

산림조사 고도화를 위한 SLAM의 정확도 평가 및 분석

윤희천¹, 이종신^{2*}

¹충남대학교 토목공학과, ²충남대학교 건설공학교육과

Accuracy Evaluation and Analysis of SLAM for the Advancement of Forest Investigation

Hee-Cheon Yun¹, Jong-Sin Lee^{2*}

¹Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

²Dept. of Construction Engineering Education, Chungnam National University

요약 우리나라의 국가산림조사는 제1차(1972년~1974년) 전국산림실태조사를 시작으로 현재 제7차(2016년~2020년) 조사가 실시되고 있다. 제1차부터 최근 제7차까지의 진행된 우리나라의 국가산림자원조사에서 흉고직경은 직경테이프를 이용하고, 수고는 측고기를 사용하여 측정하고 있다. 그러나 직경테이프의 경우 불규칙한 형태의 임목에서는 다소 큰 오차가 발생할 수 있고, 측고기의 경우 임목의 정단부까지 높이를 10cm 단위로 간접 측정하고 있어 정확도가 낮아질 수 있다. 이에 본 연구에서는 산림조사의 정확도 향상 및 고도화를 위해 SLAM의 활용 가능성을 제시하고자 하였다. 이를 위해 흉고직경 및 수고 측정을 위한 테스트베드를 설정하고, SLAM장비를 이용하여 스캔데이터를 직접 획득한 후 흉고직경 및 수고 측정 정확도를 분석하였다. 그 결과 흉고직경 및 수고를 1mm 단위까지 직접 산출 가능하였으며, 2cm 이하의 흉고직경 정확도와 1.3cm 이하의 수고 정확도를 나타냄으로써, 실무에서 충분히 활용 가능함을 제시하였다. 향후 본 연구결과를 바탕으로 표본점에 대한 스캔 데이터를 획득하고 분석을 진행할 예정이다.

Abstract The National Forestry Inventory of Korea has started the 7th (2016 ~ 2020) survey from the first (1972 ~ 1974) National Forest Situation Survey. The diameter at breast height was measured using a diameter tape, and the tree height was measured using a hypsometer in the National Forestry Inventory of Korea from the 1st to recently the 7th surveying. In the case of the diameter tape, however, irregularly shaped trees may cause a large error. In the case of a hypsometer, the height may be measured indirectly in 10 cm increments to the front edge of the tree, so that the accuracy may be lowered. This paper suggests the use of SLAM to improve the accuracy and advance forest investigations. For this purpose, a test bed for the measurement of DBH and tree height was set up, and the scan data was acquired directly using SLAM equipment. The accuracy of DBH and tree height measurements were analyzed. As a result, it was possible to calculate directly the DBH and tree height to 1mm unit, and it showed that the DBH accuracy of 2cm or less and the accuracy of the tree height accuracy of 1.3cm or less are sufficient for practical use. Based on the results, the scan data will be acquired for sample points and analyzed.

Keywords : Diameter at Breast Height, Forest Investigation, SLAM, Scan, Tree Height

1. 서론

최근 주요 임업 선진국에서는 산림 내 정확한 임목자

원량을 분석하고 산림 생태계 변화를 파악할 수 있도록 국가 차원의 산림조사 및 모니터링 체계를 구축하고 있다. 우리나라의 경우 국가산림자원조사는 전국 산림을

*Corresponding Author : Jong-Sin Lee(Chungnam National Univ.)

Tel: +82-42-821-8575 email: leejongsin@cnu.ac.kr

Received November 6, 2018

Revised (1st November 14, 2018, 2nd November 19, 2018)

Accepted December 7, 2018

Published December 31, 2018

과학적인 방법으로 조사·평가하여 산림기본통계를 확보하고 산림자원의 변화 동태를 주기적으로 파악함으로써 지속가능한 산림경영 실천을 위한 산림기본계획 및 산림정책수립의 기본자료 제공을 목적으로 진행되고 있다 [1].

최근 국가산림자원조사는 산림의 건강·활력도 조사와 함께 진행되고 있다. 산림의 건강·활력도 조사는 산림의 기능을 증진시키기 위해 산림 생태계가 건강하고 다양하게 유지되고 있는 정도를 조사·평가를 목적으로 진행되고 있다[2]. 조사 수행기관에서는 현지조사 및 조사자료 구축과 관련된 장비를 보유하여야 하며, 정확하고 원활한 현장조사를 수행하기 위하여 장비를 현지 조사에 휴대하도록 규정하고 있다. 이에 따라 수고 측정에는 권척 또는 측고기를 사용하고 있으며, 흉고직경(DBH; diameter at breast height) 측정에는 직경테이프 또는 캘리퍼스를 사용하고 있다[3].

흉고직경은 가슴 높이에서 측정된 수목의 직경을 일컫는 말로, 입목의 재적계산 및 입분의 직경분포를 파악하기 위해 측정하는 항목에 해당되며, 산림경영 관리, 산림 인벤토리, 탄소 순환 모델링의 필수 항목들 중 가장 기초적인 데이터이다[4]. 흉고직경의 측정은 지상으로부터 1.2m 높이의 지점을 정확히 측정하고 직경 6cm 이상인 입목을 대상으로 1cm 괄약(括約)으로 기입하며, 직경테이프로 측정하는 것을 원칙으로 하고 있다[3]. 직경테이프는 나무의 둘레를 측정하면 직경으로 환산되어 읽을 수 있도록 눈금이 고안된 장비이다. 직경테이프는 나무의 둘레가 원이라는 가정 하에 제작되었기 때문에 불규칙한 형태의 입목에서는 다소 큰 오차가 발생할 수 있다 [1].

수고(樹高; tree height)는 수목의 높이를 일컫는 말로, 보통 지표 부위로부터 정단부까지의 높이(수직거리)를 전체 수고라 한다[5]. 수고는 흉고직경과 함께 나무의 재적에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중 하나이므로 정밀하고 정확한 측정이 필요하다. 그러나 실질적으로 수고는 측고기를 사용하여 입목의 정단부까지 높이를 10cm 단위로 간접 측정하도록 규정하고 있다[3].

위에서 언급한 바와 같이, 현재 흉고직경 및 수고에 사용 중인 직경테이프의 경우 오차 발생 확률이 높으며, 측고기의 경우 간접측정을 통해 산출하므로, 정확도가 낮을 확률이 높다[1].

이에 본 연구에서는 동시적 위치추정 및 지도제작

(SLAM; Simultaneous Localization And Mapping, 이하 SLAM)장비를 이용한 산림조사의 고도화를 목적으로 한다[6]. 이를 위해 테스트베드를 설정하고, 포인트 클라우드를 획득한 후 포인트 클라우드에서 흉고직경, 수고값을 산출하며, 산출한 흉고직경 및 수고값을 줄자를 통해 직접 측정된 결과값과 비교함으로써 SLAM장비를 활용한 산림조사 방안을 제시하고자 한다.

2. 테스트베드 설정 및 스캔

2.1 테스트베드 설정

본 연구에서는 SLAM을 이용한 산림조사의 정확도를 평가하기 위해 테스트베드를 설정하였다. 테스트베드에는 흉고직경과 수고측정의 정확도를 확인하기 위해 흉고직경 측정을 목적으로 기 제작한 콘크리트 공시체(∅100×191mm~∅100×202mm)를 사용하였으며, 수고 측정을 목적으로 토털스테이션 측량용 폴(1.900m)을 사용하였다. 거리 변화에 따라 정확도에 영향을 줄 수 있으므로 SLAM 센서 부터 대상물까지의 거리는 측정오차를 최소화하기 위해 평균 1.3m를 유지하였다. Fig. 1은 본 연구에서 설정한 테스트베드를 나타낸다. 외부의 영향(온도, 습도, 풍향 등)을 최소화하기 위해 테스트베드는 실내로 설정하였다.



Fig. 1. Test bed

2.2 좌표계 및 대상물 번호 설정

콘크리트 공시체와 폴의 정확한 위치 확인 및 객체 구분을 위해 본 연구에서는 테스트베드에 대한 좌표계와 대상물 번호를 설정하였다. Fig. 2는 본 연구에서 설정한 좌표계와 대상물 번호 설정을 나타낸다. 그림에서 보는

바와 같이, 좌표계는 수학적 좌표계를 사용하였으며, 수목의 번호는 XY평면을 기준으로 X값과 Y값이 가장 작은 값부터 큰 값까지 순서대로 책정하였다.

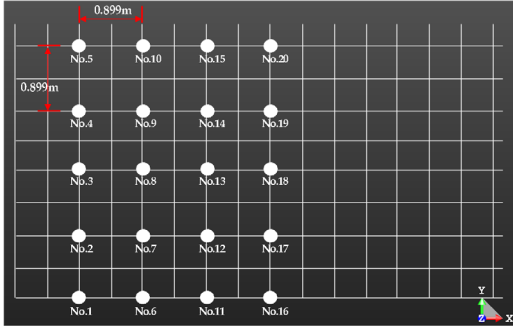


Fig. 2. Coordinates and target number about test bed

2.3 테스트베드 스캔

테스트베드의 20개 콘크리트 공시체와 5개 폴을 대상으로 SLAM장비를 이용하여 스캔을 1회 수행하였다. 측정 정밀도 향상을 위해 대상물과 SLAM 센서 사이의 거리는 1.3m를 유지하고 산림의 현지조사 환경과 유사하게 만들기 위해 SLAM의 센서 위치는 가슴높이(약 1.2m)를 유지하여 스캔을 진행하였다. Fig. 3은 스캔 결과를 나타낸다.

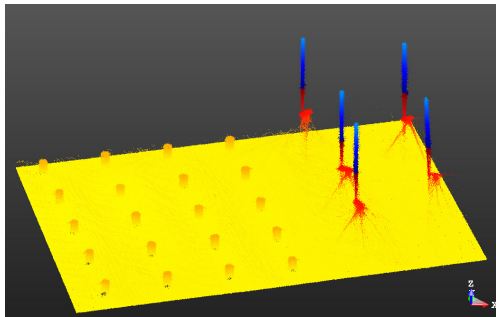


Fig. 3. Scan result about test bed

3. 정확도 평가 및 분석

3.1 거리 측정 정확도

테스트베드에 대한 거리 측정 정확도를 평가하기 위해 Fig. 4에서 보는 바와 같이 동일한 간격(0.899m)의

콘크리트 공시체 간 거리를 산출하였다. 단, 공시체와 폴 모두 바닥면의 가림 현상으로 인해 좌표 산출 정확성이 낮아지므로 최상단면의 중앙점을 기준으로 좌표를 산출하였다.

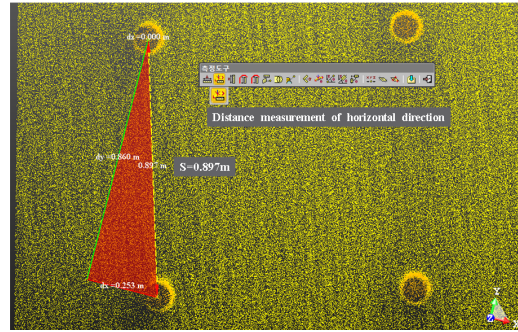


Fig. 4. Distance calculation between No.1 and No.2 specimen

Table 1은 스캔 결과에서 산출한 대상물 사이의 거리와 기준 거리에 대한 오차를 나타낸다.

Table 1. Distances and error calculated from scan results (unit: m)

No.	Distance	Error	No.	Distance	Error
1~2	0.897	0.002	1~6	0.898	0.001
2~3	0.908	-0.009	2~7	0.900	-0.001
3~4	0.898	0.001	3~8	0.891	0.008
4~5	0.897	0.002	4~9	0.880	0.019
6~7	0.910	-0.011	5~10	0.894	0.005
7~8	0.900	-0.001	6~11	0.891	0.008
8~9	0.899	0.000	7~12	0.908	-0.009
9~10	0.893	0.006	8~13	0.905	-0.006
11~12	0.884	0.015	9~14	0.911	-0.012
12~13	0.904	-0.005	10~15	0.899	0.000
13~14	0.903	-0.004	11~16	0.912	-0.013
14~15	0.895	0.004	12~17	0.897	0.002
16~17	0.895	0.004	13~18	0.890	0.009
17~18	0.893	0.006	14~19	0.893	0.006
18~19	0.907	-0.008	15~20	0.903	-0.004
19~20	0.902	-0.003	RMSE	7.480×10^{-3}	

Table 1과 같이 거리 측정 정확도를 평가한 결과, 오차는 최소 0.000m(8~9사이 거리)에서 최대 0.019m(4~9사이 거리)로 발생하였으며, 상대오차(참값에 대한 절대

오차의 비율)는 1/152.207, 평균제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error)는 0.0075m로 산출되었다.

3.2 흉고직경 측정 정확도

테스트베드에 대한 흉고직경의 측정 정확도를 평가하기 위해 스캔결과에서 흉고직경을 측정하고, 플라스틱 자(정확도 0.2mm이내)로 측정한 값과 비교하였다. Table 2는 자로 측정한 콘크리트 공시체 및 폴의 흉고직경 결과, Fig. 5는 No.19 콘크리트 공시체의 스캔결과에서 흉고직경을 산출과정, Table 3은 자 측정값에 대한 스캔 결과의 오차를 나타낸다.

Table 2. Measurement results of DBH using measuring tape (unit: m)

No.	DBH	No.	DBH
1	0.0995	14	0.0995
2	0.0995	15	0.0995
3	0.0990	16	0.0990
4	0.1000	17	0.0995
5	0.1000	18	0.0995
6	0.1000	19	0.0995
7	0.1000	20	0.0995
8	0.1000	21	0.0300
9	0.0990	22	0.0300
10	0.0995	23	0.0300
11	0.0995	24	0.0300
12	0.1010	25	0.0300
13	0.0995		

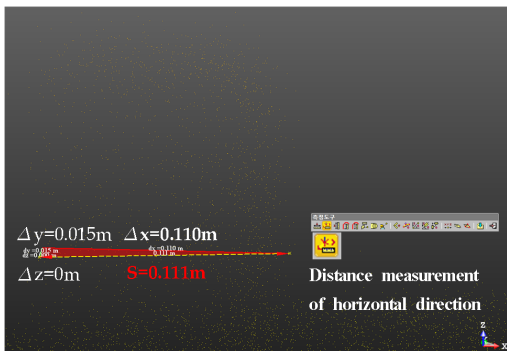


Fig. 5. Process of calculating the DBH from the scan result of No.19 specimen

공시체 및 폴의 흉고직경 정확도 평가 결과, Table 3에서 보는 바와 같이, 공시체는 최소오차 -0.0015m(No.1)에서 최대오차 -0.0115m(No.11, No.19), 폴은 최소오차 -0.0100m(No.24)에서 최대오차 -0.0200m(No.21)로 발

생하였으며, 평균제곱근오차는 0.0088m(공시체), 0.0144m(폴)로 산출되었다.

Table 3. DBH and error calculated from scan results (unit: m)

No.	DBH	Error	No.	DBH	Error
1	0.101	-0.0015	15	0.109	-0.0095
2	0.107	-0.0075	16	0.110	-0.0110
3	0.103	-0.0040	17	0.110	-0.0105
4	0.102	-0.0020	18	0.110	-0.0105
5	0.111	-0.0110	19	0.111	-0.0115
6	0.105	-0.0050	20	0.110	-0.0105
7	0.107	-0.0070	21	0.050	-0.0200
8	0.108	-0.0080	22	0.044	-0.0140
9	0.106	-0.0070	23	0.041	-0.0110
10	0.110	-0.0105	24	0.040	-0.0100
11	0.111	-0.0115	25	0.045	-0.0150
12	0.112	-0.0110			
13	0.109	-0.0095			
14	0.105	-0.0055			
				RMSE (Specimen)	0.0088
				RMSE (Pole)	0.0144

생 25개의 측정값이 모두 - 오차(SLAM측정값 > 자 측정값)로 발생하였다. 이러한 결과는 SLAM의 포인트 클라우드가 실제 대상물의 표면에 비해 크게 측정되기 때문인 것을 알 수 있으며, 추가적으로 사용자가 포인트 클라우드를 대상으로 흉고직경 산출시 발생하는 측정오차까지 포함되었기 때문인 것을 알 수 있었다.

그러나 포인트 클라우드 자체의 오차와 사용자의 측정오차가 포함되어 있더라도, 흉고직경의 최대오차가 공시체(0.100m)의 경우 -0.0115m, 폴(0.030m)의 경우 -0.0200m 이내로 정확한 결과값 산출이 가능하였다.

3.3 수고 측정 정확도

테스트베드에 대한 수고의 측정 정확도를 평가하기 위해 스캔결과에서 수고를 측정하고, 플라스틱 자(정확도 0.2mm이내)로 측정한 값과 비교하였다. Table 4는 자로 측정한 콘크리트 공시체 및 폴의 수고 결과를 나타내고, Fig. 6은 No.21 폴의 수고 산출과정을 나타낸다.

공시체 및 폴의 수고 정확도 평가 결과, Table 5에서 보는 바와 같이, 공시체는 최소오차 0.0000m(No.2, No.7, No.12, No.14, No.19)에서 최대오차 -0.0130m(No.18), 폴은 최소오차 -0.0010m(No.23)에서 최대오차 -0.0060m(No.21)로 발생하였으며, 평균제곱근오차는 0.0051m(공시체), 0.0036m(폴)로 산출되었다.

Table 4. Measurement results of height using measuring tape (unit: m)

No.	Height	No.	Height
1	0.191	14	0.200
2	0.202	15	0.193
3	0.191	16	0.196
4	0.196	17	0.198
5	0.192	18	0.193
6	0.201	19	0.200
7	0.199	20	0.199
8	0.199	21	1.935
9	0.160	22	1.938
10	0.198	23	1.944
11	0.192	24	1.939
12	0.201	25	1.940
13	0.191	Aver. of specimen	0.195

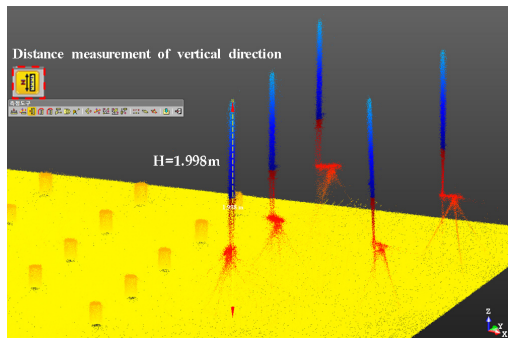


Fig. 6. Process of calculating the height from the scan result of No.21 pole

Table 5. Height and error calculated from scan results (unit: m)

No.	Height	Error	No.	Height	Error
1	0.187	0.0040	15	0.194	-0.0010
2	0.202	0.0000	16	0.195	0.0010
3	0.199	-0.0080	17	0.201	-0.0030
4	0.188	0.0080	18	0.206	-0.0130
5	0.191	0.0010	19	0.200	0.0000
6	0.194	0.0070	20	0.202	-0.0030
7	0.199	0.0000	21	1.998	-0.0060
8	0.194	0.0050	22	1.992	0.0020
9	0.157	0.0030	23	1.996	-0.0010
10	0.202	-0.0040	24	1.991	0.0030
11	0.196	-0.0040	25	1.996	-0.0040
12	0.201	0.0000	RMSE (Specimen)		0.0051
13	0.200	-0.0090	RMSE (Pole)		0.0036
14	0.200	0.0000			

총 25개의 측정값 중 오차가 0인 값은 5개, -오차 값은 15개, +오차 값은 5개로 발생하였다. 이러한 결과는 흉고직경과 마찬가지로 SLAM의 포인트 클라우드가 실제 대상물의 표면에 비해 크게 측정되기 때문인 것을 알 수 있으며, 추가적으로 사용자가 포인트 클라우드를 대상으로 수고 산출시 발생하는 측정오차까지 포함되었기 때문인 것을 알 수 있었다.

그러나 포인트 클라우드 자체의 오차와 사용자의 측정오차가 포함되어 있더라도, 수고의 최대오차가 공시체의 경우 -0.0130m, 폴의 경우 0.0060m 이내로 정확한 결과값 산출이 가능하였다.

현재 국가산림자원조사를 통한 흉고직경의 측정단위는 1cm, 수고는 10cm 단위로 간접 측정하도록 규정하고 있는 현실이다[3,5]. 반면에 본 연구에서는 흉고직경 및 수고를 직접 측정하고, 1mm 단위까지 산출 가능하였으며, 2cm 이하의 흉고직경 정확도와 1.3cm 이하의 수고 정확도를 나타냄으로써, 실무에서 충분히 활용 가능성을 제시하였다.

4. 결론

본 연구에서는 산림조사 고도화 방안을 제시하기 위해 테스트베드를 설정하고, SLAM을 이용하여 테스트베드를 스캔 한 후 정확도를 분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 흉고직경에 대한 정확도 평가 결과 최대오차가 공시체의 경우 -0.0115m, 폴의 경우 -0.0200m 이내로 정확한 결과값 산출이 가능함을 알 수 있었다.

둘째, 수고에 대한 정확도 평가 결과 수고의 최대오차가 공시체의 경우 -0.0130m, 폴의 경우 0.0060m 이내로 정확한 결과값 산출이 가능함을 알 수 있었다.

셋째, 현재 국가산림자원조사를 통한 흉고직경의 측정단위는 1cm, 수고는 10cm 단위로 간접 측정하고 있는 현실에서 흉고직경 및 수고를 직접 측정하고, 1mm 단위까지 산출 가능하였으며, 2cm 이하의 흉고직경 정확도와 1.3cm 이하의 수고 정확도를 나타냄으로써, 실무에서 충분히 활용 가능성을 제시하였다.

향후, 본 연구결과를 바탕으로 표본점에 대한 스캔 데이터를 획득하고 분석을 진행할 예정이다.

References

- [1] Korea Forest Service, National Forest Inventory [Internet]. Korea Forest Service [cited 2018 October 5], Available From: <http://www.forest.go.kr/> (accessed October 5, 2018)
- [2] National Assembly of South Korea, Forest Protection Act [Internet], National Law Information Center, c2018[cited 2018 Nov. 15], Available From: <http://www.law.go.kr/%EB%B2%95%EB%A0%B9%EC%82%B0%EB%A6%BC%EB%B3%B4%ED%98%B8%EB%B2%95> (accessed Nov. 15, 2018)
- [3] S. H. Kim, J. C. Kim, S. W. Lee, H. G. Jo, S. A. Seo, J. S. Lim, I. B. Jeong, "Guidebook of The 6th National Forest Inventory and Forest Health Monitoring", p.95, Guidebook, Korea Forestry Promotion Institute, 2013. ISBN: 978-89-98575-06-9
- [4] C. Liu, Y. Xing, J. Duanmu, X. Tian, "Evaluating Different Methods for Estimating Diameter at Breast Height from Terrestrial Laser Scanning", *Remote Sensing*, Vol.10, No.4, Article ID 513, pp.1-20, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/rs10040513>
- [5] Korea Forest Service, Forest Forestry Glossary [Internet]. Korea Forest Service [cited 2018 May 6], Available From: <http://www.forest.go.kr/> (accessed May 6, 2018)
- [6] J. S. Lee, Construction of Forest Geospatial Information based on SLAM for the Efficient Forest Investigation, Dissertation of Doctors's Degree, Chungnam National Univ., p.142, 2018.

이 종 신(Jong-Sin Lee)

[정회원]



- 2008년 2월 : 충남대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2010년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2018년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 충남대학교 건설공학교육과 초빙교수

<관심분야>
지형공간정보공학

윤 희 천(Hee-Cheon Yun)

[정회원]



- 1983년 2월 : 충남대학교 공업교육 대학 토목교육공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2004년 10월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
지형공간정보공학