

항공레이저 측량 자료의 해상도에 따른 DEM 오차 비교평가 연구*

이근상^{1*} · 고덕구¹ · 채효석¹ · 신영호¹

Comparison and Evaluation on DEM Error by the Resolution of Airborne Laser Scanning Data*

Geun-Sang LEE^{1*} · Deuk-Koo KOH¹ · Hyo-Seok CHAE¹ · Young-Ho SHIN¹

요 약

최근 높은 수직정확도를 갖는 항공레이저측량 기술이 개발됨에 따라 이를 이용한 DEM(digital elevation model) 생성, 건물추출, 홍수위험지도 제작, 3차원 도시모델 구축 등의 다양한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 본 연구에서는 항공레이저측량으로부터 취득한 원시자료로부터 생성한 해상도별 DEM의 표준편차를 계산하기 위해 점비교법, 등고선비교법 그리고 1/5,000 수치지형도를 활용하였다. 비교결과 점비교법이 등고선비교법보다 낮은 DEM 표준오차를 나타냈으며, 이것은 등고선비교법이 점비교법에 비해 조밀한 격자 연산이 이루어지지 않은 것이 원인으로 파악되었다. 또한 1/5,000 수치지형도는 평균수평거리인 25.4m 이하에서는 점비교법과 등고선비교법에 비해 높은 오차를 보였으며, 25.4m 이상에서는 등고선비교법과 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있었다.

주요어: 항공레이저측량, LiDAR, 수치표고모형, 점 비교법, 등고선 비교법

ABSTRACT

As airborne laser scanning technique is developed with high vertical accuracy recently, there come many studies on DEM(digital elevation model creation, building extraction, flood risk mapping and 3D virtual city modeling. This study applied point comparative method, contour comparative method and digital map with scale 1/5,000 to calculate RMSE of DEM in according to resolution that was constructed using rawdata being acquired by airborne laser scanning. As a result, point comparative method showed lower DEM standard error than contour comparative method, it is a reason that contour comparative method was not carried out detailed grid calculation for point comparative method. Also, digital map with scale 1/5,000 showed higher DEM standard error than point comparative method and contour comparative method in below 25.4m that is average horizontal

2003년 6월 30일 접수 Received on June 30, 2003 / 2003년 8월 28일 심사완료 Accepted on August 28, 2003

* 이 논문은 한국과학재단의 2003년 신진연구자 연수지원사업에 의해 수행되었음

¹ 한국수자원공사 수자원연구소 Water Resources Research Institute, Korea Water Resources Corporation

* 연락처 E-mail: happylks@hanmail.net

distance among contour line, and showed similar result with contour comparative method in over 25. 4m.

KEYWORDS: Airborne Laser Scanning, Light Detection and Ranging, Digital Elevation Model, Point Comparative Method, Contour Comparative Method

연구배경 및 목적

항공레이저측량은 도로, 철도 그리고 하천과 같은 노선측량, 전력선의 유지보수, 산림지역의 수치지형모형(DTM, digital terrain model) 구축, 연안지역의 침식관리, 토공량 계산 및 도로설계 등과 같은 고정밀, 고밀도 자료가 요구되는 응용분야 뿐만 아니라 3차원 도시모델링, 도시계획 및 소음 등의 공해 확산 분석, 무선통신 중계기 위치 선정, 자연재해 피해조사 등의 분야에 활발히 이용되고 있다. 항공레이저측량은 고품질의 3차원 정보가 필요한 분야에서 신속하고 정확한 고도정보를 제공하기 때문에 기존측량의 대용으로 널리 활용되고 기대를 모으고 있다(Wehr와 Lohr, 1999).

국내에서는 국립지리원을 중심으로 항공레이저측량을 이용한 DEM 구축과 관련된 연구가 비교적 활발히 수행되어 왔으며, 한국수자원공사에서는 여름철 하천범람에 의한 홍수위험지역을 모의하기 위한 모델링의 지형입력자료 구축을 위해 항공레이저측량을 실시하였다. 또한 항공레이저측량의 관련 국내 연구로는 LiDAR 데이터를 이용한 수치정사투영영상지도 제작(심용운, 2001), LiDAR 반사강도를 이용하여 토지피복도 추출 가능성을 평가한 연구(한수희, 2002) 그리고 LiDAR 자료로부터 건물 외곽선을 추출하는 연구(오재홍, 2000) 및 다양한 분야의 연구가 시도되고 있다.

LiDAR 자료로부터 구축한 DEM은 각 응용분야별로 다양한 해상도로 재배열하게 되며, 이러한 재배열 과정을 통해 생성되는 DEM의 각 셀에는 일정량의 표고오차가 누적되는 특성을 갖는다. 현재 항공사진이나 수치지형도로부터 구축한 DEM의 해상도에 따른 오차평가 연구 및 항공레이저측량의 표고정확도 검증을

위한 검정점 비교연구는 있지만, 항공레이저측량으로부터 구축한 DEM의 해상도에 따른 오차평가 연구는 이루어지지 않고 있다.

본 연구는 한국수자원공사에서 홍수위험지도 제작을 위해 실시한 항공레이저측량 성과인 원시자료로부터 필터링기법과 함께 IKONOS 영상으로부터 결정한 제방이나 도로 등의 breakline 처리를 통해 1m 해상도의 DEM을 구축하는 방법을 제시하고자 한다. 또한 1m 해상도의 DEM으로부터 다양한 해상도의 DEM을 재배열시 발생하는 DEM 표준오차를 평가하기 위해 점비교법(point comparative method)과 등고선비교법(contour comparative method)을 이용하였으며, 1/5,000 수치지형도의 등고선과도 상호 비교함으로써 각 방법별 오차특성을 파악하고 그 원인을 제시하고자 하였다.

연구자료 및 방법

본 연구는 한국수자원공사의 홍수위험지도 제작 1차 시범사업 대상지역인 구리, 경안천, 양평, 여주, 달천, 오산지역 중 경안천 지역에 대한 항공레이저측량 자료로부터 취득한 DEM의 해상도에 따른 오차를 평가하는 것으로서, 본 장에서는 항공레이저측량의 개요, 활용장비 및 소프트웨어 그리고 DEM 제작을 위한 전체공정을 소개하였으며, DEM 오차를 평가하기 위해 본 연구에서 이용한 점비교법, 등고선비교법 그리고 수치지도와의 비교방법도 함께 제시하였다.

1. 항공레이저측량

항공레이저측량은 LiDAR(light detection and ranging) 시스템을 항공기에 장착하여 레

이저 펄스를 지표면에 주사하고, 반사된 레이저 펄스의 도달시간을 측정함으로써 반사 지점의 공간 위치 좌표를 계산하여 지표면에 대한 지형정보를 추출하는 측량기법이다. 항공레이저측량은 자동처리가 가능하기 때문에 처리속도가 빠르고, 능동적 센서이므로 날씨에 구애를 받지 않고 측량이 가능하다. 또한 지상기준점측량 작업이 어려운 해안, 습지 측량과 그림자에 의해 방해받는 산림, 도심 지역에서의 수치표고모형 제작에 유리한 장점이 있다. 항공 LIDAR 시스템은 GPS(global positioning system), 관성항법장치(IMU, inertial measuring unit) 및 레이저스캐너로 구성되어 있다. 이와 같은 항공레이저측량 시스템은 고정익 항공기나 헬리콥터 등에 장착되어 시스템 운용자에 의해 활용되며, 기타 추가적인 자료획득 보조장비로 비디로나 디지털 사진기 또한 사용되기도 한다(한수희, 2002).

본 연구에서는 ±15cm미만의 표고정확도를 갖는 ALTM(airborne laser terrain mapper) 2050 레이저 시스템을 활용하였다. 항공레이저측량의 작업공정은 다년간 수행착오에 근거하여 정립되었으며, 전체적으로 계획 및 준비를 통해서 지상측량 및 항공레이저측량계획을 수립하고, 자료취득을 위해 항공레이저측량을 실시하게 된다. 항공레이저측량시 실시간으로 GPS 기준국을 운용하게 되며, 각 시스템에서 획득한 원시자료를 응용 소프트웨어를 활용하여 가공된 ASCII 자료를 생성한 후 원하는 산출물을 제작하게 된다. 그림 1은 항공레이저측량의 전체적인 흐름도이며, 표 1은 본 연구에서 적용한 비행설계 내역이다.

TABLE 1. Flight planning parameters

Design Item	Contents
Point density	3.0 point/m ²
Pulse frequency	41~47kHz
Flying height	1,000~1,200m
Scan angle	±15°
Vertical overlap	More than 50%

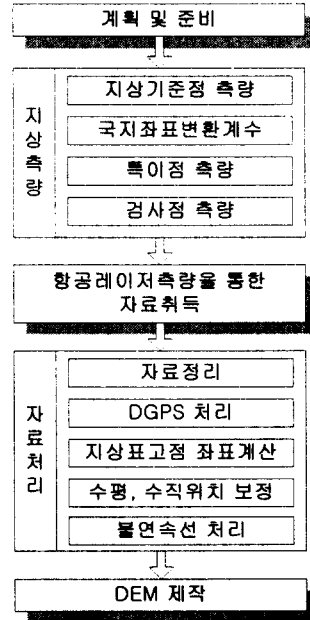


FIGURE 1. Flowchart

본 연구에서 실시한 세부공정을 살펴보면, 지상기준점 측량은 항공레이저측량에서 측량 결과의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 중요한 작업으로 항공레이저측량에서 기준이 되는 지상기준점의 정확한 위치정보를 획득하기 위하여 실시하였다. 지상기준점측량은 항공레이저측정, 검사점측량, 특이점 측량 등 모든 항공레이저측량 공정에 활용되므로 최대한 정확한 성과가 구해지도록 지상기준점의 위치를 안정적인 지점으로 선정하였다. 좌표계 변환을 위한 매개변수는 국토지리정보원의 ‘고시 제 2002-433호’에서 Bursa-Wolf 모델로 결정한 7 변수를 이용하였다.

TABLE 2. Seven parameters with Bursa-Wolf model

Parameters	$\Delta x(m)$	$\Delta y(m)$	$\Delta z(m)$	$R_x(^{\circ})$
Value	-115.80	+474.99	+674.11	-1.16
Parameters	$R_y(^{\circ})$	$R_z(^{\circ})$	$\lambda(ppm)$	
Value	+2.31	+1.63	+6.43	

특이점 측량은 수평위치정확도를 향상시키기 위해서 필요하며, 건물의 경계선이나 송전탑 등과 같이 항공레이저측량을 통해서 획득된 자료에서 구별이 가능한 위치를 선정하여 실시하였다. 항공레이저측량시 GPS의 위치정확도를 향상시키기 위해 지상기준점에 GPS 기준국을 설치하고 항공기에 탑재된 GPS를 이동국으로 하여 DGPS 측량을 실시하였다. 본 연구에서 이용한 GPS 기준국의 측량 정보는 표 3과 같다.

TABLE 3. GPS base-station information

Item	Contents
Longitude	127°15' 28.05352" E
Latitude	37°25' 09.69101" N
Elevation	70.781m

항공기에 항공레이저측량장비를 설치한 후 토탈스테이션을 이용하여 GPS 안테나와 레이저측량기 센서 중심간의 상대적인 위치를 정밀측량하여 오차 모델링을 실시하였다. 보정비행을 통해 산출된 매개변수를 최적화하여 실제 대상지역에 대한 레이저측량을 수행하여 원시자료를 취득하였다. GPS 자료처리는 Trimble사의 TGO를 이용하였고 ALTM 자료처리는 RealM ASCII 처리모듈을 이용하였다. 생성된 원시자료는 오차점을 소거하고 건물영역과 지형영역으로 분류한 후, WGS84 UTM 좌표계 자료를 국지적으로 계산한 7개 매개변수를 이용하여 Bessel TM 좌표계의 자료로 변환하였으며, 항공레이저측량에 의한 타원체고는 EGM96 모델을 이용하여 정표고로 변환하였다. last return값으로 제작된 DEM은 건물이 제거되지 않고 남아있기 때문에, Arc/Info GRID 시스템의 3×3 필터링을 통해 건물 등과 같은 지물을 제거하였다. 필터링에서는 건물의 표고값과 건물 주위의 표고값을 상호 비교하는 임계값 기준을 이용하였으며, 필터링으로도 제거되지 않은 부분에 대해서는 수작업

으로 제거하였다. 이때 급격한 지형변화를 보이는 지역에 대해서는 IKONOS 영상을 이용하여 결정한 제방선이나 도로를 breakline으로 삽입하여 실제 지형을 반영하는 DEM을 1m 해상도로 구축하였다.

2. DEM 오차 평가과정

일반적으로 지형분석에 활용되는 DEM은 항공사진이나 위성영상으로부터 구축되어 왔으며, DEM 구축시 최적의 샘플링 간격을 결정하는 연구들이 지속적으로 진행되어 왔다. Ayeni(1982)는 4가지 형태의 지형에 대해 7가지 샘플링기법의 상대적인 효율성을 평가하였으며, Balce(1987)는 최적의 샘플링 간격을 결정하기 위한 컴퓨터 프로그램을 비교 평가하였다. 이러한 연구들은 방법론 개발과 알고리즘 시험에 집중되어 있었으며, 어느 정도의 해상도가 DEM으로 구축된 지형의 정확도에 영향을 주는지는 평가하지 않았다.

DEM 오차가 지형을 분석하고 모델링할 때 정확도 측면에서 좋지 않은 결과를 가져오기 때문에 DTM의 정확도를 향상시키는 많은 연구가 진행되었다. Carter(1988)는 여러 가지 제작과정으로 구축된 DEM 오차의 원인을 연구하였으며, Brown과 Bara(1994), Felicissimo(1994)는 DEM에서 발생하는 오차를 추적하는 알고리즘을 개발하였다. DEM에 관련된 국내연구로서 최병길(1991)은 DEM의 효과적인 구축방법 및 자동생성에 관한 연구를 수행하였으며, DEM 정확도 분석 및 향상에 관한 연구로는 박상현(2000)과 안광범(2001)이 있다.

본 연구에서는 이근상과 조기성(2002)의 연구에서 제시한 등고선비교법과 더불어 LiDAR 점자료의 표고값을 직접 이용하여 비교하는 점비교법을 이용하였다. 또한 수치지형도의 등고선과 LiDAR 측량으로 얻어진 자료와의 해상도별 DEM 오차도 함께 분석하여 그 영향을 평가하였다. DEM 오차특성을 평가하는 지표에는 최소, 최대, 평균, 표준편차 등이 있지

만, 부호에 따른 오차의 영향을 받지 않으면서 DEM 오차평가에 주로 이용되는 표준편차를 활용하였다. 먼저, LiDAR 점자료의 표고값과 해상도별 DEM과의 오차를 평가하는 점비교법의 흐름도는 그림 2와 같다.

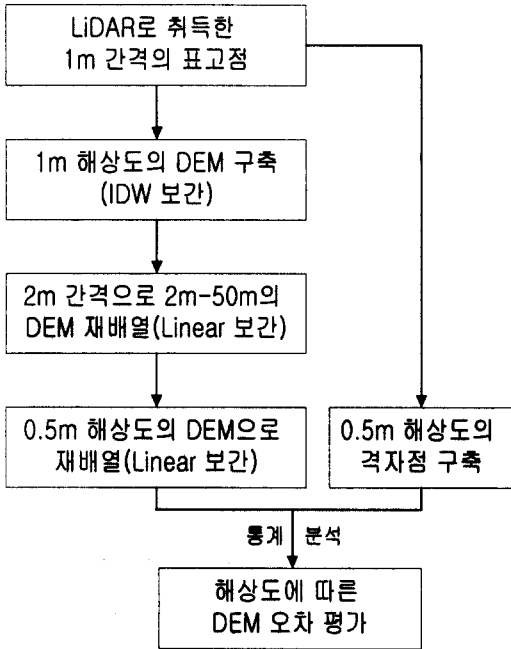


FIGURE 2. The analysis procedure of DEM error using point comparative method

LiDAR 시스템으로 취득한 1m 간격의 표고점으로부터 IDW(inverse distance weight) 보간을 이용하여 1m 해상도의 DEM을 구축한 후 linear 보간을 통해 2m 간격으로 해상도 2m~50m의 DEM을 구축하였다. 그리고 LiDAR 시스템으로 취득한 1m 간격의 표고점으로부터 격자자료로 구축한 0.5m 해상도의 격자점과의 비교분석을 위해 해상도 2m~50m의 DEM을 0.5m 해상도의 재배열함으로써 해상도에 따른 DEM 오차를 평가할 수 있었다.

두번째 방법은 LiDAR로부터 추출한 등고선 격자와 해상도별 DEM과의 오차를 평가하는 등고선비교법으로써 흐름도는 그림 3과 같다.

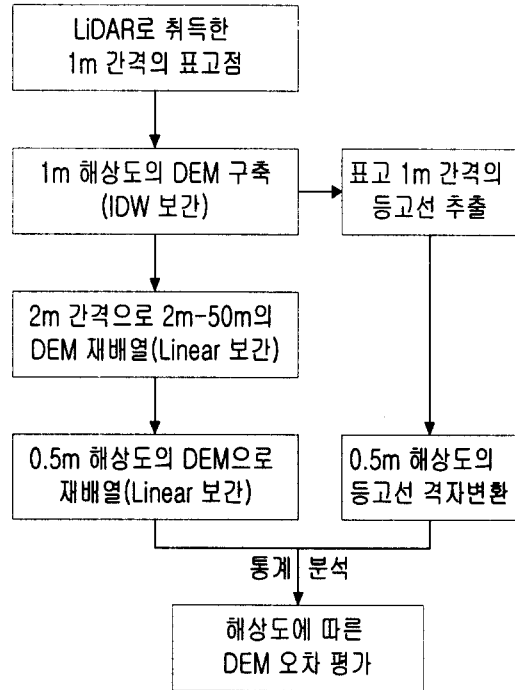


FIGURE 3. The analysis procedure of DEM error using contour comparative method

LiDAR 시스템으로 취득한 1m 간격의 표고점으로부터 IDW 보간을 이용하여 1m 해상도의 DEM을 구축한 후 Linear 보간을 통해 2m 간격으로 해상도 2m~50m의 DEM을 구축한다. 1m 해상도의 DEM으로부터 표고 1m 간격의 등고선을 추출하고 등고선을 0.5m 해상도의 등고선 격자로 변환한 후 변환한 0.5m 해상도의 등고선 격자와의 비교분석을 위해 해상도 2m~50m의 DEM을 0.5m 해상도의 재배열함으로써 해상도에 따른 DEM 오차를 평가할 수 있었다.

세번째 방법은 5m 표고간격을 갖는 1/5,000 수치지형도로부터 추출한 등고선 격자와 해상도별 DEM과의 오차를 평가하는 방법으로서 흐름도는 그림 4와 같다. LiDAR 자료와의 표고정확도 비교를 위해서는 1m 간격의 등고선을 갖는 1/1,000 수치지형도를 이용하는 것이 바람직하지만, 본 연구대상지에 해당하는 도엽

이 없는 관계로 1/5,000 수치지형도를 활용하였다. 5m 간격의 등고선으로 구성된 1/5,000 수치지형도는 $\pm 1.0\text{m}$ 의 표고정확도를 포함하고 있기 때문에 LiDAR 자료에 비해 낮은 표고정확도를 가지고 있다.

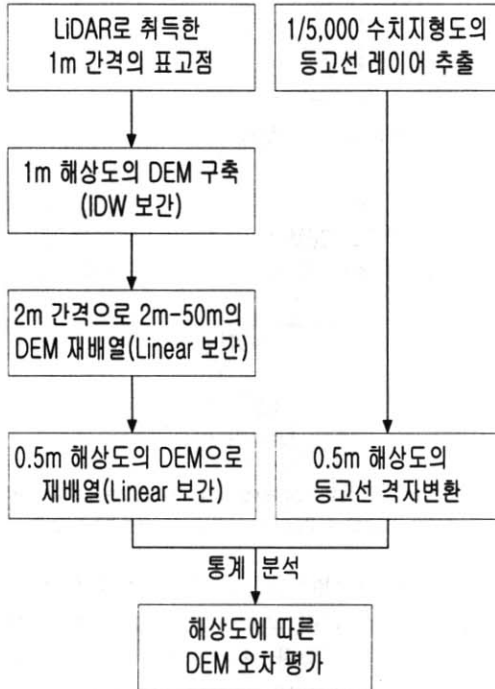


FIGURE 4. The analysis procedure of DEM error using digital map

LiDAR 시스템으로 취득한 1m 간격의 표고점으로부터 IDW 보간을 이용하여 1m 해상도의 DEM을 구축한 후 Linear 보간을 통해 2m 간격으로 해상도 2m~50m의 DEM을 구축하였다. 5m 표고간격을 갖는 1/5,000 수치지형도로부터 등고선 레이어를 추출한 후 0.5m 해상도의 등고선 격자로 변환하고, 변환한 0.5m 해상도의 등고선 격자와의 비교분석을 위해 해상도 2m~50m의 DEM을 0.5m 해상도로 재배열함으로써 해상도에 따른 DEM 오차를 평가할 수 있었다.

결과 및 고찰

1. 연구대상지

한국수자원공사의 홍수지도제작 1차사업 대상지역의 일부인 경기도 광주군에 위치하고 있는 경안천 인근지역을 연구대상지로 선정하였다. 연구대상지의 면적은 약 1.65km^2 이고 폭은 $2.06\text{km} \times 0.81\text{km}$ 로 구성되어 있으며, DEM 오차평가를 위해 산지가 분포하고 있는 지역을 선정하였다.

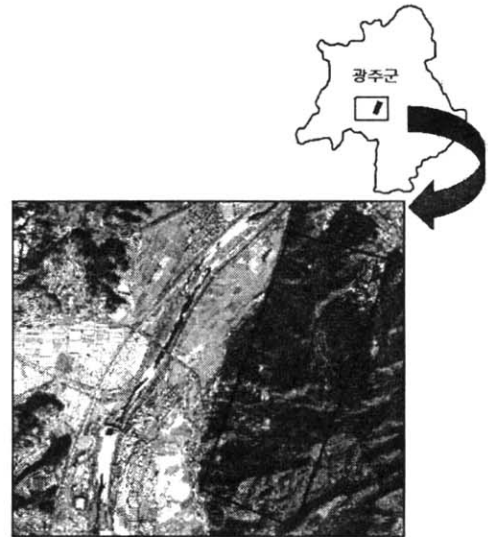


FIGURE 5. Study site

2. DEM 오차평가

LiDAR 시스템으로 취득한 원시자료를 처리하여 1m 해상도로 가공한 텍스트형태의 파일을 Arc/Info 커버리지로 자동변환하기 위해 비주얼베이직 환경에서 ArcObject component를 이용하여 프로그래밍 하였다.

DEM의 오차평가를 위해 점비교법, 등고선 비교법 그리고 수치지도와의 비교방법을 이용하였으며, 표 4는 DEM 오차평가기 해상도에 따른 격자의 열(row)과 행(column)의 개수를 나타낸 것이다.

TABLE 4. Cell count in according to the resolution

Resolution		Cell count		Resolution		Cell count	
(m)	Row	Column	(m)	Row	Column	(m)	Column
2	1443	1207	28	103	86		
4	722	603	30	96	80		
6	481	402	32	90	75		
8	361	302	34	85	71		
10	289	241	36	80	67		
12	241	201	38	76	64		
14	206	172	40	72	60		
16	180	151	42	69	57		
18	160	134	44	66	55		
20	144	121	46	63	52		
22	131	110	48	60	50		
24	120	101	50	58	48		
26	111	93					

점비교법은 변환프로그램을 통해 생성한 커 버리지를 이용하여 그림 2의 과정을 통해 수행 하였다. 그림 6은 4m로 재배열한 DEM과 0.5m 해상도의 LiDAR 점 격자를 중첩한 그림으로서, 4m로 재배열한 DEM의 표고값인 173m와 0.5m 해상도의 LiDAR 점 격자 16개의 소수점으로 표현된 표고값을 비교 분석하여 DEM 오차를 평가하게 된다. 점비교법은 LiDAR 시스템으로 조밀하게 취득한 점 자료의 특징을 잘 반영할 수 있고 또한 각 점의 표고값을 소수점까지 비교할 수 있다는 점에서 DEM 오차를 매우 자세하게 평가할 수 있다는 장점이 있다.

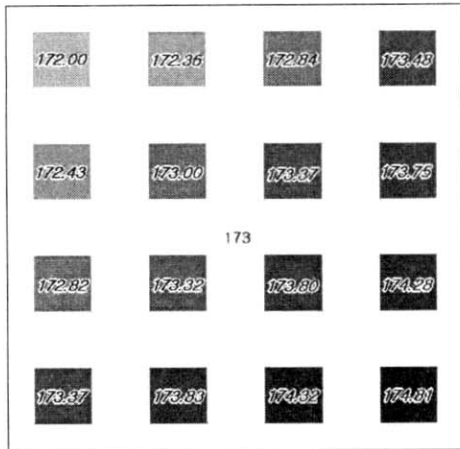


FIGURE 6. Application example using point comparative method

표 5는 점비교법으로 연구대상지역에 대해 분석한 DEM 오차 결과이다.

TABLE 5. The analysis results of DEM error using point comparative method

Resolution (m)	RMSE (m)	Resolution (m)	RMSE (m)
2	0.377	28	3.457
4	0.631	30	3.672
6	0.886	32	3.901
8	1.136	34	4.108
10	1.379	36	4.318
12	1.629	38	4.552
14	1.857	40	4.764
16	2.097	42	4.955
18	2.325	44	5.149
20	2.561	46	5.352
22	2.785	48	5.535
24	3.013	50	5.759
26	3.238		

두번째 방법인 등고선비교법은 그림 3의 과정을 통해 수행하였다.

그림 7은 4m로 재배열한 DEM과 0.5m 해상도의 등고선 격자를 중첩한 그림으로서, 4m 격자로 재배열한 DEM 격자내의 표고값과 각 격자를 통과하는 0.5m 해상도의 등고선 격자간의 표고값을 분석하여 DEM 오차를 평가하게 된다.

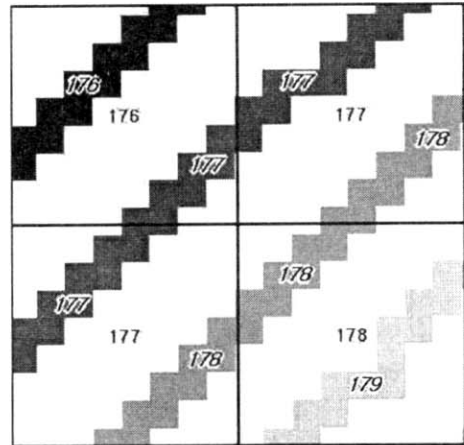


FIGURE 7. Application example using contour comparative method

등고선비교법은 표고 1m 간격의 등고선 격자를 기준으로 분석이 진행되므로 소수점까지 오차평가를 수행하는 점비교법보다는 상세한 분석에 다소 한계가 있지만, 지형의 특성을 잘 반영하는 등고선의 형상을 따라 분석이 수행되므로 지형분석 수행을 위한 DEM의 오차평가에는 효과적인 방법이 될 것으로 생각된다. 등고선비교법은 본 연구지역과 같은 산지에서는 효과적이지만 경사가 완만한 평야지에서는 등고선간의 간격이 매우 넓기 때문에 분석에 활용되는 등고선의 비율이 상대적으로 줄어들어 분석결과에 신뢰성을 얻기 힘들다는 단점이 있다.

표 6은 등고선비교법으로 연구대상지역에 대해 분석한 DEM 오차 결과이다. 등고선비교법에 의한 해상도별 DEM의 표준편차가 점비교법에 비해 약간 높게 나타났다. 이러한 결과는 1m의 등고선 격자를 이용한 등고선비교법이 1m의 수평간격으로 구성된 점 격자 비교방법에 비해 분석격자간의 수평거리가 약간 넓게 분포하고 있는 특징이 반영된 것으로 해석된다.

TABLE 6. The analysis results of DEM error using contour comparative method

Resolution (m)	RMSE (m)	Resolution (m)	RMSE (m)
2	0.493	28	3.812
4	0.782	30	4.058
6	1.067	32	4.279
8	1.341	34	4.513
10	1.605	36	4.714
12	1.871	38	4.955
14	2.116	40	5.181
16	2.376	42	5.394
18	2.622	44	5.592
20	2.873	46	5.799
22	3.108	48	5.962
24	3.354	50	6.195
26	3.592		

세번째 방법은 LiDAR 자료와 1/5,000 수치지형도의 등고선을 비교하는 것으로 그림 4의 과정으로 수행하였다. 수치지형도와와의 비교방법은 기본적으로 등고선비교법에 해당하며, 국립지리원에서 제작하여 활용하고 있는 1/5,000 수

치지형도의 등고선과 LiDAR 자료와의 DEM 오차를 상호비교하여 제시하고자 하였다. 해상도별 LiDAR 자료와 수치지형도의 등고선 비교에서 고려해야 될 문제는 수치지형도의 축척이다. 본 연구에서는 대상지에 대한 1/1,000 수치지형도가 구축되어 있지 않은 관계로 5m 등고 간격을 갖는 1/5,000 수치지형도를 이용하였다.

표 7은 LiDAR 자료와 1/5,000 수치지형도의 등고선을 비교 분석한 결과이다. 분석결과 해상도 20m까지는 점비교법과 등고선비교법에 비해 상당히 큰 오차 특성을 보였으며, 20m 이상에서는 등고선비교법과 유사한 특성을 보였다. ±15cm 표고정확도를 확보하는 항공레이저측량 자료를 기준으로 수치지형도의 DEM 오차를 평가시, 등고선간의 수평거리가 큰 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 30점의 등고선 상의 샘플 점을 확인한 결과 약 25.4m의 수평거리를 나타내었으며, 이러한 수평거리가 DEM 오차특성을 나타낸 것으로 해석된다. 그러나, 이러한 수평거리는 지형 형태에 따라 달라지는 부분이므로 정상, 능선, 골짜기 혹은 평지에 따라 DEM 오차 특성이 다르게 나타날 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 이러한 지형특성을 고려한 비교평가 연구 및 1/1,000 수치지형도와 같은 대축척 지도와의 비교 검토가 요구된다.

TABLE 7. The analysis results of DEM error using digital map

Resolution (m)	RMSE (m)	Resolution (m)	RMSE (m)
2	1.957	28	3.928
4	2.007	30	4.151
6	2.077	32	4.321
8	2.184	34	4.528
10	2.311	36	4.710
12	2.440	38	4.905
14	2.618	40	5.130
16	2.784	42	5.371
18	2.955	44	5.559
20	3.147	46	5.691
22	3.341	48	5.912
24	3.528	50	6.117
26	3.713		

그림 8은 점비교법, 등고선비교법 그리고 1/5,000 수치지형도를 이용하여 LiDAR 자료의 해상도에 따른 DEM 오차를 평가하여 그래프로 표현한 것이다.

지금까지 점비교법, 등고선비교법 그리고 수치지형도의 비교를 통해 LiDAR 자료의 해상도에 따른 DEM 오차 특성을 평가하였다. 이러한 DEM 오차 평가결과는 홍수지도 제작 및 도시계획분야를 비롯한 다양한 목적에 활용될 항공레이저측량 자료의 해상도를 결정하기 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이며, 향후 다양한 지형형태를 고려한 오차평가 연구 등이 필요할 것으로 판단된다.

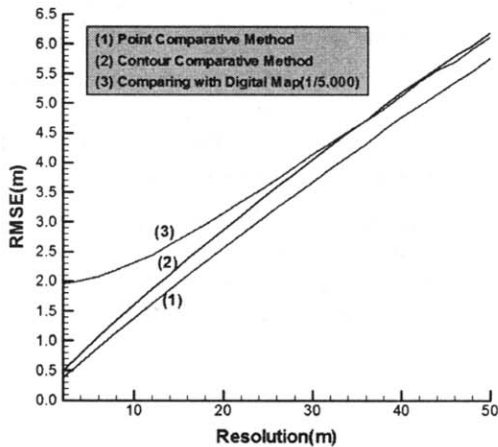


FIGURE 8. The analysis graph of DEM error

결 론

본 연구는 도시계획, 시설물, 자연환경 그리고 재난관리 등의 분야에서 신속하고 정확한 고도정보 구축을 위해 최근 활발한 연구가 진행되고 있는 항공레이저측량 자료의 DEM 해상도에 따른 오차를 평가한 것으로서 한국수자원공사의 홍수지도제작을 위한 1차 시범사업 일부지역인 경안천 지역을 대상으로 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 점비교법의 경우 LiDAR 시스템으로 취득한 수평거리 1m 해상도의 상세한 점 자료 특성을 잘 반영할 수 있었으며, 또한 각 점의 표고값을 소수점까지 비교할 수 있다는 점에서 DEM 오차를 정확하게 계산할 수 있는 방법으로 평가되었다.
2. 등고선비교법은 표고 1m 간격의 등고선 격자를 기준으로 분석이 진행되므로 점비교법에 비해 평가되는 격자수가 적어 DEM 오차가 점비교법에 비해 약간 높게 평가됨을 알 수 있었다.
3. 1/5,000 수치지형도의 등고선과 LiDAR 자료와의 DEM 오차를 비교한 결과, 점비교법과 등고선비교법에 비해 상당히 큰 오차 특성을 보였으며, 해상도 20m 이상에서는 등고선비교법과 유사한 특성을 나타내었다. 이것은 등고선간의 수평거리가 영향을 미친 것으로 해석되며, 지형특성에 따라 수평거리가 다양하게 나타나므로 향후 지형특성을 고려한 DEM 오차 평가 및 1/1,000 대축척 수치지형도와의 비교 검토도 필요할 것으로 생각된다.
4. 본 연구에서 평가한 항공레이저측량 자료의 해상도에 따른 DEM 오차 평가 결과는 홍수지도제작 및 도시계획 분야를 비롯한 다양한 응용분야에 활용시, 적절한 해상도 결정을 위한 기초자료로 활용될 수 있으리라 판단된다.

감사의 글

본 논문은 한국과학재단의 ‘2003년 신진연구자 연수지원 사업’으로 수행되었으며, 항공레이저측량 자료를 제공해 주신 한국수자원공사에 감사드립니다. **KAGIS**

참고문헌

- 박상현. 1999. Breakline을 이용한 수치표고모델의 정확도 향상에 관한 연구. 명지대학교 석사학위논문.
- 안광범. 2001. 수치항공사진에 의한 도시기반 구축과 DEM 생성 방법별 정확도 분석에 관한 연구. 상주대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 심용운. 2001. LiDAR 데이터를 이용한 도시지역의 수치정사투영영상 제작. 서울대학교 석사학위논문.
- 오재홍. 2000. Laser Scanning Data를 이용한 건물외곽선 추출에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 이근상, 조기성. 2002. GIS 환경에서 DEM 정확도 분석 및 해상도의 영향 평가에 관한 연구 - 골짜기, 정상, 능선을 중심으로. 대한토목학회 논문집 22(3-D):583-590.
- 최병길. 1991. 지형정보시스템의 수치표고모델 구축에 관한 연구. 한양대학교 박사학위논문.
- 한수희. 2002. LiDAR 반사강도와 고도자료를 이용한 토지피복분류에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- Ayeni, O. O. 1982. Optimum sampling for digital terrain models: A trend towards automation. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 48:1687-1694.
- Balce, A. E. 1987. Determination of optimum sampling intervals in grid digital elevation models (DEM) data acquisition. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53:323-330.
- Brown, D. G. and T. J. Bara. 1994. Recognition and reduction of systematic error in elevation and derivative surfaces from 7.5minute DEMs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60:189-194.
- Carter, J. R. 1988. Digital representations of topographic surfaces. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54:1577-1580.
- Felcissimo, A. M. 1994. Parametric statistical method for error detection in digital elevation models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 49:29-33.
- Wehr, A. and U. Lohr. 1999. Airborne laser scanning - An introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54:68-82. **KAGIS**