

# 도시지역을 위한 항공라이다의 최적 점 밀도 결정

## Decision of Optimal Density of Airbone LiDAR Points for City zone

김감래<sup>1)</sup> · 김상봉<sup>2)</sup> · 김남용<sup>3)</sup>

Kim, Kam Lae · Kim, Sang Bong · Kim, Nam Yong

### Abstract

Through the Airbone LiDAR point, the study for three-dimensional modeling of the city zone has been in progress. So, deciding the Density of Airbone LiDAR point for that is very important to get a result of three-dimensional modeling of the city zone and make efficient use of airborne LiDAR. This study made the standard density to decide the optimum density of Airbone LiDAR point in the city zone. Through each standard density point of DSM and the outline of the buildings, It executed the visual evaluation and the accuracy inspection to decide the optimum density point, and presented the optimum density for the airborne LiDAR point in the city zone.

Keywords : LiDAR , Three-Dimensional Modelling, DSM, Standard Density of Point, city zone

### 초 록

항공라이다를 이용한 도시지역 3차원 모델링에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이를 위한 최적 점 밀도 결정은 도시지역 3차원 모델링의 성과 및 효율적인 항공라이다 활용을 위해 매우 중요하다. 본 연구는 도시지역 항공라이다의 최적 점 밀도 결정을 위해 표본 점 밀도를 선정 하였다. 각 표본 점 밀도별 DSM 및 건물 외곽선을 이용해 최적 점 밀도 결정을 위한 시각적 평가 및 정확도 검사를 실시하였으며, 도시지역 항공라이다를 위한 최적 점 밀도를 제시 하였다.

핵심어 : 라이다, 3차원 모델링, DSM, 최적 점 밀도, 도시지역

## 1. 서 론

항공 라이다의 대표적인 활용 분야는 도시모델의 생성 및 갱신(Haala 등, 1999a ; Haala 등, 1999b ; Mass 등 1999), 변화탐지(Murakami 등, 1999), 나무의 높이 결정, 해안 지형의 관리, 침식 량의 측정 등이 있다. 특히 한동엽 등(2003) 및 이동천 등(2005b)은 건물 모델링에 대한 연구를 수행 하였는데, 이는 유비쿼터스, 3차원 지리정보 구축, LBS, 텔레메틱스 등의 발전과 더불어 더욱 그 중요도가 증가되고 있다. 도시 모델링의 대표적인 구성 요소중의 하나인 건물추출 성과의 질은, 라이다 데이터

의 캘리브레이션 및 취득된 점군의 분류 성과에 따라 달라지지만, 이에 앞서 더욱 근본적인 요인은 라이다 데이터의 점 밀도 이다. 항공라이다의 자료 취득은 점 밀도의 결정으로부터 시작 되며, 결정된 점 밀도에 따라 항공기의 촬영고도, 중복도, 스캔 각 등이 결정 된다. 따라서 항공라이다 성과의 질은 활용 목적에 적합한 점 밀도의 결정에 달려 있다. 이에 국토지리정보원에서는 수치 표고모델 구축(DEM)을 위한 항공라이다 측량 작업 규정의 개정과 함께 최적의 항공라이다 측량 점 밀도를 제정립하여 작업 효율을 향상 시킨 바 있다. 그러나 도시 모델링을 위한 항공라이다 자료는 DEM과 더불어 지면

1) 정회원 · 명지대학교 토목공학과 교수(E-mail:kam@mju.ac.kr)

2) 정회원 · 중앙향업 지리정보연구소 수석연구원(E-mail:speedweb@chollian.net)

3) 교신저자 · 정회원 · 중앙향업 지리정보연구소 연구원(E-mail:kimny1004@naver.com)

위에 형성된 건물, 교량 등의 인공 구조물들을 포함하는 DSM을 활용하는 측면이 더 많다. 건물의 경우, 정확한 건물 외곽 선형을 추출하기 위해서는 높은 밀도의 라이다 점 군 자료가 필요 하겠으나 이는 효율적인 방법이 아니다. 따라서 본 연구는 도시모델링을 위한 효율적인 건물 추출을 위한 최적의 점 밀도를 결정 하는 것을 목표로 하였다.

## 2. 표본 점 밀도 선정 및 방법

본 연구의 목적은 도시지역의 최적 점 밀도 결정에 있으므로, 도시지역에서의 최적 점 밀도 결정을 위한 실험은 각각 서로 다른 점 밀도를 갖는 라이다 자료에 의해 수행 되어야 한다. 따라서 표 1과 같이 Test를 위한 점 밀도를 선정 하였으며, 최적 점 밀도 결정을 위한 TEST 흐름은 그림 1과 같다.

표 1. Test를 위한 표본 점 밀도

구 분	I	II	III	IV
평균 점 밀도 (점/m <sup>2</sup> )	20	15	10	5

특히, 도시지역의 최적 점 밀도 결정을 위한 점 밀도 별 DSM평가는 초기 DSM 생성 후, 지리정보가 부여된 반사강도 영상을 DSM과 중첩하여, 3차원 시각화에 의한 정성적 평가를 수행 하였으며, 건물 외곽선 자동 추

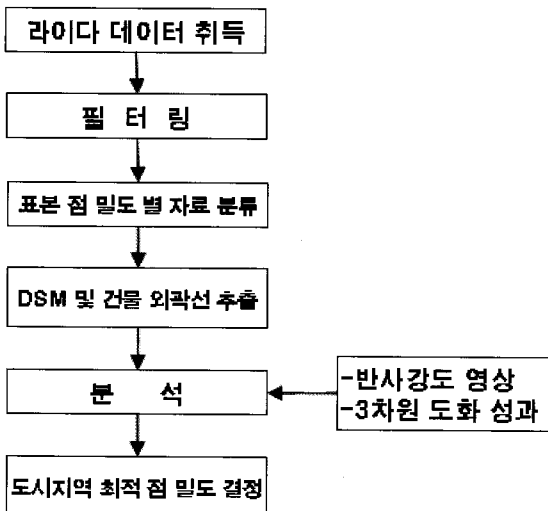


그림 1. 테스트 흐름

출 평가는 ADS40영상에 의한 3차원 도화 성과와 중첩하여 정량적 평가를 수행 하였다.

## 3. 도시지역의 3차원 모델링

### 3.1 항공 LiDAR 자료 획득

#### 3.1.1 연구 대상지 및 LiDAR 시스템

본 연구의 대상지는 그림 2와 같이 성남시 분당구 정자동 약 0.1km<sup>2</sup>로 좁은 지역에 크고 작은 건물들이 잘 정리되어 있어 본 연구에 적합한 지역이다. 데이터 획득에 사용된 장비는 스위스 Leica사의 ALS(Airbone Laser Scanner)50 이며, Cessna 208 항공기에 탑재되어 항공 라이다 측량을 수행 하였다. ALS50의 제원 및 성능은 표 2와 같으며, 최고 6,000m 상공에서 최고 150kHz의 스캔 주사율을 갖는 고 정밀 장비이다.



그림 2. 연구 대상지

#### 3.1.2 항공 LiDAR 측량 계획

항공레이저 측량은 FPES에 의해 수립된 촬영계획 자료를 FCMS에서 운영함으로써 정확도를 향상시킬 수 있으며, 촬영 상태와 조건, 위치의 정확도 등에 대한 모니터링을 수행할 수 있다. 조종사는 별도의 디스플레이를 통해 항공기가 설정 노선을 이탈할 경우 즉시 파악할 수 있으며, 작업자는 반사된 레이저의 결과를 바로 확인할 수 있다. 그림 3은 본 연구를 위해 대상지역을 FPES에 의해 수립한 촬영 계획 코스를 도시한 것이며, 계획 점 밀도는 20(점/m<sup>2</sup>)으로 정 하였다.

표 2. ALS 50 제원 및 성능

비행고도	200 ~ 6,000m (AGL)
수평정확도	< 15cm at 1,000m (1σ) < 24cm at 2,000m (1σ) < 34cm at 3,000m (1σ)
수직정확도 (GPS오차(10cm) 포함)	< 11cm at 1,000m (1σ) < 13cm at 2,000m (1σ) < 15cm at 3,000m (1σ)
레이저펄스 주사율 (pulse rate)	Max. 150kHz
최대스캔주기 (scan rate)	Max. 90Hz
레이저빔 확산 (divergence)	0.15mrad(1/e)
반사파 감지력	last pulse를 포함한 4개의 반사파
스캔각	(FOV)0 ~ ±37.5°
주사폭(swath)	(0 ~ 1.53) × 비행고도

표 3. 항공라이다 촬영 재원

No	FOV	AGL(m)	GPS Time	
			Start	Stop
1	25.1	732	270519	270546
2	25.1	671	270740	270766
3	25.1	753	270970	270996
4	25.1	680	271191	271217
5	25.1	725	271439	271465
6	25.1	748	272095	272131
7	25.1	690	272340	272375
8	25.1	721	272574	272609
9	25.1	708	272810	272845
10	25.1	742	273030	273066

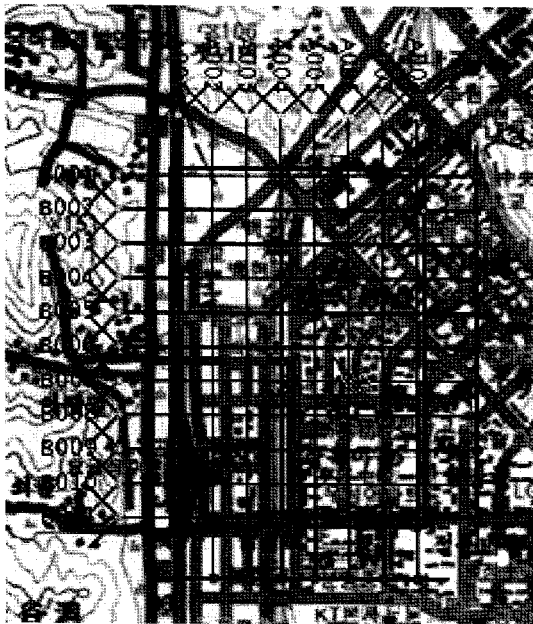


그림 3. 촬영계획 코스

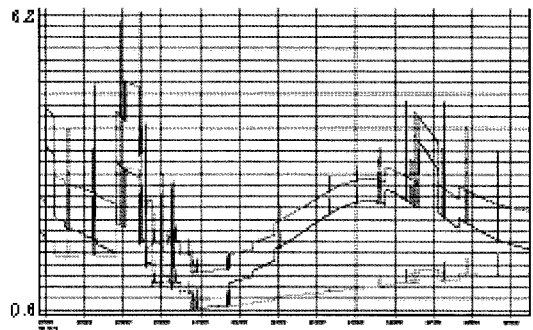


그림 4. GPS 수신 DOP

그림 4와 같이 항공 LiDAR 촬영 중, GPS 신호 수신 상태 지수인 DOP이 최고 평균 4 미만, 평균 위성 수는 평균 7개로 우수 하였으며, 그림 5는 촬영된 비행 코스를 도시한 것이다.

그림 6은 획득된 항공 라이다 자료를 GPS/IMU 자료와 융합하여 생성한 원시 라이다 자료를 반사 강도별로 도시한 것이며, 획득된 라이다 데이터는 총 1,471,007점 이고, 그림 7과 같이 평균 점 밀도는 약 20점/m<sup>2</sup>으로 계획 점 밀도를 만족 하였다.

### 3.1.3 항공 LiDAR 자료 획득

평균 취득 점 밀도 약 20점/m<sup>2</sup>의 확보를 위한 항공라이다의 촬영 재원은 표 3과 같으며, 평균 비행속도는 약 130 knot 였다.

### 3.2 필터링

항공라이다 측량에 의해 획득된 원시자료에는 건물이나 교량 및 식생 등 다양한 지물이 포함되어 있다. 일반

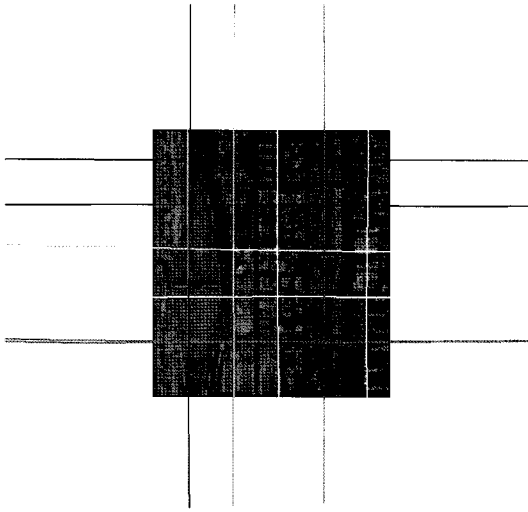


그림 5. 촬영 Trajectory

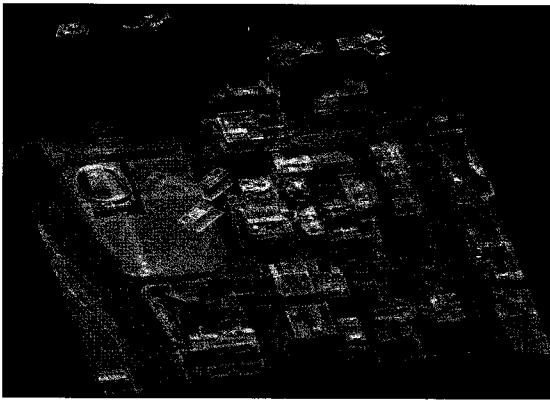


그림 6. 원시 라이이다 자료 (반사강도별)

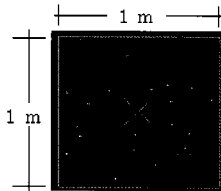


그림 7. 촬영 점 밀도

적인 항공라이이다 자료의 이용은 수치표고모델(DEM)을 구축하기 위해 라이이다 자료에 포함 된 지물자료를 필터링을 통해 제거한 후 지면자료만 이용하며, 본 연구에서와 같이 도시지역의 3차원 모델링에서는 건물 자료를 분류하여 이용한다. 또한 항공라이이다 자료에는 라이이다시

스템 자체적 원인, 지형상태의 원인 등에 의해 노이즈가 발생 할 수 있는데, 이 또한 필터링을 통해 제거 되어야 한다.

### 3.2.1 자동 필터링

본 연구에서는 자동 필터링을 위해 라이이다 자료 처리 소프트웨어인 TerraScan을 이용 하였으며, 자동 필터링을 통해 분류된 라이이다 점의 구성은 표 4와 같다.

표 4. 자동필터링에 의해 분류된 점 수

Class	Default	Ground	Building	Noise	합
Cont..	894,531	351,589	223,170	1,717	1,471,007
분류율	0.608	0.240	0.151	0.001	1

### 3.2.2 수동 필터링

자동 필터링 이후, 필터링 옵션의 영향을 받지 못하는 점들은 여전히 원하지 않는 클래스에 존재한다. 따라서 이러한 점들은 수동으로 분류해야 하며, 분류된 결과를 표 5에 정리 하였다.

표 5. 자동필터링에 의해 분류된 점 수

Class	Default	Ground	Building	Noise	합
Cont.	875,221	350,958	241,874	2,954	1,471,007
분류율	0.602	0.164	0.239	0.002	1

## 3.3 Test를 위한 표본 점 밀도 구성

도시지역의 최적 점 밀도 결정을 위해 각기 다른 점 밀도를 갖는 표본 점 밀도를 표 1과 같이 정하였다. 각각의 표본 점 밀도는 평균 점 밀도 20점으로 취득 된 항공 라이이다 자료로부터 라이이다 처리 소프트웨어인 TerraScan으로 보간 하여 생성 하였다.

## 3.4 DSM, DEM 생성

본 연구에서는 최적 점 밀도 결정을 위한 기준 자료로서 필터링 된 라이이다 자료로부터 Ground 및 Building 클래스를 이용하여 TIN보간법에 의한 DSM을 0.1m 간격으로 제작 하였다. 그림 8과 그림 9는 각각 추출된 각 표본 점 밀도의 DSM 중 20점/m<sup>2</sup>의 DSM을 예시 한 것이다.

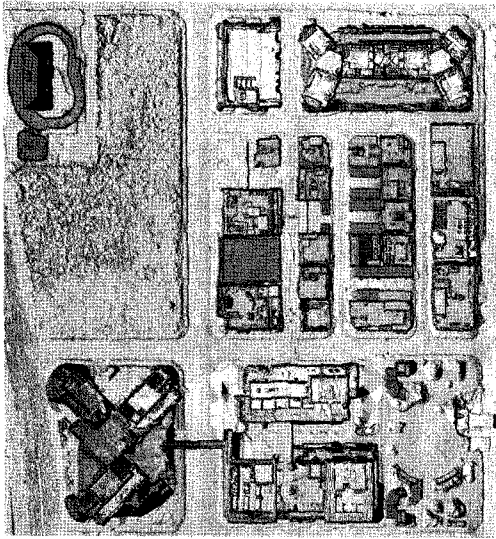


그림 8. 20점/m² 에서 추출된 DSM

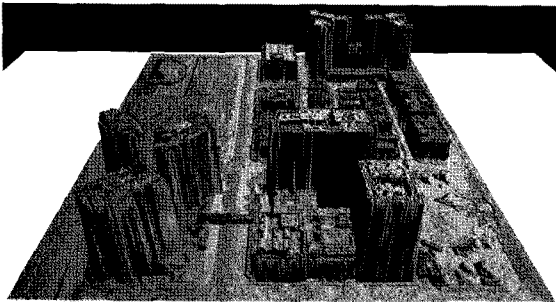


그림 9. 20점/m² 에서 생성한 DSM의 3D view

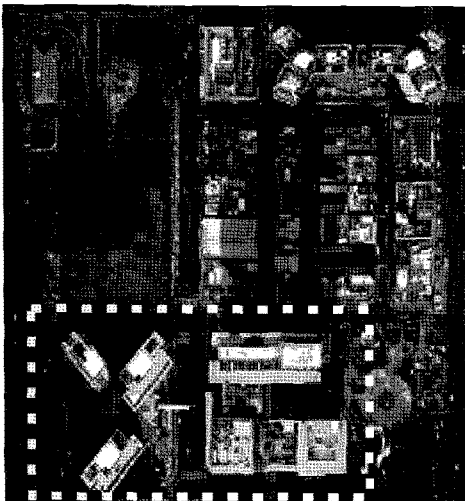


그림 10. 건물 추출 표본 지역

### 3.5 점 밀도 별 건물 외곽선 추출

건물 외곽선추출은 대상지역 중에서 그림 10에서와 같이 표본 지역을 정하였으며, Terra- Scan의 Construct Planer Building 기능을 이용 하였다. 각 점 밀도별 건물 외곽선의 초기 추출 결과는 그림 11~그림14와 같으며, 보다 정확한 건물 외곽선을 위해서는 초기 추출된 외곽선 벡터의 편집 작업이 필요 하나, 도시 지역 3차원 모델링에 적합한 항공라이다의 점 밀도를 결정하는 본 논문의 목적 상, 초기 추출 된 건물 외곽선의 원시 자료를 이용 하였다.

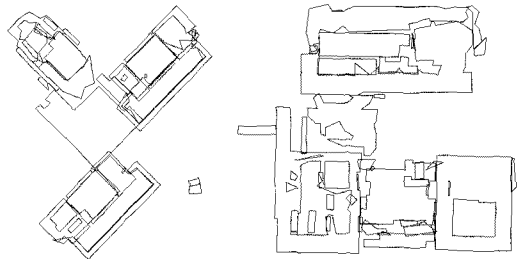


그림 11. 20(점/m²) 건물 외곽선 자동 추출

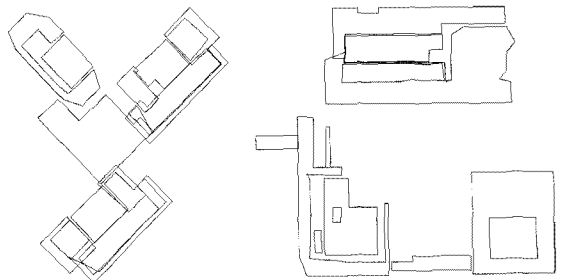


그림 12. 15(점/m²) 건물 외곽선 자동 추출

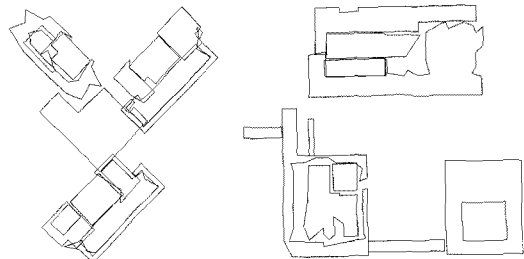


그림 13. 10(점/m²) 건물 외곽선 추출

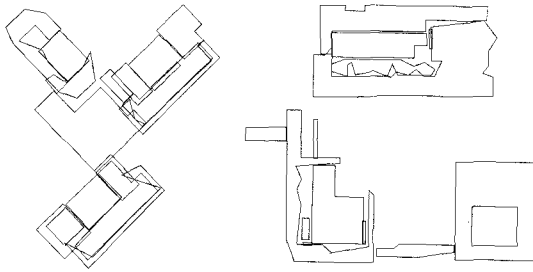


그림 14. 5(점/m<sup>2</sup>) 건물 외곽선 추출

## 4. 분석

### 4.1 DSM 분석

적정 점 밀도 결정을 위해서 생성된 점 밀도별 DSM에 대한 시각적 평가가 필요하다. 이를 위해 대상지에 대한 지리좌표가 부여된 반사강도 영상을 0.1m의 격자 간격으로 생성 하였으며, 이를 다시 각 점 밀도별 DSM과 중첩하여 그림 15와 같이 반사강도 3차원 영상을 생성 하였다.

생성된 DSM에 의한 반사강도 3차원 영상의 평가는 주요 건물의 모서리 부분을 그림 16과 같이 선정하여 각

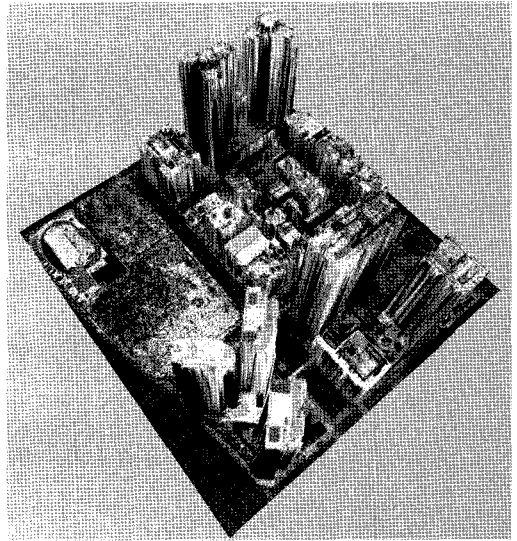


그림 15. 반사강도 영상에 의한 3차원 view

표본 점 밀도에 대해 평가 하였다. 평가 결과는 표 6과 같으며, 평가 결과 모서리의 직진성이 가장 좋은 점 밀도는 20(점/m<sup>2</sup>)으로 나타났다.

표 6. 점 밀도별 DSM에 의한 반사강도 3차원 영상의 시각 평가

점 밀도	A	B	C	D
20(점/m <sup>2</sup> )				
15(점/m <sup>2</sup> )				
10(점/m <sup>2</sup> )				
5(점/m <sup>2</sup> )				

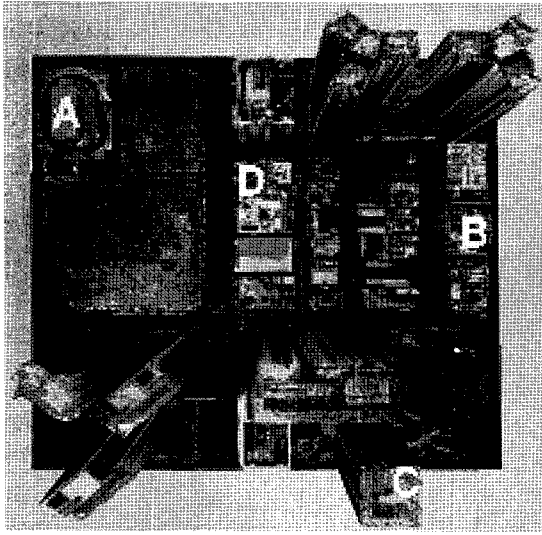


그림 16. DSM 평가를 위한 표본 건물

#### 4.2 건물 자료 추출 분석

각 점 밀도 자료에 의해 추출된 건물 외곽선에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 정량적인 분석을 위하여 대상지역을 ADS40 영상을 이용한 입체 도화를 실시하였으며, 그림 17에서와 같이 10점을 선점하여 입체 도화에 의한 건물의 평면 직각 좌표표를 취득하였다.

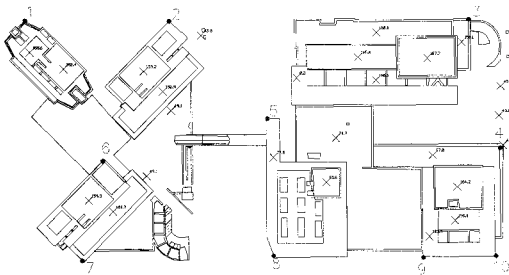


그림 17. ADS40 입체 도화 및 선점

입체 도화로부터 취득된 평면직각좌표표를 표 7에 정리 하였으며, 표 8에서는 입체도화로 취득된 점들에 대한 점 밀도 별 평면 위치 오차를 각각 정리 하였다.

표 8에서 볼 수 있는 바와 같이 평면오차는 점 밀도가 높아질수록 향상되었으며, 20(점/㎡)에서 0.115m로 가장 좋은 결과를 보였다.

표 7. 선점된 점들의 평면 직각좌표

ID	East (m)	North (m)
1	209303.890	429698.080
2	209361.490	429699.550
3	209476.290	429674.400
4	209490.770	429642.540
5	209400.020	429661.300
6	209335.450	429644.950
7	209327.050	429604.320
8	209432.060	429606.690
9	209462.200	429607.060
10	209491.100	429607.120

표 8. 추출된 건물 외곽선 정확도 평가 결과

점/㎡	$\Delta e(m)$	$\Delta n(m)$	평면오차(m)
20	-0.055	0.101	0.115
15	-0.172	0.089	0.194
10	-0.027	0.228	0.230
5	-0.229	0.116	0.257

## 5. 결 론

본 연구에서는 도시지역에 대한 항공라이다의 최적 점 밀도 결정을 위해 표본 점 밀도별 DSM과 건물 외곽선을 추출 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 추출된 점 밀도별 DSM의 건물모서리에 대한 직진성을 수치적으로 표현 할 수는 없었으나, 점 밀도별 DSM의 육안검사를 통해 건물 모서리의 직진성이 점 밀도가 높아질수록 향상 향상되는 것을 확인 할 수 있었다.

2. 추출된 점 밀도별 건물 외곽선 모서리 점의 평면오차는 점 밀도가 높아질수록 향상되는 것을 확인 할 수 있었으며, 점 밀도 20(점/㎡)에서 가장 좋은 결과를 보였다.

3. 본 연구의 결과 도시지역 3차원 모델링을 위한 항공라이다 측량의 최적 점 밀도는 20(점/㎡)로 파악 되었으나, 항공라이다 촬영과 라이다 자료 후처리의 효율을 고려하여 최적 점 밀도는 약 15(점/㎡)으로 판단된다.

## 참고문헌

- 김갑래, 안병구, 이가형, 정해진 (2007), 항공 사진을 활용한 도심지 변화탐지에 관한 연구, 2007춘계학술발표회논문집, 한국측량학회, pp. 191-196.
- 김성준, 이임평 (2008), 라이다데이터와 수치지도를 이용한 도로의 3차원 모델링, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 2호, pp. 165-173.
- 조우석, 이영진, 좌윤석 (2003) 항공사진과 항공레이저 데이터를 이용한 건물 자동추출, 한국원격탐사학회지, 한국원격탐사학회, 제 19권, 제 4호, pp. 307-317.

- 최경아, 이임평 (2008), 라이다데이터를 이용한 도시지역 자동변화 탐지, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 제 4호, pp. 341-350.
- 최연웅, 조기성 (2005), 도시지역 LiDAR DSM으로부터 DEM추출기법 연구, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제 13권, 제 1호, pp. 19-25.

---

(접수일 2009. 6. 30, 심사일 2009. 8. 4, 심사완료일 2009. 8. 21)