

항공 LiDAR 자료기반 DEM 생성기법의 산림지역 최종산출물 품질에 미치는 영향에 관한 연구* – FUSION Software의 GroundFilter 및 GridsurfaceCreate 알고리즘을 중심으로 –

박주원^{1*} · 최형태² · 조승완¹

A Study on the Effects of Airborne LiDAR Data-Based DEM-Generating Techniques on the Quality of the Final Products for Forest Areas* – Focusing on GroundFilter and GridsurfaceCreate in FUSION Software –

Joo-Won PARK^{1*} · Hyung-Tae CHOI² · Seung-Wan CHO¹

요 약

본 연구는 항공 LiDAR 원자료를 활용하여 Fusion 소프트웨어의 필터링 과정을 수행하는 GroundFilter(GF) 알고리즘과 격자화 과정을 수행하는 GridsurfaceCreate(GC) 알고리즘의 패러미터 수준의 조합 변화에 따라 해발고도 정확도에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 비교분석하였다. GF 패러미터(1, 3, 5, 7, 9) 및 GC 패러미터(1, 3, 5, 7, 9)의 조합 변화에 따른 해발고도 정확도에 대하여 유의미한 영향이 있는지 분석하기 위해 DEM과 현장 해발고도의 잔차로 이원분산분석을 실시하고, Tukey HSD 사후분석을 실시하였다. 이원분산분석 결과, GF 패러미터 변화는 정확도에 유의미한 영향을 미쳤으나(F-value : 27.340, p<0.01), GC 패러미터의 수준 변화는 유의미한 영향이 없었다(F-value : 0.457). 아울러 GF와 GC의 상호작용효과는 정확도에 대하여 유의미한 영향이 없는 것으로 나타났다(F-value : 0.247). 유의미한 영향이 나타난 GF에 대하여 사후분석을 실시한 결과, 잔차들의 평균 차이에 따라 '7', '5', '9', '3' 집단과 '1'

2016년 2월 21일 접수 Received on February 21, 2016 / 2016년 3월 21일 수정 Revised on March 21, 2016 / 2016년 3월 26일 심사완료 Accepted on March 26, 2016

* 본 연구는 산림청의 차세대 산림사업기술개발 연구사업단(S211315L020140) 및 국립산림과학원의 위탁과제 '항공 LiDAR 측량자료와 GIS를 이용한 산림수자원유역시험지 수문학적 지형조사 및 하도망도 작성(FE0401-2011-02)' 지원을 받아 수행된 연구임.

1 경북대학교 산림과학·조경학부 School of Forestry and Landscape Architecture, Kyungpook National University

2 국립산림과학원 산림복원연구과 Division of Forest Restoration, National Institute of Forest Science

* Corresponding Author E-mail : joowon72@knu.ac.kr

의 두 집단으로 나뉘었다. 또한 보다 신뢰성 있는 해발고도 정보를 제공하는 항공 LiDAR-DEM을 생성하는데 적정 GF 및 GC 패러미터는 각각 수준 '7', '3' 인 조건일 때로 판단되었다.

주요어 : LiDAR, 수치고도모델, FUSION 소프트웨어, 산림, 정확도, 필터링

ABSTRACT

This study aims to contribute to better understanding the effects of the changes in the parameter values of GroundFilter algorithm(GF), which performs filtering process, and of GridsurfaceCreate algorithm(GC), which creates regular grid, provided in Fusion software on the accuracy of elevation of the final LiDAR-DEM products through comparative analysis. In order to test whether there are significant effects on the accuracy of the final LiDAR-DEM products due to the changes of GF(1, 3, 5, 7, 9) parameter levels and GC(1, 3, 5, 7, 9) parameter levels, two-way ANOVA is conducted based on residuals. The residuals are calculated using the differences between each sample plot's paired field-measured and DEM-derived elevation values given each individual GF and GC level. After that, Tukey HSD test is conducted as a post hoc test for grouping the levels. As a result of two-way ANOVA test, it is found that the change in the GF levels significantly affects the accuracy of LiDAR-DEM elevations(F-value : 27.340, $p < 0.01$), while the change in the GC levels does not significantly affect the accuracy of LiDAR-DEM elevations(F-value : 0.457). It is also found that the interaction effect between GF and GC levels is not likely to exist(F-value : 0.247). From the results of the Tukey HSD test in the GF levels, GF levels can be divided into two groups('7', '5', '9', '3' vs '1') by the differences of means of residuals. Given the current conditions, LiDAR-DEM can achieve the best accuracy when the level '7' and '3' are given as GF and GC level, respectively.

KEYWORDS : LiDAR, DEM, FUSION Software, Forest, Accuracy, Filtering

서론

일정격자 내에 해발고도 정보가 수치화된 자료인 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM)은 지리, 지형, 도시계획, 수자원, 재해 등 여러 분야에서 활용되고 있는 기본지리정보이다(Lee *et al.*, 2004; Hwang, 2006; Kim *et al.*, 2007). 폭 넓은 활용성과 함께 대면적의 지표 정보를 보다 효율적으로 획득하여 정량화가 용이해진 원격탐사자료의 보급이 증대함에 따라 원격탐사자료 기반의 DEM 생성에 대한

연구들의 중요성이 강조되어왔다(Kang *et al.*, 2006; Kornus *et al.*, 2006). DEM을 생성할 수 있는 원격탐사자료로 위성영상(Satellite image), 항공사진(Aerial photograph), RADAR(RADio Detection and Ranging), LiDAR(Light Detection And Ranging) 자료 등이 대표적이다. 그 중 항공 LiDAR(Airborne Light Detection And Ranging) 자료를 통해 생성한 DEM은 다른 원격탐사자료를 통해 생성한 DEM에 비해 상대적으로 높은 해상도의 해발고도 정보 획득이 가능하고, 높은 수직 정확도를 가진 것으로 알려졌기 때문에 보다 정확

도 향상에 기여할 수 있는 자료로 주목받아왔다(Baltsavias, 1999). 특히 항공 LiDAR 자료는 레이저 송신기에서 방출된 레이저가 산림의 수관을 관통하여 나지면(bare-earth)에서 반사되는 특성으로 수관에 의해 울폐된 산림의 지표면 정보를 제공할 수 있다(Kobler *et al.*, 2007). 이러한 항공 LiDAR 자료의 특징을 고려할 때, 우리나라와 같이 산림이 많은 지역의 DEM을 생성하는데 있어서 LiDAR 자료의 가용이 다른 원격탐사자료에 비해 유용하다고 할 수 있다.

항공 LiDAR는 항공기에 탑재된 레이저 센서(sensor)에서 방출된 레이저 펄스(laser pulse)가 지표면에 도달하였다가 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 지표면 반사점에 대한 3차원 좌표를 측정하는 측량방법이다(Lillesand *et al.*, 2007). 항공 LiDAR 측량을 통해 얻어진 자료들은 인공물, 자연지물 및 지면을 포함하는 불규칙한 3차원 점군(point cloud) 형태를 가지고 있다. 따라서 최초 항공 LiDAR 자료에서 나지면의 점들을 추출하기 위해서는 나지면 외의 점들을 제거하는 필터링(filtering) 과정이 필요하다.

그리고 나지면으로 구분하는 필터링 기법에 따라 결과 차이가 발생할 수 있다. 따라서 어떠한 필터링 기법을 사용하는지가 DEM 정확도에 영향을 미친다고 할 수 있다(Kobler *et al.*, 2007). 그리고 이 점들을 바탕으로 일정 격자를 구성하여 지표면에 대한 DEM을 생성할 수 있다. 항공 LiDAR 자료를 기반으로 DEM을 생성한 연구로는 Lee *et al.*(2014)이 육상 및 해상자료 통합을 위한 육상의 자료를 LiDAR-DEM을 통해 구성하였으며, Ko *et al.*(2014)는 우면산 산사태 발생 지점 지형에 대한 자료 구축 및 분석을 위해 LiDAR-DEM을 생성하였다. LiDAR DEM을 활용한 연구들은 필터링 과정과 격자화 과정에 대한 세부적인 내용이 미미하고, 이는 분석결과에 영향을 줄 소지가 있다고 판단된다.

Fusion 소프트웨어는 미국산림청(The Forest Service of the U.S. Department of

Agriculture)에서 산림부문에서의 LiDAR 자료의 활용성을 향상시키기 위해 개발한 프로그램으로 LiDAR 분석 및 시각화 도구를 제공하고 있다(McGaughey, 2015). Fusion 소프트웨어는 주로 산림의 수고, 재적, 탄소저장량 및 연료 등과 같은 산림정보의 추정에 대한 연구들에서 활발히 활용되고 있다(Jang and Kim, 2008; Erdody and Moskal, 2010; Edson and Wing, 2011; Bright *et al.*, 2012).

산림정보의 추정에서 우선적으로 지표면 위의 LiDAR 점들의 추출이 선행되어야한다. 이 과정에서 사용되는 지표면 모델의 정확도에 따라 추정된 산림정보가 영향을 받기 때문에, 보다 정확한 지표면이 산림정보 추정에 있어 기본적인 요건이라고 할 수 있다.

Fusion 소프트웨어에서는 산림정보의 추정에 필수적인 DEM과 같은 지표면 모델을 생성하는 알고리즘들을 포함하고 있다. 특히 DEM을 생성하는 알고리즘은 LiDAR 원자료에 대하여 필터링을 수행하는 GroundFilter 알고리즘(이하 GF)과 필터링이 완료된 점들에 대하여 격자화 지표면을 추출하는 GridsurfaceCreate 알고리즘(이하 GC), 이 두 알고리즘이 핵심적인 역할을 한다. GF는 필터링 과정에서 Robust 추정법 기반의 필터링 방법(Kraus and Pfeifer, 1998)을 적용하고 있다. 이는 GF상에서 지정한 일정 격자 내의 LiDAR 원자료 점군들에 대하여 가중함수(weight function)을 기준으로 지면점일 가능성이 높은 점들에 대해 높은 가중치를 부여하는 방법으로 지면점을 구분하는 기법이다. 그리고 GC는 이처럼 필터링이 완료된 나지면이라 추정된 점들을 대상으로 추출하고자하는 DEM의 격자 별로 분할하고, 이후 격자 별로 분할된 점들에 대하여 산술평균을 실시하여 수치화를 실시한다.

하지만 GF 및 GC의 기본 값만으로는 신뢰성 있는 LiDAR-DEM을 생성하는데 한계가 있기 때문에 Fusion 소프트웨어에서는 GF 및 GC의 기본 값 외의 패러미터 값들을 선택하도록 권장하고 있다. 그러나 GF 및 GC 패러미터 수준의 변화가 항공 LiDAR-DEM의 정확도에

대한 영향이 유의미한지 더불어 실제 해발고도를 표현할 수 있는 신뢰성 있는 항공 LiDAR-DEM을 생성하는 GF 및 GC 패러미터 수준은 어떤 것인지에 대한 연구는 미미한 실정이다.

따라서 본 연구는 산림지역에서의 Fusion 소프트웨어 GF 및 GC의 패러미터 수준 변화가 항공 LiDAR-DEM의 해발고도 정확도에 영향을 주는지 평가하고, 가장 높은 정확도를 제공하는 패러미터 값을 제시하는 것을 목적으로 한다.

조사 및 분석방법

1. 연구대상지 및 재료

본 연구에서는 연구대상지로 산림지역에서의

항공 LiDAR 원자료의 가용성을 고려하여 양주시, 포천시, 세종시 및 경산시에 위치하는 네 곳의 산림유역을 대상으로 선정하였다(그림 1).

각 연구대상지의 산림은 유역 내에서 혼효된 임상으로 동일하며, 평균 경사는 10% 후반에서 20% 중반 사이로 지세적으로 완만한 분포를 보인다(표 1, 2).

해당지역에 대한 자료로는 국립산림과학원에서 제공하는 항공 측량을 통해 획득한 LiDAR 원자료를 활용하였다. 각 연구대상지에 대한 자료의 획득 시기는 년도에는 차이가 있으나, 계절적으로 큰 차이가 없다. 그러므로 연구대상지 간의 식생의 유무로 인한 차이는 크게 없는 것으로 사료된다(표 3).

더불어 각 연구대상지에 대한 LiDAR 원자료

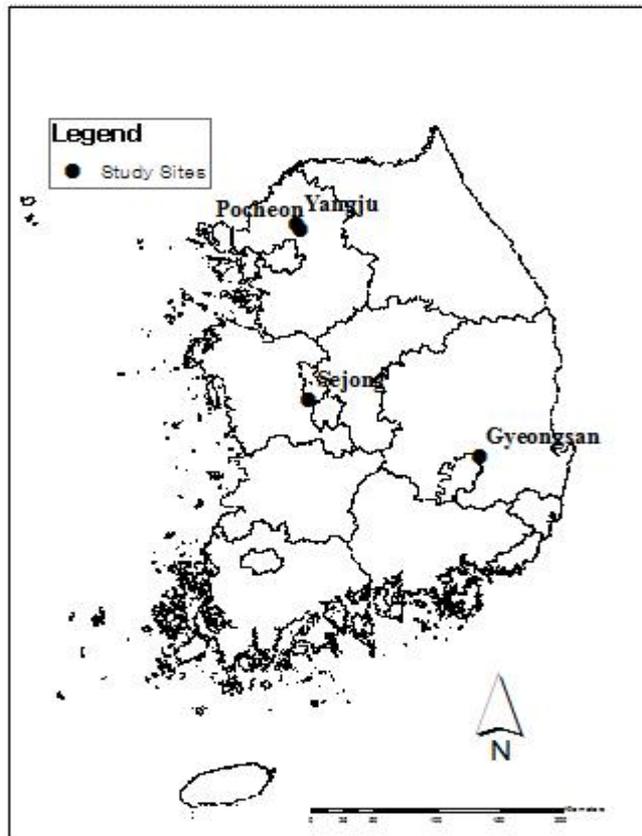


FIGURE 1. Location of the study sites

TABLE 1. Forest characteristics of the study sites

study site	forest type(unit : ha(%))				total
	coniferous forest	decideous forest	mixed forest	non forest	
Yangju	8.6 (39%)	11.2 (51%)	2.2 (10%)	-	22.0 (100%)
Pocheon	7.9 (63%)	4.7 (37%)	-	-	12.6 (100%)
Sejong	5.3 (23%)	11.4 (51%)	4.1 (18%)	1.7 (8%)	22.5 (100%)
Gyoengsan	6.3 (34%)	7.5 (40%)	4.7 (26%)	-	18.5 (100%)

TABLE 2. Location and topographical characteristics of the study sites

study site	location(N, E)	slope(°)	altitude(m)	aspect
Yangju	N 37° 49' 02" E 127° 06' 58"	18.5/ 0-42.4	193/ 105-322	W
Pocheon	N 37° 45' 52" E 127° 09' 21"	22.3/ 0-44.6	224/ 160-300	E
Sejong	N 36° 25' 53" E 127° 14' 11"	21.7/ 0-48.8	159/ 33-312	NW
Gyoengsan	N 35° 58' 57" E 128° 44' 46"	25.5/ 0-56.9	600/ 495-716	N

TABLE 3. The technical characteristics of LiDAR data used in this study

study site	data acquisition date	flight height(m)	flight velocity (kts/h)	dot density (points/m ²)
Yangju	May 2012	2,000	135	4.5
Pocheon	May 2012	2,100	135	
Sejong	May 2013	1,890	121	
Gyeongsan	June 2013	2,300	123	

의 점밀도는 4.5point/m²로 국토지리정보원 (NGII: National Geographic Information Institute)에서 지정한 항공 LiDAR 기반 1m×1m 격자 규격의 DEM 제작에 필요한 최소 점밀도 기준인 2.5point/m²보다 높기 때문에 실제 지표면을 표현하는데 신뢰성이 확보된 지표면 모델을 추출하는데 적절하다고 판단된다(NGII, 2013).

2. GF, GC 패러미터 수준 조합에 따른

LiDAR-DEM 생성

각 연구대상지의 LiDAR 원자료로부터 GF와

GC의 패러미터 수준의 조합에 따른 항공 LiDAR-DEM을 Fusion ver 3.2와 ArcGIS ver 10.1을 사용하여 생성하였다.

GF에서는 중간값 필터링(median filter) 패러미터의 변화에 따라 결과값이 달라진다. 중간값 필터링 패러미터는 패러미터 수준에 따라 계산되는 격자의 개수를 선정하며, 선정된 격자가 가진 고도 값들 중 중간값을 대표값으로 선정하게 된다. GC에서도 GF와 마찬가지로 중간값 필터링 패러미터는 보다 정확한 LiDAR-DEM 생성을 위해 설계된 것으로 적용유무에 따라 실제 해발고도 값과의 차이에 영향을 미

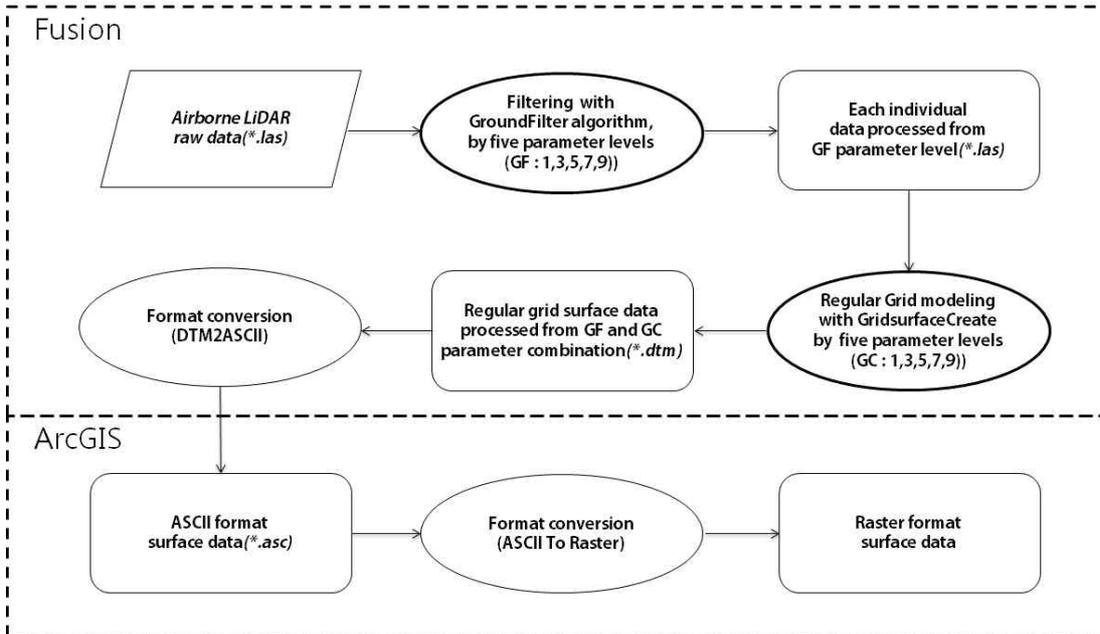


FIGURE 2. LiDAR-DEM generating process

친다 (Choi and Cho, 2005).

우선 LiDAR 원자료를 기반으로 Fusion 소프트웨어의 GF의 패러미터를 5가지 수준(1, 3, 5, 7 및 9)별로 적용하여 필터링 된 자료를 추출하였다. 이후 각 GF의 패러미터 수준이 적용된 각각의 자료에 GC의 패러미터를 5가지 수준(1, 3, 5, 7 및 9)별로 적용하여, 총 25가지 조합의 GF 패러미터와 GC 패러미터가 적용된 격자형 지표면 자료를 각각 추출하였다. 다음으로 격자형 지표면 자료의 자료 형태를 DTM 포맷에서 ASCII 포맷으로 변환을 위해 DTM2ASCII 알고리즘을 적용하였다. 이후 ASCII 포맷의 지표면 자료를 Raster 포맷으로 변환하기 위해 ArcGIS의 ASCII To Raster 도구를 적용하였다(그림 2).

3. 실제 해발고도 측량 및 잔차 획득

패러미터 수준 조합에 따른 항공 LiDAR-DEM 정확도의 평가에 필요한 실제 해발고도(이하 z_i) 측량 및 잔차(residual) 추출을 실시

하였다(그림 3).

현장에서 z_i 를 측량하기 전, ArcGIS상에서 점들을 임의로 선택하는 도구인 Create Random Point 도구를 사용하여 각 연구대상지에 대해 30개의 각 표본점들의 좌표를 추출하였다(그림 4).

이후 표본점 위치에 해당하는 현장 위치에서 z_i 를 측정하였다. 측정 시, 정확한 z_i 를 획득하기 위해 각 연구대상지를 둘러싸는 4개 이상의 수준점(benchmark)에 대하여 고도 측량을 실시하고, 이를 바탕으로 각 연구대상지의 고도에 대한 보정(calibration)을 실시하였다. 이후 연구대상지 별로 ArcGIS상에서 임의추출된 표본점에 대하여 정밀 GPS/GNSS를 활용한 고도 측량을 통해 z_i 값을 추출하였다. 고도 측량에 사용된 측량기기는 수평 정확도 8mm, 수직 정확도 15mm인 매우 높은 정확도를 가진 CHC Navigation 사의 X91+ GPS/GNSS로서, 실시간 후처리 이동측위(RTK ; Real-Time Kinematic) 방법을 적용하였다(표 4). 이를 통

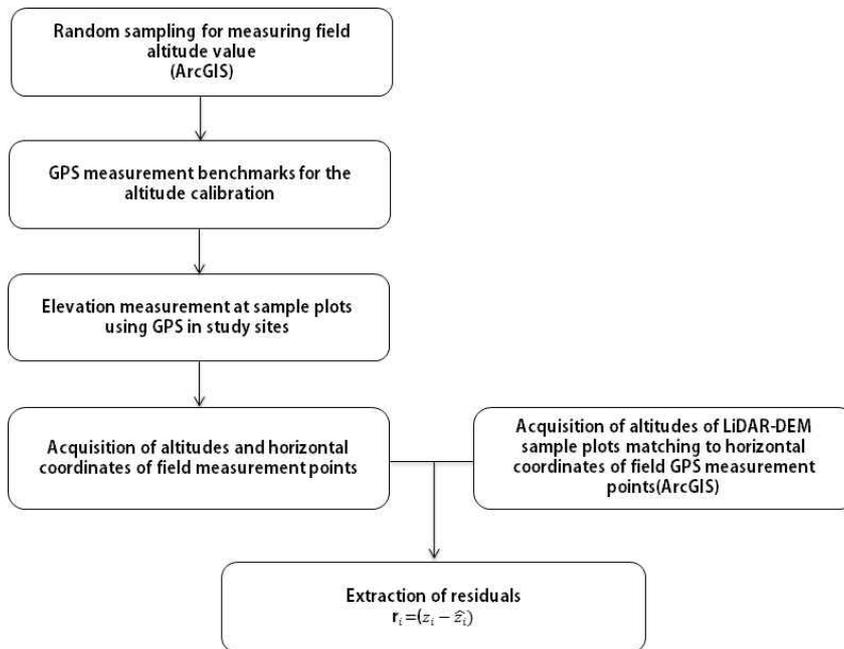


FIGURE 3. Procedure for residual data acquisition

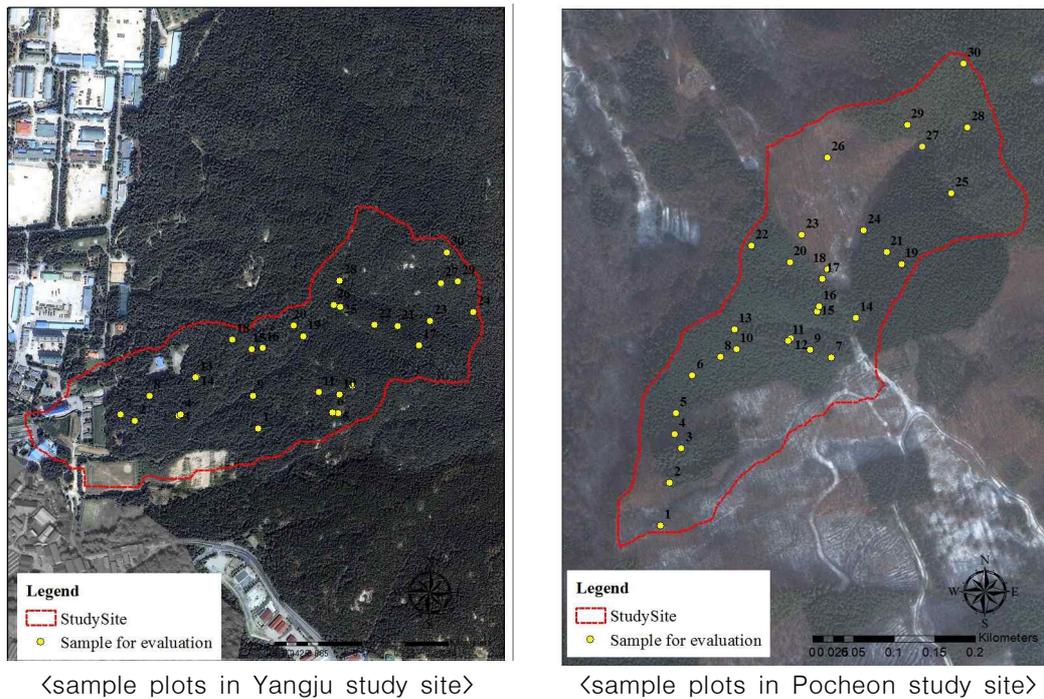
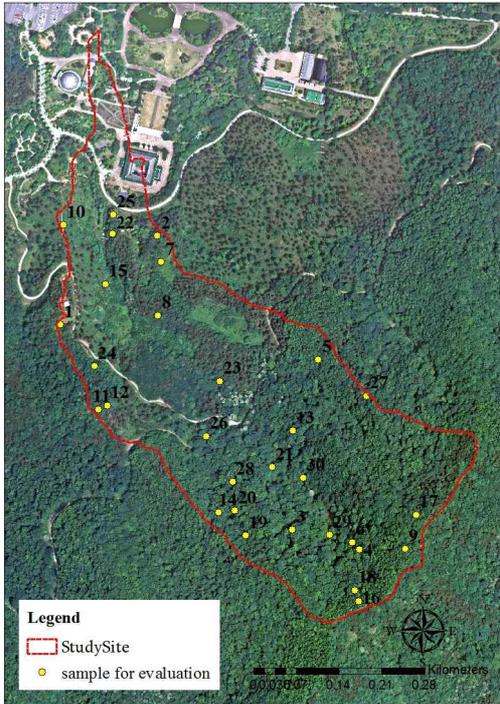


FIGURE 4. The locations of the sampling plots in the study sites



<sample plots in Sejong study site>



<sample plots in Gyeongsan study site>

FIGURE 4. Continued

TABLE 4. The specification of X91+ GPS/GNSS performance

Surveying way	Attribute	
Real Time Kinematics (RTK)	Horizontal accuracy	8mm+1ppm
	Vertical accuracy	15mm+1ppm RMS
Post Processing Static	Horizontal accuracy	3mm+0.5ppm RMS
	Vertical accuracy	5mm+0.5ppm RMS
	Baseline Length	≤300km

TABLE 5. The number of field GPS sampling points for each individual study site

study site	field GPS sampling points(n)
Yangju	12
Pocheon	5
Sejong	16
Gyeongsan	10
Total	43

해 각 연구대상지에서 측정된 수는 표 5와 같다. 하지만 본 연구에서 측정된 지역은 산림지역으로 식생으로 피복되어 있기 때문에 사양에서

명시하고 있는 정확도보다 측량성고가 상대적으로 낮을 가능성이 높다. 따라서 최대한 높은 정확도를 확보하기 위해 위성들의 기하학적 배

치의 상태에 따른 오차인 위치 정밀도 저하율 (PDOP; Positional Dilution Of Precision)이 1 이하를 만족할 경우에 측량한 값만을 사용하였다.

이후 ArcGIS상에서 z_i 값의 수평 위치 (horizontal coordinate)와 동일한 위치의 LiDAR-DEM에서 추출된 고도 값(\hat{z}_j)과의 차이를 통해 잔차(residual, r_i)를 추출하였다. 잔차는 LiDAR-DEM 해발고도의 정확도를 측정하는 자료로서, 잔차의 값이 낮은 것은 LiDAR-DEM의 해발고도와 실제 해발고도의 차이가 작다는 의미이기 때문에 정확도가 높다는 의미로 해석할 수 있다. 따라서 잔차는 패러미터 수준 조합 별 정확도에 대한 평가 검증에 사용하기에 적합하다고 사료된다.

4. 패러미터 수준 조합 별 잔차에 대한 영향

여부 검증

GF와 GC 패러미터 수준의 조합에 따른 잔차에 대한 영향 여부를 검증하기 위해 이원배치분산분석(two-way ANOVA)을 실시하였다. 분석에는 SPSS ver. 21이 사용되었다. 이후 잔차에 대하여 유의미한 영향을 끼치는 요인을 대상으로 사후검정(Post hoc test) 중 Tukey HSD(Honestly Significant Difference)검정을 유의수준 5% 내에서 실시하여 요인의 수준 별

잔차들의 평균값들 간의 차이 유무를 검증하였다. 요인으로는 GF와 GC로 구성하고 각각 1, 3, 5, 7 및 9의 5가지 수준으로 투입하였다. 반응변수로는 잔차를 투입하였다.

결과 및 고찰

GF, GC의 수준 조합에 따른 잔차에 대한 영향 여부를 검증하기 위해 이원배치분산분석을 실시한 결과는 표 6과 같다. 이원배치분산분석 결과, GF 패러미터 수준에 따라 잔차에 대하여 유의미한 영향을 주는 것으로 나타났다(F-value : 27.340, $p < 0.01$). 반면 GC 패러미터 수준에 따라 잔차에 대하여 유의미한 영향은 없는 것으로 나타났다(F-value : 0.457). 이를 통해 잔차들 간의 평균 차이에는 GF가 GC보다 크게 영향을 미치는 요인이라고 판단할 수 있다. 이는 GF가 GC보다 LiDAR-DEM의 해발고도 정확도에 대한 영향이 크다는 의미로 해석할 수 있다. 따라서 보다 정확한 해발고도를 표현하는 LiDAR-DEM을 추출하는 패러미터 선정 시, GF에 대하여 우선적으로 고려해야 할 것으로 사료된다. 반면, GF와 GC 패러미터 간의 상호작용효과는 잔차에 유의미한 영향은 없는 것으로 나타났다(F-value : 0.247). 따라서 패러미터 선정 시 GF와 GC 패러미터는 독립적으로 고려할 수 있다.

TABLE 6. Results for two-way ANOVA to test GF, GC parameter on the accuracy

	SS	df	MS	F	p
Corrected Model	221.792	24	9.241	4.798**	.000
Intercept	751.544	1	751.544	390.153**	.000
GF parameter	210.660	4	52.665	27.340**	.000
GC parameter	3.525	4	.881	.457	.767
GF*GC	7.607	16	.475	.247	.999
Error	2022.595	1050	1.926		
Total	2995.930	1075			
Corrected Total	2244.387	1074			

dependent variables : residuals

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

SS : Sum of squares, MS : Mean of Sum of squares

df : degree of freedom, p : significant probability

GF*GC : interaction effect between GF parameter and GC parameter

TABLE 7. Multiple comparison between the means of the residuals from the five GF levels

GF parameter level	groups (mean of residuals(m))	
	1	2
7	0.5658	
5	0.5757	
9	0.5812	
3	0.7466	
1		1.7113
p	.659	1.000

p : significant probability
p < 0.05
post hoc : Tukey HSD test

TABLE 8. The means of the residuals from the five GC levels

GC parameter level	mean of residuals(m)
3	.7498
1	.8085
7	.8295
9	.8754
5	.9174

이원분산분석 결과에서 잔차에 대하여 유의미한 영향을 끼치는 GF에 대하여 패러미터 수준 간 잔차 평균에 영향을 끼치는 패러미터 수준을 파악하기 위해 Tukey HSD 검정을 실시한 결과는 표 7과 같다.

Tukey HSD 검정을 실시한 결과, 잔차의 평균 차이의 순서에 따라 ‘7’, ‘5’, ‘9’, ‘3’의 집단과 ‘1’의 두 집단으로 나뉘었다. 그리고 수준 ‘7’, ‘5’, ‘9’, ‘3’ 간 잔차들의 평균 간 차이는 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 잔차들의 평균이 가장 낮게 나타난 패러미터 수준이 보다 정확한 LiDAR-DEM을 생성하게 하는 수준이라고 생각할 수 있다. 따라서 보다 높은 정확도를 가지는 LiDAR-DEM을 추출하는 GF 패러미터를 선정한다면, 잔차들의 평균이 0.5658로 가장 낮은 값을 나타낸 수준 ‘7’을 우선적으로 고려하는 것이 합리적이라고 사료된다. 이후 수준 ‘9’, ‘5’, ‘3’은 후보 패러미터 값으로 고려될 수 있을 것으로 판단된다. 특히 수준 ‘1’을 선택하는 경우 잔차들의 평균이 1.7113으로, 나머지 패러미터 수

준을 선택할 때의 잔차들의 평균과 매우 차이가 크고, 잔차들의 평균 값 자체가 매우 높기 때문에 패러미터 선택 시 고려 대상에서 제외하는 것이 합리적이라고 사료된다.

GC 패러미터는 이원분산분석 결과, 잔차에 대한 영향이 유의미하지 않기 때문에 LiDAR-DEM 추출을 위한 적정 패러미터 선정 시 어떤 패러미터를 선택하더라도 통계적으로는 큰 차이가 없다고 판단된다. 하지만 패러미터 값 중 하나의 값만을 선택한다면, 잔차 평균이 0.7498로 LiDAR-DEM의 보다 높은 정확도를 갖게 하는 수준 ‘3’을 선택하는 것이 바람직하다고 사료된다(표 8).

결론

본 연구는 Fusion 소프트웨어의 GF 및 GC의 패러미터 수준의 조합 변화에 따른 산림지역 항공 LiDAR-DEM의 해발고도 정확도에 대한 영향 여부 평가 및 상대적으로 정확도가 높은 해발고도의 정보를 제공하는 항공 LiDAR-DEM에 대한 GF 및 GC 패러미터 값 선정을

연구목적으로 하였다.

GF 및 GC 패러미터에 대하여 이원분산분석을 실시한 결과, GF 패러미터 수준 변화에 따른 잔차에 대한 영향은 유의미하게 나타났으나, GC 패러미터 수준 변화에는 유의미하게 나타나지 않았다. 따라서 GF가 GC보다 항공 LiDAR-DEM을 생성하는데 상대적으로 더 영향을 미치는 것으로 사료된다. 그리고 GF와 GC 패러미터 수준 조합에 따른 잔차에 대한 상호작용 효과는 나타나지 않기 때문에, 신뢰성 있는 항공 LiDAR-DEM의 생성을 위해 패러미터를 선정할 경우, GF와 GC 패러미터는 독립적인 선택이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

분산분석결과에 따라 잔차에 대하여 유의미한 영향이 나타난 GF 패러미터에 대하여 사후분석을 실시한 결과, '7', '5', '9', '3' 과 '1' 집단으로 나뉘었다. 이를 통해 신뢰성 있는 LiDAR-DEM의 생성을 위한 GF 패러미터 선정 시, 잔차들의 평균이 가장 높은 수준 '1'은 지양되는 것이 합리적이라고 판단된다. 또한 잔차들의 평균이 가장 낮은 값을 나타낸 수준 '7'이 우선적으로 고려가 되어야하며 아울러 수준 '5', '9', '3'은 후보군으로 고려될 수 있을 것이라 판단된다.

GC 패러미터는 분산분석 결과에서 수준 변화에 따라 항공 LiDAR-DEM의 해발고도 정확도에 대한 영향이 유의미하지 않은 것으로 나타났다. 이를 통해 신뢰성 있는 항공 LiDAR-DEM의 생성을 위해 GC 패러미터 선정 시, 어떤 수준을 선택하더라도 큰 차이가 없다고 할 수 있다. 그러나 잔차들의 평균이 가장 낮은 수준 '3'을 우선적으로 고려하는 것이 합리적이라 사료된다.

본 연구를 통해 Fusion을 활용하여 신뢰성 있는 해발고도를 제공할 수 있는 항공 LiDAR-DEM의 생성을 위한 패러미터 선정에 대한 지침을 제공할 수 있을 것이다. 반면 연구대상지가 혼효림과 완경사지에 제한되었기에 추후 다른 조건의 임상과 지형에 따라 차이가 발생할 가능성이 있다고 사료된다. 따라서 다양한 대상지 조건에 따라 동일한 연구를 진행할 필

요가 있다고 판단된다. 또한 지표면 모델을 생성하는 Fusion 외의 다른 소프트웨어는 Fusion과는 다른 필터링 알고리즘과 보간법을 사용하기 때문에 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서 Fusion과 Fusion 외 소프트웨어에서 생성된 결과물의 상호비교를 통한 정확도 비교분석에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 보다 정확한 산림지역 항공 LiDAR-DEM을 생성하는데 활용됨으로써 추후 산림 및 산림 내 지형정보를 획득하는데 기여할 수 있으리라 사료된다. 

REFERENCES

- Baltsavias, E.P. 1999. Airborne laser scanning : existing systems and firms and other resources. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54(2):164-198.
- Bright, B.C., J.A. Hicke and A.T. Hudak. 2012. Estimating aboveground carbon stocks of a forest affected by mountain pine beetle in Idaho using lidar and multispectral imagery. *Remote Sensing of Environment* 124:270-281.
- Choi, Y.W. and G.S. Cho. 2005. DEM extraction from LiDAR DSM of urban area. *Journal of the Korean society for geo-spatial information system* 13(1): 19-25 (최연웅, 조기성. 2005. 도시지역 LiDAR DSM으로부터 DEM추출기법 연구. *한국지형공간정보학회지* 13(1):19-25).
- Edson, C. and M.G. Wing. 2011. Airborne light detection and ranging (LiDAR) for individual tree stem location, height, and biomass measurements. *Remote Sensing* 3(11):2494-2528.
- Erdody, T.L. and L.M. Moskal. 2010. Fusion of LiDAR and imagery for

- estimating forest canopy fuels. *Remote Sensing of Environment* 114(4):725-737.
- Hwang, Y.J. 2006. Application of geographic database for prediction of flood vulnerable area. *Journal of The Korean Association of Regional Geographers* 12(1):172-178 (황유정. 2006. 홍수에 의한 침수 취약지역 예측에 관한 연구. *한국지역지리학회지* 12(1):172-178).
- Jang, A.J. and H.T. Kim. 2008. Study of biomass estimation in forest by aerial photograph and LiDAR data. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 11(3):166-173 (장안진, 김형태. 2008. 항공사진과 Lidar 데이터를 이용한 산림지역의 바이오매스 추정에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 11(3):166-173).
- Kang, J.M., H.C. Yoon, C.B. Lee and J.K. Park. 2006. Accuracy assessment of LiDAR DEM using GPS. *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry and Cartography* 24(5):443-451 (강준목, 윤희천, 이창복, 박준규. 2006. GPS에 의한 LiDAR DEM의 정확도 평가. *한국측량학회지* 24(5):443-451).
- Kim, J.I., C.H. Yeo and S.H. Park. 2007. Evaluating the urban growth restriction function of the greenbelt and its implications for urban growth management. *Journal of Korea Planning Association* 42(3):63-75 (김재익, 여창환, 박선형. 2007. 개발제한구역의 개발가능지 분석과 도시성장관리에 대한 시사점. *국토계획* 42(3):63-75).
- Ko, S.M., S.W. Lee, C.Y. Yune and G.H. Kim. 2014. Topographic analysis of landslides in Umyeonsan. *Journal of the Korean Society of Survey, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography* 32(1):55-62 (고석민, 이승우, 윤찬영, 김기홍. 2014. 우면산 산사태 발생 지점의 지형 분석. *한국측량학회지* 32(1):55-62).
- Kobler, A., N. Pfeifer, P. Ogrinc, L. Todorovski, K. Oštir and S. Džeroski. 2007. Repetitive interpolation: a robust algorithm for DTM generation from aerial laser scanner data in forested terrain. *Remote Sensing of Environment* 108(1):9-23.
- Kornus, W., R. Alamús, A. Ruiz and J. Talaya. 2006. DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 60(3):147-159.
- Kraus, K. and N. Pfeifer. 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53(4):193-203.
- Lee, G.S., D.K. Koh and W.G. Kim. 2004. Efficient construction method of topographic data for flood mapping using digital map. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 7(1):52-61 (이근상, 고덕구, 김우구. 2004. 수치지형도를 활용한 홍수지도 제작용 지형자료의 효과적인 구축방법 연구. *한국지리정보학회지* 7(1):52-61).
- Lee, J.O., H.W. Choi, B.Y. Yun and C.Y. Park. 2014. Integrated geospatial information construction of ocean and terrain using multibeam echo sounder data and airborne Lidar data. *Journal of*

- the Korean Association of Geographic Information Studies 17(4):28-39 (이재원, 최혜원, 윤부열, 박치영. 2014. 항공 Lidar와 멀티빔 음향측심 자료를 이용한 해상과 육상의 통합 지형공간정보 구축. 한국지리정보학회지 17(4)28-39).
- Lillesand, T., R.W. Kiefer and J. Chipman. 2007. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons. pp.714-716.
- McGaughey R.J. 2015. Fusion/LDV : Software for LiDAR Data Analysis and Visualization. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Seattle, W.A., USA, pp.1-175.
- National Geographic Information Institute. 2013. Public surveying regulations. http://www.chcnav.com/index.php/Home/article/detailPage/parentID/1462/cat_id/1463/artID/527. **KAGIS**