

고해상도 항공사진의 영상정합기법 활용 변화탐지 연구

마 성 진^{1*} · 이 영 길^{1**} · 이 재 원² · 최 윤 수³

^{1*} 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정

^{1**} 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정

² 동아대학교 교수

³ 서울시립대학교 교수

Change Detection Using Image Matching Techniques for High-Resolution Aerial Photographs

Sung-jin Ma^{1*} · Young-gil Lee^{1**} · Jae-one Lee² · Yoon-soo Choi³

^{1*} Doctor's Course, Department of Spatial Information, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

^{1**} Doctor's Course, Department of Spatial Information, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

² Professor, Dong-A University, Busan 49315, Korea

³ Professor, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

[요 약]

항공사진을 기초데이터로 판독시스템을 활용하여 불법건축물에 대한 판독을 하는데 있어 인력기반의 판독을 진행하면서 많은 시간과 비용이 발생하고 있다. 이는 모든 항공사진에 대해 판독을 진행해야 하는 판독방법에 따른 한계라 보여진다. 판독방법에서 많은 시간이 투입되는 건축물 판독부분에서 고해상도 항공사진을 이용한 영상정합기법(Image Matching)으로 제작된 DSM(Digital Surface Model)을 비교하여 불법건축물을 변화탐지하는 방법에 대한 연구이다. 시계열적인 비교를 위해 15년도 항공사진과 16년도 항공사진을 사용하여 제작된 DSM을 이용하여 수직좌표값에 대한 비교를 통해 분석하였다. 분석결과로는 신축과 개축에 대해서 높이값의 변동으로 추출된 결과의 정확도는 74%정도를 확보하였다. 이러한 결과로서는 불법건축물 판독에 보조적인 수준으로 활용이 가능할 것으로 판단되며 향후 분석 정확도를 높이기 위해서는 고해상도 항공사진과 분석기법에 대한 연구가 필요해 보인다.

[Abstract]

The current method of manually identifying illegal buildings using aerial photos is time-consuming and expensive. However, a recent study addressed this issue by employing digital surface models (DSMs) generated through image-matching techniques using aerial photos. The study focused on comparing DSMs created from aerial photos taken in 2015 and 2016 to extract illegal buildings. The study achieved an accuracy of approximately 74% in detecting new constructions and reconstructions by analyzing height values in a time-series manner.

색인어 : 항공사진, DSM, 변화탐지, 영상정합, AT

Keyword : Aerial Photograph, DSM, Change Detection, Image Matching, AT

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.7.1591>



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.

Received 20 June 2023; **Revised** 06 July 2023

Accepted 10 July 2023

‡ **These authors contributed equally to this work**

***Corresponding Author; Young-gil Lee**

Tel: + [REDACTED]

E-mail: yglee@samah.com

I. 서론

최근 고해상도 센서를 장착한 인공위성으로부터 얻어진 영상을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그중에서도 변화탐지는 원격 탐사 분야에 위성영상, 항공영상 등 다양한 데이터를 활용한 가장 실용적인 응용 분야 중 하나이다. 변화탐지란 같은 지역에 대해 다른 시기에 취득한 다시기 영상을 통해 물체의 상태나 현상의 차이를 관찰하는 것을 말하는데 이는 토지 감독, 삼림 벌채 및 자연재해 분석 등 다양한 분야에서 활용되고 있다[1].

고해상도 영상에 대해 픽셀기반 분류방법과 객체기반 분류방법을 적용하여 변화탐지한 결과 인공구조물의 경우는 픽셀기반 분류법과 객체기반 분류법에 큰 차이가 없었으나, 나무와 같은 자연지물에서는 객체기반 분류법을 적용한 결과가 변화탐지에 효과적인 것을 알 수 있다[2].

변화탐지는 크게 화소 기반 변화탐지(PBCD: Pixel-Based Change Detection)와 객체기반 변화탐지(OBCD: Object-Based Change Detection)로 나뉘는데 화소 기반 변화탐지 기법은 영상의 가장 기본 단위인 화소를 이용해 변화탐지를 도출하는 방법으로 중·저해상도 영상에서 탁월한 효과를 보인다. 하지만 화소 기반 변화탐지 기법을 고해상도 영상에 적용할 경우 변화지역에 대한 분광 오차와 등록오차(registration noise)로 인한 과탐지가 발생하는데 이로 인해 고해상도 영상에서는 객체기반 변화탐지가 요구된다[3].

전통적으로 항공측량을 이용한 변화탐지가 수행되고 있었으며 최근 들어 LiDAR (Light Detection and Ranging)기술의 개발과 저렴한 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)의 보급 등으로 다양한 기법의 시도가 이루어지고 있다. 국외에서는 이미 DSM (Digital Surface Model)과 LiDAR (Light Detection and Ranging) 등 여러 수단을 이용하여 변화탐지를 진행하려는 연구가 진행되고 있다[4]. 선명한 화질과 높은 위치정확도를 얻을 수 있는 소규모 항공영상을 이용해 변화가 빈번한 도심지역의 건축물에 대한 신축 또는 철거, 불법 건축물 단속 등 다양한 분야에 변화탐지를 접목 시키며, 항공 사진 영상 매칭을 통한 건물 변화 탐지를 수행하고[5], 항공 LiDAR 영상을 이용한 두 시기 DSM으로 변화를 탐지하는 연구도 진행 되었다[4]. LiDAR 영상과 항공영상을 동시에 사용하여 DSM을 제작하여 도심의 변화를 탐지하기도 하였고[6], 저렴한 가격과 쉬운 데이터취득 등의 장점을 지닌 저가의 UAV의 보급으로 이를 활용한 연구[7] 또한 이루어지고 있다.

기존의 DSM을 이용한 변화탐지 기법은 DSM의 정확한 수직좌표 정확도가 확보되어야 변화탐지 결과의 오류가 줄어들 것으로 판단하였다. 고해상도의 항공영상을 사용하여 정확한 수직정확도로 제작된 DSM의 시계열적인 비교를 위해 단계별 Noise제거 알고리즘을 통해 변화탐지 정확도를 판단하고 기존 관측 작업 방법에 적용가능 여부를 판단해 보았다.

II. 연구 방법

연구방법으로는 15년 항공사진을 이용하여 제작한 DSM과 16년도 항공사진을 이용하여 제작한 DSM을 수직좌표에 대해 비교한 데이터를 여러 알고리즘을 적용하여 높이값의 변화를 추적하여 건축물의 증·개축에 대한 변화를 탐지하고자 한다.

2-1 항공사진 영상정합(Image Matching)

수치사진측량에서 가장 기본적인 과정은 입체사진의 중복영역에서 공액점(epipolar point)을 찾는 것이며 아날로그나 해석식 사진측량에서는 이러한 점을 수작업 또는 해석도화기를 통해 수행하였다. 그러나 수치사진측량기술이 발달하면서 이러한 공정은 점차 자동화되고 있다.

영상정합은 입체영상 중 한쪽 영상의 특정한 위치에 해당하는 실제의 객체가 다른 영상의 어느 위치에 촬영되어 있는가를 발견하는 작업으로 양쪽 이미지에서 상응하는 위치를 발견하기 위해 유사성 측정을 이용한다. 이는 사진측량이나 로봇시각(robot vision) 등에서 3차원 정보를 추출하기 위해 필요한 주요 기술이며 수치사진측량에서는 입체영상에서 수치표고모형(DEM, Digital Elevation Model)을 생성하거나 항공삼각측량에서 점이사를 위해 적용된다.

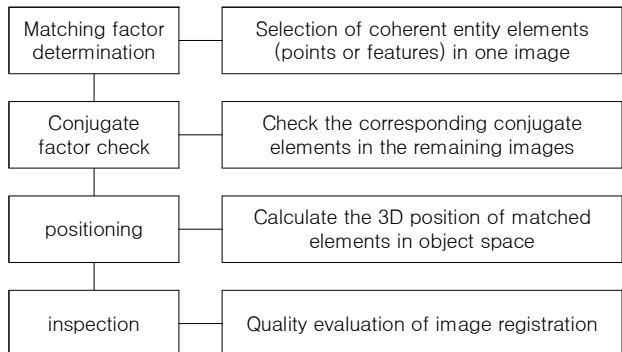


그림 1. 영상정합 프로세스

Fig. 1. Image matching process

2-2 영상정합 방법

1) 영역기준 정합(Area-based Matching)

영역기준 정합은 오른쪽 영상의 일정한 구역을 기준영역으로 설정한 후 이에 해당하는 왼쪽 영상의 동일 구역을 일정한 범위 내에서 이동시키면서 오른쪽 영상과 대응하는 위치를 찾아내는 원리이다[8].

2) 형상기준 정합(Feature Matching)

형상기준 정합은 영상들 사이의 대응점을 찾기 위한 자료로 점, 선 또는 모서리(edge)와 같은 특징을 이용하여 대응하

는 특징을 찾아내는 기법이다. 특정정보를 추출하는 연산자는 컴퓨터 시각분야에서 많은 연구가 진행되었으며 이러한 연산자를 응용하여 형상기준정합에 활용하고 있다. 이 정합을 수행하기 위해서는 두 영상의 모든 특징을 추출하는 것이 선행되어야 한다. 이러한 특징정보는 영상을 형태로 분석하여 대응하는 특징을 찾기 위한 검색영역을 감소시키기 위하여 에피폴라 정렬을 수행하여야 한다[8].

3) 관계형 정합(Relation Matching)

영역기준 정합과 형상기준 정합만 이용하여 영상 전 영역에 대한 정합점을 모두 발견하기에는 무리가 있다. 관계형 정합은 영상에 나타나는 특징을 선이나 영역 등의 부호적 표현을 이용하여 묘사하고 이러한 객체 외에 다른 객체들과의 관계까지도 포함하여 정합을 수행하는 기법이다.

point, blob, line, region과 같은 구성 요소들은 길이, 면적, 형상, 평균 밝기값 등의 속성을 이용하여 표현된다. 이러한 구성 요소들은 공간적 관계에 의해 그래프로 구성되며 두 영상에 구성되는 그래프의 구성 요소들의 속성들을 이용하여 두 영상을 정합한다. 입체영상은 시야각이 다르기 때문에 구성 요소들의 차이가 발생할 수 있으며 정합과정에 이러한 차이를 보정할 수 있는 방법이 필요하다. 관계형 정합은 연구가 진행 중인 단계이므로 향후 지속적인 연구의 수행이 이루어져야 실제 상황에 적용이 가능할 것이다[8].

2-3 변화탐지 비교방법

시계열적인 15년 항공사진과 16년 항공사진의 비교를 위해 각 해당 년도별 항공삼각측량[9] 수행 간 동일한 지상기준점을 사용하여 위치정확도의 일관성을 확보하였다. 영상정합기법 소프트웨어는 VEXCEL사의 UltraMap소프트웨어로 DSM과 True-Orthophoto를 생성하였다. 각 년도별 생성된 DSM의 비교를 위해 16년 DSM에서 15년 DSM을 중첩하여 동일한 높이값에 대한 데이터를 제거하는 방법으로 각 DSM에서의 높이 차이를 추출 하였다. 추출된 DSM에서는 수목과 도로시설물 등 Noise가 존재하므로 이를 제거하기 위해 일정 면적에 대해 segmentation하여 분류작업을 실시하였다. 추출된 변화지역에 대한 확인 작업을 위해 정사영상을 제작해 추출된 변화지역과 중첩하여 확인 작업을 실시하였다. 전체적인 연구 방법은 그림 2와 같다.

1) 년도별 DSM 제작

도심지역을 대상으로 시계열적인 비교를 위해 15년과 16년 항공사진을 사용하여 영상정합방법으로 DSM을 제작하였다[10]. 제작소프트웨어는 VEXCEL사의 UltraMap 소프트웨어를 활용하여 제작하였다. DSM의 해상도는 항공사진의 원본해상도인 10cm를 유지하였고, 동일한 지상기준점을 사용하여 정확도를 확보하였다. 제작된 DSM은 그림 3과 같다.

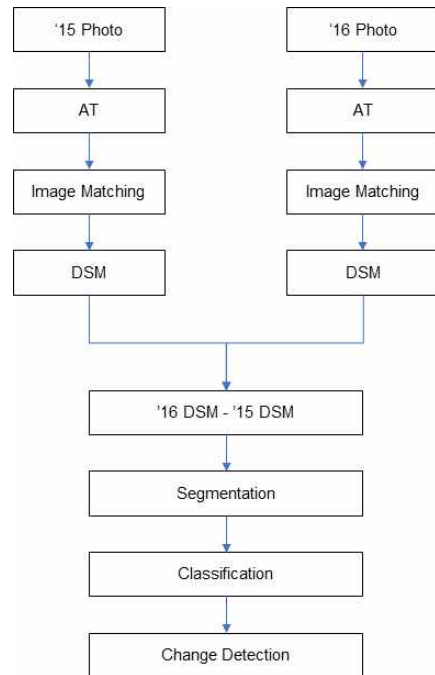


그림 2. 연구방법
Fig. 2. Research method

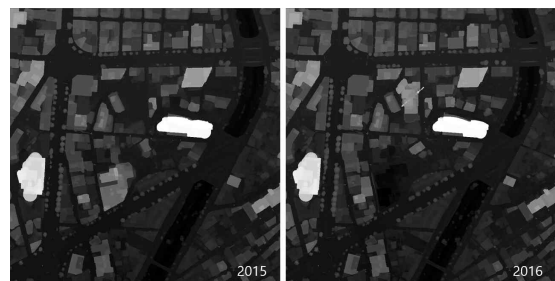


그림 3. 년도별 DSM
Fig. 3. Production DSM by year

표 1. 영상정합 프로세스 H/W, S/W
Table 1. Image matching process H/W, S/W

구분	Specifications
CPU	Intel(R) Xeon(R) Gold 6140 @2.30GHz
RAM	256G
OS	Window 10 pro 64bit
S/W	UltraMap (VEXCEL)
Time	5 hour 10 min

2) DSM 처리 방법

DSM의 비교를 위해 16년도 DSM에서 15년도 DSM을 뺀 새로운 Layer를 생성하였다. 새로 생성된 Layer는 ArcGIS 소프트웨어의 Map algebra연산을 이용하여 제작하였다.

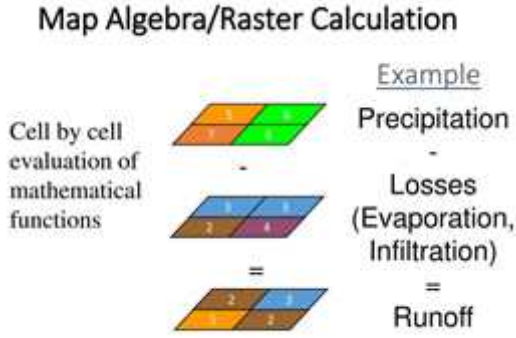


그림 4. Map algebra 연산
Fig. 4. Map algebra operation

생성된 Layer는 16년 DSM에서 15년 DSM을 빼는 방식으로 생성된 레이어로 수직좌표차에 대한 차이를 제외하는 방식으로 새로운 레이어를 생성하였다. 이는 년도별 수직좌표차가 발생하는 지역에 대해 파악할 수 있는 1차원적인 수준의 데이터이다. 건축물의 경우 수직좌표차가 3m이상 발생되어 1차원적인 차분법을 이용해도 변화탐지가 가능하였다. 하지만 수목과 차량과 같은 작은 면적에 대해서는 많은 Noise가 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 결과물은 그림 5와 같다.

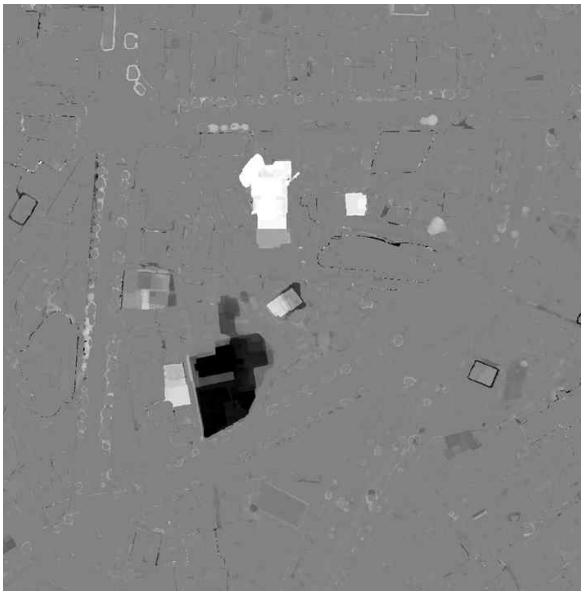


그림 5. 높이값의 차이 발생지역
Fig. 5. Height difference occurrence area

1차원적인 차분법을 통해 생성된 레이어는 생성된 지역 + 값, 제거된 지역 - 값, 미변화지역은 0값을 가진다.

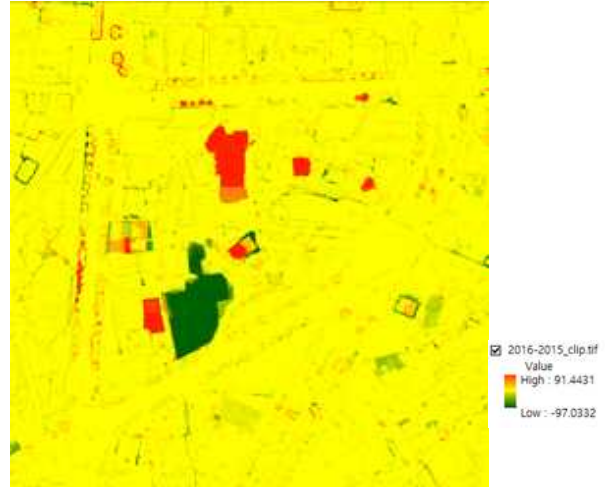


그림 6. 생성된 layer
Fig. 6. Created layer

그림 6과 같은 새로운 레이어에 대해 높이값에 따라 분류를 진행하였다. 이는 차이가 발생하는 지역에 대해 직관적인 비교결과를 도출하기 위해 필요하다. 새로 생성된 레이어의 경우 많은 잡음이 포함되어 있는데 이는 고해상도의 항공사진을 사용하여 DSM을 제작하였기 때문에 세밀화에 따른 잡음이라 볼 수 있겠다. 이 부분은 면적에 따른 분류작업을 통해 정리하였다.

III. 변화탐지 분석

3-1 Layer 분석

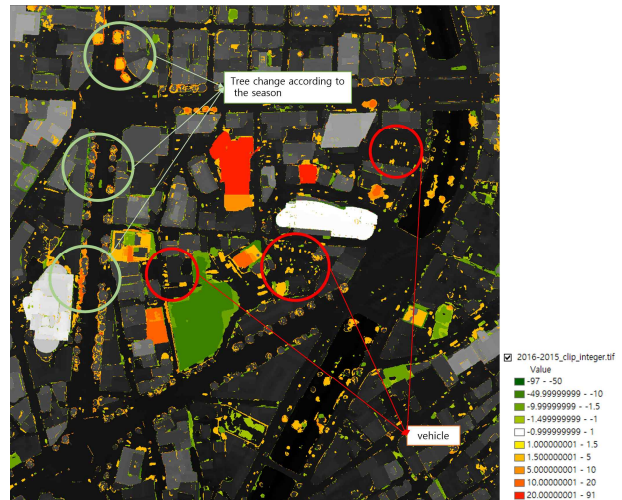


그림 7. Layer 분석
Fig. 7. Layer analysis

고해상도의 항공사진을 이용하여 제작된 DSM은 해상도 10cm급의 정밀한 세밀도를 가지고 있어 주차된 차량과 계절

변화에 따른 수목의 크기변화, 수목의 높이 값이 적용되어 차이가 발생하는 것을 그림 7에서 확인할 수 있었다. 하지만 좁은 면적(-1m² ~ 1m²)에 대해서는 불필요한 요소들이 많아 필터링을 진행하였다. 필터링 방법으로 Morphology 필터링의 팽창과 침식연산을 통해 일정면적의 Noise를 제거하였다.

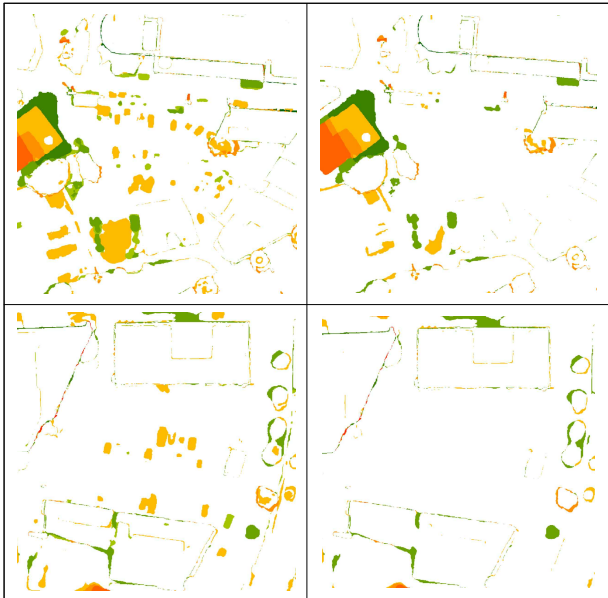


그림 8. 면적기준 필터링 결과 (차량)
Fig. 8. Area-based filtering result (vehicle)

분석하고 유사한 속성 값을 가진 연결된 셀그룹을 별도의 폴리곤으로 간주하는 방식으로 제작된다. 제작된 폴리곤 벡터는 토폴로지를 확인하고 유효성을 검사하여 겹치지 않고 일관된 경계를 가지는지 확인하였다.



그림 10. 래스터데이터의 폴리곤 벡터 변환
Fig. 10. Raster to polygon vector



그림 9. 변화탐지
Fig. 9. Change detection

작은 면적에 대해 필터링을 진행한 후 변화탐지 했을 때 옥상부분에 대한 철거, 증축, 담벼락 설치 등에 대해 변화탐지 결과를 그림 9에서 확인할 수 있었다. 정량적인 분석을 위해 Raster to Polygon Vectorizing을 진행하였다. 폴리곤 수는 99,994개의 객체로 분리 되었다. 이는 픽셀을 기준으로 표현된 래스터 데이터를 경계가 정의된 폴리곤 벡터 데이터로 표현하여 분석하고자 하는 과정이다. 폴리곤 생성은 래스터를

3-2 Noise제거를 위한 필터링

Segmentation된 데이터를 정제하기 위해 1m² 면적과 8m² 면적에 대해 토폴로지 필터링을 진행하였다. 1m² 면적의 경우 불필요한 잡음으로 판단되어 필터링을 진행하였고, 8m² 면적의 경우 밀집시가지의 주택면적보다 적은 면적에 대해서 필터링을 진행하였다. 면적기준 필터링을 위해서는 각 피처의 계산된 면적을 정의된 면적 기준과 비교하여 지정된 영역을 충족하는 데이터를 추출하여 제거하였다. 필터링된 결과는 그림 11과 같다[11].

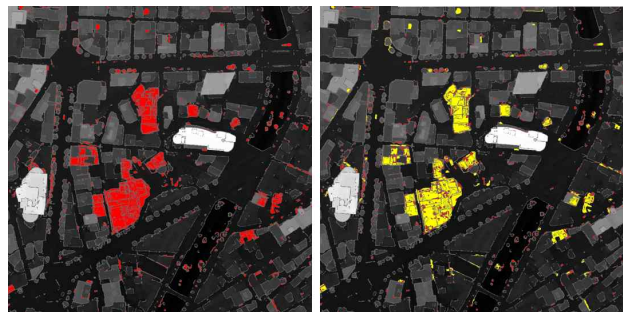


그림 11. 면적에 따른 필터링 결과
Fig. 11. Filtering result according to area



그림 12. 필터링 결과 분석
 Fig. 12. Filtering result analysis

면적에 따른 필터링을 진행한 레이어를 분석하기 위해 그림 9의 결과와 비교했을 때 기존 데이터보다 정제된 데이터를 확인할 수 있다. 도로나 주차장에 있는 차량은 정제되었고, 수목에 있어서 시간차에 따른 수목의 성장으로 발생하는 변화도 탐지할 수 있었다. 결과는 그림 13과 같다.

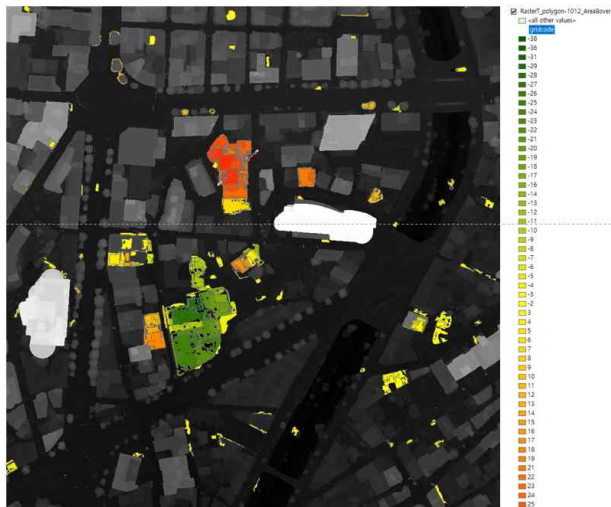


그림 13. 높이값에 따른 분류
 Fig. 13. Sort by height value

3-3 기존 건축물 판독 변화탐지

기존 불법건축물 판독 방법으로 항공사진의 육안 비교를 통해 변화탐지 결과를 얻었고, 이는 변화탐지 정확도 평가를 위한 참값으로 정의한다. 건축물 판독 과정은 그림 14와 같다.



그림 14. 건축물 판독 작업과정
 Fig. 14. Change detection process

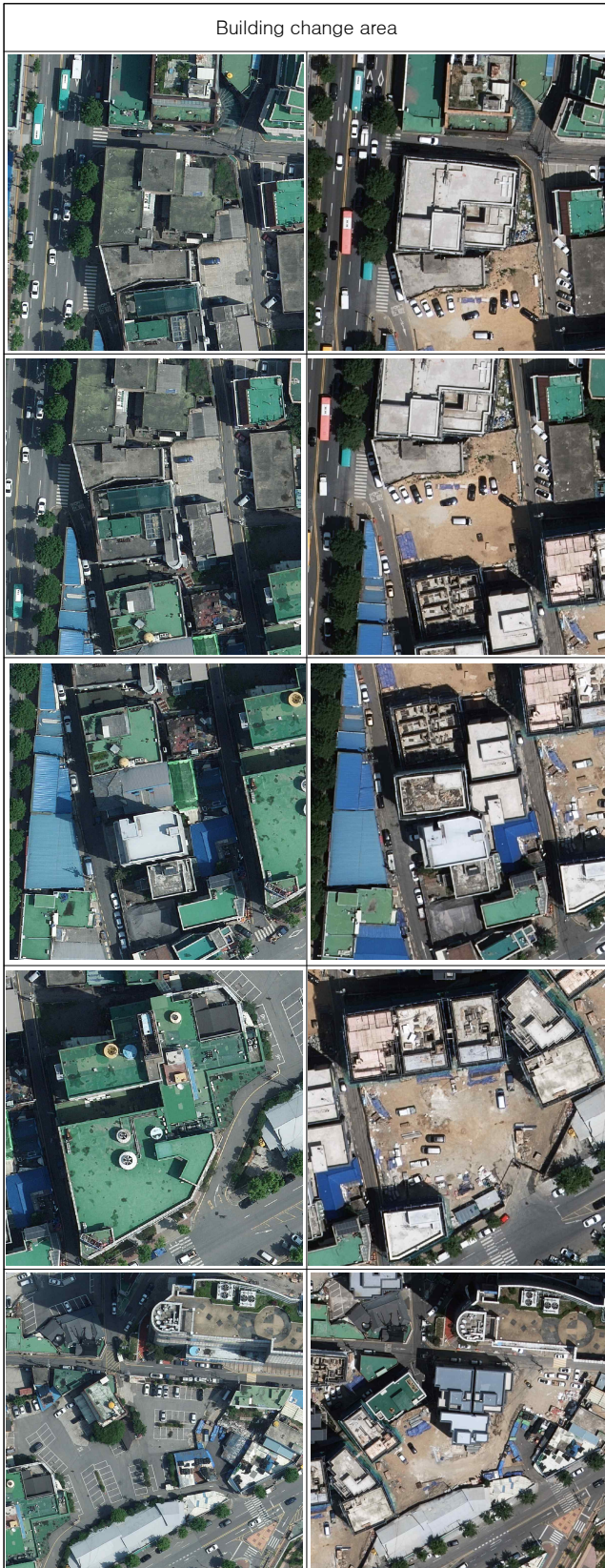


그림 15. 건축물 판독 변화지역
 Fig. 15. Building change area

표 2. 기존 건축물 판독 변화탐지 지역 좌표
 Table 2. Change detection area coordinates for reading existing buildings

	X	Y
1	201494.163	519435.398
2	201500.199	519400.289
3	201497.730	519379.992
4	201515.839	519375.054
5	201499.925	519363.809
6	201517.486	519359.420
7	201550.029	519365.316
8	201530.499	519388.359
9	201542.857	519389.693
10	201557.478	519391.259
11	201572.562	519395.435
12	201579.408	519381.863
13	201579.408	519412.483
14	201620.387	519424.338
15	201582.649	519470.716
16	201582.426	519481.187
17	201582.534	519492.328
18	201580.866	519504.136
19	201588.443	519515.722
20	201568.830	519516.613
21	201616.749	519510.598
22	201668.458	519485.421
23	201651.519	519429.720
24	201630.568	519402.760
25	201727.521	519374.464
26	201752.261	519378.698
27	201734.876	519362.210
28	201696.318	519320.991
29	201585.992	519290.244
30	201561.252	519436.404

IV. 연구결과

실험을 통해 시계열차 DSM을 Map Algebra와 Morphology 필터링을 통해 추출된 변화탐지지역과 기존 작업 방법인 판독시스템을 사용하여 중급기술자가 작업하여 추출된 변화탐지 지역과 변화탐지 일치 여부를 비교하였다.

표 3. 변화탐지 지역 비교
Table 3. Change detection area comparison

	X	Y	detection matches
1	201494.163	519435.398	o
2	201500.199	519400.289	x
3	201497.730	519379.992	x
4	201515.839	519375.054	o
5	201499.925	519363.809	x
6	201517.486	519359.420	o
7	201550.029	519365.316	o
8	201530.499	519388.359	o
9	201542.857	519389.693	o
10	201557.478	519391.259	o
11	201572.562	519395.435	o
12	201579.408	519381.863	o
13	201579.408	519412.483	o
14	201620.387	519424.338	o
15	201582.649	519470.716	o
16	201582.426	519481.187	o
17	201582.534	519492.328	o
18	201580.866	519504.136	o
19	201588.443	519515.722	o
20	201568.830	519516.613	o
21	201616.749	519510.598	x
22	201668.458	519485.421	x
23	201651.519	519429.720	x
24	201630.568	519402.760	o
25	201727.521	519374.464	o
26	201752.261	519378.698	o
27	201734.876	519362.210	x
28	201696.318	519320.991	o
29	201585.992	519290.244	o
30	201561.252	519436.404	x

기존 판독방법과 본 연구결과를 중첩하여 비교한 결과 전체 30개 지역 중 22개의 지역에 대해 변화탐지가 일치하였다. 이는 기존 건축물 판독작업에 있어 고해상도 항공사진을 이용하여 영상정합기법을 활용한 DSM을 통해 시계열적인 비교를 했을 때, 수직좌표의 차이에 의한 분석을 통해 변화탐지시 74% 수준의 결과를 보여주었다. 이는 고해상도의 항공사진을 통한 영상정합기법으로 DSM을 제작하여 단계별 필터링 작업으로 통해 정확도를 확보하여 건축물 판독작업에 활용이 가능한 것으로 확인 되었다.

변화탐지의 정확한 판단을 위해서는 판독사의 주관적이고 경험적인 판단이 필요하지만 고해상도의 항공사진을 이용한 영상정합기법으로 제작된 DSM을 정제작업을 통해 새로운 레이어를 생성하여 변화탐지할 경우 육안으로 검수하는 시간에 대한 단축과 단순 착오로 인한 실수를 미연에 방지할 수 있을 것이다.



그림 16. 변화탐지 결과와 정사영상 중첩
Fig. 16. Change detection results and orthoimage overlay

V. 결론

고해상도 항공사진을 영상정합기법으로 DSM을 생성하여 Map Algebra와 Morphology 필터링을 통해 Noise를 제거한 결과 기존 건축물 판독 결과와 비교하여 74%수준의 변화탐지 결과를 얻었다. 하지만 정확한 건축물의 면적을 표현하기에는 한계가 있어 변화지역에 대한 지점확인 수준으로 적용이 가능하다. 이로써 건축물 판독의 인력기반의 업무에서 영상정합기법을 통해 제작한 DSM을 활용한다면 불법건축물 판독의 효율성을 확보할 수 있는 보조적인 자료로 활용 가능하다. 판독사의 경험적인 판단요소에서 비롯되는 변화탐지 품

질에 대한 이슈 또한 이러한 보조적인 데이터를 활용한다면 극복할 수 있을 것이다.

본 연구를 진행하면서 수직방향의 항공사진만을 활용하여 DSM(Digital Surface Model)을 제작하였는데 다방향 경사 이미지를 활용한다면 수직 및 지표면 근처의 데이터 구축에 있어 세밀도가 많이 높아질 것으로 예상되며, 정확도도 향상될 것으로 예상된다. 국지적인 지역에 대한 변화탐지를 위해서는 신속한 촬영을 위해 UAV를 활용하는 방법도 연구가 필요해 보인다.

참고문헌

- [1] J. Bialas, T. Oommen, U. Rebbapragada, and E. Levin, "Object-Based Classification of Earthquake Damage from Highresolution Optical Imagery Using Machine Learning," *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 10, No. 3, 036025, September 2016. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.10.036025>
- [2] J. H. Park, "Change Detection of High Resolution ImageUsing Object-Based Classification," *The Korean Society for Geo-Spatial Information System*, Vol. 2016, No. 10, pp. 241-242,
- [3] Z. Lv, T. Liu, Y. Wan, J. A. Benediktsson, and Z. Zhang, "Post-Processing Approach for Refining Raw Land Cover Change Detection of Very High-Resolution Remote Sensing Images," *Remote Sensing*, Vol. 10, No. 3, pp. 472, March 2018.
- [4] K. A. Choi and I. P. Lee, "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, 2008 (in Korean with English abstract).
- [5] J. Zhang, Z. X. Zhang, H. Fan, Z. Fang and Z. Liu, "Change Detection in Urban Area Based on Stereo Image Pairs from Different Duration," *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 33, pp. 1203-1208, 2000.
- [6] 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.
- [7] W. Boonpook, Y. Tan, H. Liu, B. Zhao, and L. He, "UAV-Based 3D Urban Environment Monitoring," *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 4, No. 3, pp. 37-43, 2018. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-37-2018>
- [8] H. S. Ju, *GeoInformatics*, KISS, 2011
- [9] NGII, Aerial Photogrammetry Work Regulations, Notice of

National Geographic Information Institute, No. 2020-5165, 2019.

- [10] H. Hirschmüller, 2008, "Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information," pp. 328-341, February 2008.
- [11] X. Huang and T. Zhang, Morphological Building Index (MBI) and Its Applications to Urban Areas, in *Urban Remote Sensing*, 2nd ed. CRC Press, pp. 33-49, 2018.



마성진(Sung-jin Ma)

2018년 : 서울시립대학교 대학원
(공학석사)
2023년 : 서울시립대학교 대학원
(공학박사수료)

2004년~2023년: 삼아항업(주)

2019년~현 재: 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정
※ 관심분야 : 항공사진, 3차원 공간정보, 변화탐지 등



이영길(Young-Gil Lee)

2016년 : 서울시립대학교 대학원
(공학석사)
2023년 : 서울시립대학교 대학원
(공학박사과정)

2004년~현 재: 삼아항업(주) 근무

※ 관심분야 : 변화탐지, 3차원공간정보, LiDAR



이재원(Jae-One Lee)

1985년 : 동아대학교 토목공학과 학사
1988년 : 동아대학교 토목공학과
대학원 석사
1996년 : 독일 하노바대학교
(공학박사)

1997년~2000년: 쌍용정보통신(주) 수석팀장

2000년~2005년: 대한측량협회 연구위원

2023년~현 재: 아세아항측 사장

※ 관심분야 : 공간정보(Spatial Information), 측량(Surveying), GNSS, LiDAR



최윤수(Yun-Soo Choi)

1984년 : 서울시립대학교 토목공학과
(학사)

1986년 : 서울시립대학교 대학원
(공학석사-토목공학)

1992년 : 성균관대학교 대학원
(공학박사-토목공학)

1991년~2001년: 국립한경대학교 토목공학과 부교수

2013년~2014년: 한국공간정보학회 회장

2018년~현 재: 한국수로학회 회장

2021년~2022년: 서울시립대학교 도시과학대학장

2001년~현 재: 서울시립대학교 공간정보공학과 교수

※ 관심분야 : 공간정보(Spatial Information), 측량(Surveying),
해양공간정보(Marine Spatial Information)