

## 지상레이저스캐닝 기반 3차원 실내 모델링

홍승환\* · 조형식\*\* · 김남훈\*\*\* · 손홍규\*\*\*\*

Hong, Seung Hwan\*, Cho, Hyoung Sig\*\*, Kim, Nam Hoon\*\*\*, Sohn, Hong Gyo\*\*\*\*

### 3D Indoor Modeling Based on Terrestrial Laser Scanning

#### ABSTRACT

According to the increasing demand for 3D indoor spatial information, the utilization of a terrestrial laser scanner comes to the fore. However, the research for the comparison between a terrestrial laser scanning method and a traditional surveying method is insufficient. The paper evaluated the time-efficiency and the locational accuracy of an AMCW type and a direct TOF type of terrestrial laser scanning methods in comparison with the observation using a total station. As a result, an AMCW type showed higher time-efficiency than a direct TOF type and the RMSE between the two types of data was  $\pm 1$ mm. Moreover, the terrestrial laser scanning method showed twice higher time-efficiency than the observation using a total station and the RMSE between the two data was  $\pm 3.4$ cm. The results indicate that the terrestrial laser scanning method has better profitability and performance for 3D indoor modeling than the traditional survey using a total station. In the future, a terrestrial laser scanner can be efficiently utilized in the construction of 3D indoor spatial information.

**Key words :** Terrestrial laser scanner, Point cloud, RANSAC algorithm, 3D indoor modelling, Design drawing

#### 초록

3차원 실내공간정보에 구축 시 경제성, 효율성 및 정확도 향상을 위한 지상레이저스캐너의 활용이 주목을 받고 있다. 그러나 실내공간정보 구축에 있어 지상레이저스캐너 관측방식과 기존 측량방식 방식에 대한 비교 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 설계도면 갱신 및 3차원 실내 모델링에 AMCW 방식 및 direct TOF 방식의 지상레이저스캐너와 토탈스테이션의 작업시간 및 위치정확도를 비교하여 지상레이저스캐너의 효율성과 경제성을 제시하였다. 비교결과, AMCW 방식은 direct TOF 방식에 비해 시간효율성이 뛰어났으며 두 관측값 사이의 RMSE는  $\pm 1$ mm 수준으로 나타났다. 또한 지상레이저스캐닝 방식은 토탈스테이션 관측방식에 비해 2배 이상의 시간효율성을 보였으며 두 관측값 사이의 RMSE는  $\pm 3.4$ cm로 나타났다. 제시된 지상레이저스캐너를 이용한 3차원 실내모델링의 경제성과 효율성을 바탕으로 향후 3차원 실내공간 정보 구축에 지상레이저스캐닝 방식이 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**검색어 :** 지상레이저스캐너, 포인트 클라우드, RANSAC 알고리즘, 3차원 실내 모델링, 설계도면

\* 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 (Yonsei University · hotaem@yonsei.ac.kr)

\*\* 정희원 · 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 (Yonsei University · fl5kdaum@yonsei.ac.kr)

\*\*\* 연세대학교 토목환경공학과 박사과정 (Yonsei University · knamsang@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* 정희원 · 교신저자 · 연세대학교 토목환경공학과 교수 (Corresponding Author · Yonsei University · sohn1@yonsei.ac.kr)

Received January 8, 2015/ revised January 28, 2015/ accepted March 3, 2015

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

3차원 실내 공간정보의 경우 시공 후의 형상은 설계시의 도면과 불일치 하는 경우가 발생할 수 있으므로 공사 후 완공도면을 작성하여 설계도면을 갱신할 필요가 있다. 특히 국내의 경우, 고층 건물, 장대 교량 등 대형 구조물이 증가하고 있고 많은 사회기반시설이 급격히 노후화되어 가고 있어 대규모 인적 재해의 가능성도 증가하고 있다. 이에 따라 재해 상황 발생시 빠른 대처를 위한 구조물의 3차원 공간정보 구축이 중요시 되고 있다. 과거에는 3차원 공간정보 구축 시 주로 기존 설계도면과 토달스테이션 등을 활용하였으나 최근에는 경제성, 효율성 및 정확도 향상을 위해 지상레이저스캐너를 활용한 다양한 연구들이 이루어지고 있다(Fröhlich and Mettenleiter, 2004; Ingensand, 2006; Arayici, 2008; Budroni and Böhm, 2010; Tang et al., 2010; Jazayeri et al., 2014).

3차원 공간정보 구축을 위하여 일반적으로 사용되는 지상레이저스캐닝 관측 방식으로는 AMCW (Amplitude Modulated Continuous Waves) 방식과 direct TOF (Time Of Flight) 방식이 있으며, 두 스캐닝 방식은 유효거리, 정확도에서 차이를 보인다(Ingensand, 2006; Schulz, 2007). AMCW 방식은 변조된 신호 강도가 약해 관측 유효거리가 한정되지만, 샘플링 빈도가 수백 kHz로 매우 빠른 속도의 고밀도 3차원 포인트 클라우드 관측이 가능하다는 장점이 있다. 반면 direct TOF 방식은 방출 펄스의 강도가 강해 수백 미터의 관측이 가능하다는 장점이 있지만, 레이저 샘플링 빈도가 수십 kHz로 AMCW에 비해 관측 속도가 떨어진다. 위와 같은 특징들을 바탕으로 AMCW 방식은 중거리 관측에, direct TOF 방식은 중장거리 관측에 주로 사용된다. 지상레이저스캐너를 이용한 공간정보 구축은 크게 관측, 정합, 모델링 단계에서 그 정확도가 결정되는데, 위와 같은 사용 장비의 성능은 관측 및 정합단계에서의 정확도를 좌우하며 모델링 정확도는 작업자의 숙련도가 최종품질을 좌우한다고 할 수 있다(Hajian and Becerik-Gerber, 2010; Randall, 2011).

지상레이저스캐너를 통하여 취득한 스캐닝 데이터에는 3차원 모델링에 불필요한 노이즈 데이터가 포함되어 있다. 이러한 노이즈 데이터를 실내 공간 내 천장, 벽, 바닥 등으로부터 구분하는 작업은 비효율적인 수작업을 동반하게 된다. 3차원 포인트 클라우드 데이터에 포함된 노이즈 데이터를 제거하기 위한 방안으로 RANSAC (RANdom SAmple Consensus) 알고리즘을 활용한 방법들이 제시되고 있다. 실내 공간에서의 지상레이저스캐닝 데이터의 활용에 있어서 Hong et al. (2013)은 지상레이저스캐닝 데이터와 RANSAC 알고리즘을 기반으로 반자동으로 3차원 실내 도면을 추출하는 알고리즘을 제시한 바 있다. 실외 공간에서도 Hammoudi

et al. (2009)은 허프 변환, K-means 클러스터링 알고리즘, RANSAC 알고리즘을 이용하여 건물의 외곽선을 자동적으로 추출하기 위한 연구를 수행하였으며, Heo et al. (2013)은 RANSAC 알고리즘을 통하여 건물의 외곽선을 추출하고 이를 활용하여 3차원 도시 모델링을 수행하였다.

지상레이저스캐닝 데이터 기반의 실내의 공간 모델링을 위한 알고리즘들이 지속적으로 개발되고 있으나 실제 3차원 공간정보 구축에 있어 설계도면 또는 토달스테이션을 활용하는 전통적인 관측 방식과 최신의 지상레이저스캐너를 활용하여 공간정보를 구축하는 방법에 대한 상호 비교 연구는 부족한 실정이다. 뿐만 아니라 공간정보 구축 시 서로 다른 유형의 지상레이저스캐너를 활용할 때의 정확도 및 작업효율성에 대한 비교연구는 최근 지상레이저스캐너의 활용성을 비추어 볼 때 매우 시급하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 설계도면 갱신 및 3차원 실내 모델링에 있어 토달스테이션을 활용한 전통적 방식과 AMCW와 direct TOF 방식의 두 가지 종류의 지상레이저스캐닝에 대한 작업 시간 및 위치 정확도를 비교하였다. 데이터의 위치 정확도에 대해서는 RANSAC 알고리즘을 통하여 천장, 벽, 바닥에 대한 평면 모델을 추출하고 평면들이 만나는 교차점을 이용하여 관측하였다. 교차점에 대한 지상레이저스캐너 및 토달스테이션의 관측값과 설계도면의 좌표값을 비교하여 설계도면 내 오차를 확인하고 취득한 스캐닝 데이터를 설계도면 좌표계로 변환하여 현재 상태의 3차원 실내공간 모델을 구축하였다.

## 2. 교차점 추출 및 데이터 좌표변환

### 2.1 RANSAC 알고리즘을 활용한 평면 및 교차점 추출

Fischler and Bolles (1981)은 많은 노이즈를 포함한 데이터로부터 특정 모델의 파라미터를 추정하기 위해 RANSAC 알고리즘을 제안하였다. 모델 파라미터를 추정하기 위한 RANSAC 알고리즘은 가설과 검증 단계의 반복으로 이루어진다. 매 반복마다 랜덤으로 샘플 데이터를 추출하고 이에 대한 모델 파라미터를 추정하여, 추정된 모델에 얼마나 많은 데이터가 포함되는지 확인하는 절차를 통해 최적 모델을 찾는 방법이다.

본 연구에서도 RANSAC 모델을 활용하여 포인트 클라우드로부터 평면 모델을 추출하는 방식을 채택하였다. 평면추출을 위한 평면의 방정식은 Eq. 1과 같이 표현하였다.

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

여기서,  $a, b, c, d$ 는 평면 모델의 파라미터이며,  $x, y, z$ 는 포인트의 3차원 좌표이다. 또한 평면 모델의 파라미터들이 서로 종속적이기

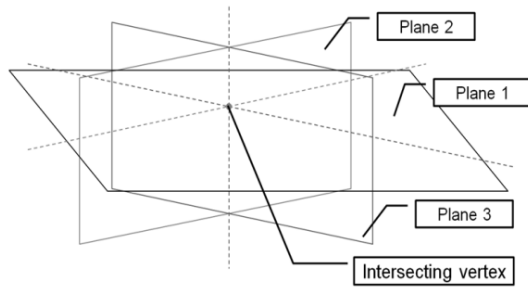


Fig. 1. Relationship Between Planes, Intersection Lines and Points

때문에 평면 모델에 Eq. 2와 Eq. 3의 제약조건을 부여하였다.

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1 \tag{2}$$

$$a \geq 0 \tag{3}$$

가설 단계에서는 포인트 클라우드로부터 일부 샘플 점 데이터를 추출하고 그 중 임의의 3개의 점을 랜덤으로 추출하여 위 평면의 방정식을 기반으로 평면 모델을 생성하였다. 점정단계에서는 샘플 점 데이터 중 생성한 평면 모델로부터 일정 거리 안에 있는 점들을 정상치(inlier)로 분류하고, 분류된 점 데이터들과 평면과의 RMSE를 통하여 생성한 모델의 적정성을 평가하였다.

스캐닝 데이터에 RANSAC 알고리즘을 적용하여 실내 공간 내 천장, 바닥, 벽 순으로 주요 평면을 추출하고, 추출된 평면 간의 교차를 통하여 공간 내 교차점을 추출하였다. 세 평면이 서로 평행하지 않다면 이들은 서로 접하게 되며 Fig. 1과 같이 선과 점이 나타나게 된다. 일반적인 실내 공간에서는 천장 또는 바닥이 두 개의 벽과 만나는 교차점들을 추출하여 3차원 실내 모델링에 활용할 수 있다.

Table 1. Specifications of Instruments Used in the Experiments

	Focus3D	Scanstation C10	GPT-9001A
Manufacturer	FARO	Leica	Topcon
Instrument type	Phase	Pulsed	-
Range	Focus20:20m, Focus120:120m	300m@90% (refl.)	3000m (1 prism)
Field of view (vert./hori.)	305/360	270/360	-
Scan rate (points/sec)	976,000	50,000	-
Ranging error	±2mm	±4mm	±5mm (Non-prism)
Ranging noise	0.6mm*	2mm (1 sigma)	-
Size(D,W,H)	240, 200, 100mm	238, 358, 395mm	338, 212, 197mm
Wight	5.0kg	13kg	6.9kg

\*@10m-raw data, @90% reflectance

## 2.2 3차원 직교좌표 변환

다른 시기 및 공간에서 취득된 3차원 데이터를 활용하기 위해서는 데이터 간 정합 과정이 필수적이다. 3차원 데이터를 정합하기 위한 방법으로는 3차원 직교 변환(3-dimensional similarity transformation), 3차원 부등각사상 변환(3-dimensional affine transformation) 등이 사용되고 있다. 설계도면, 토탈스테이션 및 지상레이저스캐너 관측 데이터는 같은 단위와 3차원 직교좌표계를 각각 사용하므로 3차원 직교좌표 변환을 사용하여 두 방법으로 취득한 데이터를 설계도면의 지상좌표계로 정합할 수 있다. 3차원 직교좌표 변환은 Eq. 5 와 같이  $R_{\omega\phi\kappa}, [T_X, T_Y, T_Z]^T$ , 을 포함한 행렬식 형태로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = R_{\omega\phi\kappa} \begin{bmatrix} X_{obs} \\ Y_{obs} \\ Z_{obs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} \tag{5}$$

where  $R_{\omega\phi\kappa} =$

$$\begin{bmatrix} \cos \phi \cos \kappa & \cos \omega \sin \kappa + \sin \omega \sin \phi \cos \kappa & \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \sin \phi \cos \kappa \\ -\cos \phi \sin \kappa & \cos \omega \cos \kappa - \sin \omega \sin \phi \sin \kappa & \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \phi \sin \kappa \\ \sin \phi & -\sin \omega \cos \phi & \cos \omega \cos \phi \end{bmatrix}$$

여기서,  $X_g, Y_g, Z_g$ 은 변환 후의 점 좌표이며,  $X_{obs}, Y_{obs}, Z_{obs}$ 는 관측된 변환 전 점 좌표,  $\omega, \phi, \kappa$ 는 각 X, Y, Z 축 방향의 회전각이다

## 3. 실내 공간에 대한 실험 결과

본 연구에서는 3차원 실내공간정보 구축의 정확도와 효율성을 비교하기 위하여 설계도면, 토탈스테이션 및 지상레이저스캐너 관측 데이터를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 토탈스테이션은 TOPCON 사의 GPT-9001A이다. 연구에 사용한 지상레이저스캐너는 AMCW 방식의 FARO 사의 Focus3D와 direct TOF 방식의

Leica 사의 Scanstation C10 모델을 사용하였다. 사용한 장비들의 명세서 상 제원은 Table 1과 같다(Faro; Leica; Topcon).

Scanstation C10은 Focus3D와 토탈스테이션에 비해 무게가 무겁고 크기가 커서 관측자가 기계를 운반하는데 어렵다는 단점이 있으며, 스캔속도 또한 Focus3D에 비해 현저히 떨어지는 단점이 있다. 반면 Scanstation C10의 관측 유효거리는 300m로 유효거리 120m 이내의 Focus3D에 비해 우수한 성능을 보인다. 토탈스테이션의 경우에는 프리즘을 사용하지 않는 일반적인 관측 시  $\pm 5\text{mm}$ 의 정확도를 보이지만, 실제 관측 시 관측자가 정확한 교차점을 관측하는 것이 어려운 경우가 있다.

### 3.1 실험 대상공간 및 데이터 관측

본 연구에서 실내공간에 대한 연구를 수행하기 위하여 주위에서 흔히 볼 수 있는 전형적인 크기의 내부 공간을 선정하였다. 대상공간은 가로 5.6m, 세로 10.7m, 높이 2.7m의 공과대학 강의실로 선정하였으며 선정된 실내공간에 대하여 토탈스테이션, 지상레이저스캐너를 사용하여 데이터를 취득하였다. 각각의 장비로 관측한 데이터와 관측에 걸린 시간은 Table 2와 같이 정리할 수 있다.

연구대상공간 관측 시 입사각 및 폐색지역을 최소화하기 위해 장비 별 위치를 변경하여 총 2회 관측하였다. Focus3D의 해상도는

Table 2. Observation Data of Three Different Instruments

	Focus3D	Scanstation C10	GPT-9001A
# of Station	2	2	2
Point density	5.5mm @10m	10mm @10m	-
Num. of point	79,533,201	28,668,429	44
Set-up time	10min	10min	10min
Scanning Time	6min	15min	30min

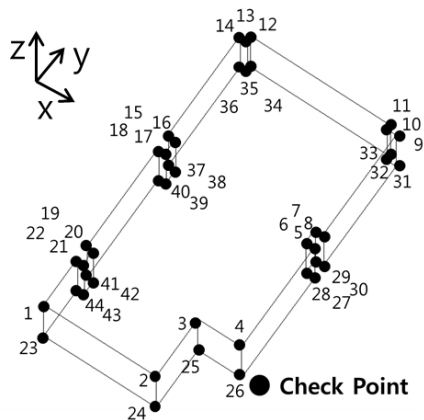


Fig. 2. Configuration of Intersection Points Used in the Experiments

10m 거리에서 약 5.5mm의 점밀도로 총 79,533,201개의 포인트가 취득되었고, Scanstation C10의 해상도는 10m에서 약 10mm의 점밀도로 총 28,668,429개의 포인트가 취득되었다. 두 스캐너로 관측한 데이터의 정확도 비교를 위해 RANSAC 알고리즘으로 추출한 평면을 통하여 각각 44개의 교차점의 좌표 값을 산출하였으며 이를 토탈스테이션으로 관측한 데이터와 비교하였다. Fig. 2는 데이터 간 위치 정확도 비교를 위해 설정한 44개의 교차점의 연구대상공간 내 위치이다.

두 종류의 스캐너 및 토탈스테이션에 대한 설치시간은 동일하게 1회 당 5분씩 총 10분이었으나 관측시간은 서로 다르게 나타났다. AMCW 방식의 Focus3D는 direct TOF 방식의 Scanstation C10에 비해 약 2.77배의 포인트가 취득되었지만, 관측시간은 2.5배 단축되었다. 44개의 교차점을 토탈스테이션을 이용하여 수동으로 관측하는데 걸린 시간은 30분으로 Scanstation C10에 비해 2배 이상의 시간이 필요하였다.

### 3.2 스캐닝 데이터 정합

2회 관측된 스캐닝 데이터를 정합하기 위하여 본 연구에서는 실내 공간에서 가장 높은 정합 정확도를 보이는 9개의 구형(球形) 타겟을 이용하였다(Becerik-Gerber et al., 2011). Fig. 3은 본 연구에서 사용한 구형 타겟 및 스캐닝 데이터 내에서의 배치를 나타낸다.

Table 3은 각 스캐닝 방식의 정합 오차로 X, Y 방향은 평면의 수평방향, Z 방향은 수직방향의 오차를 나타낸다. 스캐닝 데이터 정합결과 두 방식 모두 RMSE는  $\pm 1\text{mm}$  수준으로 나타났으며 Scanstation C10의 경우에는 수직방향의 오차가 발생하지 않았다. Focus3D가 Scanstation C10에 비해 정합 정밀도가 약간 낮는데, 이는 AMCW 방식으로 취득한 특정 사물에 대한 포인트 클라우드가 direct TOF 방식에 비해 노이즈를 많이 포함하고 있기 때문이라 판단된다. Becerik-Gerber et al. (2011)이 타겟과 스캐너 유형에 따른 정합 정확도를 실험한 결과도 본 연구에서의 결과와 유사하게 나타났다.

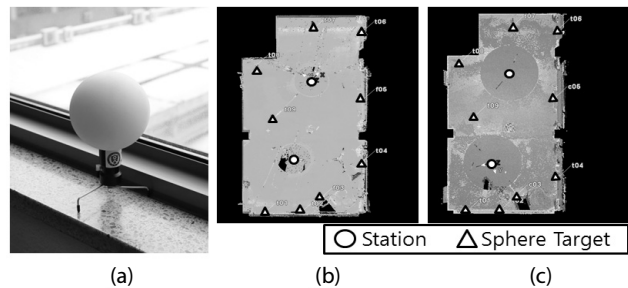


Fig. 3. Placement of Sphere Targets: (a) Shape of Sphere Target (b) Focus3D (c) Scanstation C10

Table 3. Registration Error of Scanning Data of Focus3D and Scanstation C10 (Unit: mm)

Target ID	Focus3D			Scanstation C10		
	X	Y	Z	X	Y	Z
t01	-1	-1	1	0	-1	0
t02	0	-1	0	1	0	0
t03	-1	0	1	-1	0	0
t04	0	1	0	0	-1	0
t05	1	-1	-1	-1	-1	0
t06	-1	0	1	0	1	0
t07	1	0	-1	0	1	0
t08	1	1	0	0	1	0
t09	0	1	0	0	0	0

### 3.3 데이터 간 위치정확도 비교

위치 정확도 평가를 위하여 스캐닝 데이터로부터 RANSAC 알고리즘을 이용하여 교차점 좌표를 추출하고 이를 토달스테이션을 이용하여 좌표값을 관측하였다. 또한 데이터 간 3차원 위치 비교를 위하여 기존 2차원 설계도면에 연구 대상공간의 평균 높이를 적용한 3차원 도면을 제작하여 각 교차점의 좌표를 추출하였다. Fig. 4는 두 스캐닝 데이터, 토달스테이션 관측데이터, 기존 설계도면을 2차원 평면 좌표로 투영시킨 결과이다.

Fig. 4로부터 두 스캐닝 데이터와 토달스테이션 데이터 간의 평면좌표 간 오차에 비해 설계도면의 오차가 X 방향으로 크게 나타남을 확인할 수 있다. 이는 기존의 설계도면과 실제 공간상의 위치와는 실제로 차이가 있다는 것을 나타낸다.

Fig. 5는 관측 데이터 간 각 교차점에서의 3차원 좌표 오차로 그래프의 X축은 각 교차점의 일련번호이고 Y축은 해당 교차점의

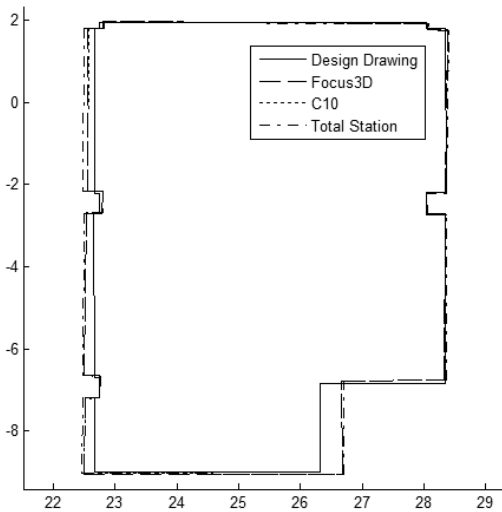


Fig. 4. Location Inconsistency of 2D Horizontal Models

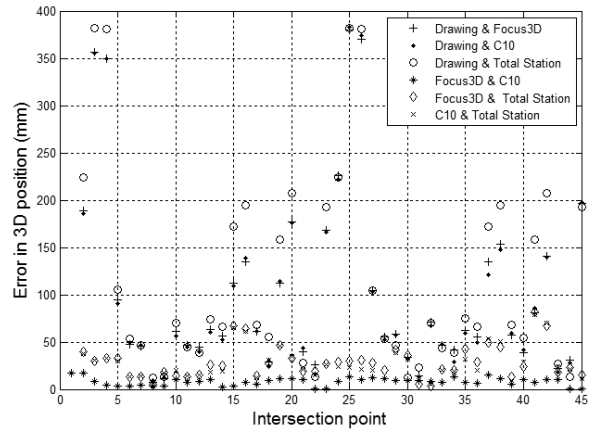


Fig. 5. Location Inconsistency of Each Intersection Point

3차원 위치 오차량을 나타낸다.

Fig. 5의 그래프로부터 설계도면과 실제 공간 상의 위치오차는 교차점의 위치에 따라 다르게 나타나지만 교차점 2번, 3번, 25번, 26번에서 설계도면과 실제 공간과의 오차가 ±38.0~38.2cm로 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 반면 두 스캐너로 관측한 교차점의 위치 오차는 최대 1.7cm로 작게 나타났다.

관측결과를 각 관측 방식과 축에 따라 비교 분석하여 표 Table 4와 같이 나타내었다.

Table 4의 결과를 살펴보면 RANSAC 알고리즘을 통해 평면요소를 추출할 경우 점밀도와 관측방식의 차이에도 불구하고 서로 다른 스캐닝 방식 간의 3차원 위치에 대한 RMSE는 ±6mm로 작게 나타났다. 이 때, 두 스캐닝 방식의 데이터 간의 X, Y, Z 각 축에 대한 RMSE는 모두 ±5mm 이내로 나타났다. 그러나 스캐닝 데이터와 토달스테이션 관측값 사이의 3차원 위치에 대한 RMSE는 스캐닝 두 방식 모두 ±3.4cm로 나타났으며 X, Y, Z 각 축에 대한 RMSE는 ±1.1~3.0cm로 나타났다. 이는 추출된 평면요소와 그 교차점들의 불확실성 때문으로 판단된다. 실제 공간에서는 벽, 천장, 바닥과 같은 주평면 요소들이 이상적인 평면 모델이 아니지만 본 연구에서 RANSAC 알고리즘을 통해 평면요소를 추출할 때 각 주평면 요소를 굴곡이 없는 이상적인 평면으로 가정하였기 때문이라고 판단된다. 또한 토달스테이션 관측 시 관측자가 교차점을 정확히 관측하기 어려워 이에 따른 부가적인 오차가 발생하였을 것으로 판단된다. 설계도면과 지상레이저스캐닝 방식과의 3차원 위치에 대한 RMSE는 약 ±14.2~14.3cm로 나타났으며 설계도면과 토달스테이션 관측값과의 RMSE는 ±15.9cm로 나타났다. 특히 설계도면 상 RMSE가 X축에서 ±14.5~15.3cm로 크게 나타났으며 Y축에서도 ±4.2~4.3cm로 나타났다. 이는 설계도면 대비 시공 오차가 존재했으며, 해당 공간이 여러 번 모델링을 하였기 때문에 모델링 후 정확한 설계도면의 갱신이 이루어지지 않았기

Table 4. Location Inconsistency between Each Observed Data

Type		Design drawing	Focus3D	Scanstation C10	GPT-9001A
Design drawing	X*	-	0.1359m	0.1349m	0.1534m
	Y*	-	0.0425m	0.0430m	0.0417m
	Z*	-	0.0160m	0.0119m	0.0066m
	R**	-	0.1433m	0.1421m	0.1591m
Focus3D	X	Symmetric	-	0.0031m	0.0196m
	Y		-	0.0050m	0.0236m
	Z		-	0.0027m	0.0134m
	R		-	0.0065m	0.0335m
Scanstation C10	X	Symmetric	-	-	0.0112m
	Y		-	-	0.0301m
	Z		-	-	0.0126m
	R		-	-	0.0344m
GPT-9001A	X	Symmetric	-	-	-
	Y		-	-	-
	Z		-	-	-
	R		-	-	-

\* X, Y and Z: RMSE in X, Y and Z direction.

\*\* R: RMSE in 3D position.

때문으로 판단된다.

### 3.4 3차원 실내 모델 구축

Fig. 6(a)는 설계도면의 좌표계로 좌표 변환된 스캐닝 데이터이며, 변환된 스캐닝 데이터와 Autodesk사의 Revit 프로그램을 이용하여 구축한 연구대상공간의 평면도 및 3차원 모델은 각각 Fig. 6(b), Fig. 6(c)와 같다.

기존 설계도면은 최대 38.2cm의 2차원 평면오차를 가지고 있었으며 설계 도면상에는 높이 정보가 존재하지 않아 실제 공간에

대한 정확한 3차원 모델링은 불가능했다. 토탈스테이션을 이용한 관측 방식은 관측자가 창, 문, 기둥과 같은 공간의 세부정보를 모두 수동적으로 관측해야 하므로 시간 효율성이 매우 떨어졌다. 반면 지상레이저스캐너를 이용한 실내공간 관측 방식은 시간의 효율성 및 실내공간에 대한 위치정확도 면에서 우수한 성능을 보였다. 또한 취득된 스캐닝 데이터가 창, 문, 기둥과 같은 실내 공간의 세부정보를 포함하고 있어 이를 이용한 연구대상공간에 대한 실질적인 3차원 실내 모델링이 또한 가능하였다.

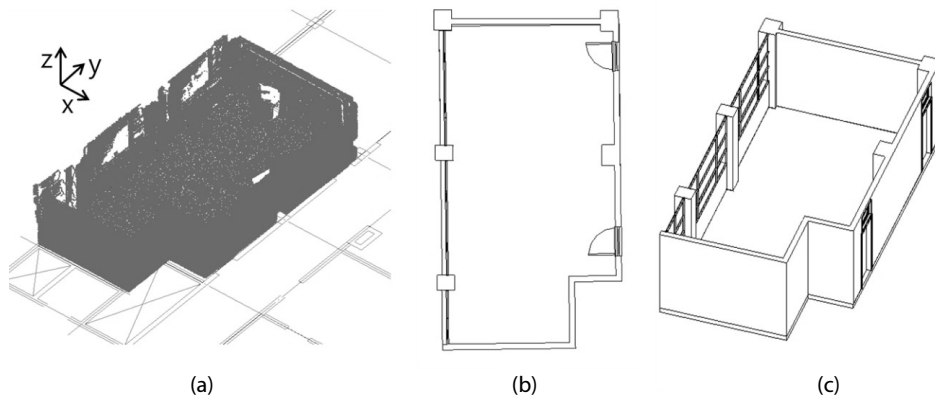


Fig. 6. As-built Revit Model Including Main Indoor Components (a) 3D Point Cloud Registered on the CAD Drawing (b) 2D Geometric Drawing (c) 3D Geometric Drawing

## 4. 결론

본 연구에서는 지상레이저스캐너를 이용하여 기존의 실내 설계 도면을 갱신하는 방안에 대하여 연구하였다. 이를 위하여 스캐닝 데이터의 정확도를 토달스테이션 관측 데이터와 기존의 설계자료를 비교하여 검증하였으며 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 지상레이저스캐닝 자료로부터 RANSAC 알고리즘을 이용하여 추출한 교차점을 토달스테이션 관측 자료와 비교한 결과 RMSE가 ±3.4cm로 나타났다. 이는 지상레이저스캐닝 자료에서 실내 공간에 대한 주평면 추출 시 평면 내 굴곡 등으로 인해 오차가 발생하고 토달스테이션을 이용하여 관측자가 교차점을 정확히 추출하기 어렵다는 점이 원인으로 판단된다.
- (2) AMCW 방식과 direct TOF 방식의 지상레이저스캐너 비교결과, AMCW 방식이 direct TOF 방식에 비해 시간 효율성이 뛰어났으며, 두 방식 간 정합정밀도 차이는 ±1mm 수준으로 큰 차이가 나타나지는 않았다. 또한 두 방식의 스캐닝 데이터로부터 추출한 교차점 간 RMSE는 ±6mm로 서로 다른 스캐닝 방식에도 유사한 결과를 나타냈다.
- (3) 실내 공간에 대한 설계도면의 갱신 및 3차원 실내 모델링에 있어 지상레이저스캐닝 방식은 토달스테이션 또는 설계도면을 활용하는 기존 방식에 비해 위치 정확도와 작업 효율성 면에서 뛰어난 성능을 보였다. 또한 스캐닝 데이터는 문, 창, 기둥 등 실내 공간의 세부정보를 포함하고 있어 실내공간의 3차원 모델링에 유용하게 활용될 수 있었다.

향후 지상레이저스캐너 활용을 통해 정확하고 경제적인 실내공간정보 구축 및 주기적인 갱신이 가능 할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국민안전처 재난안전기술개발기반구축사업 (“NEMA-기반-2014-111”)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

Arayici, Y. (2008). “Towards building information modelling for existing structures.” *Structural Survey*, Vol. 26, No. 3, pp. 210-222.

Becerik-Gerber, B., Jazizadeh, F., Kavulya, G. and Calis, G. (2011). “Assessment of target types and layouts in 3D laser scanning for registration accuracy.” *Automation in Construction*, Vol. 20, No. 5, pp. 649-658.

Budroni, A. and Böhm, J. (2010). “Automatic 3D modelling of

indoor manhattan-world scenes from laser data.” *Proc. of the ISPRS Commission V Symposium*.

Faro, Faro Focus3D brochure, Available at: [http://www.faroesia.com/resource-centre/assets/sea/brochures/FLS\\_Focus3D\\_EN.pdf](http://www.faroesia.com/resource-centre/assets/sea/brochures/FLS_Focus3D_EN.pdf) (Accessed: January 31, 2015).

Fischler, M. A. and 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.

Fröhlich, C. and Mettenleiter, M. (2004). “Terrestrial laser scanning-new perspectives in 3D surveying.” *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 36, Part. 8, W2.

Hajian, H. and Becerik-Gerber, B. (2010). “Scan to BIM: Factors Affecting Operational and Computational Errors and Productivity Loss.” *The 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*.

Hammoudi, K., Dornaika, F. and Paparoditis, N. (2009). “Extracting building footprints from 3D point clouds using terrestrial laser scanning at street level.” *ISPRS/CMRT09*, 38, pp. 65-70.

Heo, J., Jeong, S., Park, H., Jung, J., Han S., Hong, S. and Sohn, H. (2013). “Productive high-complexity 3D city modeling with point clouds collected from terrestrial LiDAR, Computers.” *Environment and Urban Systems*, Vol. 41, pp. 26-38.

Hong, S., Jung, J., Kim, S., Hong, S. and Heo, J. (2013), “Semi-automatic method for constructing 2D and 3D indoor GIS maps based on point clouds from terrestrial LiDAR.” *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 2, pp. 99-105 (in Korean).

Ingensand, H. (2006). “Metrological aspects in terrestrial laser-scanning technology.” *Proceedings of the 3rd IAG/12th FIGURE symposium*, Baden, Austria.

Jazayeri, I., Rajabifard, A. and Kalantari, M. (2014). “A geometric and semantic evaluation of 3D data sourcing methods for land and property information.” *Land Use Policy*, Vol. 36, pp. 219-230.

Leica Geosystems, Leica ScanStation C10. (2015). Available at: [http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica\\_ScanStation\\_C10\\_DS\\_en.pdf](http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_C10_DS_en.pdf) (Accessed: January 31, 2015).

Randall, T. (2011). “Construction engineering requirements for integrating laser scanning technology and building information modeling.” *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol. 137, No. 10, pp. 797-805.

Schulz, T. (2008) “Calibration of a terrestrial laser scanner for engineering geodesy.” *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich*.

Tang, P., Huber, D., Akinci, B., Lipman, R. and Lytle, A. (2010). “Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A Review of Related Techniques.” *Automation in construction*, Vol. 19, No. 7, pp. 829-843.

Topcon, 9-series, robotic Total Station System. (2015). Available at: [http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/literature/9\\_Series\\_Broch\\_7010\\_2014\\_RevA.pdf](http://www.topconpositioning.com/sites/default/files/literature/9_Series_Broch_7010_2014_RevA.pdf) (Accessed: January 31, 2015).