

## 지상라이다를 이용한 건축물의 3차원 경계 추출

이 인 수\*

### 3D Boundary Extraction of A Building Using Terrestrial Laser Scanner

In-Su Lee\*

#### 요 약

지상라이다는 고정도의 3차원 영상을 제공하고 레이저 빔을 현장이나 대상물에 발사하여 짧은 시간에 수백만점의 3차원좌표를 기록할 수 있는 최신 측량장비로서 다양한 응용분야에서 두각을 나타내고 있다. 본 연구에서는 지상라이다를 이용한 아파트 건축물의 3차원 경계 추출을 다루었다. 실험측량결과 지상라이다로 아파트건축물의 3차원 경계를 신속하게 추출할 수 있었지만 지상기반시스템이므로 건축물 지붕 그리고 나무, 전주 때문에 건축물 저층부에서는 이것이 쉽지 않았다. 향후 토탈스테이션, 지상라이다, 항공라이다와 항공사진측량과의 결합을 통해 효율적인 3차원공간정보 획득이 가능할 것으로 기대된다.

주요어 : 레이저 스캐닝, 지상라이다, 3차원 경계추출, 항공라이다, 3차원 건물모델링

**ABSTRACT** : Terrestrial laser scanner provides highly accurate, 3D images and by sweeping a laser beam over a scene or object, the laser scanner is able to record millions of 3D points' coordinates in a short period, so becoming distinguished in various application fields as one of the representative surveying instruments. This study deals with 3D building boundary extraction using Terrestrial Laser Scanner. The results shows that high accuracy 3D coordinates for building boundaries are possibly acquired fast, but terrestrial laser scanner is a ground-based system, so "no roofs", and "no lower part of building" due to trees and electric-poles, etc. It is expected that the combination of total station, terrestrial laser scanner, airborne laser scanner with aerial photogrammetry will contribute to the acquisition of an effective 3D spatial information.

---

\*대한지적공사 지적연구원 책임연구원(ilee0614@yahoo.co.kr)

**Keywords** : laser scanning, terrestrial laser scanner, 3d boundary extraction, airborne laser scanner, 3D building modeling

## 1. 서론

레이저스캐닝은 매우 정확한 3차원 영상을 제공함으로써 작업 설계자는 많은 측정군을 시각화하고 처리함으로써 실세계를 경험할 수 있게 된다. 지상라이다는 레이저 빔을 현장이나 대상물에 발사하여 수백만점의 3차원좌표를 기록한다. 이들 XYZ 측정값들은 상용소프트웨어인 CAD (Computer-Aided Design)나 3차원 응용소프트웨어에서 처리될 수 있고 단일색상, 그레이스케일(gray-scale), 적외선 사진이나 실제색상으로 조합된 측정군들이 컴퓨터 모니터에 디스플레이 될 수 있다.

국내의 경우 활용사례를 살펴보면, 건물모델링(사석재 외 3인, 2004; 이임평 외 3인, 2004), 구조물이나 철골보의 변위계측 및 안전성 모니터링(이홍민·박효선, 2004; 이홍민 외 2인, 2005), 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가(김영경, 2005)에 활용되고 있다. 그리고 문화재 복원, 안전진단 및 정밀실측 등의 문화재 관리, 또 골프장 및 건설공사 등의 설계에 사용되고 있다.

국외에서는 도로표면평활도 검사(Jaselskis *et al.*, 2003), 구조물 및 교량 등의 변형모니터링(Gordon *et al.*, 2001), 문화재 보존 및 복원(Barber *et al.*, 2001), 또 산사태 및 빙하 모니터링(Rowlands *et al.*, 2003; Baucer

*et al.*, 2003) 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

본 연구는 공간적 범위로서 아파트건축물을 선정하였으며 연구방법은 문헌조사에 의한 자료수집(2차 조사), 그리고 실험측량으로 이루어져 있다. 그리고 본 연구는 레이저스캐닝 원시데이터와 CCD 영상을 이용하여 아파트건축물의 3차원 경계를 직접추출하고 토탑스테이션측량 결과와 비교하여 그 정밀도를 평가하고, 나아가 지상라이다의 3차원 공간정보분야 활용을 위한 기초 자료를 마련하는 데 그 목적이 있다.

## 2. 레이저 스캐닝과 TS측량 기술 비교

### 2.1 레이저스캐닝

레이저스캐닝은 높은 데이터 측정횟수, 높은 공간 데이터 밀도와 정확도, 그리고 무타깃 시스템특성의 장점으로 인해 여러 응용분야에서 두드러진 성과를 보여주고 있다. 본 실험측량에서 이용한 시간차 방식(TOF)의 지상라이다는 레이저 파의 왕복 이동 시간( $\Delta t$ )를 관측함으로써 거리(range)  $\rho$ 를 측정한다. 본 실험측량에서 이용된 지상라이다의 주요 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 레이저스캐닝라이다 사양

측정원리	TOF(Time of flight)
속도	2,000측점/초
거리	80% 타깃 반사도 - < 1500m 20% 타깃 반사도 - < 800m
빔확산도	0.00974°
최소측점간격 (spot step)	0.00115°
정확도	< 8mm

$$\rho = \frac{1}{2}c\Delta t \quad (1)$$

여기서,  $c$ : 빛의 속도

<표 2>는 레이저스캐닝의 장점과 향후 개선되어야 할 사항들을 정리하였다. 이를 통하여 지상라이다도 측량장비 중 하나로써 타 측량시스템과 결합 이용 시 더 높은 작업효율성을 제공해 줄 수 있음을 알 수 있다.

## 2.2 토탈스테이션 측량

일반적으로 거리는 전자파 거리측정기(EDM: Electromagnetic Distance Meter)로, 각

은 트랜짓(transit)이나 데오도라이트(thedolite) 등으로 측정하여 왔으나, 최근에 토탈스테이션(TS: Total Station)으로 거리와 각을 동시에 관측할 수 있으며 계산 및 제도에 까지 일괄하여 처리할 수 있게 되었다. 본 실험측량에서는 적외선과 무타깃 EDM을 가지고 있는 TS를 이용하였으며 자세한 세부내용은 <표 3>과 같다.

## 2.3 시스템특징 비교

여기서는 공간정보획득 측면에서 재래 측량장비인 TS와 지상라이다를 기술적 측

<표 3> 토탈스테이션 사양

각도 측정	
정확도	3"
거리측정	적외선 레이저
프리즘까지 거리	3500 m
정확도 / 시간 (IR)	
정밀모드	2mm + 2ppm / < 1sec
레인지 모드 (RL)	170m(TCR)
정확도 / 시간 (IR)	
일반모드	3mm+2ppm / 3초

<표 2> 레이저스캐닝 장점 및 문제점 분석

장점	문제점
• 재래기술에 필적하는 정밀도 가능	• 장비 및 데이터 취득소프트웨어 비용
• 짧은 시간에 대규모 지역 측정가능	• 데이터 처리위한 강력한 PC 요구
• 획득데이터의 정량화와 균일성	• 후 처리 단계의 복잡성 (CAD 전문가)
• 복잡한 기하정의 가능 (타 측량시스템으로는 어려움)	• 데이터 처리 소프트웨어개발이 완전하지 않음(예, 측정군의 구분)
• 높은 자동화로 현장작업 준비 작업이 적음	• 다수의 응용소프트웨어 필요
• 그래픽에 혁신을 가져옴	• 레이저 스캐닝 측량과 재래 측량기법의 결합 요구(즉, 지형측량, 사진측량)
• 3차원 모델 데이터베이스 구현 가능	• 관련문헌의 부족
• 재래기법과 비교할 때 손쉽게 3차원 모델 생성가능	
• 역설계(RE)와 신속 원형복원(RP)가능	

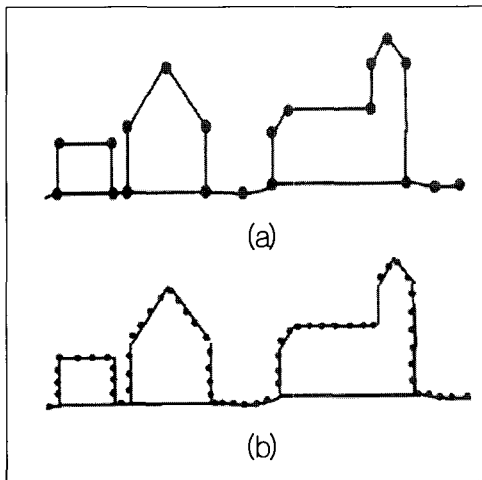
출처: Laura et al., 2004

면, 경제성 측면에서 간략히 비교하고자 하였다<표 4>. 그리고 [그림 1]은 건축물 정보취득 방법을 보여주는 것으로 재래방식인 TS측량 등의 경우는 (a)처럼 개개 측점을 관측하지만, 지상라이다는 표면에 대해 한 번에 다수측점의 3차원좌표를 취득한다(b). 이를 통해 두 가지 측량시스템의 활용분야 등을 추정할 수 있다.

<표 4> TS측량과 레이저스캐닝 특성 비교

TS측량	레이저스캐닝
• 소수 측점들 정확하게 관측(격자모델)	• 다수의 임의 측점들이 관측(표면모델)
• 측점들이 대표성을 지님	• 측점들은 대표성이 없음
• 측점획득에 많은 노력이 요구 됨	• 쉽게 측점을 획득할 수 있음
• 3차원 측점들	• 3차원 요소들
• 품질 → 측점들	• 품질 → 기하학적 요소

출처: Rudolf Staiger, 2005

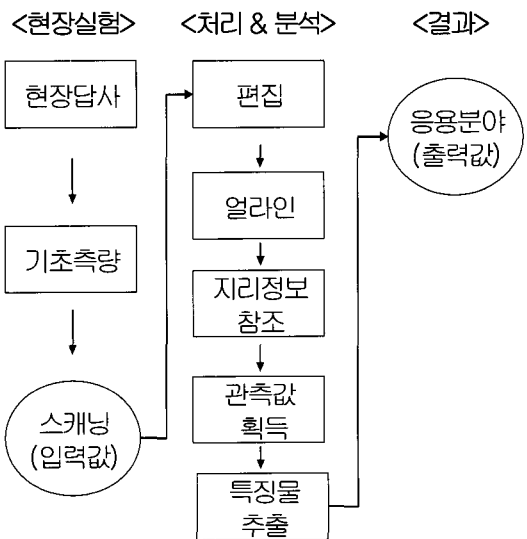


[그림 1] 건축물정보 취득방법

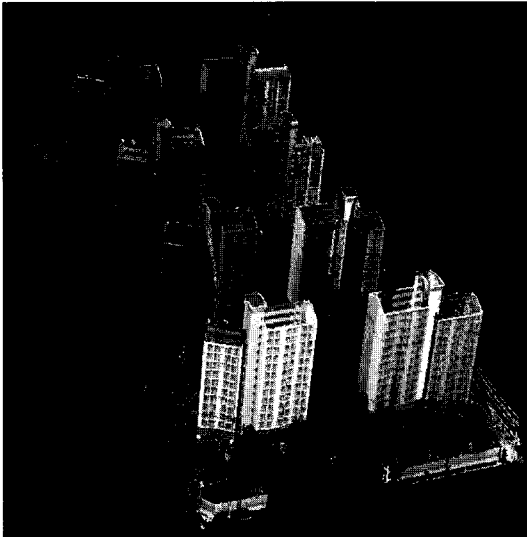
### 3. 아파트건축물의 레이저스캐닝

#### 3.1 개요

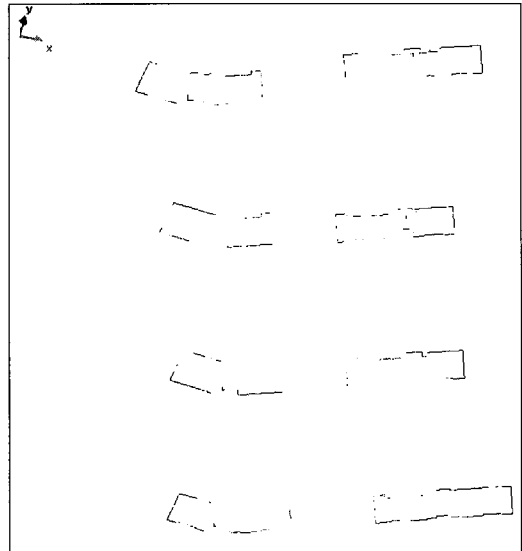
실험측량은 아파트 8개동 건축물에 대해 레이저스캐닝과 TS측량으로 구성되었지만, 실제 결과처리에서는 2개동만 이용하였다. 자료처리는 레이저스캐닝의 경우 입력 자료는 레이저스캐닝 원시자료, 즉 측점군과 CCD 영상, 그리고 TS로 획득한 표정점의 지역좌표(local coordinates) 등이 사용되었다. 장비구매 시 도입한 상용소프트웨어로 [그림 2]에서 제시된 처리, 분석 및 출력 등 일련의 과정에 따라 작업을 수행하였다. 그리고 TS측량의 경우 상용소프트웨어인 CAD를 사용하여 기본적인 자료처리 후 3차원모델을 제작하였다. [그림 3]을 통해서 레이저스캐닝의 원시자료로 아파트 8개동 건물을 개략적으로



[그림 2] 작업 흐름도



[그림 3] RGB 텍스처



[그림 4] 건물 윗부분 종단면도

로 식별할 수 있었다. 나아가 실제 건물 지붕에 대해 얼마만큼의 레이저 측정군이 형성되었는지 조사하기 위해 종단면도를 구한 결과 [그림 4]와 같은 성과를 얻었다. 이것을 통해 아파트건축물 고층부분에는 레이저 반사가 이루어질 수 있는 영역이 적어 올바른 측정군이 형성되지 않았음을 알 수 있다. 이것은 지상라이다가 지상기반시스템(ground-based system)이므로 건축물지붕에 대해 레이저 반사가 이루어질 수 없기 때문이다. 이런 이유로 건축물의 완전한 3D 모델을 구현하고자 할 경우 항공라이다와 항공사건측량시스템 등과의 결합이 필요하게 된다. 그리고 실험측량에서 얻은 레이저스캐닝 데이터 정보를 정리해 보면, 측정군은 총 39,897,570개, 스캔 수는 15회, 측정군의 파일크기는 약 126MB (Grey-scale, 8비트), RGB텍스처(163MB, 24비트)이며 <표 5>, 지상라이다는 실험 지역 모두를 포함하기 위해 8개 기계설치

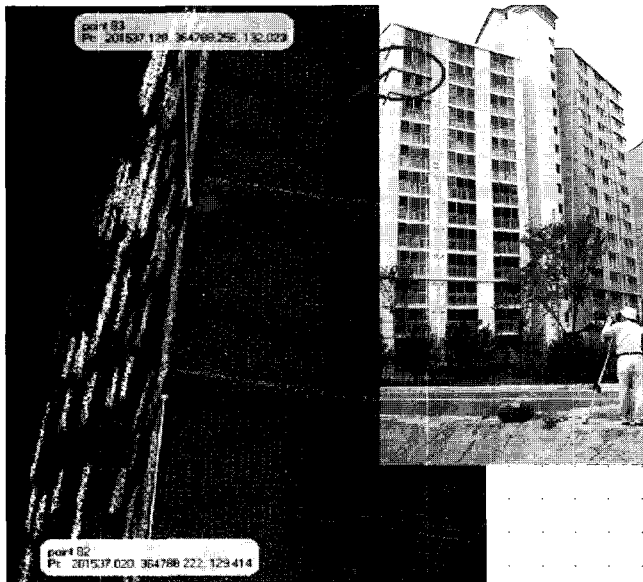
점을 두었다. 1개 기계설치점에서 레이저스캐닝 수행시간은 평균 0.330(시간), 작업 인원은 2명이였다.

### 3.2 건축물의 특이점에 대한 성과 비교

레이저스캐닝을 통해 레이저반사가 잘 이루어질 수 있는 아파트건축물의 난간 등의 돌출부의 특이점에 대해 21점의 위치좌표를 획득하였다. 이 작업을 위해 상업용 소프트웨어에 포함된 ‘가상측량기법(virtual survey)’ 모듈을 이용해서 수작업으로 아파트건축물 돌출부에 형성된 측정군을 마우스로 클릭하여 개개 위치좌표를 획득하였다. [그림 5]는 가상측량기법을 이용하여 아파트건축물 돌출부의 위치좌표추출 모습과 TS측량으로 동일점을 측정하는 모습을 보여주고 있다. 그리고 본 실험측량에서 획득한 레이저 측정군의 정밀도를 평가하기 위하여 아파트건축물 돌

<표 5> 레이저스캐닝 데이터

Scan	스캐닝 범위		측점군(개)	스캐닝시간(시간)	평균거리(m)	X, Y 측점군 간격(counts/mm)
	수평(deg)	수직(deg)				
1	50	50	2284636	0.317	65.09	15 / 26.0
2			2567812	0.357	73.05	15 / 29.2
3			2693668	0.374	64.11	15 / 25.6
4			4789320	0.005	101.84	10 / 27.1
5			4393712	0.610	95.77	11 / 28.1
6	50	50	1886350	0.262	61.78	15 / 24.7
7			3008308	0.418	65.38	15 / 26.3
8			1716536	0.238	92.47	15 / 36.9
9			2271654	0.316	92.47	15 / 36.9
10	50	50	22711460	0.315	75.13	20 / 30.0
11			2252305	0.313	81.76	20 / 28.3
12			2585893	0.359	82.72	20 / 33.0
13			2210808	0.307	88.08	20 / 32.8
14	50	50	2315560	0.322	84.32	15 / 33.7
15			2649556	0.368	90.91	15 / 31.5
평균	50	50	2659838	0.330	81.03	14.07 / 30.01



[그림 5] 아파트건축물 돌출부 측정

출부 등의 특징점에 대해 무타깃 TS로 측량을 실시하였다.

<표 6>은 레이저스캐닝에 의한 아파트 건축물 돌출부의 좌표거리, 좌표거리차,

그리고 높이차를 비교하여 정리한 것이다. 여기서 평균값, 평균편차 그리고 거리 차 표준편차를 검토한 결과 큰 오차가 발생하였다. 이것은 TS와 지상라이다로 아파

<표 6> 특징점간 성과 분석

측점-측점	레이저스캐닝	TS측량	레이저스캐닝-TS측량	
	좌표거리(m)		좌표거리차(m)	높이차(m)
1-2	0.272	0.241	0.031	-0.179
2-3	0.175	0.011	0.164	0.194
3-4	57.042	56.981	0.061	0.265
4-5	0.018	0.007	0.011	-0.014
5-6	0.017	0.014	0.002	-0.024
6-7	59.013	58.996	0.018	-0.019
7-8	0.037	0.014	0.023	-0.013
8-9	0.032	0.038	-0.005	-0.067
9-10	75.982	75.890	0.092	-0.041
10-11	0.061	0.002	0.060	-0.137
11-12	0.016	0.015	0.001	-0.126
12-13	57.455	57.434	0.021	-0.080
13-14	0.045	0.015	0.030	-0.134
14-15	0.087	0.010	0.077	-0.095
15-16	55.455	55.340	0.115	-0.117
16-17	0.076	0.012	0.064	-0.248
17-18	0.071	0.022	0.049	-0.308
18-19	67.466	67.575	-0.109	-0.253
19-20	0.026	0.007	0.019	-0.171
20-21	0.013	0.006	0.007	-0.227
21-1	171.037	171.113	-0.076	-0.260
평균(m)			0.030	-0.116
평균편차(m)			0.041	0.102
표준편차(m)			0.057	0.141

트 특징점의 동일위치에 대해 위치좌표를 구하고자 하였지만 본 실험측량에서 사용한 무타깃 토탈스테이션(reflectorless Total Station)의 경우 레이저 포인터가 인식할 수 있는 물체크기가 60mm × 60mm 반사포일(foil)로 알려져 있으므로 건축물 경계면이나 모서리는 그 접촉 면적이 적어서 위치 측정 어려웠다. 그래서 무타깃 TS의 망원경으로 특징점의 위치를 개략적으로 시준한 뒤 미세조정나사로 헤드(head)를 조금 회전하여 즉, 실제위치와는 약간 편심된 위치좌표를 획득하였다. TS측량의 경우

이런 이유로 작업시간이 많이 소요된 반면에 레이저스캐닝에서는 작업영역을 먼저 설정하고 스캐닝만 수행하였으므로 작업시간이 많이 절약되었다.

### 3.3 건축물의 임의점에 대한 성과 비교

이 항에서는 아파트건축물의 들출부가 아닌 모서리 등의 임의점에 대해 거리와 거리차를 비교하였다. <표 7>은 아파트건축물의 임의점에 대해 레이저스캐닝과 TS측량으로 얻은 좌표거리와 좌표거리차

<표 7> 임의점간 성과 분석

측점 - 측점	성분	거리 (m)		거리 차 (m)
	시스템	레이저스캐닝	TS측량	레이저스캐닝 - TS측량
1-5		13.320	13.217	0.103
1-2		5.804	×	×
1-3		11.283	10.366	0.917
2-3		5.480	×	×
3-4		13.046	13.134	-0.088
4-5		11.226	10.772	0.454
7-8		3.612	×	×
9-11		19.435	19.414	0.021
11-12		5.488	×	×
12-13		5.887	×	×
10-13		19.764	19.679	0.085
14-16		11.361	11.371	-0.010
16-17		19.377	19.495	-0.118
14-18		19.852	19.718	0.134
19-21		5.384	5.498	-0.114
19-20		11.958	12.600	-0.642
20-22		5.539	5.498	0.041
21-22		11.968	12.600	-0.632
23-25		19.522	×	×
25-26		5.636	×	×
25-27		11.321	12.145	-0.824
26-27		5.689	×	×
24-27		19.674	19.724	-0.050
평균(m)				-0.723
평균편차(m)				0.284
표준편차(m)				0.429

를 정리하였다. 통계분석 결과, 평균과 평균편차는 큰 오차를 보여주고 있다. 이것은 무타깃 TS를 이용하여 레이저를 반사했을 때 아파트건축물 모서리 등의 임의점이 돌출부와 같은 특이점보다 측정이 어려웠다는 점, 레이저스캐닝의 경우 다

수 레이저측점군에서 아파트건축물 모서리부분 인식이 불확실하여 정확한 위치결정이 어려웠다는 점이 주요 요인이 될 것이다. 그리고 <표 7>의 일부 행(row)에 TS측량의 성과를 볼 수 없어 이것은 데이터 측정이 불가능했음을 의미한다. 위의 두



가지 경우, 즉 아파트건축물의 돌출부와 임의점(특히, 모서리)에 대해 레이저스캐닝과 TS측량 후 레이저 광선이 대상물 표면과 일정한 각을 유지하여야 레이저측점군이나 레이저 포인트 반사가 용이하므로 기계설치 시 많은 주의가 필요함을 알 수 있었다.

#### 4. 아파트건축물 3D 모델링 및 작업능률 비교

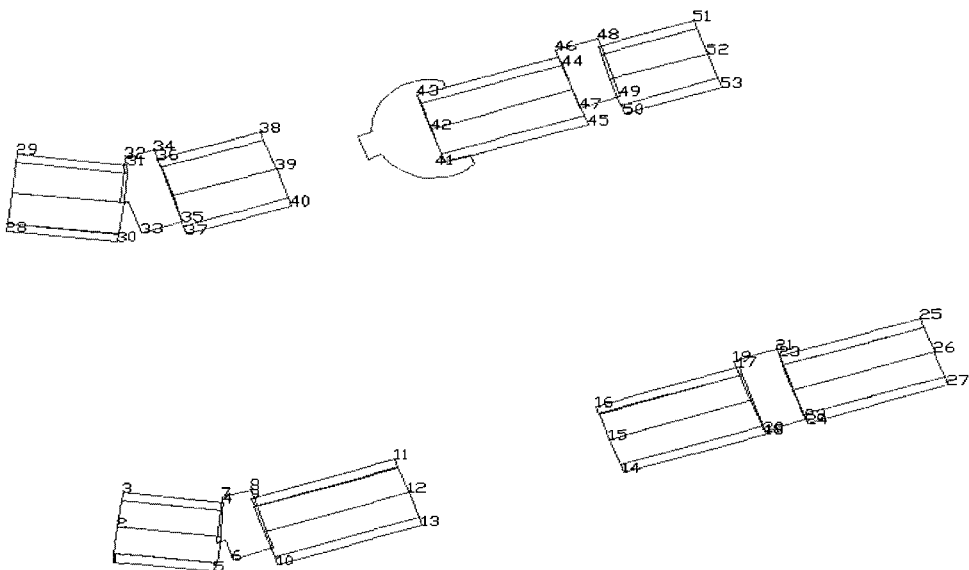
##### 4.1 아파트건축물 3D 모델 구축

본 연구에서는 건축물전체에 대한 용적(volume)을 구하지 않고 아파트건축물의 모서리에 대한 3차원좌표를 이용하여 3D 모델을 구축하고자 하였다. [그림 6]은 <표 6>에 기술된 아파트건축물 고층부 임

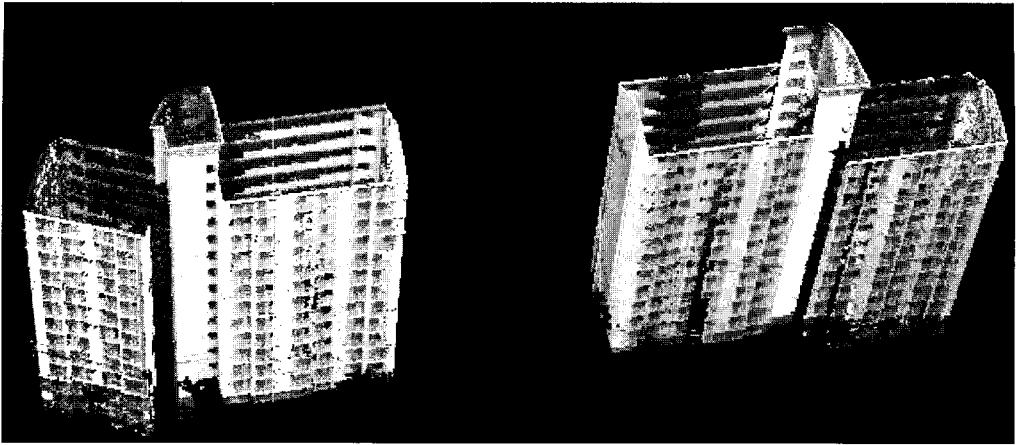
의점들의 위치를 항공사진측량 수치도화 성과에 도시한 것이다.

[그림 7]은 레이저스캐닝과 TS측량에 의해 아파트건축물의 각 모서리 점들이 2차원좌표(X, Y)뿐만 아니라 높이(Z) 값을 가지고 있는 3D 모델을 나타내고 있다. 레이저스캐닝과 TS측량의 경우 아파트건축물에 반사된 레이저측점군 또는 레이저 포인트들 중 경계면이나 모서리에 해당하는 측점들의 3차원좌표를 수작업으로 획득하여 CAD에서 3D 모델을 제작하였다.

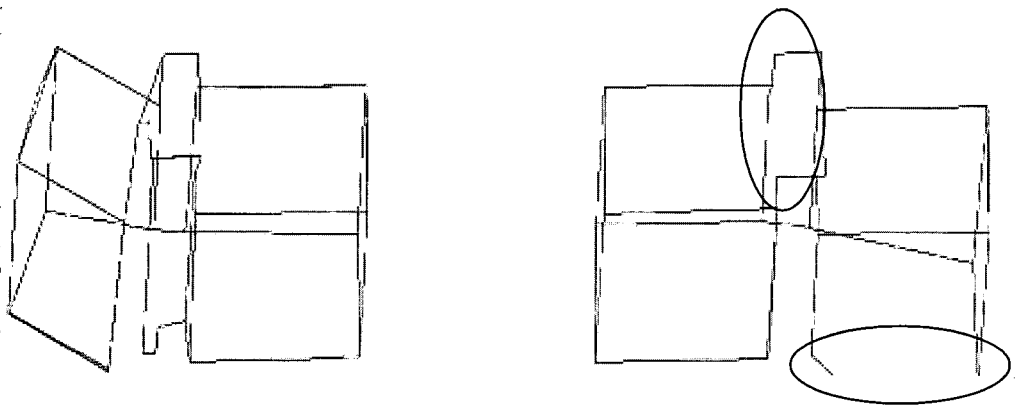
[그림 7]에서 레이저스캐닝에서(b)의 우측아파트건축물의 아랫부분은 나무 등의 장애물이 존재하여 유효한 레이저측점군을 획득할 수 없어 3차원좌표를 획득할 수 없었으므로 다각형이 개방되어 있음을 알 수 있고, 윗부분도 레이저 반사가 올바르게 이루어지지 않아 측점군이 불충분하여 3D 모델제작이 불가능하였다. (c)의



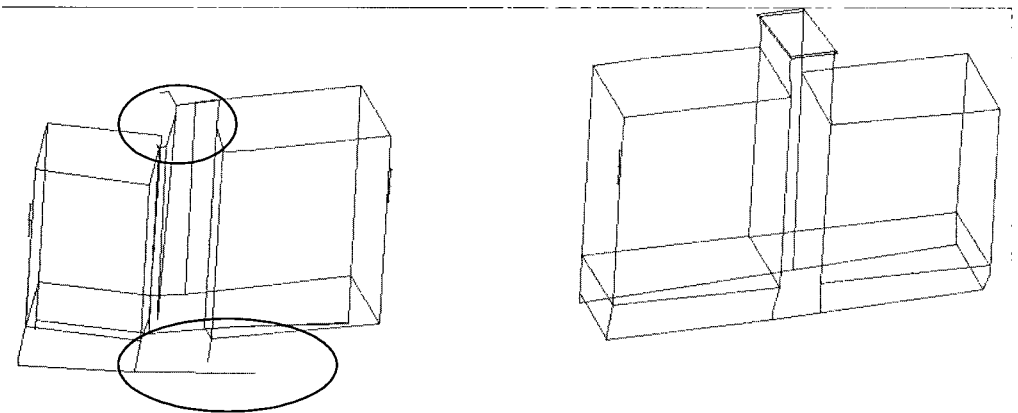
[그림 6] 수치도화



(a) RGB텍스처



(b) 레이저스캐닝 성과



(c) TS측량 성과

[그림 7] 3D 모델구축

좌측건축물의 경우에 무타깃 TS측량 시 레이저포인터가 건축물 윗부분 가장자리에서 올바른 반사가 이루어지지 않았고 아랫부분에서도 나무 등의 장애물로 인해 시통(line of sight)이 어려워 데이터 측정이 불가능하였다. 비록 본 레이저스캐닝에서는 주위 장애물로 인해 아파트건축물에 대한 3D 모델제작이 완전하지 못하였지만 레이저 반사면이 넓은 대상물의 경우에는 장비사양에서 보여주듯이 높은 정확도를 보일 것이며 단시간에 효율적으로 3차원 공간정보를 획득할 수 있을 것이다. 특히, 레이저 스캐닝은 개개 측점방식으로 위치좌표를 얻는 것이 아니라, 한번에 많은 레이저 포인터를 표면에 반사시켜 이를 수신하여 특징점의 위치좌표 추출, 대상물표면의 면적 및 부피 등을 계산할 수 있다.

#### 4.2 작업시간 분석

레이저스캐닝과 TS측량은 서로 상이한 측량시스템이므로 현장작업시간도 상이할 것이다. 하지만 지상라이다를 향후 측량 등의 업무에 적용할 경우를 대비하여 개략적으로 현장작업시간을 <표 8>에 정리하였다. 이 수치들 중 현장작업시간은 기초측량부분을 제외한 순수소요시간으로서 경계점간 이동, 폴(pole)에 의한 경계점 타설, 그리고 정준(leveling) 및 구심

(centering) 등의 작업과정이 모두 포함되어 있다.

아파트건축물 3D 모델구축을 위한 현장작업에서 TS측량이 레이저스캐닝에 비해 4배 이상의 작업시간을 요구함을 알 수 있었다. 이것은 TS측량의 경우 앞에서 언급했듯이 건축물 고층부분의 가장자리를 시준 할 경우 정확하게 레이저 반사가 이루어지지 않아 여기에 많은 작업시간이 소요되었다. 참고로 <표 8>에서 TS측량의 경우에 망원렌즈를 통해 현황이나 건축물 모서리의 가장자리 시준작업, 좌표입력 그리고 레이저가 올바르게 반사되지 않아 관측이 불가능 할 경우의 재 관측에 필요한 시간 등 모든 시간이 포함되었으므로 소요시간이 증가한 것으로 사료된다.

내업으로서, 아파트건축물 경계추출에 소요된 시간은 초보자가 단순히 상용소프트웨어를 이용하여 레이저 스캐닝 원시데이터의 잡음제거, 참조지리정보(geo-referencing), 매칭(matching)과 등록(registration) 등 모든 전처리작업과정이 완료된 뒤 단순히 가상측량기법을 이용하여 경계점을 추출하여 결선하는 작업만 수행하는 데 소요된 시간을 고려한 결과, 레이저스캐닝 원시데이터를 이용하여 복잡한 건축물의 경계선을 추출할 경우 많은 측점군들 중 정확한 위치에 해당하는 측점군 식별이 용이하지 않아 TS측량에 의한 작업의 경우보다 조금 오랜 시간이 소요되었지만 아파트건축

<표 8> 현장 작업시간

소요시간		비고
레이저스캐닝	0.280×11(스캔) = 3.08 시간(8개동) (≒ 0.39시간 / 동)	약 3천 9백만 점
TS측량	(1.757시간 + 1.445 시간) (2개동) (8 × 1.601 시간 ≒ 12.808시간)	73점

물 각 동에 대해 수분 이내에서 경계선 추출이 가능하였다.

## 5. 결 론

지상라이다를 이용하여 아파트건축물에 레이저스캐닝을 수행하여 토탈스테이션측량으로 그 품질을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저스캐닝 위치정밀도를 평가하기 위해 아파트건축물의 돌출부에 대한 TS측량 수행결과 좌표거리차와 높이차에서 표준편차는 +0.057m와 +0.141m로 나타났다. 이런 결과는 TS의 레이저 포인트 관측 특성에 의해 레이저스캐닝 시 사용한 동일점에 대한 편심관측에 의해 기인한 것으로 사료된다.

2. 아파트건축물의 돌출부가 아닌 모서리 등의 임의점에 대해 레이저스캐닝과 TS측량결과 임의점사이의 좌표거리차의 표준편차는 약 +0.429m로 큰 차이를 보였다. 이를 통해 레이저 반사가 용이한 곳에서는 TS측량이나 레이저스캐닝 모두 정확한 위치결정이 가능하지만 그렇지 않은 경우 위치정밀도가 크게 저하됨을 알 수 있었다.

3. 아파트건축물의 경계면과 모서리에서 충분한 레이저측점군이 형성되지 않았고 자료처리 시 요구 위치에 해당하는 측점군 식별이 어려워 완전한 3D 경계추출 및 모델링 작업이 불가능 하였다.

끝으로 레이저스캐닝에서 아파트건축물의 고층부 등 접근 곤란지역에서도 데이터취득이 가능함이 입증되었지만 완전하

지는 못했으며 아파트저층부와 같이 나무 등의 장애물이 있는 경우 작업효율성이 크게 저하되는 점에서 TS측량이나 RTK 위성측량과 비슷한 단점을 노출하였다. 향후 장애물이 없는 접근이 곤란하거나 넓은 표면적을 가진 건축물 및 구조물, 그리고 시설물 등에 레이저스캐닝을 적용함으로써 재래측량장비에 비해 높은 작업효율성을 가져올 것으로 기대된다.

## 참고문헌

- 김영경, 2005, “지상 레이저 스캐닝 시스템을 활용한 암반사면과 댐체의 특성 및 안정성 평가에 관한 연구”, 배재대학교 대학원 석사학위 논문.
- 사석재, 이임평, 최윤수, 오의중, 2004, “지상라이다와 디지털지상사진측량을 융합한 건축물의 3차원 정밀도모델링”, 한국지적학회 학술대회 논문집, 2004년도 추계, 제주도, pp. 61-68.
- 이임평, 최윤수, 사석재, 오의중, 2004, “지상라이다를 이용한 건물의 정밀도 모델링”, 한국측량학회: 학술대회지, 한국측량학회 04 춘계학술발표회 논문집, pp. 491-500.
- 이흥민·박효선, 2004, “구조물의 변위 계측을 위한 지상 라이다의 정밀도 분석”, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제24권 제2호, pp. 207-210.
- 이흥민, 박효선, 이임평, 2005, “지상 LiDAR를 이용한 철골보의 안전 및 사용성 모니터링을 위한 변위계측기법”, 한국전산구조공학회 학술발표 논문집, 18권 1집, pp. 190-197.
- Baratin, L., Curti S, Lodi M., 2004, “3-D VISUALIZATION AND ANIMATION OF ARCHITECTONIC ELEMENTS FOR URBAN

- RECOVERY AND RE-QUALIFICATION’, ISPRS Workshop on Processing and Visualization using High-Resolution Images, 18-20 November, Pitsanulok, Thailand.
- Barber, D., J. Mills. and P. G. Bryan, 2001, “Laser scanning and photogrammetry: 21st Century metrology”, CIPA International Archives for Documentation of Cultural Heritage, 18: 360-366.
- Baucer, A., G. Paar. and V. Kaufmann, 2003, “Terrestrial laser scanning for rock glacier monitoring, Permafrost”, Phillips, Springman & Arenson(eds), 2003 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 582 7, Austria, pp. 55-60.
- Gordon, S., J. D. Lichti. and M. Stewart, 2001, “Application of a High-Resolution, Ground-Based Laser Scanner For Deformation Measurements”, Session I: New Techniques In Monitorings Surveys I, 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, 19-22 March, Orange, California, USA, pp. 23-32.
- Jaselskis, E. J., C. E. Thomas, S. J. Andrlé and Z. Gao. Z., 2003, “Pilot Study on Improving the Efficiency of Transportation Projects Using Laser Scanning”, Final Report, Center for Transportation Research and Education, Iowa State University, Midwest Transportation Consortium, USA, pp. 1-70.
- Rowlands, K, A., L. D. Jones and M. Whitworth, 2003, Landslide Laser Scanning: a new look at an old problem, Photographic Feature, pp. 155-157.
- Rudolf, S., 2005 The Geometrical Quality of Terrestrial Laser Scanner, FIG, Sternberg, H., 2004, “Vom Punkt zur Punktwolke-Leistungsfähigkeit terrestrischer Laserscanner”, HAMBURGER FORUM FÜR GEOMATIK, Hamburg. Juni 16-17.