

건물 실내 공간 모델링을 위한 지상라이다 영상 정합 방법에 따른 정확도 분석

김형태* · 편무욱**† · 박재선** · 강민수***

*한국토지공사 국토도시연구원, **건국대학교 신기술융합학과, ***(주)지오모니터링

The Analysis of Accuracy in According to the Registration Methods of Terrestrial LiDAR Data for Indoor Spatial Modeling

Hyungtae Kim*, Muwook Pyeon**†, Jaesun Park**, and Minsoo Kang***

*Korea Land Corporation, Land urban Research Institute, **Dept. of Advanced Technology Fusion, Konkuk University,

***Geomonitoring Inc.

Abstract : For the indoor spatial modeling by terrestrial LiDAR and the analyzing its positional accuracy result, two terrestrial LiDARs which have different specification each other were used at test site. This paper shows disparity of accuracy between (1) the structural coordinate transformation by point cloud unit using control points and (2) the relative registration among all point cloud units then structural coordinate transformation in bulk, under condition of limited number of control points. As results, the latter had smaller size and distribution of errors than the former although different specifications and acquisition methods are used.

Key Words : Indoor Spatial Modeling, Terrestrial LiDAR, Relative Registration, Structural Coordinate Transformation.

요약 : 지상라이다에 의한 건물 실내 모델링을 구축하고 정확도를 분석하기 위해 제원이 다른 2개의 지상라이다를 실험지역에 적용하였다. 본 연구는 실내 공간 모델링을 위해 스캐닝 된 점군 단위에 대하여 3차원 정합 시 다량의 기준점 획득이 어려운 환경 하에서 (1) 점군 단위별 구조물 좌표계로 변환하여 처리한 결과와 (2) 점군간 상호 정합 후 기준점에 의한 일괄 좌표변환 결과와의 편차를 비교하였다. 실험결과, 제원에 다르더라도 공통적으로 점군 정합 후 일괄처리 결과가 점군 단위별 변환 후 정합한 방법보다 오차의 크기, 분포가 적게 나타나고 있음을 확인하였다.

1. 서론

u-국토 및 u-도시의 건설 및 관리를 위해 3차원 공간 모델링 수요가 증가하고 있다. 3차원 공간 모델링 구

축을 위한 공간정보 획득 기술은 전통적인 항공사진 측량 외에도 위성영상, SAR, 비디오 영상 등을 기반으로 하는 최신 기술의 적용이 이루어지고 있고, 이에 대한 활용성 및 정확도 향상 연구가 진행 중이다(유환희 외,

접수일(2008년 7월 25일), 수정일(1차 : 2008년 8월 1일, 2차 : 8월 6일), 게재확정일(2008년 8월 11일).

† 교신저자: 편무욱(neptune@konkuk.ac.kr)

2006; 이임평 외, 2004; 조홍범 외 2008). 그러나 기존의 연구가 주로 원거리용 센서데이터와 건물 외부의 실외 공간 모델링 분야를 다루고 있어서 건설현장 및 실내 구조물에 대한 실질적인 공간정보구축을 위한 정밀한 모델 추출이 어려웠다(사석재 외, 2004). 디지털 사진을 이용하는 경우, 특히 지상구조물에 대한 구조, 변형 형상 계측은 다수의 사진기가 필요하고 반사표적점을 설치해야 하는 단점이 있고(Schneider, 2006), 위성영상 활용 시는 공간해상도의 급격한 발전에도 불구하고 현재까지도 정밀 모델 구현에는 적용하는데 한계가 있다. 최근 들어 다양한 분야로의 적용성 연구가 활발한 라이더라는 정지, 이동 및 변화하는 객체의 측량을 위한 지상라이더 데이터 처리과정의 연구와 데이터 처리 속도를 증진시키는 연구도 진행 중이다(D. Girardeau-Montaut 외, 2005; 정성혁 외, 2008).

본 연구에서는 건설현장의 공사진척도, 설계도면과의 비교를 위해 건물 실내 모델링에 대하여 지상라이더를 이용하여 수행하였다. 또한 일반적으로 지상라이더는 장비가 설치된 지점을 원점으로 하는 상대좌표계 기반의 위치를 획득하므로 지상라이더 데이터 처리과정에서 절대좌표로 정합하기 위한 기준점 획득을 위해 토탈스테이션이 사용되었다. 상대적으로 적은 수의 기준점을 기반으로 하는 광범위한 실내모델링을 구축하는 경우 실내 모델링 정합에 따른 오차 크기와 분포 비교를 위해 해상도 등 제한이 다른 2개의 라이더가 실험지역 관측에 활용되었다.

2. 연구대상지역 및 연구방법

1) 연구지역

건물실내 모델링 대상지역으로는 Fig. 1과 같이 광명역 KTX역사 내부를 선정하였다. 내부구조로는 지하 2층 플랫폼, 지하 1층 매표소 및 편의시설, 지상 1층 통로 및 외부주차장 연결의 총 3층으로 이루어져 있고, 실내 가운데 부분이 공간적으로 뚫려 있어서 층별로 외곽에 시설이 있는 돔형구조이다. 따라서 지상라이더 스캐닝 시 건물 벽에 의한 장애물 영향이 비교적 적고, 스캐닝 가능 공간이 최대한 확보될 수 있다. 또한 돔의 좌우를 가로지르는 다리로 연결된 형태로서 장비 위치선점에도

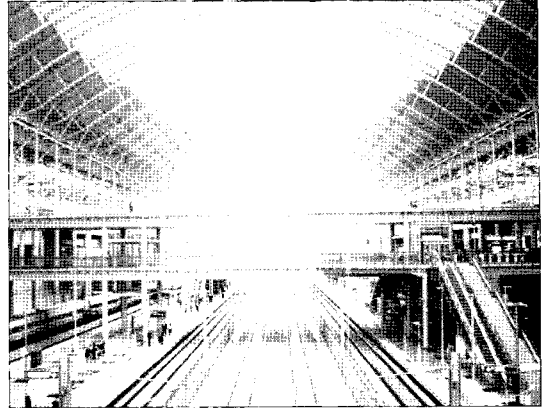


Fig. 1. General view of test site.

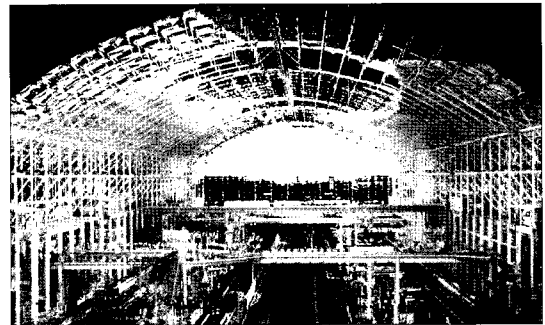


Fig. 2. Scanning result of test site.

용이하다. Fig. 2는 ILRIS 지상라이더로 획득한 연구지역 3차원 공간자료 전경이다.

2) 실험 장비

본 연구에서는 Amberg Profiler 5003와 Optech ILRIS 360D 지상라이더가 사용되었고, 이에 대한 제한은 Table 1과 같다. Amberg Profiler는 측정가능거리가 70m에 이르고 주요 활용분야로는 플랜트 및 실내 공간 모델링이다. Optech ILRIS 360D는 측정거리가 1km이상 가능하며, 디지털 사진을 같이 저장하여 바로 스캔지점에 대한 RGB칼라를 뽑을 수 있는 장점이 있어서 건설, 토목엔지니어링 분야에 주로 사용되고 있다. 절대좌표 획득을 위해서 Leica TPS 1201 토탈스테이션을 사용하였고 이것은 무타켓 1초 정밀도 성능을 보유하고 있다.

3) 실험 방법

Amberg Profiler 5003과 Optech ILRIS 360D의 두기종의 지상라이더를 사용하였으며, Amberg

Table 1. Terrestrial LiDAR specification

제 원	Amberg Profiler 5003	
Maximum Range	79 m	
resolution	Vertical : 0.0018° / Horizontal : 0.0018°	
field of view	Vertical angle : 310° / Horizontal angle : 360°	
방 식	phase measurement	
점밀도	Accuracy vertical : 0.02° rms / Accuracy horizontal : 0.02° rms	
Laser Wavelength	780 nm	
제 원	Optech ILRIS 360D	
Maximum Range	3m~1500m(80% 타켓) / 3m~800m(20% 타켓) / 3m~350m(4% 타켓)	
resolution	vertical : 0.0015° / horizontal : 0.0015°	
field of view	Vertical angle : 360° / Horizontal angle : 360°	
방 식	pulse	
점밀도	Distance Accuracy at Specified Distance	7 mm at 100m
	Position Accuracy at Specified Distance	10 mm at 100m
Laser Wavelength	1500 nm	

Profiler 5003은 12지점에서 310° 입체각(직하방향 50° 제외)으로, ILRIS 360D는 6지점을 선정하여 상하 좌우 40° 폭으로 스캐닝 하여, Binary source, Image data 등의 데이터를 수집하였다. 라이다 장비의 위치는 역사 전부를 포괄할 수 있고 스캐닝 시 장애물을 고려하여 Fig. 3과 같이 분포시켰다. 또한 스캐닝 된 점군에 대한 구조물 절대 좌표계로의 변환을 위해 토탈스테이션 으로부터 기준점을 획득하였다. 기준점은 돛을 가로지르는 다리 위에 토탈스테이션을 설치하고 영점 셋팅 후 1번 다리로부터 5번 다리까지 총 40개의 가로등 (다리 와 다리사이에 위치) 중 보이지 않는 1개점을 제외한 나

머지 39개를 선정하였다.

3. 영상 정합

지상 레이저 스캔 공정은 크게 세 가지 공정으로 나눌 수 있으며 자료 처리, 자료 등록(registration), 모델링과 시각화가 여기에 속한다. 등록(registration) 또는 정합(matching)은 같은 의미로 사용되며, 여러 위치에서 취득된 스캔계(scanworld)들을 동일한 좌표계로 통일하여 하나의 스캔계로 만드는 작업을 말한다. 즉, 대



Fig. 3. Layout of LiDAR scanning positions and reference points.

상물에 대한 온전한 3D 측량을 위해서는 다수의 위치에서의 스캐닝이 필요하지만 일반적인 지상 레이저 스캐너는 토탈 스테이션과는 달리 기선을 시준하는 기능이 없으므로 각 스캐너는 서로 다른 좌표계를 갖게 된다. 따라서 이들 스캐너의 좌표계를 통일시켜줘야 하며 이러한 정합 과정이 결과물의 정확도를 크게 좌우하는 요소가 된다. 스캐너 정합 방식은 크게 타겟(target)을 사용한 방식과 특징물을 이용한 방식, 포인트 클라우드를 이용한 방식으로 나뉜다(Elkhrachy, 2008).

타겟을 이용한 방식은 스캐너간 정합뿐만 아니라 스캐너의 실좌표 변환을 위한 기준점(control point)으로도 사용한다. 공액점들은 3차원 등각 변환(3D conformal transformation)과 같이 3개축의 회전요소와 평행이동요소로 구성된 좌표 변환식의 계수를 결정하기 위하여 쓰인다. 지상 레이저 스캐너의 경우 축척 계수(scale factor)를 생략할 수 있으므로 최소 3개의 공액점으로 좌표 변환식의 계수를 구할 수 있다. 또한 dual compensator 기능이 있는 경우엔 2개의 공액점만으로도 좌표 변환식의 계수를 결정할 수 있다(Gordon and Lichti, 2004).

정합의 방법으로는 독립적 정합과 종속적 정합으로 구별되는데, 독립적 정합이 기준점 자료가 많으면 종속적 정합에 비해 정합의 정확도가 높을 가능성이 있다(이임평 외, 2004). 본 연구에선 여러 위치에서 획득된 라이다 자료에 대하여 제한된 기준점 수를 기반으로 공통된 좌표계로 표현하기 위해 영상접합을 각각의 영상을 토탈스테이션 측량 값에 근거하여 개별적으로 절대 좌표계로 부여하여 하나의 통일된 좌표계로 표현하는 독립적 방법과 영상의 기준이 되는 한 영상의 좌표를 근거로 다른 모든 영상의 좌표를 부여하고 후에 토탈스테이션 측량 값에 근거하여 절대 좌표계를 부여하는 종속적 방법을 사용하였다. 정합 실험은 InnovMETRIC사에서 개발한 PolyWorks 10.1 을 사용하였다. 3차원 실내공간 모델링을 위한 라이다 측량이기 때문에 측정대상에 대한 수평적 특성과, 수직적 특성을 모두 지니고 있다. 따라서, 두 기종의 장비의 스캔방식을 고려하여 Amberg Profiler의 wave방식은 수평적(천정/바닥 등) 측량에 장점이 있고, Optech ILRIS의 pluse방식은 수직적(벽체, 기둥 등) 측량 장점이 있다고 판단되어 Fig. 4와 같이 실험대상군을 나누어 실험하였다.

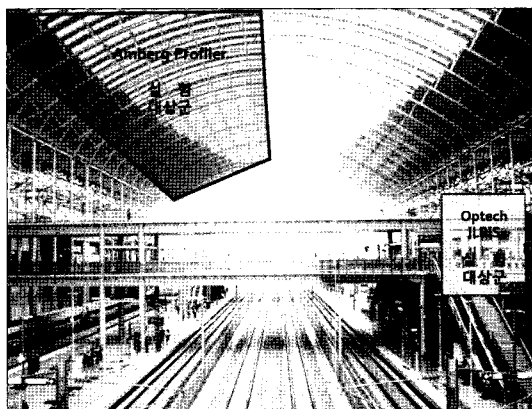


Fig. 4. Test regions by type of LIDAR.

1) 독립적 정합

Amberg Profiler와 Optech ILRIS, 이종의 지상 라이다에서 스캔한 점군의 처리방법 중 독립적 정합 방법 흐름도를 Fig. 5에 나타나고 있다. 일반적으로 라이다 점군 자료의 처리는 스캔 장애물(사람, 차량 등)을 제거 편집하고, 토탈스테이션으로부터 획득한 기준점을 삽입하여 다중스캔 접합(Multiple scan alignment) 및 Geo-Referencing을 수행한다. 이렇게 생성된 점군 영상자료 간에 오차분석을 실시하여 균일한 정밀도 유지를 위해 정규화 된 접합면을 생성한다. Fig. 5에서 model 1은 Amberg profiler의 독립적 정합 결과이고, model 3은 Optech ILRIS의 독립적 정합 결과이다.

Fig. 6과 7은 두 개의 점군에 대한 독립적 정합 결과에 대하여 위치 및 점밀도를 다른 색으로 표현하였다. Fig. 6은 Profiler로 스캐닝 된 두 개의 점군에 대하여 청색과 녹색으로 각각 나타내었고, 검은 색에 가까운 부분은 스캐닝 밀도가 적거나 안 된 지역이며, 스캐닝 밀도가 높을수록 색깔농도가 짙게 보여 진다. Fig. 7은 ILRIS로 스캐닝 된 두 개의 점군에 대한 독립적 정합 결과이다.

2) 종속적 정합

일련의 과정들은 독립적 정합과 같으나 TPS를 통합 좌표계 입력은 모든 영상의 접합 후 좌표계를 입력하는 것이고, 종속적 정합은 다수의 기준점을 사용하며, 기준점들 간의 기준망 조정을 거쳐 조정된 기준점 위치를 사용하는 것이다. 또한 기준망 조정 전 영상 접합 시 best fit alignment 과정을 거치는데, 서브 샘플링 포인트를 이용한 최적면 선정을 수행한다는 것이 차이점이다.

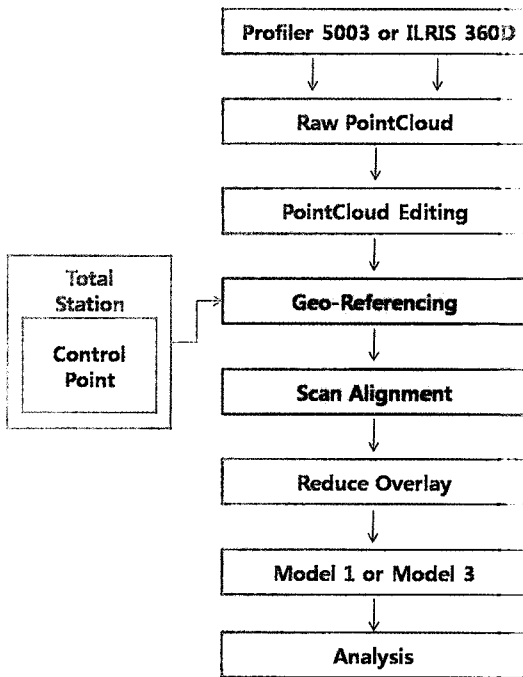


Fig. 5. Registration flow of LiDAR data (independent).

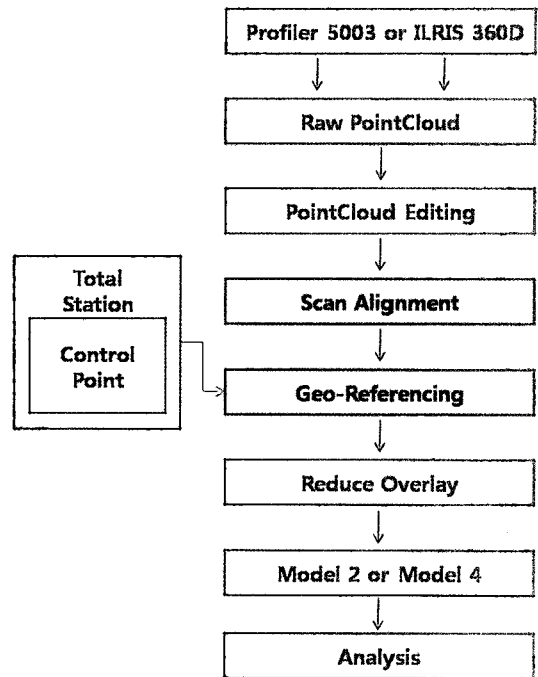


Fig. 8. Registration flow of LiDAR data (dependent).

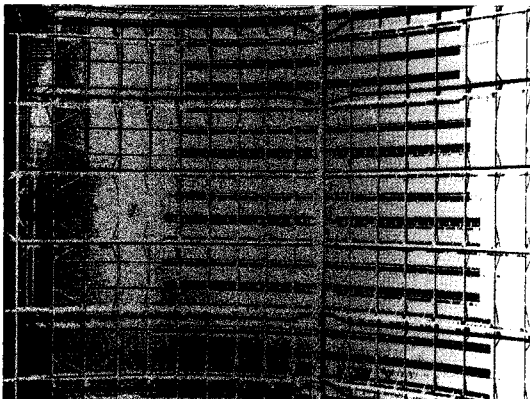


Fig. 6. Registration result of Amberg profiler (independent).

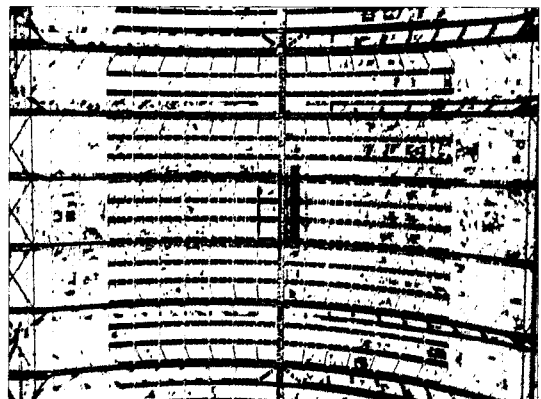


Fig. 9. Registration result of Amberg profiler (dependent).

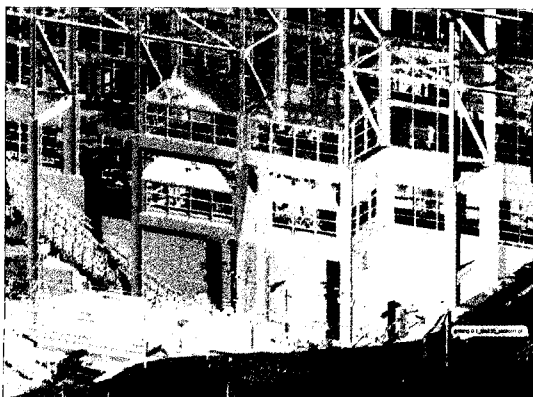


Fig. 7. Registration result of Optech ILRIS (independent).



Fig. 10. Registration result of Optech ILRIS (dependent).

Fig. 9와 10은 두 개의 점군에 대한 종속적 정합 결과에 대하여 표현하였다. Fig. 9는 Profiler로 스캐닝 된 두 개의 점군에 대하여 하늘색과 노란색으로 각각 나타내었고, 검은 색에 가까운 부분은 스캐닝 밀도가 적거나 안 된 지역이며, 스캐닝 밀도가 높을수록 색깔농도가 짙게 보여 진다. Fig. 10은 ILRIS로 스캐닝 된 두 개의 점군에 대한 종속적 정합 결과를 도시하고 있다.

4. 결과 분석

지상라이다 영상의 정합 검증은 토탈스테이션을 통해 구조물의 3차원 좌표들을 기준으로 하여 그 오차를 통계적으로 분석하여 각 정합 영상의 정확도를 평가하였다.

정합 방법별로 Model 1과 Model 3의 Profiler 결과를 비교하였고, Model2와 Model4의 ILRIS 결과를 비교하였다. 스캔면에 대하여 고루 분포하도록 각각 20개 점의 조사점을 선정하였다. Profiler 성과의 비교점 선점은 Fig. 11과 같이 중앙 최상단부터 지붕 끝까지 포인트가 골고루 분포한 왼편부분을 기준으로 하였으며, 각 포인트의 위치는 철제빔 기둥보다는 수평면의 중심을 선택하였다. IRIS 성과의 비교점 선점은 기둥의 교차점 및 그 연장선상에서 격자형태로 철제빔 기둥 및 접합 구조물에서 수직선상에서 배치되도록 구성하였다. 이와 같은 구성은 비교점이 레이저 빔과 측량면이 최대한 법선이 되도록 구성하여 오차를 줄이고자 하였다. Fig. 12

는 ILRIS 성과의 정합방법에 따른 편차를 비교하기 위해 비교점을 선정한 결과이다.

지상라이다의 원시자료를 처리하는 과정에서 독립적 정합과 종속적 정합 비교 방법으로 이용하였으며, 처리 결과, Profiler 5003 독립정합의 경우, 편차의 절대평균이 X방향으로 7.95mm, Y방향으로 3.64mm, Z방향으로 20.69mm 이었고, 표준편차가 X방향으로 10.29mm, Y방향으로 5.89mm, Z방향으로 38.23mm 이었다. Profiler 5003 종속정합의 경우에는 절대평균이 X방향으로 12.62mm, Y방향으로 4.68mm, Z방향으로 30.23mm 이었고, 표준편차가 X방향으로 8.47mm, Y방향으로 4.66mm, Z방향으로 30.23mm 이었다. 그리고 ILRIS 360D 독립정합의 경우, 편차의 절대평균이 X방향으로 8.24mm, Y방향으로 11.19mm, Z방향으로 2.09mm 이었고, 표준편차가 X방향으로 12.11mm, Y방향으로 20.46mm, Z방향으로 3.14mm이고, ILRIS 360D 종속정합의 경우, 편차의 절대평균이 X방향으로 0.17mm, Y방향으로 0.23mm, Z방향으로 0.04mm이었고, 표준편차가 X방향으로 0.27mm, Y방향으로 0.42mm, Z방향으로 0.11mm로 나타났다. Profiler 5003 독립정합 평균 3D 방향편차가 17.62mm 이었고, 종속정합 평균 3D 방향편차가 10.74mm 이었다. ILRIS 360D 독립정합 평균 3D 방향편차가 0.53mm 이었고, 종속정합 평균 3D 방향편차가 20.26mm 이었다.

편차의 분포를 도시하여 분석한 결과, 독립적 정합의 경우 TPS 기준점사이의 영역 안에서는 비교적 고른 분포의 에러를 보이나 영역에서 멀어질수록 오차가 서서

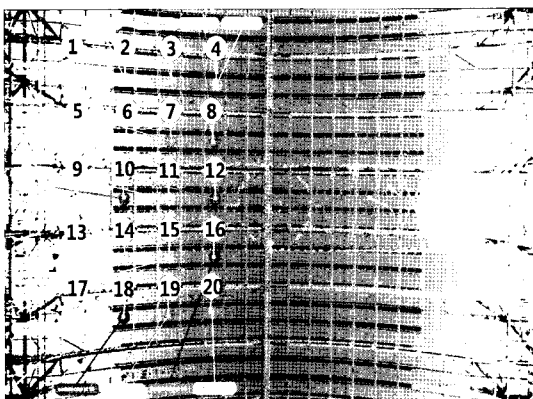


Fig. 11. Layout of reference points for accuracy test in according to the registration methods of Profiler result.

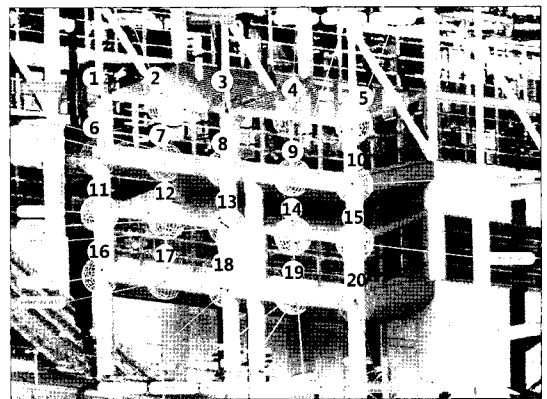


Fig. 12. Layout of reference points for accuracy test in according to the registration methods of IRIS result.

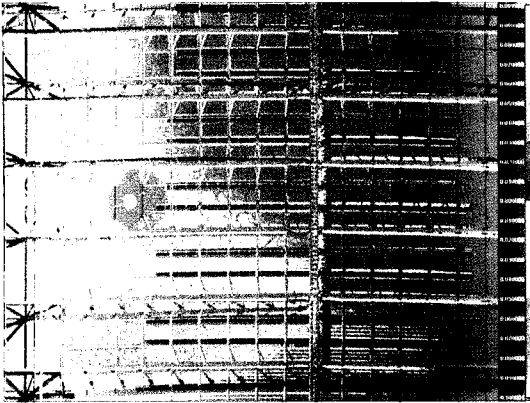


Fig. 13. disparity map of registration (profilor, independent).

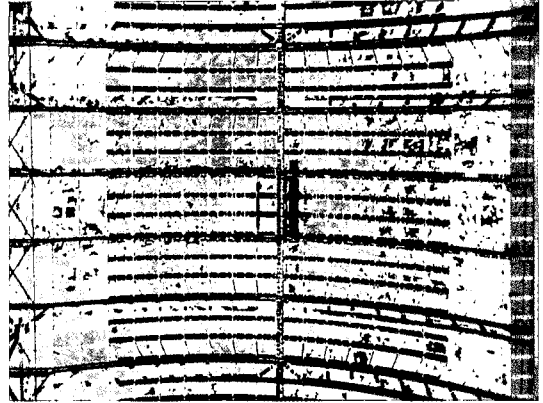


Fig. 14. disparity map of registration (profilor, dependent).



Fig. 15. disparity map of registration (ILRIS, independent).



Fig. 16. disparity map of registration (ILRIS, dependent).

히 커지는 현상을 볼 수 있다. 이것은 독립적 정합 수행 시 3점 이상의 공액점을 연결하여 2개의 인접한 라이다 점군을 연결하게 되는데 공액점 이외의 상이한 관계가 이루어지는 점들 간의 차이가 발생하고 있음을 보여주고 있다. 종속적 정합의 경우 접합면내에서 고른 오차를 보이거나 통계적 최적면으로 고려되는 정규면을 생성할 수 있는 임계값을 벗어난 영역에 대해서는 불규칙한 오차가 생기는 것을 볼 수 있다. 그러나 이 차이가 독립적인 경우보다 작게 나타나고 있다. Fig. 13부터 16은 각각의 실험결과에 대하여 $-10\text{cm} \sim +10\text{cm}$ 범위로 오차 분포를 나타내었다.

5. 결론

지상라이다에 의한 건물 실내 모델링을 구축하기 위해 지상라이다로 스캐닝을 수행하였고 적은 수의 기준

점을 적용하는 경우, 스캐닝 된 점군 단위간의 정합 방법에 따른 정확도를 분석하였다. 실험결과, 제원에 다르더라도 공통적으로 점군 정합 후 일괄처리 결과가 점군 단위별 변환 후 정합한 방법보다 편차의 크기, 분포가 적게 나타나고 있음을 확인하였다.

추후 연구로는 점밀도 차이에 독립적 정합과 종속적 정합에 결과 정확도 분석을 고려하며, 특징점 확보가 어려운 현장과 건물내부 같은 수학적 면을 생성하기 쉬운 지역에 대한 실험 연구가 필요하며, 데이터 분석과 관련하여 종속적 정합의 경우, 본론 언급한 영상정합에 필요한 보다 세분화 처리과정을 통한 곡선모델 분석 필요하다. 또한, 정확도에 영향을 미치는 라이다 장비의 특성 즉, 스캔거리, 스캔속도, 스캔방식 등에 대한 실험요소를 추가하여야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C04)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 사석재, 이임평, 최윤수, 오의중, 2004. 지상라이다와 디지털지상사진측량을 융합한 건축물의 3차원 정밀모델링. 한국측량학회 추계학술발표회 논문집, 수원, November 23, 2004. Vol.14, 529-534.
- 유환희, 김경환, 김성삼, 2006. LiDAR 자료기반의 3차원 건물정보 구축, 한국지형공간정보학회지, 14(3): 13-22.
- 이임평, 최윤수, 사석재, 오의중, 2004. 지상라이다를 이용한 건물의 정밀 모델링. 한국측량학회 춘계 학술발표회 논문집, 대전, April 23, 2004. Vol.14, 491-500.
- 정성혁, 이재기, 2008. 디지털 영상자료를 이용한 3D GIS의 사실적 모델링 및 가시화, 한국측량학회지, 26(1): 73-83.
- 조홍범, 조우석, 박준구, 송낙현, 2008. 항공 LiDAR 데이터를 이용한 3차원 건물모델링, 대한원격탐사학회지, 24(2): 141-152.
- Elkhrachy, I., 2008. Towards an automatic registration for terrestrial laser scanner data, Doctoral thesis, Institut fur Geodasie und Photogrammetrie, Technische Universitat Braunschweig, Germany.
- Gordon, S. J. and D. D. Lichti, 2004. Terrestrial laser scanners with a narrow field of view, the effect on 3d resection solution, *Survey Review*, 37(292): 448-468.
- Schneider, D., 2006. Terrestrial Laser Scanning for Area Based Deformation Analysis of Towers and Water Dams, 3rd IAG/12th FIG Symposium, Baden, May 22, unpaginated.
- Girardeau-Montaut, D., R. Michel, M. Raphael, T. Guillaume, 2005. Change detection on points cloud data acquired with a ground laser scanner, ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop, Enschede, the Netherlands, September 12-14.