

nDSM 및 도로망 추출 기법을 적용한 도심지 건물 변화탐지 Urban Building Change Detection Using nDSM and Road Extraction

장영재¹⁾ · 오재홍²⁾ · 이창노³⁾

Jang, Yeong Jae · Oh, Jae Hong · Lee, Chang No

Abstract

Recently, as high resolution satellites data have been serviced, frequent DSM (Digital Surface Model) generation over urban areas has been possible. In addition, it is possible to detect changes using a high-resolution DSM at building level such that various methods of building change detection using DSM have been studied. In order to detect building changes using DSM, we need to generate a DSM using a stereo satellite image. The change detection method using D-DSM (Differential DSM) uses the elevation difference between two DSMs of different dates. The D-DSM method has difficulty in applying a precise vertical threshold, because between the two DSMs may have elevation errors. In this study, we focus on the urban structure change detection using D-nDSM (Differential nDSM) based on nDSM (Normalized DSM) that expresses only the height of the structures or buildings without terrain elevation. In addition, we attempted to reduce noise using a morphological filtering. Also, in order to improve the roadside buildings extraction precision, we exploited the urban road network extraction from nDSM. Experiments were conducted for high-resolution stereo satellite images of two periods. The experimental results were compared for D-DSM, D-nDSM, and D-nDSM with road extraction methods. The D-DSM method showed the accuracy of about 30% to 55% depending on the vertical threshold and the D-nDSM approaches achieved 59% and 77.9% without and with the morphological filtering, respectively. Finally, the D-nDSM with the road extraction method showed 87.2% of change detection accuracy.

Keywords : nDSM, D-nDSM, D-DSM, Change Detection, Road Extraction, Stereo Satellite Images

초 록

최근 고해상도 영상을 지원하는 위성들이 다양화되면서 도심지에 대한 DSM (Digital Surface Model) 생성 및 업데이트가 가능해지고 있다. 그에 따라 고해상도 DSM을 이용해 건물 단위의 변화탐지가 가능해지면서 DSM을 활용한 건물 변화탐지 기법들이 다양하게 연구되고 있다. 기본적으로 DSM을 활용한 건물 변화탐지를 위해서는 스테레오 위성영상을 이용한 두 시기에 대한 DSM의 생성이 필요하며, 생성된 DSM의 표고값 차이를 이용해 변화를 탐지하는 D-DSM (Differential DSM) 방법이 일반적으로 사용된다. 그러나 D-DSM을 이용하는 기법은 두 DSM 간의 수직오차가 클 경우 건물의 변화를 탐지하기 위한 최소 수직좌표의 임계치를 정밀하게 적용하기에 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 DTM (Digital Terrain Model)의 높이를 기준표고로 지정하고 구조물의 높이만을 표현하는 nDSM (Normalized DSM)을 기반으로 D-nDSM (Differential nDSM)을 생성하고 모폴로지 필터링을 거쳐 변화탐지를 진행하여 표고 오차에 따른 변화탐지의 오류를 줄이고자 하였다. 또한 도로변 건물의 추출 정밀도 향상을 위해 nDSM에서 도심지의 도로망을 추출하는 방안을 제시해 D-nDSM기법에 적용하였다. 도시 변화지역을 대상으로 두 시기의 스테레오 영상을 이용하여 실험을 진행하였고, D-DSM을 이용한 변화탐지기법과 D-nDSM기법, 도로선형을 추출해 D-nDSM에 적용한 탐지방법 등을 비교하여 결과를 얻었다. 단순 D-DSM을 이용한 기법에서 수직 임계치에 따라 약 30~55%의 정확도를 얻어낼 수 있었다. 또한 D-nDSM 기법의 적용시 59%의 정확도를 얻었으며, 노이즈 필터링의 과정을 거쳐 77.9%의 정확도를 얻었다, 최종적으로 대상지의 도로 선형을 추출해 적용하여 87.2%의 전체 정확도를 얻을 수 있었다.

핵심어 : nDSM, D-nDSM, D-DSM, 변화탐지, 도로추출, 입체 위성영상

Received 2020. 05. 25, Revised 2020. 06. 04, Accepted 2020. 06. 11

1) Member, Dept. of Civil Engineering, M.S. student, Korea Maritime and Ocean University (E-mail: 93173444@gmail.com)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Associate Professor, Korea Maritime and Ocean University (E-mail: jhoh@kmou.ac.kr)

3) Member, Dept. of Civil Engineering, Professor, Seoul National University of Science and Technology (E-mail: changno@seoultech.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

도심지역은 택지 개발과 재건축, 노후시설 철거 등으로 빠르게 변화하는 지역이다. 국내뿐만 아닌 해외 자원개발이나 각종 지원 사업, 군사적 목적으로서 도심 또는 인공구조물 변화 모니터링 정보를 구축하고 신속한 업데이트를 진행하는 등 다양한 목적에 의해 빠르고 정확한 변화발생 정보가 요구되고 있다. 이러한 도심 및 인공구조물 변화 발생의 탐지를 위해 다양한 수단을 이용한 변화탐지 기법들이 꾸준히 연구되고 있으며, 도시지의 변화를 탐지하기 위해 접근성이 쉬운 항공 촬영이나 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)를 이용한 촬영으로 변화를 탐지하려는 시도 또한 진행되고 있다.

전통적으로 항공측량을 이용한 변화탐지가 수행되고 있었으며 최근 들어 LiDAR (Light Detection and Ranging)기술의 개발과 저렴한 UAV의 보급 등으로 다양한 기법의 시도가 이루어지고 있다. 국외에서는 이미 DSM (Digital Surface Model)과 LiDAR 등 여러 수단을 이용하여 변화탐지를 진행하려는 연구가 진행되고 있다(Choi and Lee, 2008). 선명한 화질과 높은 위치정확도를 얻을 수 있는 소규모 항공 영상을 이용해 변화가 빈번한 도심지역의 건축물에 대한 신속 또는 철거, 불법 건축물 단속 등 다양한 분야에 변화탐지를 접목시키며, 항공사진 영상 매칭을 통한 건물 변화 탐지를 수행하고(Zhang *et al.*, 2000), 항공 LiDAR 영상을 이용한 두 시기 DSM으로 변화를 탐지하는 연구도 진행되었다(Choi and Lee, 2008). LiDAR 영상과 항공 영상을 동시에 사용하여 DSM을 제작하여 도시의 변화를 탐지하기도 하였고(Du *et al.*, 2016), 저렴한 가격과 쉬운 데이터취득 등의 장점을 지닌 저가의 UAV의 보급으로 이를 활용한 연구(Boonpook *et al.*, 2018) 또한 이루어지고 있다. 항공 LiDAR를 이용한 다양한 변화탐지기법은 고해상도의 DSM을 생성할 수 있다는 이점이 있지만, 여전히 비싼 비용과 비교적 소규모 지역에 대한 조사만 가능한 단점을 수반한다.

도심지와 같이 변화탐지의 영역이 너무 광범위하고 대상지에 대해 비행이 자유롭지 못한 경우, 광범위한 지역을 단번에 처리할 수 있는 위성영상의 장점이 더욱 부각된다. 최근 KOMPSAT-3A호 (0.55m) 및 WorldView-3 (0.31m), WorldView-4 (0.31m) 등 서브미터의 초고해상도 공간 영상을 지원하는 위성들이 서비스되면서 도심지에 대한 DSM생성이 보다 정밀해지는 추세이다. 이런 추세에 따라 항공측량이나 UAV를 이용하여 진행하기 어려움이 있는 도심지에 대해서도 위성영상으로도 고해상도 DSM을 얻을 수 있다. 위성영상을 이용한 도시 변화탐지를 진행하고자 할 때 다양한 방법의 기

법들이 존재하고, 새로운 방법론들이 꾸준히 제시되고 있다. 대표적으로 변화탐지의 기법에는 단 영상을 이용한 변화탐지(Choi, 2015; Han *et al.*, 2017)와 2매 이상의 스테레오 영상을 이용하는 변화탐지 기법(Dini *et al.*, 2012; Tian *et al.*, 2014) 등이 존재한다. 그 외에 InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)기법을 이용하거나(Lei *et al.*, 2013) 위성영상과 항공 LiDAR데이터의 융합 등 복합적인 다양한 기법들이 존재한다. 단 영상을 이용하는 기법을 경우 두 시기의 촬영 시기 및 촬영 각도, 촬영시간, 사용된 위성, 태양의 고도 등 여러 조건이 정확히 일치할 수 없기 때문에 변화탐지에 어려움이 크다. 특히 도심지의 변화탐지에 있어 그림자나 큰 건물에 의해 가려지는 폐색지역의 경우 단영상에서는 대상 지역에 대한 정보를 전혀 알 수 없기 때문에 스테레오 영상을 이용해 서로 다른 각도에서 볼 수 있는 시각이 필요하다. 스테레오 영상을 이용한 방법은 단 영상보다 음영 지역에 대하여 다양한 시각에서 대상체를 촬영하여, 폐색지역이나 기복변위에 대해서 상대적으로 자유로운 경향이 있다. 또한 대상지의 변화에 대해 단영상 기반 변화탐지로는 알아내기 어려운 대상의 표고 변화량을 알 수 있기 때문에 다양한 방법으로 활용도가 높은 편이다(Kang *et al.*, 2003).

기존의 D-DSM (Differential DSM)을 이용한 변화탐지 기법(Jang *et al.*, 2019)은 두 시기간의 DSM에 완벽한 정합이 뒷받침되지 못한다면 D-DSM에 많은 노이즈가 생성되어 변화탐지의 결과에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 nDSM (Normalized DSM)을 적용하여 두 시기 DSM의 수직정확도 차이에 의한 변화탐지의 오류를 줄이고자 하였다. 그리고 나아가 nDSM에서 도심지 도로망 정보를 추출해 보다 높은 정확도의 변화탐지를 수행하고자 하였다. 이러한 변화탐지 기법의 가능성을 확인하기 위해 취득된 스테레오 영상을 전처리 과정으로서 센서모델링을 통해 두 시기간 수평좌표를 최대한 정합시켜, 데이터 획득 시기와 센서 차이에 의한 노이즈 효과를 최소화시켰으며, 두시기 nDSM을 차분하고 그에 수반하는 다양한 노이즈를 제거할 수 있는 다양한 방법을 적용하여 D-nDSM (Differential nDSM)생성을 통한 표고 변화 탐지의 정확도를 평가해 보았다.

2. 연구 방법

본 연구는 Fig. 1의 연구흐름도와 같이 두 시기 스테레오 위성영상에서 추출한 DSM을 활용하여 변화탐지를 진행할 때, 차분법을 사용하는 기법에 관해 정확도를 향상시킬 새로운 과정을 제안하였다. 본 연구기법은 기본적으로 D-DSM기

법에 기초하여 진행한다. DSM 차분에 앞서 두 시기 영상 간에 RPCs (Rational Polynomial Coefficients) 조정을 진행하여 차분법에 필요한 수평위치 정합을 수행한다. 전처리 후, 스테레오 영상 매칭을 통해 생성된 DSM 기반하여 총 4가지의 변화탐지 기법을 적용하고 서로 비교하였다. ① 간단한 차분법에 기반한 D-DSM 기법을 이용해 변화탐지를 진행하며 이때 두 시기 DSM의 수직 좌표의 오차를 임계치로 적용한다. ② DSM과 DTM (Digital Terrain Model)을 이용해 nDSM을 생성하며 두 시기 nDSM간의 단순 차분인 D-nDSM의 정확도를 평가한다. ③ 앞서 생성한 D-nDSM에 모폴로지 필터링을 통해 노이즈를 제거한 후 정확도를 평가한다. ④ 마지막으로 nDSM에서 도심지의 도로선형을 추출하는 기법을 적용해 도심지 D-nDSM에서 도로 선형과 노이즈를 제거한 후 정확도를 평가한다.

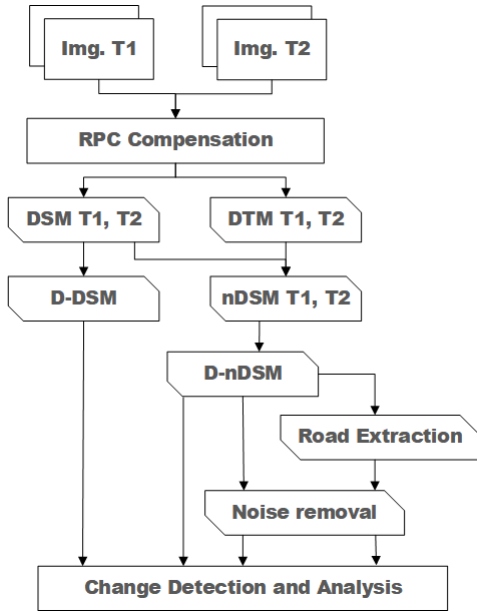


Fig. 1. Flow Chart of the study

2.1 D-DSM 및 nDSM 생성

D-DSM은 가장 기초적인 연산에 기반한 변화탐지 기법 중 하나이다. 두 시기의 DSM에서 미변화 지역의 픽셀 정보가 같다고 가정하고 두 시기의 차분을 통해 변화지역을 찾아내는 기법이다. 하지만 같은 지역에 대해 두 시기의 DSM이 정확히 같은 높이를 가지지 못하기 때문에 두 시기의 DSM의 차이로 Eq. (1)과 같이 계산되는 D-DSM에 정확도 평가를 진행할 때 수직 좌표에 대한 여유를 임계치로 지정해주어 두 시기 DSM의 수직 좌표 오차를 상쇄시켜 줄 수 있다.

$$D - DSM = DSM_{T2} - DSM_{T1} \quad (1)$$

nDSM은 Eq. (2)을 이용해 제작되며 Fig. 2와 같이 대상지역의 DSM에서 DTM을 제거하여 지형의 높낮이 없이 인공적인 구조물만을 남겨 그 높이를 나타낸다. nDSM은 DSM보다 건물과 교량과 같은 인공 구조물에 대한 정보를 두드러지게 나타내기 편리하다.

$$nDSM = DSM - DTM \quad (2)$$

If nDSM are less or equal 0, these area are ground. and if nDSM are larger than 0, these area are Building.

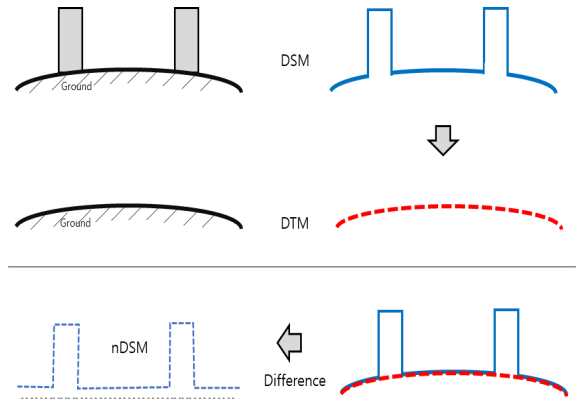


Fig. 2. nDSM overview

2.2 D-nDSM

D-nDSM은 D-DSM의 생성방식과 같은 원리로 Eq. (3)을 이용해 생성할 수 있다. nDSM_T2에서 nDSM_T1를 차분하는 과정을 거쳐 각 좌표의 표고 데이터를 가진 D-nDSM을 쉽게 생성한다. 이때 건물을 제외한 다른 지표는 0의 값을 가지게 된다고 가정하고 두 시기에 대해 새롭게 생성된 영역은 +의 값을 가지며 철거된 영역은 (-)의 값을 지니는 것으로 가정한다.

$$D - nDSM = nDSM_{T2} - nDSM_{T1} \quad (3)$$

2.3 Morphology Filtering

모폴로지 필터링은 형태학적 영상처리 과정으로 영역을 이용한 경계선, 골격, 블록 도형 등 영상 성분을 추출하는 도구로 사용된다. 모폴로지 필터링은 다음과 같은 과정을 통해 진행된다. 먼저 opening의 과정에서 지정한 크기에 부합하는 영역은 그대로 두고 지정 영역을 포함하지 못하는 객체의 영역은 완전히 제거한다. 이 과정을 통해 일정 픽셀 이하의 작은 노이즈

즈영역이 제거되며 이진 영상의 객체들이 각자의 영역이 된다.

다음으로 labeling의 과정을 통해 각 영역에 번호를 부여한다. 각 객체는 고유 번호를 가지게 되며 객체의 크기에 따라 일정한 pixel크기를 넘기지 못하는 영역을 제거하게 된다.

이 과정을 통해 이진영상의 노이즈를 제거할 수 있다. 또한 변화탐지 대상의 크기에 맞추어 적절한 파라미터를 선정하여 관심 지역의 검색 노이즈를 어느 정도 감소할 것인지 선택할 수 있다.

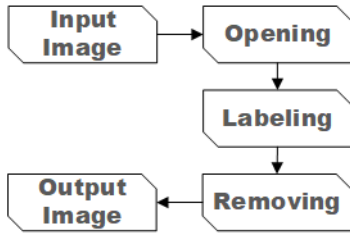


Fig. 3. Morphology filtering

D-nDSM의 정확도를 더욱 향상시키기 위해 도심지의 도로 망 정보를 추출해 사용하였다. 앞서 nDSM은 DTM을 이용해 인공구조물을 추출하는 기능을 하였다. 이와 반대로 도심지에 대해 건물을 제외한 나머지 영역은 대부분 도로망으로 사용되는 점에서 착안하여 아래 Fig. 4과 같은 절차에 따라 도심지의 도로망을 분리해 냈다.

먼저 이진화된 nDSM에서 팽창(image dilation)과정을 거쳐 노이즈로 인해 끊어진 도로선형을 최대한 가깝게 이어주며 연결(bridge) 과정을 통해 도로망을 서로 이어준다. 이어진 도로 선형을 세선화(thinning) 과정을 통해 숲이나 공원과 같은 도로망을 제외한 불필요한 부피를 제거하였으며 다시 재팽창(image dilation)을 통해 적절한 두께의 도로 선형의 모양을 만들어준다. 여기에 일정 부피 이하의 노이즈들을 제거(remove) 해주면 도심지에 대한 도로선형을 추출할 수 있게 된다.



Fig. 4. Road extraction

또한 추출된 도로망을 적용하더라도 위성영상 DSM의 특성상 건물 가장자리보다 더 크게 나타나는 점을 감안해 D-nDSM에 수축(contraction)을 적용해주었다. 작성된 이진

영상에 대해 일정 영역을 지정해 변화구역으로 탐지된 영역 주변을 침식시키는 구조로 진행되며 구조물의 가장자리에서 발생하는 미변화지역 오탐지영역을 최소화 할 수 있다.

2.4 변화 탐지 정확도 평가

정확도 평가를 위해서는 아래 Eq. (4)를 이용해 정확도 평가의 지표로 사용한다. OA (Overall Accuracy)는 전체 픽셀 중 탐지데이터가 변화지역과 미변화지역을 알맞게 찾아낸 픽셀의 비율로서 가장 대표적인 정확도 평가지표이며 전체 정확도를 간단히 나타낸다. PPV (Positive Prediction Value)지표는 찾아낸 변화지역이 실제 변화지역으로 나타난 구간에 대해 나타내주며. TPR (True Positive Rate)지표는 실제 변화 지역 중 사용자가 변화지역으로 찾아낸 재현율을 나타낸다. F1-Score는 OA평가와 같이 대표적인 성능 평가지수로서 PPV와 TPR의 조화평균으로 나타내어 정밀도와 재현율을 점수로 나타내준다.

$$\begin{aligned}
 OA &= \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP} \\
 PPV &= \frac{TP}{TP + FP} \\
 TPR &= \frac{TP}{TP + FN} \\
 F1 - Score &= \frac{2 \times PPV \times TPR}{PPV + TPR}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Where, OA mean Overall accuracy, PPV mean precision or positive predictive value, TPR represent sensitivity, recall, hit rate, or true positive rate. And F1-score represent the harmonic mean of precision and sensitivity.

3. 연구 결과 및 분석

3.1 실험 데이터

본 연구에서는 대전시 일대의 2001년과 2005년의 위성영상을 이용해 도심지에 대해 다양한 변화탐지 기법을 적용하였다. 아래 Fig. 5와 같이 along track으로 촬영된 IKONOS의 스테레오 영상과 QuickBird 스테레오 영상을 사용하였다. 두 시기 영상은 높은 공간해상도로 각각 34°와 61°의 수렴각(convergence angle)을 지니고 있다. 실험 대상지는 2001년 ~2005년 밀집된 고층 빌딩과 낮은 상가, 교량 등 다양한 구성의 인공 구조물 변화가 발생한 대전지역으로서 변화탐지의 결과에 대해 다양한 변수가 적절히 구성되어있다.

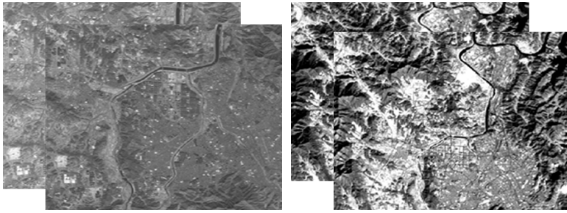
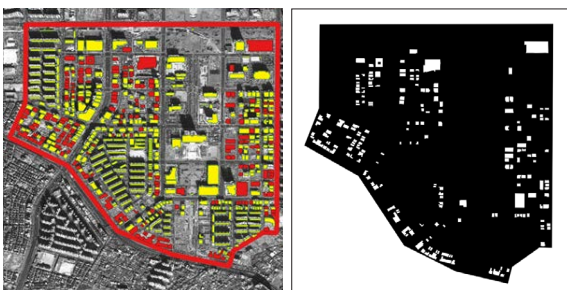


Fig. 5. 2001 IKONOS (Left), 2005 QuickBird (Right)

아래 Table 1은 실험에 사용한 스테레오 영상들의 정보를 보여준다.

정확도 평가를 위한 실험영역은 Fig. 6(a)와 같이 선정하였다. 대전시 서구 둔산동 일대의 약 1.5x1.5km의 면적을 정확도 평가영역으로 설정하였다. 실험 데이터의 촬영기간인 2001년과 2005년 사이에 개발이 진행되어 건물들이 많이 신축되었으며 다양한 밀집도의 건물들과 함께 공원과 같은 내대지 등 여러 조건의 데이터를 비교할 수 있다. 또한 아래 Fig. 6(b)와 같이 정부에서 제공하는 수치지형도를 이용해 본 연구의 ground data로 활용하였다. 대상 영역 501,590픽셀 중 총 34,923픽셀이 변화지역으로서 픽셀 기반으로 정확도 평가를 진행하였다.



(a) Yellow : not changed, Red : changed area (b) binary ground data

Fig. 6. Test area information

3.2 센서모델링과 DSM, DTM 생성

두 시기 영상의 제조사에서 제공하는 RPCs는 오차를 내포하고 있으므로 두 시기, 서로 다른 위성의 영상좌표 정합을 위해 4장의 영상에 대한 공역점을 기반으로 RPCs를 보정해 주었다. 아래 Fig. 7과 Table 2와 같이 2005년 QuickBird영상을 중심으로 7개의 미변화 GCPs (Ground Control Points)(삼각형)를 지정해 4장의 영상 사이의 지상좌표를 일치시켰으며 두 시기 사이에 중복이 되지않은 4곳의 TPs (Tie Points)(사각형)를 이용해 2장의 QuickBird 영상 사이의 지상좌표를 일치시켜 2시기 영상의 RPCs를 각각 독립적으로 보정하였다. 그리고 3개의 CPs (Check Points)(원)을 추가로 획득하여 정확도 검증에 활용하였다.

2001년 IKONOS 영상 사이의 조정 후 RMSE (Root Mean Square Error)는 0.08 pixels로 계산되었으며 2005년 QuickBird 영상 사이의 조정 후 RMSE는 0.19 pixels로 계산되었다. 두 시기 영상 4매간 refinement RMSE는 0.33pixel로 계산되었으며 검사점의 RMSE는 X로 0.65pixels, Y로 0.33 pixels로 나타났다. 이 과정을 통해 두 시기 스테레오 영상 사이의 수평, 수직 정합을 확보하였다.

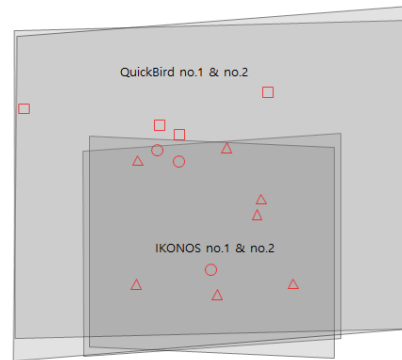


Fig. 7. Distribution of GCPs, CPs, TPs

Table 1. Specification of the tested data

	2001_IKONOS_1	2001_IKONOS_2	2005_QB_1	2005_QB_2
satellite	IKONOS		QuickBird	
Date(UTC)	2001		2005-01-15	
GSD(Pan)	1.00m		0.65m	
Area	Daejeon, Korea			
Azimuth	46.03°	151.80°	5.20°	199.50°
Incidence	23.50°	20.45°	31.30°	30.50°
convergence	34.77°		61.20°	
Bisector	76.26°		85.70°	
Roll angle	13.59°		4.25°	
Asymmetry	1.96°		0.40°	

Table 2. RMSE of GCPs and CPs

	GCPs RMSE	CPs RMSE
X (pixels)	0.23	0.65
Y (pixels)	0.05	0.33
Total (pixels)	0.33	-

두 시기 영상 간의 센서모델링을 통한 지상 좌표 조정 후 Fig. 8과 같이 DSM과 DTM을 생성하였다. DTM은 DSM에서 건물과 교량 등 급격한 표고 변화의 지역이 제거되어 만들어진 것을 확인할 수 있다. DSM과 DTM의 생성은 SimActive社의 Correlator3D를 사용해 생성하였으며 각 2m의 해상도로 생성하였다.

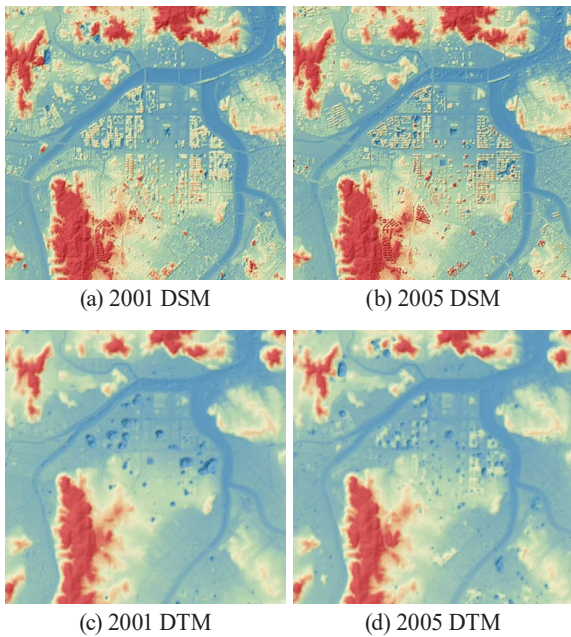


Fig. 8. Generated DSMs and DTMs

3.3 D-DSM의 수직 임계치 설정

D-DSM기법은 두 시기 DSM의 단순한 표고 차이를 이용하는 기법이기에 때문에 DSM사이의 정확한 수직좌표 정합이 필요하다. 정확한 센서모델링을 통해 지상좌표를 정합시켜도 일부 영역에 대해 일정한 수준의 수직좌표 오차가 발생한다. 따라서 아래 Table 3과 같이 실험 대상지 전 영역에 대하여 수

직 좌표의 오차를 찾아내었다. 대전시 일대의 넓은 공터 등 수직좌표의 정합이 잘 이루어질 수 있는 구역을 10개 임의로 지정하여 두시기 DSM사이의 수직 정합 오차를 산정하였다. 대체로 높은 정확도를 보였으며 전체 평균은 거의 0에 가까운 0.03m로 산정되었으며 전 구역에 대한 RMSE는 0.49m로 산정되었다. 따라서 이를 바탕으로 D-DSM의 수직 좌표 임계치로 0.5m를 사용하였다.

Table 3. Elevation difference between 2001 and 2005 DSMs

	2005 - 2001
Average	0.03m
RMSE	0.49m

3.4 D-DSM 생성 및 건물 변화탐지

앞서 생성된 두 DSM을 차분하여 D-DSM을 생성하였다. D-DSM은 수직 좌표행렬의 픽셀 데이터만으로 계산되는 기법이기에 때문에 많은 노이즈가 발생할 수밖에 없다. 앞서 두 시기 DSM의 수직 오차를 기반으로 수직 정합 임계치를 0.5m로 설정하였으며 아래 Table 4와 같은 결과가 산출되었다. 전체 정확도는 30.7%로 많은 노이즈로 인해 낮은 정확도를 보였으며 PPV지표는 약 8.7%로 나타났으며 TPR지표는 약 94.6%로 계산되었다.

Table 4. Overall change detection accuracy of D-DSM (0.5m)

	Ground Truth			O.A
	Change	None	total	
D-DSM 0.5m	Change	33052	345565	30.7%
	None	1871	121102	
	total	34923	466667	

추가적으로 수직 정확도에 여유를 주어 1m와 1.5m에 대해서도 정확도 평가를 진행해보았다. 수직 임계치에 대해 여러 수치를 사용하였을 때 임계치를 높게 사용할수록 PPV는 높아지고 TPR은 낮아지는 경향을 보였다(Table 5 and Fig. 9). 임계치를 높게 가져감에 따라 미변화지역에 대한 노이즈는 적어지게 되어 정밀도는 점차 증가하게 되며, 정확도는 향상될 수 있지만 임계치 이하 높이의 건물은 변화탐지 데이터에서 제외되어 탐지해내지 못할 가능성이 높아진다.

Table 5. D-DSM OA, PPV and TPR rates

	D-DSM (0.5m)	D-DSM (1m)	D-DSM (1.5m)
OA	30.7%	46.6%	54.4%
PPV	8.7%	10.7%	12.1%
TPR	94.6%	90.8%	88.4%

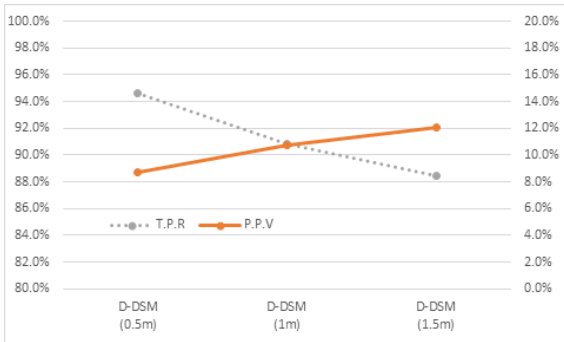
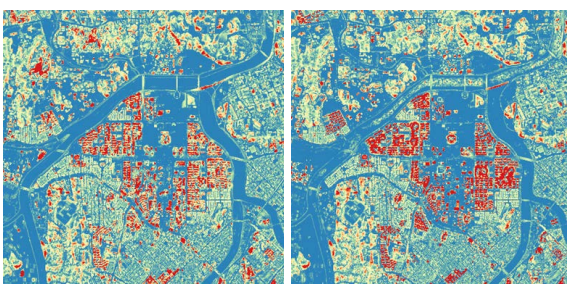


Fig. 9. D-DSM PPV and TPR rates

3.5 nDSM생성 및 건물 변화탐지

DSM과 DTM을 이용해 nDSM을 생성하였다. 아래 Fig. 10과 같이 두 시기에 대해 nDSM을 생성하였으며 청색은 지표면 적색에 가까울수록 높은 구조물임을 나타낸다. 중심부의 도심 지역을 중심으로 붉은 색의 건물들이 많이 추출 되었으며 가장자리의 산이나 언덕은 옅은 청색이나 황색을 띤다. 두 시기 nDSM에 대하여 이진화를 진행하여 변화탐지를 진행한다. nDSM이 0이하인 구간은 0으로 나머지 구간은 1로 표시하였다.



(a) 2001 (b) 2005

Fig. 10. 2001 and 2005 nDSM

이진화된 nDSM을 이용해 D-nDSM을 생성하였다. 아래 Table 6과 같이 변화를 탐지하였으며 전체 정확도는 59%로 추출되었다. 전체 501,590픽셀 중 변화를 변화로 탐지한 구간은 32,140픽셀로 그라운드 데이터 34,923픽셀에 매우 근접한 92%의 재현율을 보였다. 다만 실제 변화 하지 않은 지역을 변

화로 탐지한 영역이 20,751픽셀로서 오탐지 비율이 86%이상으로 산정되었다. 이는 DSM에 따라 정확하지 못한 건물들의 모서리 영역에 의한 것으로 사료되며 다음 과정인 모폴로지 필터링 과정을 거쳐 이를 제거해 보았다.

Table 6. Overall change detection accuracy of D-nDSM

	Ground Truth			O.A
	Change	None	total	
D-nDSM	Change	32140	202751	59.0%
	None	2783	263916	
	total	34923	466667	

3.6 모폴로지 필터링 적용 및 건물 변화탐지

앞서 생성한 D-nDSM을 기반으로 모폴로지 필터링을 진행하였다. 탐지된 데이터의 가로, 세로의 길이가 건물의 사이즈에 비교해 일정 길이를 넘지 못하는 영역은 제거하였다. 또한 면적을 기반으로 일정 면적을 넘지 못한 탐지데이터들도 제거하였다. 본 연구 대상지의 DSM해상도가 가로, 세로 2m/pixel이며, 픽셀당 4m²의 넓이를 가지기 때문에 길이 10픽셀을 넘기지 못하고 총면적 200픽셀을 넘기지 못하는 데이터는 제거하였다. 아래 Table 7과 같이 전체 정확도는 77.9%로 산정되어 필터링을 하지 않은 데이터에 비해 18.9%p향상된 전체 정확도를 보였다. 특히 미변화지역에 대해 변화로 탐지한 FP (False Positive)영역이 약 20만픽셀에서 약10만 픽셀로 반으로 줄어든 효과를 얻을 수 있었다. 하지만 실제 변화지역에 대해 미변화지역으로 오탐지 FN (False Negative)한 영역이 2,783픽셀에서 4,587픽셀로 약 60%증가하였다. 이는 앞서 모폴로지 필터링 과정에서 기준으로 설정한 일정 면적을 넘지 못하는 데이터가 제거되는 과정에서 다른 영역에 비해 작은 그라운드 데이터 지역이 함께 제거됨으로 발생한 부작용이다. 이는 전체 정확도 향상을 양보하고 조금 더 느슨한 기준을 적용한다면 목적에 맞는 데이터 취득이 가능할 것이다.

Table 7. Overall change detection accuracy of noise filtered D-nDSM

	Ground Truth			O.A
	Change	None	total	
D-nDSM (filtered)	Change	30336	106045	77.9%
	None	4587	360622	
	total	34923	466667	

3.7 도로선형 추출 및 적용 후의 건물 변화탐지

모폴로지 필터링을 적용한 D-nDSM에서 미변화지역에 대한 오타지 영역을 줄이기 위해 도로망을 추출하였다. 아래 Fig. 11과 같은 과정을 거쳐 도로망을 추출한다. 이진화된 nDSM의 정보를 이용하여 팽창과 연결 과정을 적용해 끊어진 도로망을 최대한 이어주었으며 이를 세션화 하여 도로망의 정보를 추출하였다. 이러한 단계를 거쳐 세션화 단계에서 도로 두께만큼 재 팽창시킬 때 nDSM의 해상도가 1픽셀당 2m인 점을 감안하여 7 pixels(약 15m의 폭, 양복 2차선+인도)의 임계치를 설정하여 도로망을 추출하였다.

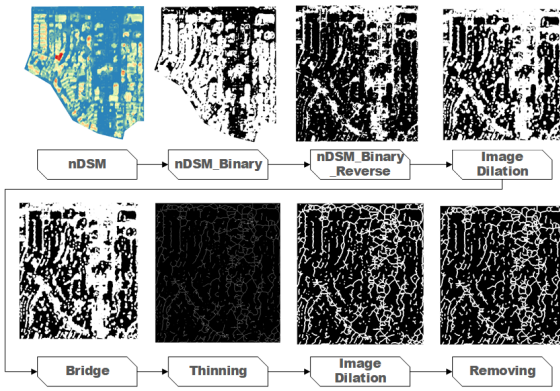


Fig. 11. Road extraction process

아래 Fig. 12는 추출된 도로망을 정사영상 위에 나타낸 그림이다. 건물 사이사이의 도로 선형을 따라 도로망 정보가 붉은색으로 추출되었다. 모든 도로에 7픽셀의 두께가 일괄적으로 적용되어 다양한 지역의 모든 차선 수를 정확하게 담아내는 못하였다. 다만 도로망에 따라 건물의 가장자리 부위들이 D-nDSM에서 오타지로 표현되는 지역을 제거 가능하였다. 앞서 도로망 추출 과정에서 각종 임계치들을 다르게 설정하여 조금 더 두꺼운 도로망 추출도 가능하지만 이에 따라 골목길 주변의 건물들의 데이터가 지나치게 상세될 우려가 있었다.

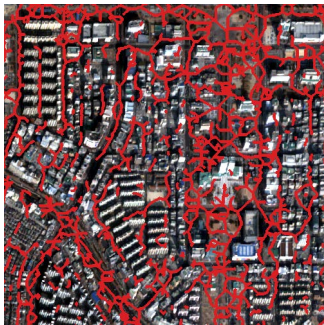


Fig. 12. Extracted road network

아래 Table 8은 도로망 추출 후 D-nDSM에 형태학적 필터링을 적용한 결과의 정확도 평가 자료이다. 모폴로지 필터링만 적용한 데이터에 비해 14,656픽셀의 FP영역이 줄어들어 약 16%의 오타지 영역 제거가 가능했다. 다만 실 변화지역에 대해 미변화로 탐지된 영역이 700픽셀가량 늘어났지만 FP영역에 비해 매우 미비한 수준에 그쳤다. 따라서 전체 정확도는 2.6%p향상된 80.5%의 전체 정확도를 얻을 수 있었다.

Table 8. Overall change detection accuracy after road extraction D-nDSM

	Ground Truth			O.A	
	Change	None	total		
D-nDSM (road)	Change	28625	91389	120014	80.5%
	None	6298	375278	381576	
	total	34923	466667	501590	

도로추출 후 아래 Fig. 14(d)에서와 같이 건물의 형상이 실제 수치지형도 보다 두껍게 출력되는 모습을 보였다. 따라서 출력된 데이터에 수축을 적용하여 건물의 크기와 유사하게 출력하였다. 아래 Fig. 13에서와 같이 수축에 높은 변수를 사용하면 전체정확도는 상승하는 모습을 보이지만 재현율(TPR)이 현저히 하락하는 모습을 보여준다. 출력된 D-nDSM의 객체의 가장자리를 파라미터에 따라 침식시키는 기법이기 때문에 정확하게 건물의 중심에서 모서리를 따라 수축하지는 못하여 강한 수축을 적용할 수 없었다.

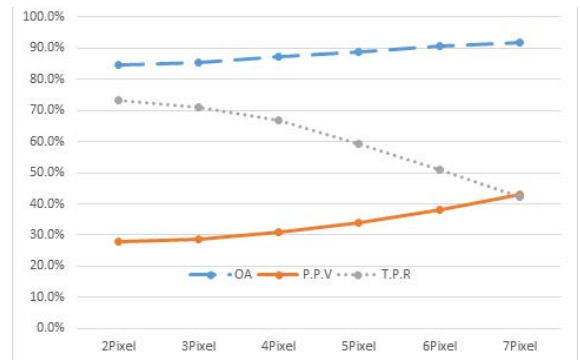


Fig. 13. Accuracy according to contraction pixel

따라서 적용 가능한 수축 파라미터 중 상황에 따라 적절한 변수의 선택이 필요하다. 본 연구에서는 수축된 데이터의 재현율이 급격히 하락하지 않은 반지름 4픽셀을 파라미터로 사용하였다. Fig. 14(d)를 반지름 4픽셀의 원형 영역으로 침식시키고 반환된 구역 Fig. 14(e)에 대해 변화를 탐지하였다. 아래

Table 9에서와 같이 전체 정확도는 87.2%로 상승하는 효과를 볼 수 있었으며, 미변화 구역에 대한 오탐지 픽셀수가 현저히 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 변화구역에 대한 탐지율이 TP는 약 5000픽셀 감소하여 재현율은 상승하였지만 정밀도는 하락하는 추세를 보여주었다.

Table 9. Overall change detection accuracy of Road D-nDSM contraction

	Ground Truth			O.A	
	Change	None	total		
D-nDSM (contraction)	Change	23319	52441	75760	87.2%
	None	11604	414226	425830	
	total	34923	466667	501590	

3.8 결과 분석

본 연구의 검증방식은 픽셀을 기반한 평가로서 공간 해상도가 낮은 위성영상의 특성 탓에 변화지역 주변부의 미변화지역에 대한 오탐지 사례가 많이 발생한다. 이러한 영역은 Fig. 14(c)와 Fig. 14(d)에서 볼 수 있듯 실제 변화지역 주변부가 두 겹게 뭉쳐서 탐지되었다. 따라서 수축을 적용하여 필터링을 진행하여 오탐지 영역을 줄였으며, 찾고자 하는 변화지역에 대한 정보를 어느 정도 알고 있는 경우라면 모폴로지 필터링과 도로망정보의 추출 강도를 강하게 설정하여 높은 정밀도를 가진 변화탐지 결과물을 얻을 수 있을 것이며, 반대로 정확한 재현율을 얻길 원한다면 낮은 필터링 계수를 적용하여 결과물을 출력해야 할 것이다.

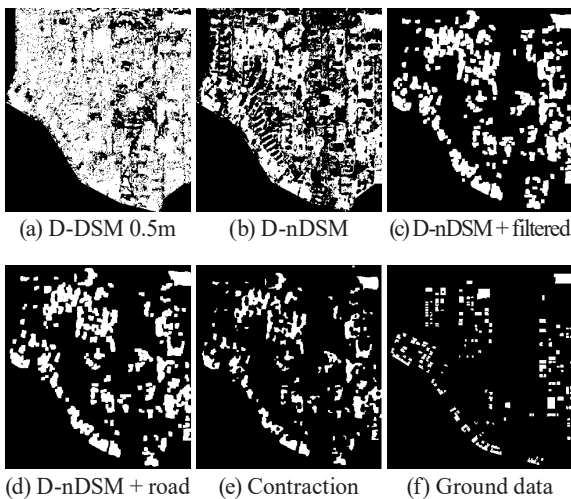


Fig. 14. Results and ground data

아래 Fig. 15에서 전체 변화탐지 기법들의 OA와 F1-score를 비교하였다. D-DSM 기법은 30%의 전체 정확도를 보여주었으며 수직좌표의 임계치를 높여줄수록 정확도가 크게 향상되는 모습을 보였다. D-nDSM기법을 사용함으로써 D-DSM 기법보다 더욱 높은 정확도를 얻을 수 있었으며 모폴로지 필터링의 과정을 통해 눈에 띄는 정확도의 향상을 기대할 수 있었다. D-nDSM기법에 도로망을 적용한 결과 D-DSM(0.5m) 기법과 비교하여 50%p에 가까운 전체 정확도 향상을 보여주었다. 또한 수축을 적용한 결과 전체 정확도는 87.2%까지 상승하였으며, 더불어 F1-score 또한 전체 정확도와 함께 0.421까지 상승하는 것을 확인할 수 있다.

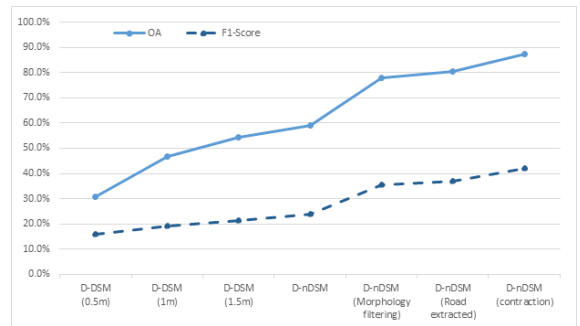


Fig. 15. Overall accuracy and F1-score of each method

4. 결론

본 연구에서는 고해상도 스테레오 위성영상으로 생성된 DSM을 이용하여 다양한 기법을 적용해 도심지에 대한 변화탐지를 진행하였다. 두 시기의 위성영상들은 서로 간에 혹은 단독으로서 계산된 지상좌표가 상이하다. 따라서 GCPs와 tie points에 기반한 센서모델링을 통해 두 시기의 영상을 정합시켰다. DSM을 생성하고 두 시기 표고값의 차이를 이용해 변화를 알아보기 위하여 DSM 차분을 통해 D-DSM을 생성하였다.

D-DSM기법의 DSM차분의 수직정확도의 신뢰구간을 얻기 위해 DSM 여러지역에 대해 표고치의 차이를 수집하여 비교하였다. D-DSM의 신뢰구간은 ±0.5m로 추출되었으며, 이를 그대로 임계값으로 적용하였을 때 건물변화탐지 정확도는 30.7%로 추출되었다. D-DSM의 수직정확도 임계치를 보다 여유롭게 적용하여 ±1m 임계치 적용 시 46.6%, ±1.5m 적용 시 54.4%로 정확도 향상을 얻을 수 있지만, 수직 임계치 내에서 변화한 건물이나 지형에 대해 변화를 탐지하지 못하는 경우가 발생하였다. DSM의 수직좌표 차이에 대해 오차가 발생하는 D-DSM기법의 오차를 제거할 목적으로 nDSM을 사용

하였을 때는 D-DSM기법에 비해 더 나은 59%의 변화탐지 정확도를 얻을 수 있었다. D-nDSM은 D-DSM에 비해 지형이 고려되기 때문에 인공 구조물 외 지역의 미변화지역 오탐지 영역이 현저히 줄어들음을 확인할 수 있었다.

다음으로 단순 차분기법을 이용하기에 DSM의 노이즈가 강하게 나타나 모폴로지 필터링을 통해 일정영역에 대해 노이즈를 제거한 결과 필터링 전과 비교하여 18.9%p 높은 77.9%의 탐지 정확도를 얻을 수 있었다. 도심지에 있어 인공구조물 주변부가 대부분 도로인 점을 이용하여 nDSM에서 도로망을 추출하여 필터링에 사용한 결과 약 16%의 오탐지 영역제거가 가능했으며 도로망을 적용하지 않은 기법보다 2.6%p 향상된 80.5%의 탐지 정확도를 얻을 수 있었다. 또한 미변화 지역에 대한 오탐지 역역을 제거하기 위해 수축을 적용하였으며 최종적으로 87.2%의 전체정확도를 얻을 수 있었다. 이로써 스테레오 위성영상의 DSM과 DTM에 다양한 기법을 적용해 도심지 변화탐지의 정확도를 30.7%에서 87.2%까지 상승 시키는 여러 방안을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 위성정보 활용센터 설립 운영 사업 (과제명: 국토위성정보 수집 및 활용기술개발)의 연구비지원 (과제번호: 20SIUE-B148326-03)에 의해 수행되었습니다.

References

- Boonpook, W., Tan, Y., Liu, H., Zhao, B., and He, L. (2018), UAV-based 3d urban environment monitoring, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. 4, No. 3, pp. 37-43.
- Choi, J.W. (2015), Unsupervised change detection for very high-spatial resolution satellite imagery by using object-based IR-MAD algorithm, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 33, No. 4, pp. 297-304.
- Choi, K.A. and Lee, I.P. (2008), Automatic change detection of urban areas using LiDAR data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 26, No. 4, pp. 341-350. (in Korean with English abstract)
- Dini, G.R., Jacobsen, K., Rottensteiner, F., Rajhi, M., and Heipke, C. (2012), 3D Building change detection using high resolution stereo images and a gis database, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 25 Aug-01 Sep, Melbourne, Australia, Vol. 19, No. 7.
- Du, S., Zhang, Y., Qin, R., Yang, Z., Zou, Z., Tang, Y., and Fan, C. (2016), Building change detection using old aerial images and new LiDAR data, *Remote Sensing*, Vol. 8, No. 1030, pp. 1-20.
- Han, Y.K., Kim, T.H., Han, S.H., and Song, J.H. (2017). Change detection of urban development over large area using KOMPSAT optical imagery. *Korean Journal Of Remote Sensing*, Vol. 33 No. 6-3, pp. 1223-1232. (in Korean with English abstract)
- Jang, Y.J., Oh, K.Y., Lee, K.J., and Oh, J.H. (2019). A study on urban change detection using D-DSM from stereo satellite data, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 37, No. 5, pp. 389-395.
- Kang, G.S., Shin, S.C., and Cho, K.J. (2003), Change detection using the IKONOS satellite images, *Journal of the Korean society for Geospatial Information System*, Vol. 11, No. 2, pp. 61-66. (in Korean with English abstract)
- Lei, L., Perissin, D., and Qin, Y. (2013), Change detection with spaceborne InSAR technique in Hong Kong, *2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 54-26 July, Melbourne, VIC, Australia, pp. 338-341.
- Tian, J., Cui, S., and Reinartz, P. (2014), Building change detection based on satellite stereo imagery and digital surface models, *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, Vol. 52, No. 1, pp. 406-417.
- Zhang, J., Zhang, Z. X., Fan, H., Fang, Z., and Liu, Z. (2000), Change detection in urban area based on stereo image pairs From different duration. *International Archives Of Photogrammetry And Remote Sensing*, 33(B4/3; PART 4), pp. 1203-1208.