

수정된 RANSAC 알고리즘과 지상라이다 데이터를 이용한 수치지도 건물레이어 갱신

Update of Digital Map by using The Terrestrial LiDAR Data and Modified RANSAC

김상민* · 정재훈** · 이재빈*** · 허 준**** · 홍성철***** · 조형식*****

Kim, Sang Min · Jung, Jae Hoon · Lee, Jae Bin · Heo, Joon · Hong, Sung Chul · Cho, Hyoung Sig

요 旨

최근 도시는 신규건축, 재건축 및 부분적인 리모델링 등 다양한 형태로 변화하고 있으며, 이에 따라 수치지도 또한 최신성 및 정확도를 유지할 수 있도록 지속적인 수정 및 갱신을 통해 사용자들에게 최적의 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 일반적으로 수치지도 수정 및 갱신 방법으로는 항공사진 혹은 준공도면을 이용하고 있으나, 항공사진은 촬영주기제한 및 경제성 측면에서 국소 지역에 대한 수치 갱신이 어렵고 준공도면의 경우 품질 확보의 어려움이 존재한다. 본 연구에서는 빠르게 변하는 도심지의 건물 개발 현황을 수치지도상의 건물 정보에 신속하게 반영하기 위해 지상라이다로부터 추출한 건물 footprint 자료를 이용하는 방법론을 제안하였다. 우선 지상라이다로부터 취득된 전체 건물의 포인트 클라우드 자료로부터 대표 옆면을 추출하고, 2차원 영상으로 투영한다. 투영된 포인트 클라우드 자료로부터 footprint를 추출하고, 추출된 footprint와 수치지도 상의 건물 footprint 간의 정합을 위해 2D Affine 모델을 사용하였다. 2D Affine 파라미터의 추정에는 두 footprint 자료로부터 취득된 무게중심을 사용하였으며, 무작위로 추출된 무게중심 간의 매칭을 위해 수정된 RANSAC (RANdom SAmple Consensus) 알고리즘을 제시하였다. 다양한 조건하에서 수행된 실험결과 제안된 알고리즘을 적용할 경우, 지상라이다로부터 추출된 건물데이터를 활용하여 효율적인 수치지형도의 갱신이 가능함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 수치지도, 건물 footprint, 지상라이다, RANSAC (RANdom SAmple Consensus)

Abstract

Recently, rapid urbanization has necessitated continuous updates in digital map to provide the latest and accurate information for users. However, conventional aerial photogrammetry has some restrictions on periodic updates of small areas due to high cost, and as-built drawing also brings some problems with maintaining quality. Alternatively, this paper proposes a scheme for efficient and accurate update of digital map using point cloud data acquired by Terrestrial Laser Scanner (TLS). Initially, from the whole point cloud data, the building sides are extracted and projected onto a 2D image to trace out the 2D building footprints. In order to register the footprint extractions on the digital map, 2D Affine model is used. For Affine parameter estimation, the centroids of each footprint groups are randomly chosen and matched by means of a modified RANSAC algorithm. Based on proposed algorithm, the experimental results showed that it is possible to renew digital map using building footprint extracted from TLS data.

Keywords : Digital Map, Building Footprint, Terrestrial LiDAR, RANSAC

Received: 2014.05.26, revised: 2014.12.12, accepted: 2014.12.08

- * 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사수료(Member, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, netgo82@yonsei.ac.kr)
- ** 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사후 연구원(Member, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, lionheart_kr@yonsei.ac.kr)
- *** 교신저자 · 정회원 · 목포대학교 토목공학과 부교수(Corresponding author, Member, Department of Civil Engineering Mokpo National University, lee2009@mokpo.ac.kr)
- **** 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 교수(Member, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, jheo@yonsei.ac.kr)
- ***** 정회원 · 한국건설기술연구원 ICT융합연구실 수석연구원(Member, ICT Convergence and Integration Research Division, Korea Institute of Construction Technology, shong@kict.re.kr)
- ***** 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사수료(Member, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, f15kdaum@yonsei.ac.kr)

1. 서 론

수치지도의 갱신은 NGIS 사업으로 구축한 수치지도의 활용성 향상과 최신성 유지, 확보 차원에서 추진되어 전국 5개 권역을 대상으로 5년 주기를 통한 일괄갱신을 수행하여 왔다. 하지만, 수치지도 유통 후 정확도 및 최신성에 대한 사용자 요구가 증가함에 따라 3차 NGIS 시행부터는 대도시 2년, 기타지역 4년을 주기로 일괄갱신주기가 짧아졌을 뿐만 아니라, 부분, 수시(실시간) 갱신을 병행하는 방안으로 개선되었다(Lee et al., 2000; Lee et al., 2007b).

이러한 수치지도의 수정/갱신에는 다양한 방법들이 적용되어 왔으며, 기존의 항공사진측량과 더불어 항공라이더측량, 준공도면 활용방법, 그리고 토탈스테이션 등을 활용한 직접측량 방법이 사용되어 왔다. 항공사진을 이용한 수치지도 갱신은 최근 아날로그 항공사진을 이용하는 방법에서 디지털항공카메라 영상을 이용하는 방법으로 변화하고 있다. 이 경우 필름 현상 및 스캐닝에 소요되는 시간과 비용을 효과적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 컴퓨터를 이용한 수치데이터의 저장 및 보관, 품질관리가 용이하다는 장점이 있다(Hwang et al., 2007). 하지만, 항공사진에 의한 자료 취득은 촬영 주기의 제한이 있으며, 국소 지역에 대한 실시간 갱신이 어렵다는 단점이 존재한다. 최근에는 지형지물로부터 3차원 데이터를 별다른 처리과정 없이 직접적으로 취득할 수 있는 항공라이더를 이용한 방법이 제안된 바 있다. Kang 등(2007)의 연구에 의하면 이러한 작업공정의 단순화를 통해 항공라이더는 기존 항공사진 대비 약 50%의 비용 절감효과가 있는 것으로 보고된 바 있다. 하지만, 항공사진과 마찬가지로 주기적인 갱신이 어렵고, 고밀도 주거지역에서는 정확도가 떨어지는 단점이 있다(Lee et al., 2006). 한편, 공사의 준공 시 측량을 통해 작성하게 되는 준공도면을 수치지도 갱신에 이용할 경우, 기존의 자료를 활용할 수 있으므로 측량에 소요되는 시간 및 경비를 효과적으로 줄일 수 있다(Kim et al., 2000). 하지만, 준공도면의 경우 정의 및 세부내용에 대한 표준화 방안이 아직 연구 되고 있지 않음으로써 품질확보의 어려움이 있다. 또한 실제 준공도면 활용 시 데이터 포맷이 통일되어 있지 않고, 축척 및 좌표의 불일치로 인한 위치오차와 더불어 지형지물의 분류 및 표준코드의 내용과 형식이 불일치한 경우도 많이 발생하고 있다(Shin et al., 2008). 지상라이더(terrestrial LiDAR)는 정밀하고 빠르게 물체의 위치 및 3차원 형상을 취득할 수 있는 시스템으로써 정확한 3차원 위치 데이터를 구축함은 물론 추출된 데이터를 기반으로 3

차원 모델링이 가능하므로, 기존에 구축하고자 했던 3차원 위치데이터에 실세계에 근접한 보다 고급화된 정보를 국민들에게 제공할 수 있다(Jung et al., 2005). 이러한 효용성으로 지상라이더는 현재 지적측량, 문화재 복원, 토목/건축물의 3차원 모델링, 지형측량, BIM 등 매우 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그 중에서도 지상라이더는 다양한 연구를 통해 3차원 건물의 모델링에 있어서 그 효용성이 입증된 바 있으나(Roh et al., 2008; Seo et al., 2009; Jeong et al., 2010), 아직까지 국내에서 수치지도 갱신에 있어 활용된 바는 보고되고 있지 않았다. 수치지도 갱신에 있어 지상라이더를 활용할 경우 각 건물의 매 측정마다 사용자의 관측이 필요한 토탈스테이션에 비해 자동화된 방식으로 수많은 측정 데이터 취득이 가능하다는 점에서 뛰어난 효율성을 보여주고 있다(Lee et al., 2007a).

본 연구에서는 지상라이더로부터 추출된 건물 footprint를 활용하여 수치지형도의 건물 footprint 정보를 갱신하기 위한 방법론을 제안하였다. 지상라이더로부터 추출된 footprint와 수치지형도 건물 footprint 간의 효과적인 정합을 위하여 수정된 RANSAC (RANDOM SAMPLE CONSENSUS) 알고리즘을 제안하였으며 다양한 시나리오를 바탕으로 이의 효용성을 검증하였다. 본 연구의 결과는 공중센서 기반 측량 보다 상대적으로 그 정확도가 높은 지상센서 기반의 지상라이더 및 mobile mapping system 등을 통해 수치지도의 수정 및 갱신의 효율성을 증대하고자 하였다.

2. 연구내용

2.1 지상라이더 체원

본 연구에서는 대상 건물의 포인트 클라우드 취득을 위해 Leica Scanstation2 장비를 활용하였다. Scanstation2 장비의 거리 관측은 Time of Flight (TOF) 방식으로 대상체에 레이저를 발사하여 표면에서 반사, 산란되어 수신기로 돌아오는 레이저의 시간차를 통해 거리를 관측할 수 있다. 스캐닝 범위는 수평방향으로 360°, 수직방향으로 270°이며, 최대 관측거리는 300m, 위치 정확도는 $\pm 6\text{mm}$, 거리 정확도는 $\pm 4\text{mm}$ 이다(Cho et al., 2008).

2.2 지상라이더 포인트 클라우드 취득

본 연구의 대상지역은 홍익대학교 인근 상업지역으로 건물에 대한 3차원 포인트 클라우드 데이터 취득을 위해 지상레이저스캐너를 이용한 측량을 수행하였다. 취득 샘플링은 10m 거리에서 5mm 단위로 취득하였으

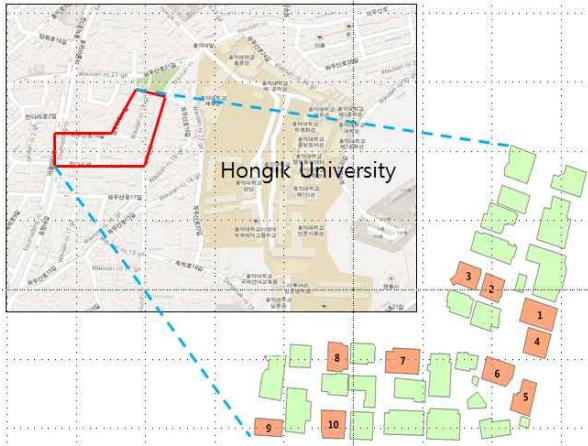


Figure 1. The study area (Googlemap)

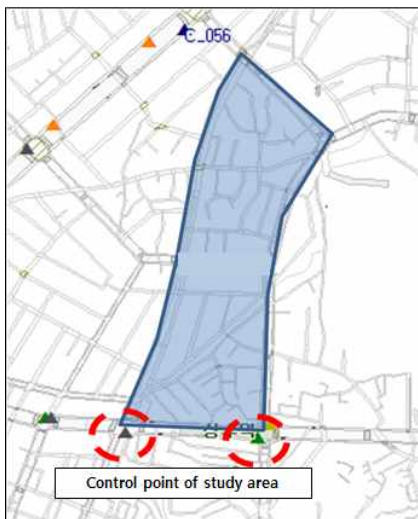
며, 하나의 건물은 최소 190만 포인트에서 최대 400만 개의 포인트 클라우드로 구성되어 있다. 취득된 각 건물의 포인트 클라우드는 Leica에서 제공하는 소프트웨어인 cyclone을 이용하여 기본적인 노이즈 제거 및 상대좌표 정합을 수행하였다. 본 연구에서는 총 32개 건물에 대한 포인트 클라우드 데이터를 취득하였으며, 그 중에서 임의의 10개 건물 데이터를 선정하여 연구를 진행하였다. Fig. 1은 연구대상지역에서 선정된 10개 건물의 대략적인 위치를 나타내고 있다.

2.3 건물 footprint 추출

포인트 클라우드로부터 추출된 건물외곽 정보를 수치지도 갱신에 활용할 수 있는지 가능성을 파악하기 위해 포인트 클라우드의 정합 정확도와 1/1,000 수치지도의 수치도화 오차 허용범위를 비교하였다. 각각의 스테

이션으로부터 취득된 포인트 클라우드를 정합하기 위해 Leica사의 Cyclone 6.0 소프트웨어를 사용하였으며, 정합오차를 확인하기 위해 건물 간판 및 모서리 부분에 검사점을 선정하고 토털스테이션 장비의 무프리즘 기능을 사용하여 20개의 검사점 좌표를 취득하였다. 정확도 검증을 위한 검사점 측량의 기준점 정보로는 도시기준점을 활용하였으며, 구체적인 사항은 Fig. 2와 같다. 포인트 클라우드와 검사점의 오차는 $\pm 0.039\text{m}$ 로 나타났으며, 이는 수치지도 작업규정내규에서 규정한 1/1,000 수치지도 도화 평면위치의 표준편차 허용범위 내의 정확도를 나타냄으로써, 본 연구에서 제시한 포인트 클라우드로부터 추출된 건물외곽 정보가 수치지도 갱신의 기본 자료로 활용이 가능함을 확인하였다. Table 1은 축척별 수치지도의 수치도화 오차 허용범위를 나타낸다.

지상레이저스캐너를 통해 취득된 포인트 클라우드는 다음의 Fig. 3-1와 같이 건물의 3차원 형태를 재현할 수 있다. 하지만, 기존 수치지도는 2차원으로 구성되어 있으므로 수치지도 갱신을 위해서는 z 값이 제거된 건물의 최외곽선에 대한 2차원 평면도가 필요하다. 이를 위해서는 3차원 포인트 클라우드를 2차원(x, y) 평면으로 투영시키는 과정이 필요하다. 하지만, 취득한 포인트 클라우드는 Fig. 3-2와 같이 순수한 건물의 외벽 외에도 주변 지형이나 간판과 같은 노이즈를 포함하고 있다. 본 연구에서는 순수한 건물의 외벽만을 투영시키기 위해 다음의 Fig. 3-2와 같이 노이즈가 포함되지 않은 건물의 대표 옆면을 추출하였고, 이렇게 추출된 대표 옆면의 포인트 클라우드를 x, y 평면에 투영시킨 뒤 (Fig. 3-3), 각 벽면에 대해 Douglas- Peucker 알



Level 3 urban control point(KOGAS)					Level 3 urban control point(KOGAS)						
Surveying agency	KOGAS				Surveying agency	KOGAS					
Notification No.	-				Notification No.	-					
Established date	2001.01.26				Established date	2001.01.26					
Surveying date	2001.02.26				Surveying date	2001.02.26					
Location	In front of Korea Electric Power Corp.,				Location	In front of Korea Electric Power Corp.,					
Control point No.	Hapgoon-CP-01				Control point No.	Hapgoon-CP-02					
Control point location	Hapjeong-dong, Mapo-gu, Seoul				Control point location	Sangsu-dong, Mapo-gu, Seoul					
Item	GPS80	BESSEL	Height	Origin	Item	GPS80	BESSEL	Height	Origin		
Lat.	B	0	0	0	Central	Lat.	B	0	0	0	Central
Lon.	K	0	0			Lon.	K	0	0		
Grid Coord.	X	0	0			Grid Coord.	X	0	0		
	Y	0	0		Y	0	0				

Figure 2. Urban control point and records of surveying point

Table 1. Allowable error range of digital restitution(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Drawing rules of digital map)

Drawing scale	Standard deviation			Maximum error		
	Plane position	Contour	Elevation	Plane position	Contour	Elevation
1/1,000	0.2m	0.3m	0.15m	0.4m	0.6m	0.3m
1/5,000	1.0m	1.0m	0.5m	2.0m	2.0m	1.0m
1/25,000	1.0m	3.0m	1.5m	10.0m	5.0m	2.5m

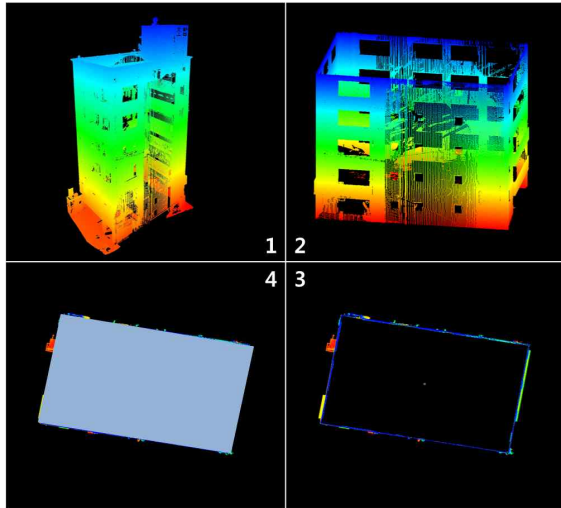


Figure 3. The process of footprint extraction

고리즘을 이용하여 라인 정보를 추출하고 이로부터 Fig. 3-4와 같은 건물 footprint에 대한 폴리곤 자료를

취득할 수 있다. 해당 과정은 반자동으로 진행되었으며, 건물의 2차원 투영 및 footprint 취득에는 상용소프트웨어인 Matlab이, 폴리곤화 작업에는 ArcGIS가 이용되었다.

2.4 건물 footprint 추출 결과

Fig. 4는 지상레이저측량을 통해 추출한 홍대 지역 10개 건물에 대한 포인트 클라우드 자료를 나타내고 있다. 대표 옆면은 각 건물의 최저점과 최고점 사이의 구간을 대상으로 사용자가 건물외형 및 주변지형지물, 간판과 같은 노이즈를 고려하여 수동으로 추출된다. 기본적으로 건물 1과 같이 단순한 직사각형 구조의 경우 큰 문제가 없으나, 건물 10과 같은 복잡한 구조를 가지고 있으면 해당 건물에 대한 자세한 검토를 통해 건물의 최외곽을 반영할 수 있도록 해야 한다. Fig. 5는 추출된 건물 footprint로부터 제작한 폴리곤 결과를 나타내고 있다.

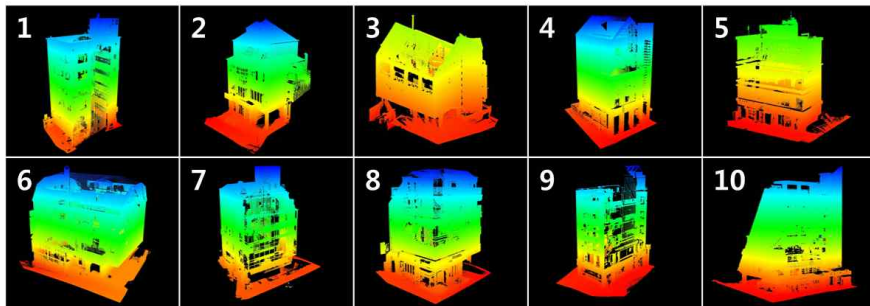


Figure 4. Building footprint data

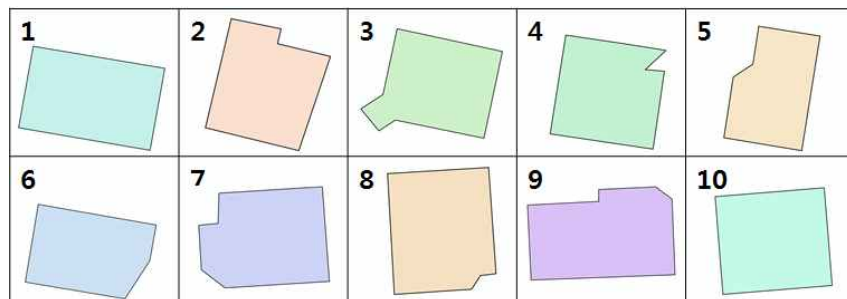


Figure 5. Extracted building footprint from point cloud

3. 연구결과

3.1 지상라이다로부터 추출된 건물 footprint와 수치지형도 건물 footprint의 정합

기존의 수치지도는 항공사진측량을 통해 제작, 수정되었으며 취득된 사진을 도화하거나 좌표를 측정하기 위해서는 지상기준점측량이 병행되어야 한다. 하지만, 이러한 항공측량 및 기준점측량을 이용한 수치지도 갱신은 많은 인력과 비용이 소모되므로 수치지도 상의 국지적인 변화를 갱신하기에는 효율적이지가 않다. 따라서 본 연구에서는 도심지 곳곳에서 발생하는 소규모 개발지역이나 신축된 건물을 수치지도상에 신속하게 반영하기 위해 본 연구에서는 지상라이다로부터 추출된 건물footprint와 RANSAC 알고리즘을 활용하는 방법을 제안하였다.

지상라이다로부터 추출된 건물 footprint를 이용하여 수치지형도의 건물 footprint를 갱신하기 위해서는 상호 데이터 간에 동일한 건물 footprint를 인식하는 과정이 필요하다. 동일한 건물 footprint의 인식여부를 통해 수치지형도의 건물 footprint 중에 최신성이 필요한 footprint는 수정하게 되고 누락된 건물 footprint는 추가된다. 이러한 건물 footprint인식을 위해 사용할 수 있는 방법론으로는 다양한 object matching 기법이나 geo-rectification 기법을 활용할 수 있다. 어떠한 방법론을 선택하여 footprint들 간의 정합을 수행하는데 사용되는 데이터의 종류, 정확도, 방법론 적용의 효율성, 방법론의 활용 시나리오 등에 기초하여 사용자의 판단에 따라 달라질 수 있다.

본 연구에서는 지상라이다로부터 추출된 n개의 건물 footprint들과 1:1000 수치지형도에 대응되는 m(m>=n)개의 건물 군집에서 각각 1:1 대응되는 footprint 쌍들을 정합하는 과정을 통해 수치지형도의 건물 footprint를 갱신하는 일반적인 시나리오를 설정하였다.

3.2 수정된 RANSAC 알고리즘

서로 다른 개수의 포인트 집합 간의 정합에 가장 일반적으로 적용이 가능한 방법론은 ICP(Iterative Closest points) 알고리즘이다. ICP 알고리즘은 Besl(1992)에 의하여 제안된 점집합 정합 방법으로 두 점 집합에서 가장 가까운 거리에 있는 쌍을 탐색하고, 이들의 거리를 최소화 시키는 변환함수를 반복적으로 탐색한다. 이 알고리즘의 성능은 사용되는 변환함수의 특징과 반복적인 탐색 과정에서 대응 노드를 결정하는 기준에 의하여 결정된다. 하지만 점집합의 매칭에서 보편적으로 사용되는 ICP 알고리즘의 경우 본 연구의 대상이 되는

건물 무게중심점의 집합과 같이 점 footprint의 수가 적고 inlier 보다 outlier의 개수가 많은 경우 국소 임계값으로 해가 수렴될 가능성이 존재하며 이에 따라 정합과정에서 오류가 발생할 수 있음을 관찰하였다.

따라서 본 연구에서는 최소한의 inlier집합을 결정하고 이를 바탕으로 inlier집합을 확장해 나가는 RANSAC 알고리즘의 적용방안을 검토하였다. Fischler and Bolles(1981)에 의해 제안된 RANSAC 알고리즘은 전체 원본 데이터 중에서 모델 파라미터를 결정하는데 필요한 최소의 데이터를 무작위로 추출하면서 반복 계산을 통해 최적의 해를 찾는다. 이 방법은 전통적인 통계적 방법과 달리 가능한 적은 양의 초기 데이터를 사용해 일관된 데이터의 집합을 확장시켜가는 방식으로 해를 결정한다. 적용과정 중 하나의 군집에서 하나의 수학적 모델을 결정하는 전통적인 RANSAC 알고리즘을 그대로 본 연구에 적용하는 것은 불가능하므로 RANSAC 알고리즘을 활용하여 control footprint들로 구성된 inlier들의 집합을 결정하고 이를 바탕으로 변환함수를 산정하는 수정된 RANSAC 알고리즘을 제안하였다. 지상라이다로부터 추출된 건물 footprint들과 수치지형도의 건물 footprint들 간의 정합을 위해 건물 footprint의 무게중심을 매칭원자로 활용하였다. 따라서 본 footprint 정합 문제는 지상라이다로부터 추출되는 건물 footprint들의 무게중심 포인트 집합(N)과 수치지형도의 건물 footprint들의 무게중심 포인트 집합(M) 간의 정합문제로 귀결된다. 두 포인트 집합의 정합을 위한 변환함수로는 Eq.(1)과 같은 2D Affine 모델이 사용되었다(Irani and Anandan, 2000; Kim et al., 2008).

$$X = a_1x + a_2y + a_3 + v_x, \quad Y = b_1x + b_2y + b_3 + v_y \quad (1)$$

여기서 x, y 는 지상라이다 footprint로부터 추출된 무게중심 포인트, X, Y 는 수치지형도 건물 footprint의 무게중심 좌표를 나타내며, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ 는 변환계수이다. 2D Affine 모델의 변환계수를 추정하기 위해서는 N 개의 지상라이다 footprint와 M 개의 수치지형도 footprint 중에서 임의의 footprint n개와 m개를 조합 선택하게 되며 (${}_N C_n$ 와 ${}_M C_m$), 매칭포인트를 형성하기 위해 n과 m은 서로 동일한 값을 지닌다. 한편, 수정된 RANSAC은 최적의 정합을 위해 양 후보군에서 반복적으로 샘플을 선택하므로 적절한 반복연산 횟수를 정하는 것이 중요하며, 반복 횟수 k 는 다음 Eq.(2)와 같이 결정된다.

$$k = \frac{\log(1-p)}{\log(1-w^t)} \quad (2)$$

여기서 w 는 선택된 샘플이 유효한 포인트(inlier)만을 포함할 확률을 나타낸다. 이는 ${}_N C_n$ 으로부터 선택된 라이다 footprint 샘플에 대응되는 단 하나의 대응쌍을 수치지도 상의 footprint 샘플로부터 찾는 것이며, 이때의 확률은 $w = 1/{}_M C_m$ 로 계산된다. 각 시행에서 샘플 추출은 단일 선택을 하므로 $t=1$ 이 된다. 한편, p 는 적어도 한번 inlier만 포함된 샘플이 나올 확률을 나타내며, 본 연구에서는 99.99 %를 선택하였다 (Fischler and Bolles, 1981; Hong et al., 2012). Fig. 6은 제안된 알고리즘의 연구 흐름도를 나타낸다.

- ① 지상라이다로부터 추출된 건물 footprints (N), 수치지도로부터 추출된 건물 footprints (M) 입력
- ② N과 M의 모든 건물 footprint로부터 무게중심좌표(X, Y), 면적과 둘레 길이를 추출
- ③ 정합 대상 N 후보군의 둘레와 면적보다 10% 이상 혹은 이하에 포함되는 footprint들을 정합 기준 후보군 M에서 배제하여 프로세스 속도를 향상시키고자 함

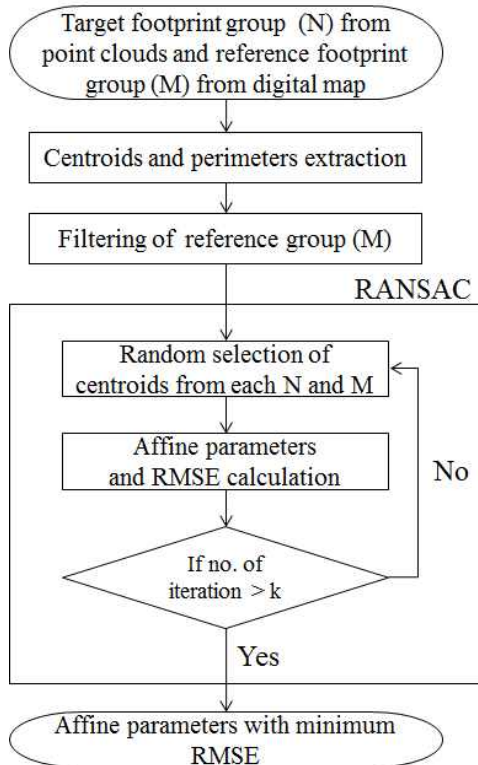


Figure 6. Modified RANSAC algorithm flowchart

- ④ 지상라이다로부터 추출된 건물 footprints (N)과 ③번의 필터링을 수행한 후 추출된 수치지도 footprints (M)을 수정된 RANSAC dataset의 최종 후보군으로 선정
- ⑤ 본 연구에서 제시한 수정된 RANSAC 임계값의 결정은 기본적으로 ${}_N C_n$ 으로부터 선택된 단 하나의 set과 ${}_M C_m$ 으로부터 선택된 단 하나의 set이 일치해야 함. 수정된 RANSAC을 통한 footprint 집합간 정합을 위해 2D affine 변환 계수를 추출하였으며, 추출된 계수를 대입하여 지정된 k 을 완료할 때까지 반복수행하면서 정합정확도 RMSE가 최소값을 가지는 두 후보군을 선택하고 최종 변환계수를 산출

3.3 수정된 RANSAC 알고리즘을 활용한 건물 footprint의 정합

제안된 알고리즘의 평가를 위하여 지상라이다로부터 추출된 10개의 건물집합(Fig. 7(a))과 본 건물 footprint를 포함하는 홍익대학교 인근 상업지역의 1:1,000 수치지형도 상에 존재하는 36개의 건물 footprint 집합(Fig. 7(b))을 대상으로 정합을 수행하였다. 제안된 알고리즘의 성능평가를 위해 3가지 case에 대한 실험평가를 수행하였다. 본 테스트에 사용된 지상라이다 건물 footprint 10개는 수치지도 상에 모두 존재하는 건물로 구성되었고, case 1은 일반적인 정합방법으로써 지상라이다로부터 추출된 건물 footprint를 전부 활용하여 정합 테스트를 수행하였다. Case 2는 지상라이다로부터 추출된 건물 footprint 중 수치지형도에 대응 되지 않는 건물 footprint가 포함될 경우(신축 건물의 예)를 가정하고, 각각 지상라이다 footprint N개와 수치지형도 M개 중 임의의 footprint를 조합 선택하여(${}_N C_n$ 와 ${}_M C_m$) 정합 테스트를 수행하였다.

또한 case 2에서는 n 과 m 을 4부터 8개까지 순차적으로 1개씩 증가시켜 건물 정합을 수행하며, 그 중 RMSE 및 처리 시간을 고려하여 가장 효율적인 결과를 나타내는 n 을 도출 한다. 여기서 n 과 m 은 서로 같으며, 지상라이다 로부터 추출된 건물 footprint의 총 숫자(N)보다 작은 값을 가진다. 마지막으로 case 3은 case 2로부터 도출된 최적의 정합 방안에 대한 안정성을 검증하는 단계로써, n 과 m 을 고정하고 반복 테스트를 수행하여 동일한 결과가 나오는 지를 검토하였다. 구체적인 case별 테스트 시나리오는 아래와 같으며, 테스트 제원은 다음의 Table 2와 같다.

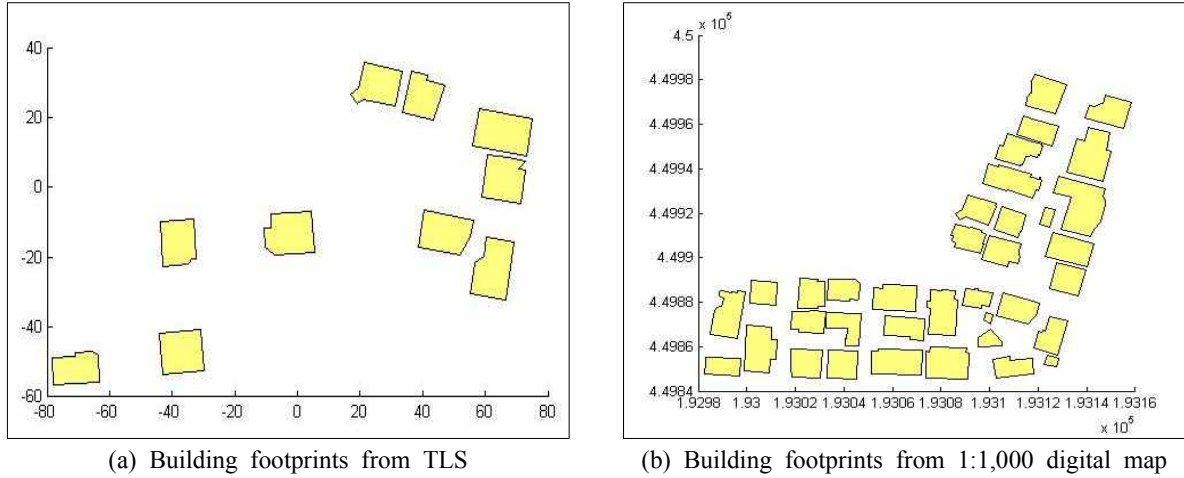


Figure 7. Building footprints data set

Table 2. Test resource

Item	Product specifications
CPU	Intel(R) Core™ i5-2500 CPU @ 3.30 GHz
Memory	8.00 GB
Operating System	Windows 7 64-bit
Program	MATLAB 8.0

Case 1: 지상라이더로부터 추출된 10개의 건물 footprint 집합과 1:1,000 수치지형도 상에 존재하는 36개의 건물 footprint 집합 간의 footprint 정합수행

Case 2: 지상라이더로부터 추출된 10개의 건물 footprint 집합에서 건물 footprint를 4개(Affine을 풀기 위해서는 최소 3개 이상이 필요, 1개는 redundancy)부터 순차적으로 1개씩 증가시키며 8개까지 무작위로 추출하고 1:1,000 수치지형도 상에 존재하는 36개의 건물 footprint 집합 간의 footprint 정합수행

Case 3: 지상라이더로부터 추출된 10개의 건물 footprint 집합에서 건물 footprint 4개를 무작위로 5번에 걸쳐 추출하고 1:1,000 수치지형도 상에 존재하는 36개의 건물 footprint 집합 간의 footprint 정합수행

Table 3. Case 1 (A set of 10 building footprints)

	Case 1
RMSE(m)	0.415
Time(sec)	487.3

Table 3, 4와 5는 각 Case 별 지상라이더와 수치지도로부터 추출된 RMSE를 나타내고 있다. Table 3은 case 1에 대한 정합 결과로써, 지상라이더로부터 추출된 건물 footprint가 수치지도상에 모두 대응 될 경우 정확도(RMSE)는 약 0.415 m로 나타났다. 한편, case2에서는 신축 건물이 포함되는 상황을 가정하여, 총 지상라이더 건물 footprint를 기준으로 4개부터 8개까지의 footprint를 임의로 조합 추출한 정합결과를 나타내고 있다. 이때 RMSE는 case 2-2에서 최대 0.422 m, case 2-5에서 최소 0.401 m로 전수정합(case 1)의 경우와 비슷한 값을 나타내었다. 이는 신축 건물(outlier)이 포함되었을 경우라도 2D Affine 계산을 위해 수치지도 상에서 최소 4개의 대응 건물이 확보될 경우 본 연구에서 제안한 수정된 RANSAC 알고리즘을 통해 효과적으로 정합이 이루어질 수 있음을 보여준다. 한편, 대체적으로 조합에 사용되는 건물의 숫자가 늘어날수록 정

Table 4. Case 2 (From a set of 4 building footprints to a set of 8 building footprints)

	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3	Case 2-4	Case 2-5
RMSE(m)	0.415	0.422	0.419	0.412	0.401
Time(sec)	42.4	556.5	5180.3	31592.4	109279.8

Table 5. Case 3 (Repeat 5 times, a set of 4 building footprints (case 2-1))

	Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3	Case 3-4	Case 3-5
RMSE(m)	0.426	0.425	0.440	0.415	0.448
Time(sec)	40.5	40.9	40.7	40.9	41.2

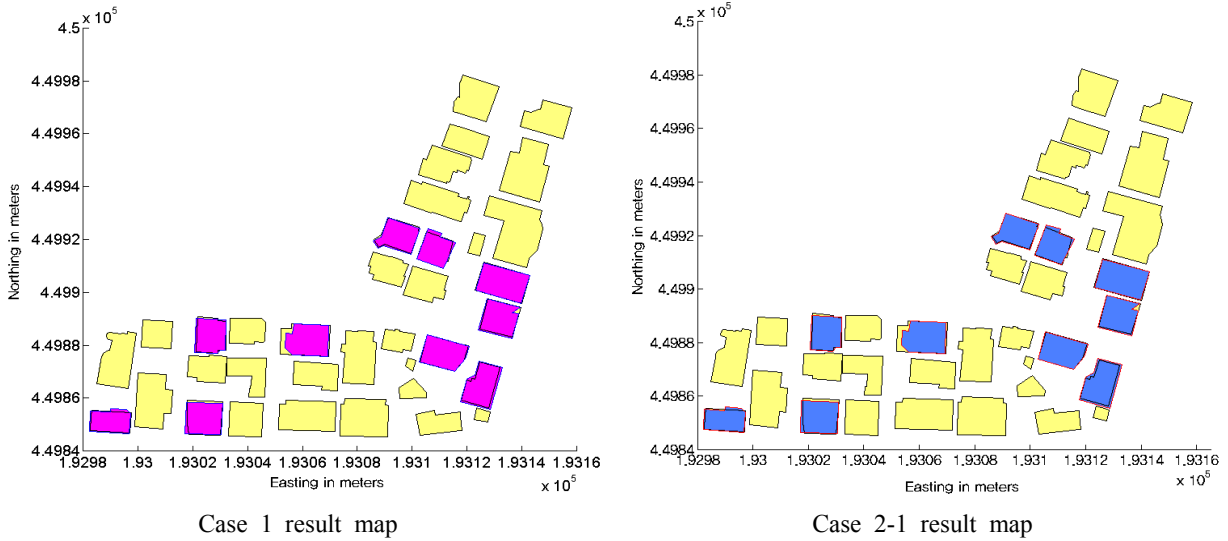


Figure 8. The result map of Case 1 and Case 2 (selected 4 buildings)

합 정확도가 조금씩 좋아지는 경향을 나타내는 반면, 조합숫자 증가에 따른 계산량이 급격히 늘어나게 되므로 효율성이 떨어지게 된다. 따라서 case 2의 각 테스트 별 정확도 차이가 그리 크지 않음을 고려하여 실제 정합에는 Affine 계산을 만족시키는 최소 범위($N C_4$, $M C_4$) 내에서 조합 선택 숫자를 결정하는 것이 효율적인 것으로 판단된다. 마지막으로 case 3은 전수정합이 아닌 임의선택을 통한 조합에서 안정적인 결과가 나올 수 있음을 확인하기 위한 테스트로 m과 n의 숫자를 4로 고정하고 다섯 번의 테스트를 반복하였다. 그 결과 최대, 최소 RMSE는 각각 0.448 m와 0.415 m로 0.032 m의 차이를 나타내었다. Fig. 8은 수치지도로부터 추출된 건물 footprint를 기반으로 가장 안정적인 대응 footprint의 선정 기준인 case 1과 가장 효율적인 footprint 정합을 나타낸 case 2-1 결과를 함께 보여주고 있다.

4. 결 론

수치지도는 토지관련 정책, 시설물의 위치정보, 교통 네트워크 관리, 입지선정 및 환경변화 예측과 도시계획 수립 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 국가공간정보의 중요한 기반 데이터로써 국가지리정보체계구축 사업의 우선과제 중 하나이다. 따라서 수치지도는 사용자들에게 정확성과 최신성을 보장된 정보를 제공해야 하지만, 기존의 수치지도 갱신 방법은 상당한 시간과 인력이 요구되는 문제점으로 현실세계에서 국지적으로 일어나는 일련의 개발 현황 정보를 신속하고 정확하게

반영하기 힘들다. 본 연구에서는 도심지 내 소규모 개발로 인한 수치지도의 국지적인 수정 및 갱신 방법으로 지상라이다로부터 추출된 건물 footprint와 수정된 RANSAC 알고리즘 방법을 제안하였고, 세 가지 case를 통해 효율성을 테스트하였다. 그 결과, 2D Affine 모델 계산에 필요한 최소 4 동의 건물을 대상으로 임의 조합을 통한 정합방법이 최단 시간 내에 전수조합과 비슷한 RMSE 정확도 (0.415m)를 나타내어 가장 효율적인 방법으로 선택되었다. 이는 본 연구에서 제시한 수정된 RANSAC 기반 수치지도 갱신 방안은 정합 대상 건물 후보군과 정합 기준 건물 후보군 사이에 최소 4 동의 일치하는 건물 footprint가 존재하면 정합 기준 건물에 다수의 새로운 건물이 포함되어 있어도 수치지도의 갱신이 가능하다는 것을 보여준다. 본 연구 결과는 항공사진측량, 고해상도 위성영상, mobile mapping system과 준공도면 등 다양한 방법으로부터 추출된 건물 데이터에도 적용 가능하다.

향후 연구는 직접측량으로부터 추출된 건물 footprint와의 정확도 평가를 수행할 예정이며, 대축척 및 소축척 수치지도 수정 갱신의 가능여부를 확인하고 축척별 가장 효율적인 수치지도 갱신 방안을 도출하여 실제 수치지도 갱신 분야에 적용 할 수 있는 방안을 제시할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 첨단도시개발 연구개발사업의 연구비지원(11첨단도시G11)에 의해 수행되었습니다.

References

1. Besl, P. J., McKay, N. D., 1992, A method for registration of 3-D shapes, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Computer Society, Vol.14, No.2, pp. 239-256.
2. Cho, H. S., Sohn, H. G., Kim, J. S., Lee, S.K., 2008, Tunnel reverse engineering using terrestrial LiDAR, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 28, No. 6D, pp. 931-936.
3. Fischler, M. A., & Bolles, R. C., 1981, Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM* Vol. 24, No.6, pp. 381-395.
4. Hwang, W. S., Kim K. R., 2007, Updating building layer of digital map using airborne digital camera image, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 15, No. 4, pp. 31-39.
5. Hong, S. C., Park, I. S., Heo, J., Choi, H. S., 2012, Indoor 3D modeling approach based on terrestrial LiDAR, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 32, No. 5D, pp. 527-532.
6. Irani, M. and Anandan, P., 2000, About direct methods. In *Vision Algorithms: Theory and Practice*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 267-277.
7. Jeong, C. D., Oh, J. M., Kim S. Y., 2010, Accuracy analysis of building outline extracted from terrestrial laser scanner data, *Proceedings of the Korean Society for Geospatial Information System*, pp. 11-18.
8. Jung, S. Y., Kim, U. N., 2005, A 3D cadastral surveying process of the cadastral resurvey project, *Proceedings of the Korean Cadastre Information Association*, pp. 71-82.
9. Kang, J. M., Ha, Y., Park, J. K., Park, J. H., 2005, A study on the renewal of digital map using high-resolution satellite image, *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 4522-4526.
10. Kang, J. M., Yoon, H. C., Lee, J. D., Park, J. H., 2007, Analysis of economical efficiency of digital map in production cost by aerial LiDAR surveying, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 15, No. 1., pp. 67-73.
11. Kim, S. S., Jung, J. H., Kim, E. M., Yoo, H. H., Sohn, H. G., 2008, Geocoding of low altitude UAV imagery using affine transformation model, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 16, No. 4., pp. 79-87.
12. Kim, W. D., Lee, K. W., Park, H. G., 2000, Update/revision of digital map by using the drawing of work completion surveying, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 8, No. 11, pp. 85-95.
13. Lee, K. W., Kang, J. M., Kim, S. Y., We, G. J., 2000, Updating method by direct surveying of digital map, *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 679-682.
14. Lee, H. J., Ru, J. H., Kim, H. S., 2006, A study on digital mapping using LiDAR data, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 14, No. 2, pp. 33-42.
15. Lee, I. S., 2007a, 3D boundary extraction of a building using terrestrial laser scanner, *Journal of Geographic Information System Association of Korea*, Vol. 15, No. 1, pp. 53-65.
16. Lee, S. G., Kwon, J. H., Jeon, J. H., 2007b, A study on the realtime update of the digital-map by the general survey map, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 14, No. 3, pp. 19-26.
17. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, *Drawing rules of digital map*.
18. Roh, Y. J., Kim, N. W., Jeong, J. Y., Kang, D. W., Jeong, K. H., Kim K. D., 2008, Automatic searching algorithm of building boundary from terrestrial LIDAR data, *Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 139-140.
19. Seo, I. H., Sohn, H. G., Han, S. H., Park, H. G., 2009, 3D Building modeling using segmented terrestrial LiDAR point cloud and its outline, *Proceedings of the Korean Society of Civil Engineers*, pp. 1705-1708.
20. Shin, D. B., and Yu, S. C., 2008, A study on the application on maps of completion of the construction for updating digital maps, *Proceedings of the Korean Society for Geospatial Information System*, pp. 19-25.