

## LIDAR 데이터를 이용한 수치정사사진의 제작 Digital Orthophoto Generation from LIDAR Data

김형태\* · 심용운\*\* · 박승룡\*\*\* · 김용일\*\*\*\*

Kim, Hyung Tae · Sim, Yong Woon · Park, Seung Lyong · Kim, Yong Il

### 要 旨

본 연구에서는 레이저스캐닝 데이터의 일종인 LIDAR 데이터를 이용하여 수치정사사진 제작에 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 LIDAR를 이용하여 얻은 XYZ 절점자료(point data)로부터 TIN(Triangular Irregular Network)을 형성한 후, 이로부터 DSM(Digital Surface Model)을 제작하였다. 그러나 이 과정에서 수치정사사진의 품질에 악영향을 줄 수 있는 절단선(break line)에서의 노이즈가 DSM에서 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 절단선에서의 노이즈를 처리할 수 있는 여러 가지 기법을 적용하였다. 그 결과 건물을 추출하여 저지대(低地帶)에 대한 LIDAR DEM과 합성하는 기법이 가장 적절하다는 결론을 도출하였으며, 이렇게 제작된 LIDAR DSM으로 수치정사사진을 제작하고 품질을 평가해 본 결과 도화축척 1:5,000보다 높은 위치정확도를 지닌 수치정사사진의 제작이 가능하였다.

### ABSTRACT

In this study we generated digital orthophoto from LIDAR data. To generate digital orthophoto, we make TIN from raw laser scanning data(XYZ point data) and compiled DSM from this TIN. In this procedure much noise appeared along the break lines in DSM and this can give bad effect to the quality of digital orthophoto. Therefore, we applied various techniques which can refine the break line. In the result, we concluded that the fusion of LIDAR DEM of lowland and extracted buildings was adequate to generating DSM. So we generated the digital orthophoto from DSM generated from this technique. In the result of quality test, the positional accuracy of this digital orthophoto was better than the positional accuracy of 1:5,000 map.

## 1. 서 론

현대의 정보사회에서 다루는 지형공간정보는 점점 복잡해지고 있으며, 매우 다양한 형태를 띠고 있다.

이의 효율적인 수집, 처리 그리고 분석을 위하여 여러 가지 기법이 도입되고 있으며, 그 기법의 하나로서 수치지도와 영상지도의 제작이 있다. 대표적인 영상지도로 수치정사사진이 있으며, 수치정사사진은 GIS의 백그라운드 데이터로 많이 이용되고 있고 수치지도의 갱신, 수정 및 제작에 이용될 수 있다.

하지만 수치정사사진제작을 실용화하기 위해서는 해결

해야 할 여러 가지 현실적인 문제가 존재한다. 특히 도심지역에 대한 대축척의 수치정사사진을 제작하기 위해서는 정밀한 DSM이 필요하며, 폐색영역을 해결해야 한다. 근래에 와서는 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 특히 폐색영역에 대한 연구는 활발히 이루어져 외부표정요소를 이용<sup>1)</sup>하거나 기복변위를 계산하여<sup>2)</sup> 폐색영역을 탐지하는 기법이 개발되었다. 그렇지만 정밀한 DSM의 구축에 대한 연구는 부족한 실정이다. 한편 선진국에서는 레이저스캐닝 기술을 이용한 고해상도 DSM제작에 대한 연구가 진행되고 있으며 이미 상품화되어 다양한 공간정보처리에 활용되고 있다. 레이저스캐닝 기술은 높은 정확도를 보장할 뿐만 아니라 저렴한 비용으로 데이터의 획득이 가능하므로 레이저스캐닝 데이터를 이용해서 수치정사사진을 제시하는 것은 매우 활용성이 높다고 사료된다. 그런데 레이저스캐닝 데이터를 이용하여

\*서울대학교 지구환경시스템공학부 박사  
\*\*서울대학교 지구환경시스템공학부 석사  
\*\*\*서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정  
\*\*\*\*서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수

DSM을 제작하는 경우 절단선에서 노이즈가 발생하여 수치정사사진 제작에 문제가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 레이저스캐닝 데이터를 이용하여 연구를 수행하였으며, LIDAR 데이터를 이용하여 DSM 제작시에 발생하는 문제점에 대한 해결방안을 제시하였다. 또한 제작된 수치정사사진을 품질을 평가하여 LIDAR데이터로 제작한 수치정사사진의 활용성도 제시하였다.

## 2. 연구방법

본 연구에서 사용한 데이터는 성남시의 분당신도시를 촬영한 항공사진과 LIDAR 데이터이며 이의 재원은 각각 그림 1 및 표 1과 같다. 본 연구의 목표는 LIDAR 데이터를 이용하여 수치정사사진을 제작하기 위한 것이며, 문제가 되는 DSM 절단선에서의 노이즈를 처리하는 방법을 연구하는 것이다. 이를 위해 다음과 같은 과정을 수행한다.

- 1) LIDAR 절점자료로부터 DSM을 제작한다.
- 2) 제작된 DSM에서 건물의 옆면 등에서 절단선에서 발생하는 노이즈를 처리하기 위해서 여러 가지 기법을 적용해본다.
- 3) 각각의 기법으로 DSM을 제작하고, DSM과 항공사진을 이용하여 수치정사사진을 제작한다.



그림 1. LIDAR 데이터(성남시 분당)

표 1. 사용데이터의 재원

레이저스캐닝 데이터의 재원		항공사진의 재원	
Repetition Rate	5000 Hz	촬영축척	1:5000
촬영고도	800 m	촬영고도	880 m
Scan Angle	±90°	초점거리	153.59 mm
Scanning Frequency	18 Hz	촬영일자	1999. 12. 11
지역당 촬영횟수	3~10		
평균점밀도	2008 point/m <sup>2</sup>		

- 4) 수치정사사진을 검증하여 가장 적절한 DSM 제작 방법을 찾는다.
- 5) 수치정사사진의 품질을 평가한다.

## 3. 수치정사사진

원래의 항공사진에는 지형왜곡이 많이 포함되어 있기 때문에, 이를 보정하지 않은 이미지들은 정확성을 신뢰할 수 없다. 이러한 왜곡들은 일반적으로 다양한 시스템, 비시스템적인 오류(카메라나 센서의 표정, 지형의 굴곡, 지구 곡면, 필름과 스캐너의 왜곡, 측량 오차 등)에 의해 발생하는데 이들을 보정하기 위해서는 정사 투영 보정에 기반한 공선조건식(Collinearity equation)을 이용한다. 공선조건식을 이용하여 생성된 정사영상은 센서와 카메라의 표정, 지형의 굴곡, 기타 오차들을 제거함으로써 정확한 면적이 계산될 수 있는(정확하게 평면으로 펼쳐진) 정사 투영 이미지를 생성한다. 따라서 정사 투영 이미지는 지도의 지형적 특성과 사진의 특성을 모두 지닌다. 정사 투영 이미지 상의 개체들은 사진상에 수직으로 투영된 위치에 존재하기 때문에, 이들은 지도상의 전통적인 선이나 기호와 위치적으로 일치하게 된다. 따라서 이 이미지 상에서 측량하는 것은 실제 필드에서의 그것과 동일하게 되고, 이러한 특성에 의해서 정사 투영 이미지는 GIS에서 필요한 정보들을 취득하기 위해 사용되거나 현존하는 GIS 데이터를 갱신하고 유지하기 위한 참조 이미지의 역할을 할 수 있다.

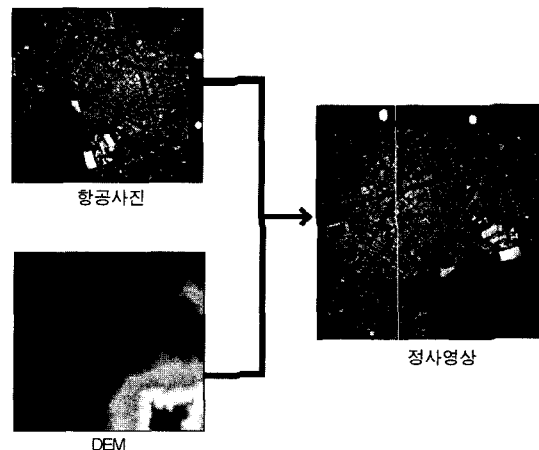


그림 2. 정사영상의 제작



그림 3. LIDAR 시스템

#### 4. LIDAR 시스템

LIDAR 시스템은 그림 3과 같이 레이저스캐너, GPS, INS, 컴퓨터의 하드웨어와 소프트웨어로 구성되어 있다. 레이저스캐너의 적외선 레이저빔은 투사 시간과 반사 시간 차를 기록하고 반사거울을 이용하여 전방위 측량을 수행한다. 항공기 및 센서의 위치는 탑재된 GPS와 육상 GPS를 이용하여 DGPS 방식으로 결정하고 방향 및 자세는 INS를 이용하여 결정한다. LIDAR 시스템은 정밀한 높이정보를 제공하고, 한번의 측량으로 XYZ의 3차원 데이터를 얻을 수 있다는 장점을 지니고 있으므로 DSM 제작에 매우 유용한 시스템이다.

#### 5. LIDAR 데이터로부터 DSM 제작

수치정사사진을 제작하기 위해서는 먼저 LIDAR 데이터로부터 DSM을 제작해야 한다. 그림 4가 LIDAR 시스템을 이용하여 얻은 절점자료이다. 각각의 절점자료들은 XYZ의 3차원 데이터로 대상점의 평면위치와 그점에 대한 높이 값을 가지고 있다.

이 절점자료로부터 DSM을 제작하기 위해서는 먼저 그림 5와 같은 TIN을 제작한다. 제작된 TIN에서 원하는 격자간격으로 보간하여 샘플링하면 DSM을 제작할 수 있다. 본 연구에서는 이 모든 과정을 Arc/Info를 이용하여 수행하였다. 그림 6이 LIDAR 데이터로 제작한 DSM이다. 그림을 보면 건물 주변에 거친 노이즈가 발생했음을 알 수 있다. 이러한 DSM으로 수치정사사진을 제작하면

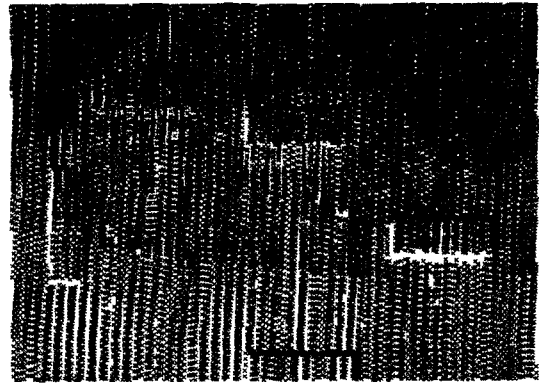


그림 4. LIDAR 절점자료

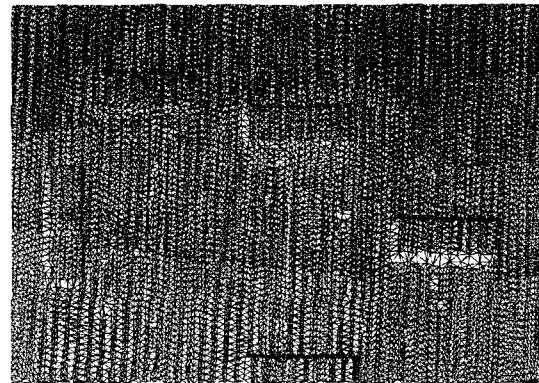


그림 5. TIN의 형성

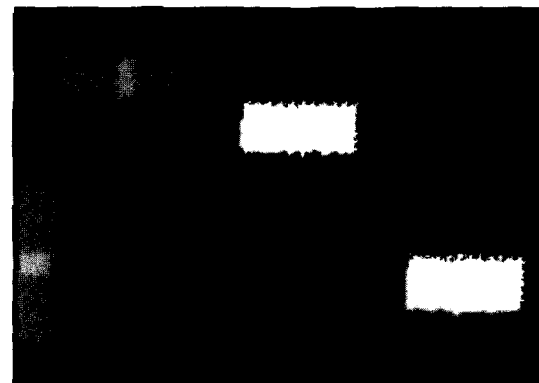


그림 6. LIDAR DSM

시각적으로 매우 불완전하게 되며, 평면위치정확도도 나빠지게 된다.<sup>3)</sup> 따라서 품질 좋은 수치정사사진을 제작하기 위해서는 이에 대한 처리가 필요하다.

## 6. LIDAR DSM의 절단선 처리

본 연구에서는 LIDAR DSM의 절단선에서 발생하는 노이즈를 처리하기 위해서 다음과 같은 방법들을 적용하여 보았다. DSM의 샘플링 간격은 정사사진의 공간해상도인 10 cm로 제작하였다.

### 6.1 기법 1-필터링

LIDAR로부터 제작된 거친 DSM데이터를 평활화(smoothing)하기 위해서 필터링 기법을 이용하였다. 평활화 필터에는 여러 가지가 있으나, 여기에서는 중앙값 필터를 적용하였다. 건물의 모서리가 매끄럽다는 가정하에 DSM의 건물모서리를 매끄럽게 만들 수 있는 필터링 기법을 연구하였다. 그 결과 노이즈의 크기를 고려하여 1 m×1 m정도의 중앙값 필터를 적용하는 것이 효과적이라는 결론을 얻을 수 있었다. 다음의 그림 7은 기법1을 적용한 결과이다.

※중앙값 필터 : 일반적으로 영상의 노이즈를 제거하기 위해서는 평균값 필터를 많이 쓴다. 그러나 평균값 필터는 잡음을 제거하기 위해 평균치를 취하므로 잡음이 없는 부분도 평균치로 계산되어 영상이 흐려지게 된다. 이러한 단점을 제거한 것이 중앙값 필터(median filter)를 사용한 방법이다. 이 방식은 평균값 대신에 주변 화소들의 중앙값(median)으로 밝기 값을 대체하는 것이다. 중앙값이란 여러 값들을 크기 순서대로 늘어놓았을 때 가장 중간에 위치한 값을 말한다.

### 6.2 기법 2-추출한 건물과 LIDAR DSM의 합성

절단선을 처리할 수 있는 또 다른 방법으로 건물의 벡



그림 7. 필터링한 LIDAR DSM

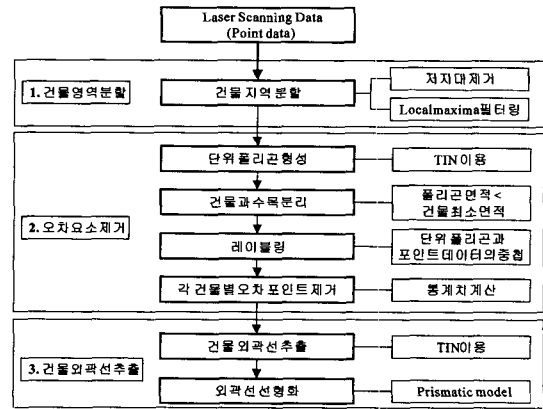


그림 8. 건물 추출 알고리즘

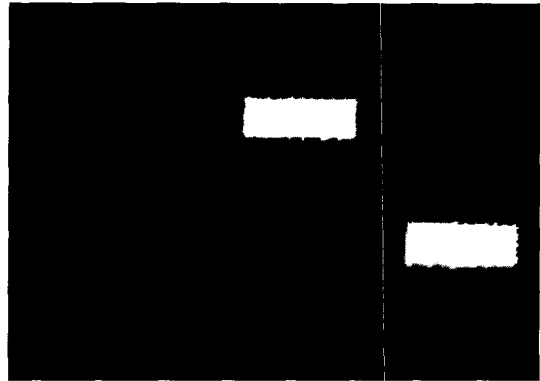


그림 9. LIDAR DSM과 추출된 건물의 합성

터를 추출하여 DSM을 제작하는 것을 생각할 수 있다. 즉, 먼저 원 LIDAR 절점자료로부터 빌딩벡터를 추출하고 만들어진 DSM에 추출된 건물을 올리는 방법이다. 건물을 추출하는 알고리즘은 여러 가지가 있겠지만, 본 연구에서는 그림 8의 알고리즘을 적용하였다. 이러한 알고리즘을 적용하여 건물의 특징점을 추출하고 이점들을 직선으로 연결하여 벡터화하였다. 다음으로 벡터의 해당위치내 LIDAR DSM 데이터를 특징점 높이 값의 평균값으로 대체하였다. 그 결과로 만들어진 DSM의 모양은 그림 9와 같다.

### 6.3 기법 3-추출한 건물과 저지대 DEM의 합성

앞의 방법은 건물벡터내에 노이즈가 포함되지 않을 경우, 그 노이즈가 건물 바깥쪽에 잔존할 가능성이 많다. 이러한 노이즈를 해결하기 위해서 저지대와 건물지대를 분리한 후, 저지대에 대한 DEM을 먼저 만들었다. 다음

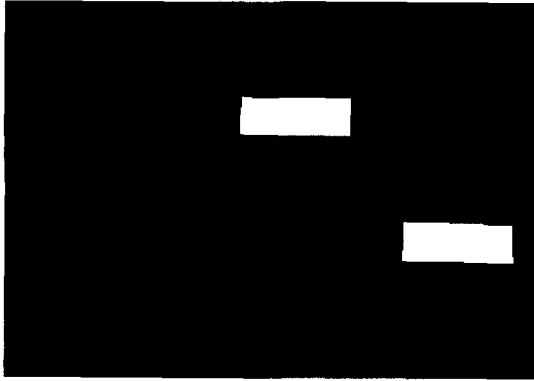


그림 10. LIDAR DEM과 추출된 건물의 합성

으로 건물추출 알고리즘을 적용하여 건물벡터를 만든 후 저지대의 DEM과 합성하여 DSM을 제작하였다. 사용한 건물추출 알고리즘은 앞의 방법과 동일하며, 저지대와 건물지대의 분리는 local maxima 필터를 사용하였다. 이렇게 만들어진 DSM은 그림 10과 같다.

※local maxima 필터 : 필터안에 존재하는 포인트 높이값의 통계치를 구하고, 그 중 최소 값보다 일정 높이 이상에 존재하는 포인트 높이값의 절점자료(point data)만 남기는 필터이다. 여기서는 평균값-2\* 표준편차 보다 낮은 값은 저지대로 간주하였다.

## 7. 비교분석

그림 11은 원래의 LIDAR DSM으로 제작한 수치정사 사진이고, 그림 12는 필터링 기법을 이용하여 제작한 수치정사 사진이다. 그리고 그림 13은 LIDAR DSM과 추출



그림 11. 수치정사 사진(원래의 Lidar DSM)

된 건물을 합성한 DSM으로 제작한 수치정사 사진이고, 그림 14는 저지대의 LIDAR DEM과 추출된 건물을 합성한 DSM으로 제작한 수치정사 사진이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 필터링 기법을 이용하면 원 LIDAR DSM



그림 12. 수치정사 사진(기법1)

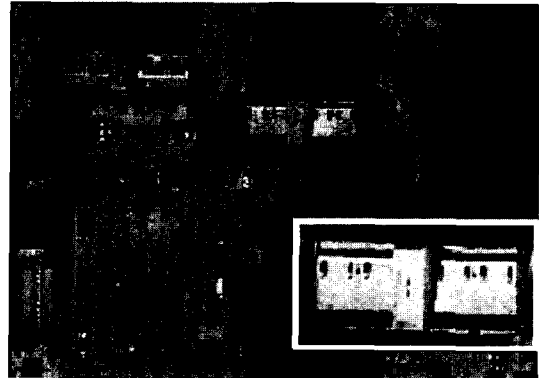


그림 13. 수치정사 사진(기법2)



그림 14. 수치정사 사진(기법3)

보다 건물면의 노이즈가 완화됨을 알 수 있다. 그렇지만 세밀한 수치정사영상을 제작하기에는 적합하지 않다. 또한 LIDAR DSM과 추출된 건물을 합성한 DSM으로 제작한 수치정사사진은 건물면이 매끄러운 부분도 있고, 약간의 노이즈가 남아있는 부분도 있다. 이것은 노이즈가 추출된 건물의 벡터영역을 벗어날 수 있기 때문에 생기는 현상이다. 따라서 이 방법도 세밀한 수치정사영상을 만들기에는 적합하지 않다. 마지막으로 저지대의 LIDAR DEM과 추출된 건물을 합성한 DSM으로 제작한 수치정사사진을 보면 건물면에 노이즈가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 이 방법이 절단선에서의 노이즈를 처리하기에 적합한 방법이라고 할 수 있다.

## 8. 위치정확도 평가

앞의 비교분석에서 저지대의 LIDAR DEM과 추출된 건물을 합성한 DSM이 수치정사사진의 제작에 가장 적절한 분석이 나왔기 때문에, 이 기법을 이용하여 제작한 수치정사사진의 위치정확도를 측정하였다. 위치정확도 평가방법은 수치지도검수에 쓰이는 포인트샘플링

방법을 사용하였다. 검사점은 수치정사사진과 수치지도에서 가장 구별하기 용이한 건물의 모서리점으로 하였다. 정확도 평가를 위해서 제작한 수치정사사진의 건물을 스크린 디지털이징하여 벡터화하였다. 그리고 그것을 항공사진의 해석도화결과와 비교하여 표 2에 제시하였다. 표 2를 보면 0.34 m의 평균오차와 0.68 m의 최대오차를 지니고 있음을 알 수 있다. 수치정사사진의 정확도평가기준은 일반적으로 지도검수기준과 동일하다. 따라서 우리나라의 1:5000 지도의 평면위치 정확도규정<sup>4)</sup>과 비교하여 보았을 때, 1 m인 평균오차규정과 2 m인 최대오차규정보다 훨씬 좋은 위치정확도를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 수치정사사진은 도화축척 1:5,000의 위치정확도 보다 높은 위치정확도를 지니고 있다할 수 있다. 물론 이것은 항공사진의 해석도화 결과와 비교한 것이고, 건물의 모서리점만 평가한 것이므로 좀더 정확한 참조자료를 쓰면 정확도는 저하될 가능성이 존재한다. 하지만 해석도화의 정확도를 생각할 때, 정확도의 저하정도가 그리 크지 않을 것이라고 판단된다. 따라서 LIDAR 데이터를 이용하여 수치정사사진을 제작할 경우 도화축척 1:5,000의 위치정확도

표 2. 위치정확도 평가

빌딩	해석도화		수치정사영상		각 방향 오차		오차
	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)	dx(m)	dy(m)	
a	333111.44	4137560.74	333111.60	4137560.93	0.16	0.19	0.25
	333149.78	4137560.18	333149.37	4137560.04	0.41	0.14	0.43
	333149.64	4137549.20	333149.66	4137549.59	0.02	0.39	0.39
	333111.32	4137549.81	333111.40	4137550.11	0.08	0.30	0.31
b	333166.31	4137548.90	333166.59	4137548.86	0.28	0.04	0.28
	333200.31	4137548.39	333200.43	4137548.47	0.12	0.08	0.15
	333200.18	4137536.72	333200.35	4137537.07	0.17	0.35	0.39
	333166.09	4137537.22	333166.27	4137537.58	0.18	0.36	0.40
c	333099.25	4137528.58	333099.35	4137528.97	0.10	0.39	0.40
	333110.24	4137528.36	333110.19	4137529.04	0.05	0.68	0.68
	333109.69	4137490.05	333109.78	4137490.36	0.09	0.31	0.32
	333098.73	4137490.22	333099.01	4137490.08	0.28	0.14	0.31
d	333216.52	4137511.11	333216.58	4137511.44	0.06	0.33	0.33
	333250.54	4137510.42	333250.44	4137510.52	0.10	0.10	0.14
	333250.41	4137498.78	333250.57	4137499.07	0.16	0.29	0.33
	333216.30	4137499.45	333216.38	4137499.78	0.08	0.33	0.34
			Ave.	0.15	0.28	0.34	
			MAX	0.41	0.68	0.68	

기준에 상응하는 수치정사사진의 제작이 가능함을 확인할 수 있었다.

## 9. 결 론

본 연구의 목적은 정밀한 높이데이터를 얻을 수 있는 LIDAR 데이터로부터 수치정사사진을 제작하는 것이다. 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) LIDAR DSM에서 발생하는 노이즈를 처리하기에 가장 적절한 방법은 저지대의 LIDAR DEM과 추출된 건물을 합성하는 것이다.

2) 위의 방법으로 제작한 DSM을 이용해서 만든 수치정사사진의 평면위치 정확도는 도화축척 1:5,000보다 좋은 위치정확도를 지니고 있다.

3) LIDAR 데이터를 이용한 도심지역에 대한 대축척의 수치정사사진을 제작의 가능성을 확인하여 수치정사사진의 활용도를 높여줄 것으로 예상된다.

그러나 앞으로 보완해야 할 여러 가지 과제들이 남아 있다. 먼저 본 논문에서 제시한 방법을 쓴다면 LIDAR 데이터를 이용하여 1:5,000정도의 수치정사사진 제작은 가능하겠지만, 좀더 완전한 수치정사사진제작을 위해서는 LIDAR 절점데이터의 오차보정에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 연구에서는 절단선의 처리에 대해서만 다루었지만, 그외에 수치정사사진의 정확도에 영향을 줄 수 있는 요소들과 LIDAR 데이터와의 관계 등에 대한 연구가 이루어진다면 좀 더 향상된 품질을 지닌 LIDAR 데이터로 제작한 수치정사사진의 제작이 가능할 것으로 예상된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 99년도 산학협력과제인 ‘고 해상도 DEM을 이용한 수치정사사진 구축’의 연구비 지원으로 수행된 연구과제의 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 지원해주신 한국과학재단에 감사를 표합니다. 또한 데이터 제공에 협조해주신 국립지리원과 성남시, (주)Mobile Mapper에 감사를 표합니다.

## 참고문헌

1. 권오형, “수치정사투영영상 제작을 위한 폐색지역의 탐지와 복원”, 석사학위논문, 서울대학교, 2000.
2. 유환희, 송영선, 성재열, “대축척 정사투영영상 생성을 위한 건물폐색보정”, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제19권, 제3-2호, 1999, pp. 305-312.
3. 윤홍식, “DEM의 효율적 생성기법 비교연구”, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제19권, III-4, 1999, pp. 701-709.
4. 행정자치부, “수치정사사진 구축에 관한 연구”, 1999.
5. 김감래, 전호원, “수치정사영상 정확도 평가”, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제19권, 제3-4호, 1999, pp. 709-717.
6. U.S. Geological Survey National Mapping Division, “Standards for Digital Orthophoto”, 1992.
7. 유복모, “대축척 정사영상제작을 위한 건물의 3차원 재구성”, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제20권, 제2-D호, 2000, pp. 201-209.

(2001년 10월 26일 원고접수)