

월별 드론 영상을 이용한 밴드 조합에 따른 수목 개체 및 수관폭 추출 실험

Experiments of Individual Tree and Crown Width Extraction by Band Combination Using Monthly Drone Images

임예슬* · 어양담** · 전민철*** · 이미희**** · 편무욱*****

Lim, Ye Seul · Eo, Yang Dam · Jeon, Min Cheol · Lee, Mi Hee · Pyeon, Mu Wook

要 旨

공간해상도가 높은 드론 영상은 수목 밀도가 높은 지역에서 추출 한계를 갖는 기존 연구의 대안으로 떠오르고 있다. 본 연구에서는 드론 영상으로부터 수목이 우거진 산림 지역 내 수목 개체를 추출하였다. 영상 분할 과정을 거쳐서 추출되는 수목 개체 인식을 위해, DSM(digital surface model), 그리고 R, G, B 밴드 모두를 조합한 경우와 각각을 분리 조합한 경우의 영상 분할 결과를 비교하였다. 또한, 낙엽수림의 수목 우거짐의 변화를 시기별·영상별로 실험하였다. 3, 4, 5월 영상 중 숲이 울창한 5월의 경우 현지 측량한 나무를 기준으로 한 수목 개체 추출율은 50%로 나타났고, 수관폭 정확도 분석 결과 RMSE(root mean square error)가 1.5미터 이하로 가장 좋은 결과를 보였다. 실험지역의 추출은 중간 나무, 작은 나무 2가지 크기로 추출하였으며 작은 크기의 나무가 추출 정확도가 더 높았다. 이를 바탕으로 수고 추출을 하고, 수관폭과 흉고직경간의 관계식을 이용하여 흉고직경을 추정한다면, 임목 재적 추정 및 산림바이오매스 추정까지 가능할 것으로 보인다.

핵심용어 : 드론, DSM, 영역분할, 수목개체, 수관

Abstract

Drone images with high spatial resolution are emerging as an alternative to previous studies with extraction limits in high density forests. Individual tree in the dense forests were extracted from drone images. To detect the individual tree extracted through the image segmentation process, the image segmentation results were compared between the combination of DSM and all R,G,B band and the combination of DSM and R,G,B band separately. The changes in the tree density of a deciduous forest was experimented by time and image. Especially the image of May when the forests are dense, among the images of March, April, May, the individual tree extraction rate based on the trees surveyed on the site was 50%. The analysis results of the width of crown showed that the RMSE was less than 1.5m, which was the best result. For extraction of the experimental area, the two sizes of medium and small trees were extracted, and the extraction accuracy of the small trees was higher. The forest tree volume and forest biomass could be estimated if the tree height is extracted based on the above data and the DBH(diameter at breast height) is estimated using the relational expression between crown width and DBH.

Keywords : Drone, DSM, Segmentation, Individual Tree, Canopy Crown

Received: 2016.11.15, accepted: 2016.12.06

* 정회원 · 건국대학교 스마트ICT융합학과 석사과정(Member, Master Student, Department of Smart ICT Convergence, Konkuk University, yesullim@konkuk.ac.kr)

** 교신저자 · 정회원 · 건국대학교 융합인재학부 부교수(Corresponding Author, Member, Associate Professor, Division of Interdisciplinary Studies, Konkuk University, eoandrew@konkuk.ac.kr)

*** 건국대학교 신기술융합학과 박사과정(Doctoral Student, Department of Advanced Technology, Konkuk University, mcblue@konkuk.ac.kr)

**** 건국대학교 신기술융합학과 석사과정(Master Student, Department of Advanced Technology, Konkuk University, mihee7586@konkuk.ac.kr)

***** 정회원 · 건국대학교 인프라시스템공학과 교수(Member, Professor, Department of Civil Engineering, Konkuk University, neptune@konkuk.ac.kr)

1. 서 론

현장조사에 의한 산림조사에는 비용과 시간이 많이 소요되므로 지형영상(geospatial image)에 의한 원격탐사 기법 적용이 고려되어 왔다. 그런데, 획득된 원격탐사 영상의 육안판독 결과는 판독자의 숙련도에 따라 차이가 있고 대상지가 광역인 경우 처리 결과의 정밀도가 일정하지 않을 수 있다(Hyyppä et al., 2001; Chang et al., 2006). 따라서 수목 개체수와 수고와 같은 수목 특성에 대한 자동 추출연구가 꾸준히 진행되어 왔고, 그 자료원으로서 고해상 위성영상, 디지털 항공사진 그리고 지상 및 항공라이다의 활용성이 입증되어왔다(Chang et al., 2012; Chang et al., 2006; Lee and Ru, 2012; Hyyppä et al., 2000). 최근 들어서는 저가의 컬러카메라를 탑재하여 영상을 획득하고 이로부터 고해상도 DSM(digital surface model)을 비교적 간편하게 생성하는 소형 무인기 영상을 활용하여 수목특성 정보를 획득하는 연구가 이루어지고 있다(Lim et al., 2015; Zarco-Tejada et al., 2014).

한편, 대부분의 수목 추출 연구는 도심 수목이나 조림지역과 같이 시각적으로 수목개체가 위치상 뚜렷이 독립된 경우 좋은 결과를 보이고 있으나, 자연수림이면서 수목밀도가 높은 영역은 공중 영상으로부터의 추출이 어려워져 현실적으로는 아직도 key-plot과 같은 표본 영역을 참조하여 이루어지는 실정이다(Choi et al., 2015). 이것은 수목 밀도가 높아 수관이 겹치게 되어 수관의 형상이 독립적으로 정밀 관측되지 않기 때문이다. 그런데 최근에 이용되는 원격 조정 무인기 드론의 경우 저고도 비행으로 인해 고해상의 영상을 획득할 수 있고 이로 인해 지반과 수목의 형상을 잘 반영할 수 있는 고해상도 DSM 제작이 이루어져서 수목특성 정보 추출에 유리하다(Zarco-Tejada et al., 2014).

본 연구에서는 드론의 시·공간해상도가 높은 장점을 이용하여 우리나라 산림과 같은 조밀하고 수목 밀도가 높은 지역의 수목 개체 및 수목 정보 추출을 효과적으로 하고자 한다. 드론에 탑재된 카메라에 의해 획득된 영상에 (1) 필터링과 영역분할(segmentation) 과정을 통해 수목을 추출하는 일반적인 과정을 적용한다. (2) 컬러영상의 r, g, b 밴드와 DSM까지 총 4개의 영역분할 레이어로부터 수목영역분할에 적합한 레이어 조합을 실험하고 (3) 수목의 우거짐 정도가 다른 3, 4, 5월 영상에 모두 적용하여 월별 결과 차이를 분석하였다.

2. 실 험

2.1 실험 지역 및 자료

A대학교 교육과학관 주변 산책로를 실험지역 대상으로 하였다. 연구지역의 수목은 혼합림으로 약 80%를 차지하는 활엽수의 주요 수종으로는 수수꽃다리, 층층나무, 상수리나무 등이며 침엽수는 20%로 소나무, 은행나무로 이루어져있다. 실제 산림 조사의 환경과 유사하도록 수목 간 간격이 뚜렷한 가로수 등의 영역은 배제하고, 하층 식생부터 교목까지 다양한 식생이 분포하는 곳으로 선정하였다.

촬영은 2016년 3월부터 5월까지 월별로 수행되었고, 촬영에 사용된 장비는 DJI사의 Phantom3 professional 드론으로서 4개의 프로펠러, 카메라와 짐벌로 이루어진 기체기와 전용 조종기로 구성되어 있다. 사용된 카메라는 1,200만 화소의 이미지를 촬영할 수 있고, 4K(3840×2160) 영상을 지원한다.

촬영 조건과 정확도에 대해서 Pix4D Quality Report를 이용해서 확인했고, 40m 고도에서, 4000×3000화소로 이루어져 0.018m, 0.022m 공간해상도를 가지며 영상은 드론 자동조정에 의해 프레임 영상으로 획득되었다. 또한, DSM 제작을 위해 동일영역에 대하여 대부분 5번 이상 중복 촬영된 것을 확인하였다. 촬영은 국방정보본부에서 항공사진 촬영 허가, 수도방위사령부에서 비행승인을 받아 진행하였다.

2.2 실험 과정

고해상도 정사 영상과 DSM을 이용하여 수목 개체 추출 및 수목 정보를 추출하였다. 전체적인 실험 순서는 Fig. 1과 같다 : (1) 드론으로 촬영한 영상으로부터 Pix4D 소프트웨어를 사용하여 RGB 정사 영상과 DSM을 추출하였다. (2) 실험 지역은 현지 측량 데이터와 RGB 정사 영상에 기초하여 추출하였다. (3) 실험 지역의 지반고를 측량하여 DTM(digital terrain model)을 생성하였고, Pix4D에서 생성된 고도자료를 필터링한 DSM과 DTM의 차이로 nDSM(normalized DSM)을 제작하였다. (4) 생성된 DSM, nDSM, RGB 밴드를 다양하게 조합하였다. (5) ERDAS IMAGINE 소프트웨어를 이용하여 영역 분할을 하였으며, 이를 기반으로 수목 개체 및 수관폭을 추출하였다. (6) 실험 결과의 정확도를 평가하기 위해 현지 측량 데이터와 비교하였다.

기준 자료 작성을 위해 토탈스테이션으로 수목의 하단부의 좌표를 결정하였고, 줄자를 이용하여 수관폭을 측정하였다. 이 때, 타원형의 수관은 최소 폭과 최대 폭의 평균값을 사용하였다(Lim et al., 2015). 본 연구에

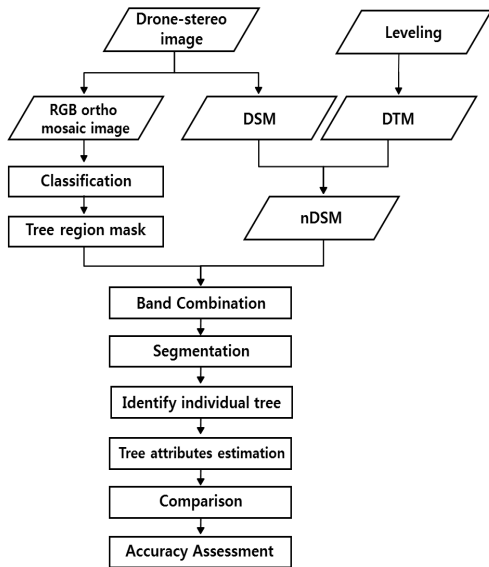


Figure 1. Experimental flowchart

서는 수목 잎의 밀도에 따라 어떤 효과가 발생하는지 실험하였고, 가장 보편적인 레이어 조합에 대하여 수목 추출결과를 비교하였다. 이러한 실험을 수목밀도별로 일관성이 있는지를 확인하고자 3, 4, 5월 영상에 모두 적용하였고, 총 66그루 나무에 대하여 현지 측량을 하여 결과 정확도를 분석하였다.

3. 수목 추출을 위한 영역분할과정

3.1 nDSM

수목이 우거진 경우 지반이 보이지 않아서 단지 수목의 끝단 형상만이 보이게 된다. 따라서 수목의 높이뿐만 아니라 수목 개체 인식에도 어려움이 있다(Tang et al., 2010; Kim, 2013). 본 연구에서는 지반 형상과 높이를 확보하여 수고를 추출하게 되면, 이를 이용한 결과가 얼마나 수목 특성 추출 정확도 향상에 도움이 되는지 검토하기위해서 nDSM을 제작하였다. nDSM은 DSM값과 DTM값의 차이로, 지상에 존재하는 객체의 높이값을 의미한다(Cho and Kim, 2010). 실험 대상지의 nDSM을 계산하기 위해서는 지반고를 알아야 하므로 실험지역에 대한 직접 수준측량을 실시하였다. 3월 영상을 기준으로 지반으로 확인된 화소 위치 측점을 기준으로 총 46개의 상대 표고 값을 획득하였고, 모든 표고위치는 영상에서 확인할 수 있는 곳으로 하였다. Fig. 2와 같이 No.1, No.19, No.32, No.38 측점의 왕복관측으로 발생한 2cm의 오차는 각 측점에서 기준점으로부

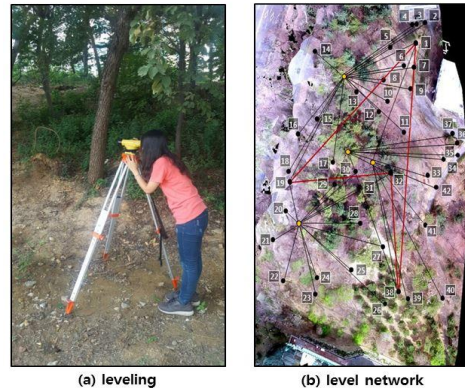


Figure 2. Ground level measurement

터의 거리에 비례하여 조정하였으며, 오차 조정된 각 지반고를 적용하여 남은 측점들에 대한 관측을 하였다. 측정된 고도값을 CSV(comma separated value) 자료로 변환하고 ERDAS IMAGINE의 Surfacing tool을 사용하여 Geotiff 포맷의 DTM 자료를 생성하였다. 이를 바탕으로 Pix4D에서 생성된 고도 자료를 필터링하여 DSM 자료를 형성하고, 지반고 높이 자료를 격자별로 내삽하여 nDSM을 제작하였다.

3.2 필터링

DSM의 경우, 드론으로 중복 촬영된 영상을 자동 매칭 시켜 얻은 결과로서 지반고와 수고가 혼재되어있고, 매칭 오류에 의한 불규칙한 점이 생성될 수 있으므로 대부분의 경우 필터링을 수행하게 된다(Chang et al., 2006). ERDAS IMAGINE의 focal analysis tool을 이용하여 창크기(window size) 3×3 픽셀, 5×5 픽셀, 7×7 픽셀을 적용, 각각의 결과를 생성하였다. 실험결과, 가장 좋은 결과를 낸 7×7 픽셀로 median필터링 방법을 이후 실험에 적용하였다.

3.3 수목 크기별 영역분할

ERDAS IMAGINE의 Raster의 imagine objective 세그멘테이션 기능으로 영역분할을 수행하였다. 이 때, 입력변수인 분광반사율, 질감, 크기, 모양의 가중치는 수목의 크기에 영향을 주는 크기와 밴드의 조합을 고려하여 분광반사율은 1로 하고 질감과 모양은 0으로 입력하여 수행하였다. 또한 현지 측량자료를 고려하여 2 단계로 레벨의 영역분할 크기를 수행하고 이를 결합함으로써 추출 개체 누락을 최소화하고자 하였다. 영역의 크기는 현지 수관폭 측량자료를 기준으로 큰 사이즈 (7~8m)의 나무는 몇 그루가 되지 않아 제외시키고 수

관폭이 중간 사이즈 5~6m, 작은 사이즈 3~4m로 하기 위해 size limits를 월별로 다르게 조정하였다. 3, 4, 5월 각 min-max를 5-10만개, 10-15만개, 20-30만개로 하여 작은 사이즈의 수관폭인 3~4m로 추출되게 하였으며, 10-15만개, 30-35만개, 40-70만개로 중간 사이즈의 수관폭인 5~6m로 추출되도록 하였다.

3.4 고도값 조정

생명과학대사전(2008)에 의하면 높이가 2m이상인 나무를 교목이라 한다. 그러나, 현지 측량 결과 실험 지역의 최소 수목 높이가 4m이므로 4m를 기준으로 지표면 여부를 판단하였다. 본 연구에서는 세그먼트 내에 4m 미만 값의 화소수가 총 화소수의 30%이상인 경우 수목 세그먼트에서 제외시켰다(Fig. 3).

분할 된 영역을 ArcGIS와 Matlab을 이용하여 중심점과 동그라미를 추출하였다. 중심점은 나무의 중심점을 동그라미는 수목후보원의 수관을 나타낸다. 각 사이즈

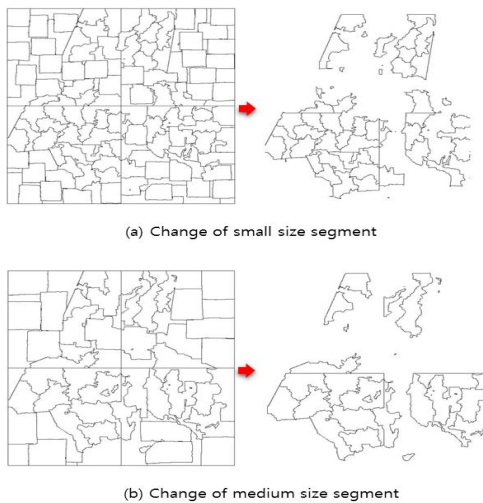


Figure 3. Segment selection from nDSM value

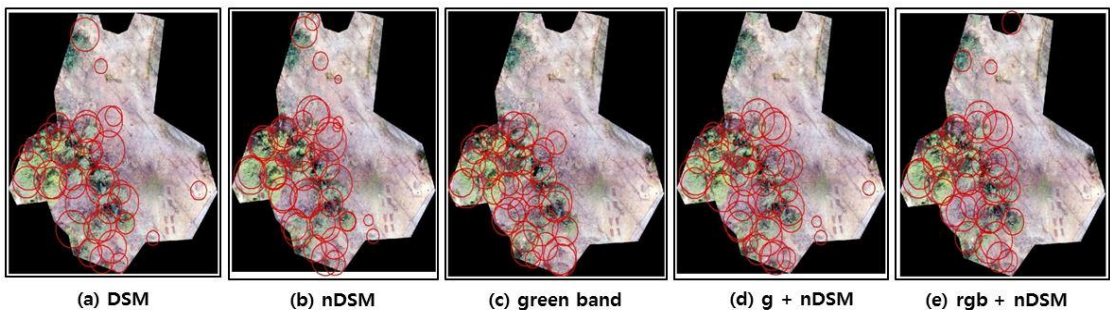


Figure 5. Comparison by band combination image of March

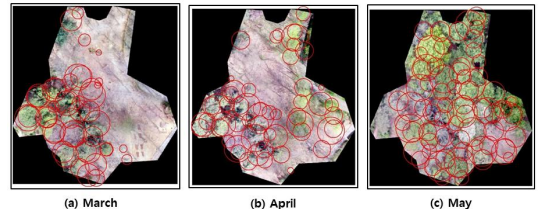


Figure 4. Combination of extracted small and medium circles

별로 추출된 원들을 합할 때 중복 추출되는 것을 방지하기 위해 추출된 원들의 중심점에서 중심점 사이 거리가 1m 이하인 경우 제외시켰다. 이러한 제거 방법을 거쳐 2가지 레벨을 합한 결과는 Fig. 4와 같다. 이렇게 2가지의 크기의 원으로 나무 개체를 추출하는 이유는 본 연구 지역은 혼합 다층림으로 수목이 다양한 크기로 구성되어 있기 때문에 단일한 크기를 적용할 수 없기 때문이다(Mike et al.,2000).

3.5 밴드조합

영역분할을 기저자료로서 영상밴드 조합을 고려하였다. 이것은 영역 분할시 사용되는 영상 속성정보가 컬러의 R, G, B 밴드 중 계절적 영향으로 색을 잘 반영하는 Green 밴드의 영상이 유용한지 그리고 DSM 자료 단독 혹은 컬러자료와의 융합이 개체 추출 결과 정확도에 기여하는지를 실험하였다. DSM, nDSM, Green band, G+nDSM, RGB+nDSM 로 실험하였다. Figs. 5, 6 and 7은 드론으로 촬영한 각 3, 4, 5월 영상을 밴드 별로 비교한 것이다. Figs. 5, 6 and 7에서 (a)는 DSM을 이용하였고, (b)는 nDSM을 (c)는 Green 밴드를 (d)는 nDSM과 Green 밴드의 조합된 영상을 이용하였고, (e)는 nDSM과 R, G, B 밴드를 조합한 영상을 이용하여 나무 추출 및 수관 측정을 하였다. 각 월별, 크기별로 추출된 동그라미에서 정확도 평가를 위하여 현지 측

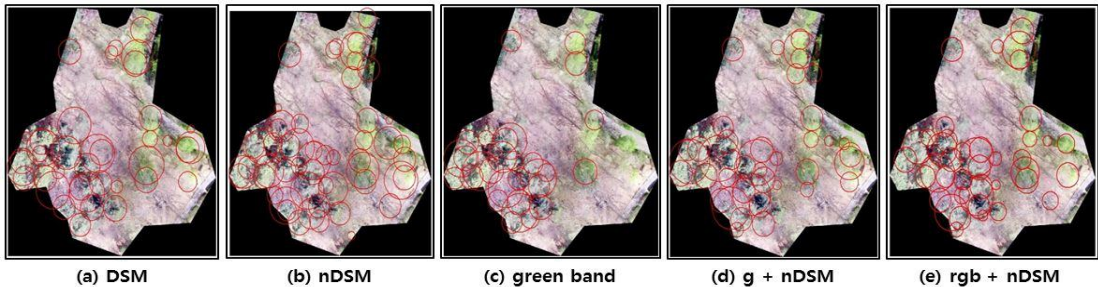


Figure 6. Comparison by band combination image of April

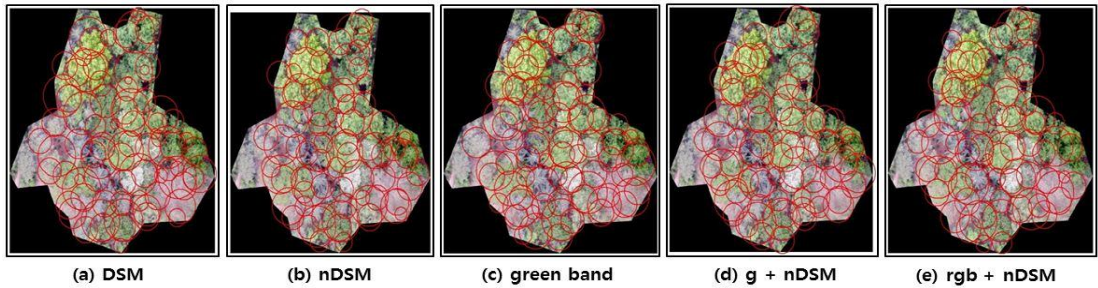


Figure 7. Comparison by band combination image of May

량한 66그루의 나무를 기준으로 하여 중심점의 거리가 2m 이내인 것만을 정확히 추출한 것으로 판단하고 수관폭 크기를 비교하였다.

4. 결과 분석

4.1 nDSM 적용 결과

Table 1은 DSM과 nDSM을 이용하여 수목 개체 추출 결과를 비교한 것이다. 수목 개체 추출 결과는 2가지 경우에 거의 비슷한 정확도를 나타내었다. 이것은

수목밀도가 매우 높아서 nDSM을 구하지 못하는 경우 DSM만으로도 어느 정도의 수목 개체 추출 유추가 가능함을 보여준다. 그러나 수관폭의 경우는 nDSM을 이용한 세그멘테이션이 기준값에 더 가깝게 수행되는 것을 Table 1에서 알 수 있다. nDSM을 이용하여 수목 개체 추출 및 수관폭 추정하는 것이 DSM을 이용한 방법보다 정확도가 높은 것으로 나타났다. 이는 지반 형태 및 지반고를 파악하여 nDSM을 추출하는 것의 중요성을 보여준다. 가능하다면 낙엽수 지역에서는 봄 혹은 늦가을에 한 번 더 촬영을 실시하여 지반고 추출이 이

Table 1. Comparison between DSM and nDSM

type	month	extraction size	number of extraction	local survey matches	producer accuracy	user accuracy	crown width (RMSE)
DSM	March	middle	18		12/36	12/66	1.44
		small	18	8	(33%)	(18%)	
	April	middle	13	4	18/39	18/66	1.49
		small	26	14	(46%)	(27%)	
	May	middle	29	13	35/81	35/66	1.68
		small	52	22	(43%)	(53%)	
nDSM	March	middle	17	9	13/32	13/66	1.45
		small	15	4	(40%)	(19%)	
	April	middle	17	10	23/45	23/66	1.32
		small	28	13	(51%)	(34%)	
	May	middle	23	10	31/75	31/66	1.16
		small	52	21	(41%)	(46%)	

루어지도록 할 필요가 있다.

4.2 고도값 조정 추출 결과

실험 지역의 최소 수목 높이인 4m를 기준으로 4m 미만의 값이 세그먼트의 일정부분 이상이 되면 수목이

아니라고 판단하여 세그먼트를 제거하였다. Table 2는 그 기준을 30% 이상과 40% 이상으로 하여 실험 결과를 비교한 것이다. 30% 이상인 경우를 제거한 것과 40% 이상인 경우를 제거하였을 때, 사용자정확도는 큰 차이가 없었다. 오히려 생산자정확도의 경우 30% 이상

Table 2. Comparison nDSM by altitude adjustment

type	month	extraction size	number of extraction	local survey matches	producer accuracy	user accuracy	crown width (RMSE)
remove more than 30%	March	middle	17	9	13/32	13/66	1.45
		small	15	4	(40%)	(19%)	
	April	middle	17	10	23/45	23/66	1.32
		small	28	13	(51%)	(34%)	
	May	middle	23	10	31/75	31/66	1.16
		small	52	21	(41%)	(46%)	
remove more than 40%	March	middle	18	9	15/36	15/66	1.54
		small	18	6	(41%)	(22%)	
	April	middle	16	10	24/54	24/66	1.3
		small	38	14	(44%)	(36%)	
	May	middle	24	10	31/79	31/66	1.16
		small	55	21	(39%)	(46%)	

Table 3. Comparison by band combination

month	band combination	extraction size	number of extraction	local survey matches	producer accuracy	user accuracy	crown width (RMSE)
March	Green	middle	14	3	11/37	11/66	1.21
		small	23	8	(29.7%)	(16.6%)	
	nDSM	middle	17	9	13/32	13/66	1.45
		small	15	4	(40.6%)	(19.6%)	
	G+nDSM	middle	17	6	19/40	19/66	1.62
		small	23	13	(47.5%)	(28.7%)	
RGB+nDSM	middle	13	4	15/36	15/66	1.5	
	small	23	11	(41.6%)	(22.7%)		
April	Green	middle	8	6	17/29	17/66	1.7
		small	21	11	(58.6%)	(25.7%)	
	nDSM	middle	17	10	23/45	23/66	1.32
		small	28	13	(51.1%)	(34.8%)	
	G+nDSM	middle	11	6	20/43	20/66	1.97
		small	32	14	(46.5%)	(30.3%)	
RGB+nDSM	middle	11	5	19/43	19/66	1.96	
	small	32	14	(44.1%)	(28.7%)		
May	Green	middle	27	15	41/84	41/66	1.42
		small	57	26	(48.85)	(62.1%)	
	nDSM	middle	23	10	31/75	31/66	1.16
		small	52	21	(41.3%)	(46.9%)	
	G+nDSM	middle	24	8	42/79	42/66	1.33
		small	55	34	(53.1%)	(63.6%)	
RGB+nDSM	middle	21	6	33/74	33/66	1.25	
	small	53	27	(44.5%)	(50%)		

인 경우를 제거하였을 때가 더 높았다. 따라서, 본 논문에서는 각 세그먼트 내에 4m 미만인 화소수가 총화소수의 30% 이상인 경우를 수목이 아니라고 판단하여 세그먼트를 제외하였다. Table 2의 수목 추출 결과를 보면 3, 4월 영상의 사용자 정확도가 5월에 비하여 현저히 낮지만, 생산자 정확도는 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 뿐만 아니라, Figs. 5 and 6과 같이 영상에서 지표면으로 보이는 곳에는 나무가 추출되지 않았다. 이는 지표면인 곳에서는 수목이 추출되지 않기 때문에 3, 4월은 수목 추출수가 적어 사용자 정확도가 낮게 나왔으나, 추출된 수에 대한 비율인 생산자 정확도에 차이가 없는 것을 건주어 볼 때 지표면 판별이 정확한 것을 알 수 있다.

4.3 밴드별 조합 결과

Table 3은 밴드별 수목 개체 추출 및 수관폭 정확도에 대한 결과표이다. 밴드 조합은 Green, nDSM, G+nDSM, RGB+nDSM으로 4가지를 월별, 개체 추출 크기별 추출 정확도와 수관폭의 정확도를 분석하였다. 각 밴드별 추출된 개체 수에 대한 현지 측량 일치수를 생산자 정확도로, 사용자정확도는 현지 측량한 총 기준수인 66그룹에 대한 현지 측량 일치수를 나타낸다. 전체적으로 수목 개체 추출 및 현지 측량 값과의 일치도의 결과는 추출 크기가 중보다 소일 때 더 많이 추출되고 또 그만큼 일치수가 많다. 이는 추출된 양에 비례하여 일치하는 값이 나오는 것으로 보여진다. 3, 4, 5월 모두 수목 개체 추출의 정확도는 Green밴드와 nDSM을 조합한 영상의 정확도가 높게 나왔다. 이는 nDSM의 고도값과 Green 밴드의 색이 수목 개체 추출에 영향을 주는 것으로 보여진다. 수관폭의 경우 nDSM을 이용한 영상의 정확도가 높은 것으로 나타났다.

5. 결론

산림이 우거진 지역을 드론에 탑재한 카메라로 촬영하고, 획득된 영상으로부터 R, G, B 밴드와 DSM을 이용하여 실험지역에 대하여 수목 특성을 자동 추출하였다. G, DSM, nDSM, RGB+nDSM, G+nDSM 로 총 5가지로 조합하였으며, 계절별로 3, 4, 5월 영상을 바탕으로 실험하였다. 수목 개체수와 수관폭으로 구분하여 비교 분석하였으며, 현지 측량한 66그룹의 나무 데이터를 기준으로 정확도 분석을 하였다. DSM과 nDSM의 정확도 분석 결과, 개체 추출에서는 nDSM이나 DSM에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이것은 광학영상만을 이용하여 촬영하는 경우 DTM을 구하지 못하는 비

접근지역이나 광역을 대상으로 하는 경우 개체 추출을 DSM 기반으로 개체 추출을 해도 크게 정확도가 떨어지지 않을 것으로 예측된다. 다만 수관폭 추정인 경우 nDSM이 더 정확한 것으로 나타나고 있다. 밴드별 수목 개체 추출 및 수관폭 정확도 분석 결과, 수목 개체 추출 및 수관폭 추정에 Green밴드와 nDSM를 조합하여 7×7 픽셀로 필터링하여 사용하는 것이 추출의 수, 추출 정확도가 가장 높으며, 수관폭 추정 정확도는 nDSM을 7×7 픽셀로 필터링하여 사용하는 것이 가장 좋다.

본 연구의 결과를 바탕으로 수목 개체 및 수관폭 추출의 정확도를 높일 수 있으며, 이를 이용하여 수고 추정이 가능하다. 또한, 흉고직경은 수관의 크기와 상관관계가 높으므로, 수관폭과 흉고직경의 관계식을 이용하여 흉고직경을 간접 추정할 수 있다. 더 나아가 수고와 흉고직경을 이용하여 임목의 재적 추정이 가능하여 산림바이오매스 추정까지도 가능할 것으로 보여진다.

감사의 글

이 논문은 2016학년도 건국대학교의 연구년 교원 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Chang, A. J., Yu, K. Y., Kim, Y. I. and Lee, B. K., 2006, Estimation of individual tree and tree height using color aerial photograph and LiDAR data, Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 22, No. 6, pp. 543-551.
2. Chang, A. J., Kim, Y. M., Kim, Y. I., Lee, B. K. and Eo, Y. D., 2012, Estimation of canopy cover in forest using KOMPSAT-2 satellite images, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 20, No. 1, pp. 83-91.
3. Cho, D. Y. and Kim, E. M., 2010, Extraction of spatial information of tree using LIDAR data in urban area, Journal of the Korean society for geospatial information system, Vol. 18, No. 4, pp. 11-20.
4. Choi, Y. P., Lee, J. S. and Yun, H. C., 2015, Extraction of forest resources using high density LiDAR data, Journal of the Korean Society of Surveying, Vol. 33, No. 2, pp. 73-81.
5. Hyypää, J., Hyypää, H., Inkinen, M., Engdahl, M., Linko, S. and Zhu, Y. H., 2000, Accuracy comparison of various remote sensing data sources

- in the retrieval of forest stand attributes, *Journal of the Forest Ecology and Management*, Vol. 128, No. 1/2, pp. 109–120.
6. Hyypää, J., Kelle, O., Lehtikoinen, M., and Inkinen, M., 2001, A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, No. 5, pp. 969–975.
 7. Kang, Y. H., 2008, *Encyclopedia of life science*, Academybook, Korea, p. 121.
 8. Kim, E. M., 2013, Extraction of the tree regions in forest areas using LiDAR data and ortho-image, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 21, No. 2, pp. 27–34.
 9. Lee, H. J. and Ru, J. H., 2012, Application of LiDAR data & high-resolution satellite image for calculate forest biomass, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 20, No. 1, pp. 53–63.
 10. Lim, Y. S., La, H. P., Park, J. S., Lee, M. H., Pyeon, M. W. and Kim, J. I., 2015, Calculation of tree height and canopy crown from drone images using segmentation, *Journal of the Korean Society of Surveying*, Vol. 33, No. 6, pp. 605–613.
 11. Mike, W., Olaf, N. K. and David, G. G., 2000, Local maximum filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery, *Journal of Remote Sensing of Environment*, Vol. 73, No. 1, pp. 103–114.
 12. Tang, F., Liu, X., Zhang, Y. and Ruan, Z., 2010, A new image segmentation method for individual tree recognition based on airborne LiDAR data, *Proc. of 6th Wireless Communications Networking and Mobile Computing*, IEEE, Chengdu, China, pp. 1–4.
 13. Zarco-Tejada, P. J., Diaz-Varela, R., Angileri, V. and Loudjani, P., 2014, Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods, *European Journal of Agronomy*, Vol. 55, pp. 89–99.