에 대해 데이터 수집이 가능하며 스테레오 항공사진의 도화를 통해 건물 면적, 건물 높이, 도로 폭, 차선 수, 도로 방향 정보 등을 추출할 수 있다. 그러나 데이터 수집을 위해 비행계획을 세우고 실제 항공기를 띄어 데이터를 수집하

게 되므로 초기 비용 소모가 크다는 문제점이 있다. 또한 도 회사들이 수작업을 통해 데이터를 처리하여 모니터링을 수행하게 되므로 데이터 처리 비용 또한 발생하며 지속적인 모니터링을 위해 주기적으로 항공사진을 촬영해야하기 때문에 데이터 유지 및 관리 비용 또한 높은 편이다. 다른 단점으로 구름양과 강우 등의 기상 조건에 따라 항공촬영 계획이 제한된다는 점이 있다. 그러나 수평·수직 정확도가 높고 실제계와 동일한 텍스처 정보를 포함한다는 장점 때문에 현재의 주기갱신 사업 중 대부분이 항공사진을 이용하고 있다. 위성영상을 이용한 모니터링 기법도 원격탐사 영상을 이용한다는 점에서 항공사진을 이용한 모니터링 기법과 유사하다. 그러나 위성 재방문 주기에 따라 영상을 수집하므로 항공사진촬영에 비해

더 빠르고 주기적인 모니터링이 가능하며, A공역이나 비무장 지대 등과 같이 비행이 불가능한 지역을 포함하는 모든 지역의 모니터링이 가능하다는 장점이 있다. 건물 면적, 건물 높이, 도로 폭, 차선 수 등의 속성 정보를 추출할 수 있지만, 항공사진에 비해 영상의 해상도와 신호대잡음비율(signal-to-noise)이 좋지 않은 단점을 지녀 도로의 방향정보까지 파악하기에는 어려움이 있다. 위성영상을 취득하기 위해서는 위성의 제작 및 발사 과정을 위한 초기 비용이 매우 크게 발생하며 영상의 도화를 위한 처리 비용 또한 발생한다. 초기 비용이 매우 크게 발생하는 대신 영상의 주기적인 수집이 가능하므로 데이터 유지·관리 비용은 낮은 편이다. 모니터링 정확도는 공간 해상도와 위성의 낮은 신호대잡음비율로 인해 항공사진과 비

Table 2. Property Comparison of the Monitoring Methods

Properties	Continuous Revision			Cyclic Revision		
	Database	Professional Manpower	Crowd-sourcing	Aerial Imagery	Satellite Imagery	LiDAR
Data Acquisition Period	- Depend on the database (e-AIS: continuous acquisition)	- Cyclic depend on request	- Continuous	- Depend on flight planning (2~5 years in general)	- Depend on revisit period of satellite (1~5 days in general high-resolution satellites)	- Depend on flight planning (2~5 years in general)
Monitoring Range	- Depend on the database (e-AIS: All regions of Korea)	- Narrow - Possible only accessible area	- Unrestricted	- Flight possible area	- Unrestricted	- Flight possible area
Airspace (A class)	- Possible	- Possible	- Possible	-Impossible	- Impossible	- Impossible
Extractable Attributes	- Purpose, area, height, floors of building	- Purpose, area, height, floors of building - Width, lane number, direction of road	- Purpose of building - Lane number, direction of road	-Area, height of building -Width, lane number, direction of road	- Area, height of building -Width, lane number of road	- Area, height of building
Cost	- Initial: high - Process: low - Maintenance: normal	- Initial: high - Process: high - Maintenance: high	- Initial: low - Process: normal - Maintenance: low	- Initial: high - Process: high - Maintenance: high	- Initial: very high - Process: high - Maintenance: low	- Initial: high - Process: normal - Maintenance: high
Accuracy	- High	- Very high (direct surveying: 10cm, MMS: 50cm)	- Low	- High	- Normal	- Very high (horizontal: 50cm, vertical: 10cm)
Constraint	- Unify coordinates between DB and monitoring system	- High cost and narrow monitoring range	- Low information accuracy	- Restricted by weather conditions	- Restricted by weather conditions - High initial cost	- Require a lot of data throughput
Automation Possibility	- Semi-automation of unify coordinates between DB & monitoring system	-	-	- Semi-automation of building and road extraction algorithms	- Semi-automation of building and road extraction algorithms	- Automation of building boundary extraction and 3D representation

교하여 부족한 수준이며 항공사진과 마찬가지로 영상의 질이 기상조건에 따라 제약 받는다. 라이다를 이용한 모니터링 기법의 경우, 일반적으로 항공기 기반의 라이다 센서를 이용하므로 항공사진을 이용한 모니터링 기법과 유사한 제약을 받는다. A공역이나 군사 시설 등을 제외한 비행 가능 지역의 대부분에서 데이터를 수집할 수 있으며 촬영 계획에 따라 주기적으로 데이터를 수집하게 된다. 지속적인 항공촬영이 요구되므로 데이터 초기 취득과 유지·관리 비용은 항공사진을 이용한 모니터링 기법과 마찬가지로 높은 편이나 데이터 처리 과정에서 건물 경계 추출과 3차원 재구성의 자동화 가능성이 높아 데이터 처리 비용은 상대적으로 항공사진에 비해 적게 든다. 라이다 시스템이 효과적인 활용을 위해서는 많은 양의 점 데이터를 처리하기 위한 우수한 하드웨어, 소프트웨어 환경이 요구된다.

모니터링 방법 별 갱신 가능 대상을 Table 3에 정리하였다. 데이터베이스에 의한 모니터링은 세움터를 통해서 건물에 대한 등록·갱신 정보의 실시간 획득이 가능할 뿐만 아니라 이에 대한 속성정보도 얻을 수 있기 때문에 건물에 대한 모니터링에는 많은 장점이 있는 반면, 도로의 생성과 변화에 대한 정보를 실시간으로 취득하기 어려운 한계가 있다. 전문 인력을 이용하여 모니터링을 수행할 경우, 직접측량과 MMS 측량을 통해 건물 외형 및 속성 정보, 도로 외형 및 속성 정보, 지하시설물, 3D 모델 구축 등 대부분의 갱신대상에 대한 모니터링이 가능하지만 인력비용이 크고 접근 불가능지역에 대한 모니터링이 불가능하기 때문에 효용성 측면에서 한계가 있다. 크라

우드소싱에 의한 모니터링은 잠재력 측면에서는 큰 장점을 갖지만, 획득한 모니터링 정보에 대한 신뢰도가 떨어지므로 다른 모니터링 기법과 함께 사용함으로써 정확도에 대한 한계를 극복해야한다. 항공사진과 위성영상을 이용한 모니터링 기법의 경우, 영상의 가독성 측면에서 봤을 때 항공사진을 이용하는 것이 위성영상을 이용하는 것보다 유리하다. 특히, cm급의 공간해상도를 갖는 항공사진의 경우 도로의 폭과 차선 수, 방향 등의 도로 속성정보를 추출할 수 있을 뿐만 아니라 건물이나 도로의 텍스처 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 반면, 건물이 밀집한 지역에 대해서는 위성영상과 항공사진이 갖는 건물 폐색과 그림자의 영향에 따라 라이다를 이용한 모니터링을 수행하는 것이 유리하며, 특히 위치정보와 함께 높이 정보를 얻을 수 있는 라이다 데이터는 건물 및 도로에 대한 3D 프레임 제작·수정하는 경우에 강점을 갖는다.

4. 변화지역에 대한 모니터링 운영방안 도출

앞서 살펴보았듯이, 변화지역에 대한 모니터링을 수행하기 위하여 데이터베이스, 전문 인력, 크라우드소싱을 이용한 실시간갱신 방법이나 항공사진, 위성영상, 라이다를 이용하는 주기갱신 방법들은 특성에 따라서 장·단점이 존재할 뿐만 아니라, 갱신 가능한 대상 자체도 다르다. 따라서 하나의 방법만을 독자적으로 이용할 경우 변화지역 모니터링과 갱신에는 한계가 있으며, 효과적인 모니터링을 위해서는 각각의 방법이 갖는 특성을 파악하고 이들의 장점을 적절히 통합하였을 때

Table 3. Revisionable Objects with respect to the Monitoring Methods

Revision Objects	Continuous Revision			Cyclic Revision		
	Database	Professional Manpower	Crowd-sourcing	Aerial Imagery	Satellite Imagery	LiDAR
Building (dense urban)	◎	○	○	△	△	○
Building (suburban)	◎	○	○	○	○	◎
Road	△	○	△	○	○	△
Underground Facility	○	○	△	×	×	×
Building Purpose and Name	◎	○	○	×	×	×
Road Attributes	△	○	△	○	△	△
Texture Information	×	○	○	◎	○	△
3D Model Construction	◎	○	○	○	○	◎

◎: Revisionable and Highly Effective, ○: Revisionable, △: Conditionally Revisionable, ×: Unrevisionable

보다 효율적이고 현실적인 모니터링이 가능하다. 이러한 점에 입각하여 본 연구에서는 실시간갱신 모니터링과 주기갱신 모니터링 각각에 대하여 최적의 운영방안을 제시하고자 한다.

4.1 실시간갱신 모니터링 운영방안

건물, 도로 등 공간개체에 대한 외형 및 속성정보 실시간 모니터링을 수행하기 위한 가장 현실적인 방법은 공간정보가 통합구축된 데이터베이스를 이용하는 것이다. 본 논문에서는 실시간갱신 모니터링 운영방안으로, 건물에 대한 준공도면과 건축물대장에 대한 등록 및 갱신이 실시간으로 이루어지고 있고 대한민국 전지역을 대상으로 데이터베이스가 구축된 인터넷 건축행정정보시스템인 세움터를 기본 데이터베이스로 이용하고, 전문 인력과 클라우드소싱을 보완기법으로 이용하는 방법론을 제안하고자 한다.

세움터를 기본 데이터베이스로 변화지역에 대한 모니터링을 수행할 경우 건물의 외형정보 뿐만 아니라 건물의 용도와 면적, 높이, 층수 등 건축대장에 작성된 건물에 대한 모든 속성정보를 추출할 수 있고, 기구축된 데이터베이스를 사용하기 때문에 이를 유지하고 관리하는 비용 외에는 별다른 비용이 들지 않는다는 장점이 있다. 항공사진이나 위성영상을 이용한 모니터링 방법에서는 적용이 불가능한 지하시설물이나 지하 정보에 대한 취득 또한 가능하며 건물의 밀집정도에 관계없이 적용이 가능하다. 하지만 세움터 정보만을 이용하여 모니터링을 수행할 경우, 준공도면과 건축물대장에 따른 건물의 다양한 외형 및 속성 정보의 취득이 가능한 반면, 도로의 형상정보나 도로의 폭, 차선수, 방향 등의 속성정보는 상대적으로 취득하기 어려운 한계가 있다. 뿐만 아니라 세움터에서 제공하는 준공도면의 경우 수치지도를 기반으로 작성된 경우 '측량수로조사 및 지적에 관한 법'에 의한 기준을 준수하지만, 대부분의 도면이 수치지도를 기반으로 작성되지 않아 좌표 및 투영법을 자의적으로 작성하며 도면의 종류에 따라 다양한 축척을 사용한다. 따라서 이러한 좌표체계 및 축척에 대한 통일 과정이 필요하고, 이를 일치시켜주는 과정에서 위치 정보에 대한 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

이렇듯 세움터를 이용하여 실시간 모니터링을 수행하기 위해서는 도로 정보에 대한 데이터 획득, 시스템 간 좌표체계의 일치, 동일 건물에 대한 매칭 및 속성 정보 통합, 지속적인 유지관리 시스템 개발 등은 필연적으로 해결해야할 사항이다. 이러한 문제점은 전문 인력이나 클라우드소싱을 이용하여 부분적으로 해결할 수 있다. 국내 측량업체의 전문 인력을 이용할 경우 실질적으로 가장 신뢰할만한 정확도는 물론이고, 건물, 도로, 지하시설물, 텍스처 정보, 3D 모델 등 구축하고자하

는 대부분의 정보를 얻을 수 있다. 하지만 인력을 고용하는 비용이 높고 넓은 지역에 대한 주기적 모니터링이 불가능하며, 실제 접근이 가능한 지역에 대해서만 갱신 작업이 가능한 단점이 있다. 따라서 변화가 발생하였다는 확신이 있거나 높은 정확도와 정밀한 결과를 요하는 지역에 한해서 전문 인력을 통한 직접측량을 통해 변화지역에 대한 갱신을 수행한다. 특히 도로정보의 경우, MMS를 통한 주기적인 촬영을 통해 모니터링을 수행하거나, 포털사이트나 네비게이션 업체에서 기구축한 시스템을 통합하여 활용하는 것 또한 방법이 될 수 있다. 클라우드소싱에 의한 모니터링을 성공적으로 수행하기 위해서는 획득한 데이터가 얼마나 높은 신뢰도를 얻을 수 있는지가 중요하다. 전문 인력이 아닌 일반 대중에 의해 획득된 데이터에 따라서 제공하는 형식이나 특성이 다르고 신뢰성을 확보할 수 없기 때문에, 이를 직접적으로 모니터링 및 갱신에 이용하기에는 무리가 있다. 따라서 클라우드소싱을 통해 취득된 변화나 갱신에 대한 정보는 항상 전문 인력에 의해 정확도에 대한 검증이 수반되어야 한다. 즉, 클라우드소싱을 통해 일차적으로 변화가 수행되었다는 정보를 실시간으로 취득하고 이들에 대한 정확도 및 신뢰성 평가를 전문 인력을 통해 주기적으로 실시한 후에, 검증이 된 정보에 대해서만 갱신작업을 진행하여야 한다.

본 논문에서 제안한 방법을 통해 모니터링을 수행할 경우, 시스템이 구축·갱신되는 과정에서 발생하는 변화가 찾아지고 이들이 시스템에 지속적으로 반영됨으로써 모니터링 대상물에 대한 외형 및 속성 정보의 정확도가 낮아지는 단점이 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 일정비용 이상의 변화가 발생한 지역에 대해서 인력을 활용하여 갱신 결과에 대한 전반적인 보완을 수행하거나, 항공사진이나 위성영상과 같

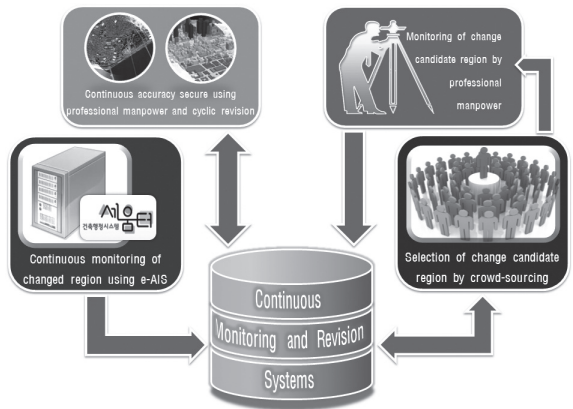


Fig. 1. Monitoring Management Plan for Continuous Revision

은 항공 측량과 영상분석 기법을 통해 구축된 데이터베이스를 이용하여 주기적으로 보완함으로써 대상 지형지물에 대한 전반적인 위치 및 속성에 대한 정확도를 향상시키는 과정을 수행해야 한다. 실시간갱신을 위한 모니터링 운영방안은 Fig. 1과 같다.

4.2 주기갱신 모니터링 운영방안

우리나라는 국가지리정보체계 사업을 통해 토지, 자원, 환경, 시설물 등 국토공간에 관한 제반 정보를 디지털화하고 공유하고 있다. 이 사업에서 1:1,000 수치지도의 대부분이 항공사진 촬영과 도화작업을 통해 신규제작되거나 수정·갱신되었다. 그러나 항공사진을 이용한 주기갱신 모니터링의 경우 정확도는 높지만 제작시간과 비용이 많이 든다는 단점이 있다. 뿐만 아니라 항공사진 촬영이 이루어진 이후에야 사업을 진행할 수 있어 지형과 지물의 변경 시점과 항공사진 촬영 시점의 차이가 나게 되며 항공사진 촬영 후 도화작업 결과를 수치지도에 반영하기까지의 시간이 필요하기 때문에 수치지도의 최신성을 유지하는데 어려움이 있다. 즉, '국가공간정보에 관한 법률'에서 해당기관은 관리하고 있는 공간정보데이터베이스가 최신 정보를 기반으로 유지되도록 정하고 있으나 실제적으로 비용적, 절차적 제약이 발생하는 것이다.

위성영상을 이용한 모니터링의 경우, 촬영 영역이 매우 넓기 때문에 도심의 개발상황이나 수치지도 갱신 등과 같은 국토 관리 업무에 효과적으로 활용이 가능하다. 뿐만 아니라 기존의 방법들과 달리 공간상의 제약 없이 위성영상의 촬영 주기에 따라 대상지역의 변화를 정기적으로 조사하고 그 변화 과정을 묘사할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 항공사진과 마찬가지로 우리가 생활하는 실세계와 동일한 시각적 텍스처 정보를 제공하기 때문에 항공사진을 대체할 가능성이 충분하다. 2000년대의 고해상도 영상인 IKONOS와 Quickbird 등이 1m 내외의 공간해상도를 지녀 항공사진과 해상도 차이가 존재했던 반면, 최근의 Worldview-2와 Geoeye-1 등과 같은 고해상도 위성영상은 0.5m 내외의 공간해상도를 지녀 항공사진과 특성이 더욱 유사해졌다. 이는 항공사진을 이용한 모니터링에 이용되는 영상 처리와 도화 작업이 위성영상에도 거의 그대로 적용될 수 있음을 뜻한다. 우리나라 또한 2006년에 발사된 KOMPSAT-2호에 이어 2012년 5월에 0.7m급 광학센서를 탑재한 KOMPSAT-3호를 성공적으로 발사하였다. 이에 따라 기존에 지자체 단위로 시행되던 항공사진 촬영과 변화지역 모니터링을 우리나라의 독자적인 고해상도 위성영상을 이용하여 일원화할 수 있게 되었다. 주기적으로 취득 가능한 위성영상을 적극 활용하여, 그 동안 항공사진을 이용한 모니터링

이 높은 비용 문제로 제때 수행되지 않던 문제점을 개선하고 데이터의 최신성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

비용 효율적인 측면 외에도, 다양하게 연구된 영상 처리 기법의 적극적인 활용과 연계가 필요하다. 영상 분할, 건물 및 도로 추출, 토지 피복 분류, 변화 탐지 기법 등 다양한 연구들이 국내외 저널에서 발표되고 있으나 정작 우리나라 행정기관과 민간 분야에서는 대부분 항공사진 도화를 이용한 모니터링 기법만을 이용하고 있다. 영상 기반의 모니터링 사례들은 3차원 건물 모델, 수치 표고 데이터, 항공사진, 위성영상 등을 이용하여 자동 건물 모니터링을 수행하는 것은 물론 건물의 변화 유형을 결정하여 기존 건물, 새롭게 건설된 건물, 변화가 있는 건물 등을 추출하고 있다. 또한 2차원적인 면적의 변화에서 나아가 높이 변화의 정도를 파악하여 3차원 변화 탐지까지도 연구가 수행되고 있다. 자동화, 반자동화된 토지 피복 분류나 변화 탐지 기법을 이용하여 변화가 존재하는 주요 모니터링 후보지역을 선별할 수 있으며 이는 모니터링 비용 감소에 큰 도움이 된다. 그리고 영상 분할이나 건물 및 도로 추출 알고리즘을 적용하여 직접적으로 수치지도 제작 및 갱신에 반영이 가능한 벡터 정보를 추출함으로써 영상 판독과 도화 과정에 소모되는 노동력과 비용 문제를 크게 경감시킬 수 있을 것이다.

고해상도 위성영상의 활용과 자동화 영상 처리 기법의 도입을 통해 효율적인 모니터링이 가능할 것이나, 3차원적인 변화가 빈번한 대도시와 중심업무지구의 경우 라이다 시스템의 추가적인 활용이 필요하다. 라이다 시스템의 경우 3차원 위치정보의 정확성이 매우 높고 기상 조건에 영향을 덜 받는 능동형 센서라는 점에서 강점을 지닌다. 또한 투과되는 레이저 펄스를 통해 수목에 의해 가려진 건물이나 도로 등의 정보를 추가적으로 추출할 수 있다. 국내에서는 수치표고모델과 등고선 등을 제작하는데 라이다 측량 자료가 이미 중요한 역할을 하고 있으며 지자체 및 민간 분야에서 실세계 및 가상도시를 표현하기 위해 라이다 데이터를 이용한 사례가 많다. 또한 영상 기반 모니터링을 위해서는 정사영상을 제작하는 과정이 필요한데 라이다 측량을 통해 수집된 고도 정보를 활용함으로써 정사영상제작의 높은 비용과 장기 소요 기간을 줄여 국가 예산 절감 효과를 기대할 수 있다.

요약하면, 기존에 연구 개발된 다양한 영상 및 라이다 자료 처리 기법을 활용하여 공간정보 모니터링 시스템에 자동화 요소를 도입하여, 항공사진 도화 작업에 소요되는 노동력과 비용 문제, 최신성 문제를 개선하여야 한다. 또한 최근에 발사된 우리나라의 독자적인 고해상도 위성영상을 적극적으로 활용하여 항공사진을 이용한 모니터링을 보완하거나 대체함으로

써, 항공사진 기반의 모니터링에 대한 지자체별 예산 낭비를 줄이고 예산 집행을 일원화할 수 있으며 넓은 지역에 대해 주기적이고 안정적으로 모니터링이 가능해질 것이다. 추가적으로 3차원적인 변화가 잦은 대도시에 라이다 측량 기반의 모니터링 시스템을 도입함으로써 높은 정확도의 3차원 모델을 구축하고 변화에 대한 효과적인 모니터링을 수행해야 할 것으로 사료된다(Fig. 2).

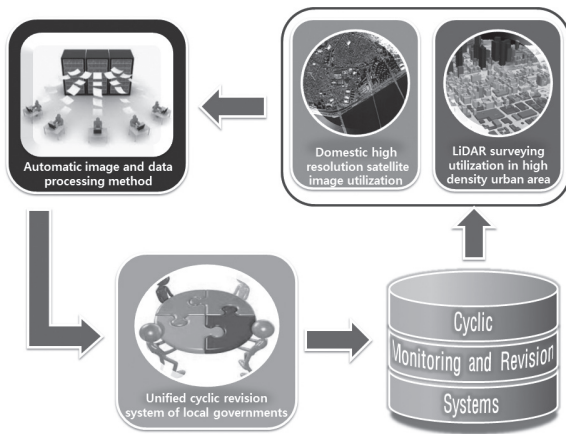


Fig. 2. Monitoring Management Plan for Cyclic Revision

5. 결론

본 연구에서는 실시간갱신과 주기갱신 각각을 위한 대표적인 모니터링 기술별로 장단점을 파악하여 실무 적용 가능성을 평가하였고, 최적의 모니터링 운영방안을 도출하고자 하였다. 실시간 모니터링 시스템은 세움터를 기본 데이터베이스로 하고, 클라우드소싱과 전문 인력을 이용하여 변화후보지역을 선정하고 갱신을 수행하며, 주기적인 갱신을 통해 전반적인 정확도를 확보하는 운영방안을 제안하였다. 주기 모니터링 시스템은 국내의 독자적인 고해상도 위성영상을 활용함과 동시에 대도시지역에는 라이다 시스템을 접목시키고, 기개발된 다양한 알고리즘을 적용함으로써 노동력과 비용을 최소화하고 최신성을 확보하는 것을 운영방안으로 제안하였다.

본 연구에서 도출된 결론을 통해 활용 가능한 이론적인 운영방안을 도출할 수 있었지만, 실제 공간정보데이터에 적용할 경우에는 법이나 정책, 표준화, 데이터 확보 등 다양한 부분에서 문제가 발생할 수 있다. 또한 제안한 모니터링 운영방안의 경우 실시간갱신과 주기갱신 각각에 대하여 독립적으로 제안을 하였지만, 실제 모니터링 시스템은 갱신주기에 관계없는 통합된 하나의 시스템으로 구축하는 것이 바람직하다. 이러한

문제는 향후연구를 통해 해결하고자 한다.

감사의 글

본 논문은 국방광역감시 특화연구센터 프로그램의 일환으로 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Civco, D. L., Hurd, J. D., Wilson, E. H., Song, M., and Zhang, Z. (2002), A comparison of land use and land cover change detection methods, *Proceedings of the ASPRS-ACSM 2002 Annual Conference and FIG XXII Congress*, ASPRS, 22-26 April, Washington, DC, unpaginated CD-ROM.
- Daegu-Gyeongbuk Development Institute (2005), *Revision plan of digital map for ground facilities of Daegu*, Daegu-Gyeongbuk Development Institute. (in Korean)
- Daum Map, *Daum Communications*, <http://local.daum.net/> (last date accessed: 21 September 2013).
- Jang, S. (2006), *A study of automated production and update method for land cover/land use using hyperspectral satellite image*, Ph.D. dissertation, University of Kyunghee, Korea, 111p. (in Korean with English abstract)
- Korea Development Institute (2010), *A preliminary feasibility study of 3D spatial information(ortho-photo-digital elevation model) construction business*, Public & Private Infrastructure Investment Management Center of Korea Development Institute. (in Korean)
- Korea Institute of Construction Technology (2009), *GIS/CAD convergence modeling technology development of social overhead capital*, Korea Institute of Construction Technology. (in Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2010), *Business of Construction of GIS-based Integrated Building Information Management System*, pp. 1-6. (in Korean)
- National Geographic Information Institute (2012), *Civil complaints office key statistics*, General Services Division of National Geographic Information Institute, pp. 16-20. (in Korean)
- Naver Map, *Naver Corporation*, <http://map.naver.com/> (last date accessed: 21 September 2013).
- Oh, C. W. (2009), A study on integration spatio-temporal GIS

- with land monitoring system, *The Geographical Journal of Korea*, Vol. 43, No. 2, pp. 285-292. (in Korean with English abstract)
- Ordnance Survey (2011), *Ordnance Survey*, Information paper: Revision policy for large-scale products, <http://www.ordnancesurvey.co.uk> (last date accessed: 13 September 2013).
- Singh, A. (1989), Digital change detection techniques using remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, No. 6, pp. 989-1003.
- Yun, K., Kim, M., Lee, K., and Lee, H. (2008), *Reading and Understanding of Map*, Purungil, Seoul, Korea. (in Korean)
- 3D Warehouse, *Google*, <http://sketchup.google.com/3dwarehouse/> (last date accessed: 12 September 2013).

(Received 2013. 10. 01, Revised 2013. 10. 17, Accepted 2013. 10. 23)