

사단법인 산림경영정보학회
2013년 정기총회 및 학술연구발표회

일시 : 2013년 4월 12일 금요일

장소 : 서울대학교 75-1동 203호



2013년 정기총회 및 학술연구발표회 일정표

(2013년 4월 12일 금요일 서울대학교 75-1동 203호)

I. 정기총회(10:00-10:30)

- 개회(진행 : 손영모 이사)
- 국민의례
- 회장인사
- 경과보고(2012. 6. 28. 9-2013. 4. 11)
- 학회 임원 현황(2012-2014년)
- 학회 및 회원 동정
- 폐회

II. 특강(10:40-12:00)

- 10:40-11:20** 제5차 산림기본계획 변경 방향과 새로운 산림정책과제
최병암 산림정책과장(산림청)
- 11:20-12:00** 기후변화협약, 탄소흡수원법, 그리고 산림경영정보
이경학 기후변화연구센터장(국립산림과학원)

III. 학술연구발표회(13:00-15:30)

□ 구두 논문 발표 : 편당 10분 발표, 5분 질의

[Session 1] 좌장 : 이영진 교수(공주대학교)

- 13:00-13:15** 수원함양보호구역의 문제점 및 개선방안
박영규^{1*}, 전준현², 노혜정³
(¹산림교육원, ²국립산림과학원 산림경제경영과, ³산지보전협회)
- 13:15-13:30** 산림환경에서의 GPS 수신기별 정확도 연구
이기용¹, 서민혁^{2*}, 박주원²
(¹동부지방산림청, ²경북대학교)

- 13:30-13:45** **MSPA를 적용한 보전산지의 산림경관지역별 공간구조 비교**
 송정은^{1*}, 임채영¹, 문병훈¹, 김동민¹, 박미희¹, 정주상¹, 이천용¹
 (¹한국산지보전협회 기획연구처, ²서울대학교 산림과학부)
- 13:45-14:00** **Bootstrap 기법을 이용한 산림자원조사 표본 크기의 적절성 평가**
 설아라^{1*}, 정주상¹, 원현규², 이영진³, 김성용³, 최정기⁴, 한 희¹, 정혜진¹
 (¹서울대학교 산림과학부, ²국립산림과학원, ³공주대학교, ⁴강원대학교)
- 14:00-14:15** **잣나무와 소나무 원판의 중량 변화에 관한 연구**
 이대성¹, Safa Balekoglu², 최정기¹
 (¹강원대학교, ²Istanbul University)
- [Session 2]** **좌장 : 김동근 교수(경북대학교)**
- 14:15-14:30** **미래 기후변화 시나리오에 따른 우리나라 소나무의 탄소 저장량 및 흡수량 추정**
 김문일^{1*}, 이우균¹, 남기준¹, Hangnan Yu¹
 (¹고려대학교 생명과학대학 환경생태 공학부)
- 14:30-14:45** **산림사업지 내에서의 기후변화에 따른 수종 및 재적변화 예측**
 남기준^{1*}, 이우균¹, 곽두안², 김문일¹, 곽한빈²
 (¹고려대학교 환경생태공학과, ²고려대학교 환경 GIS/RS 센터)
- 14:45-15:00** **산림탄소 및 목재생산 경영을 위한 임분단위 산림사업모델의 개발**
 권기범^{1*}, 한 희¹, 정주상¹
 (¹서울대학교 산림과학부)
- 15:00-15:15** **교토의정서 제3조 4항의 산림경영을 추정**
 김형호¹, 강현득^{2*}, 김래현³, 김철민³, 이경학³, 고광철⁴
 (¹경상대학교 산림환경자원학과, ²경상대학교 대학원 산림자원학과, ³국립산림과학원 기후변화연구센터, ⁴주메타지아이에스컨설팅)
- 15:15-15:30** **산지전용에 따른 탄소배출량 산정을 위한 사례연구**
 기태영^{1*}, 송정은², 한 희¹, 정주상¹
 (¹서울대학교, ²한국산지보전협회)

□ 포스터 논문 발표 : 서울대학교 200동 2층 로비

- [KSFMI-P01] PDM기법을 이용한 산림재적추정
서환석^{1*}, 이정수¹
(¹강원대학교 산림환경과학대학)
- [KSFMI-P02] 기후요인을 고려한 생태권역별 상수리나무의 지위지수 추정식 개발
김태우^{1*}, 성주한², 권대성², 친정화², 신만용¹
(¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림생태연구과)
- [KSFMI-P03] 남부지방 곰솔의 수간곡선식 개발 및 정도 비교
손영모^{1*}, 이광수¹, 표정기¹, 이경학¹
(¹국립산림과학원)
- [KSFMI-P04] 사회·경제적 지표를 이용한 폭설에 의한 등산조난 취약성평가
최술이^{1*}, 이우균¹, 곽한빈¹, 김문일¹, 남기준¹, 유소민¹, 정래선²
(¹고려대학교 환경생태공학부, ²고려대학교 환경GIS/RS센터)
- [KSFMI-P05] 산림자원조사의 표준공정 및 표준단가 분석
설아라^{1*}, 정주상¹, 원현규², 이영진³, 김성용³, 최정기⁴, 기대영¹, 유중원¹
(¹서울대학교 산림과학부, ²국립산림과학원, ³공주대학교, ⁴강원대학교)
- [KSFMI-P06] 소나무 탄소배출계수의 적정 확률밀도함수 추정
표정기^{1*}, 손영모¹, 이경학¹, 김래현¹, 김소원¹, 김경남¹
(¹국립산림과학원)
- [KSFMI-P07] 시간 경과에 따른 택벌림화 작업지의 경쟁지수 변화 예측
고성윤^{1*}, 박병배², 성주한², 신만용¹
(¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림생태연구과)
- [KSFMI-P08] 일본의 기후변화 대응 산림정책 동향 -산림경영 사례를 중심으로-
황정순^{*}, 송민경, 손영모, 이경학
(국립산림과학원 산림정책연구부 기후변화연구센터)
- [KSFMI-P09] 풍동실험을 통한 방풍림의 수종과 식재방법에 따른 방풍효과 분석
김현준¹, 김현수¹, 정성훈¹, 이상현^{1*}
(¹전북대학교 산림환경과학과)

- [KSFMI-P10] **혼합모형을 이용한 남부지방 해송의 직경과 수고 성장 분석**
 표정기^{1*}, 이광수¹, 손영모¹, 이경학¹, 황정순¹
 (¹국립산림과학원)
- [KSFMI-P11] **Assessment of Plant Diversity, Biomass and Carbon Sequestration Potential of Natural Mangrove Forest in Samar, Philippines**
 Azyleah C. Abino^{1,2*}, Jose Alan A. Castillo³, Roscinto Ian C. Lumbres¹, Sung Yong Kim¹, Mi Na Jang¹ and Young Jin Lee¹
 (¹*Department of Forest Resources, Kongju National University*, ²*Laguna Lake Development Authority, Diliman, Quezon City, 1101, Philippines*, ³*Ecosystems Research and Development Bureau, College, Laguna, 4031, Philippines*)
- [KSFMI-P12] **Comparison of Two Kinds of Method in Forest Growth Estimation**
 Hangnan YU^{1*}, 이우균¹, 남기준¹
 (¹고려대학교 생명과학대학 환경생태공학과)
- [KSFMI-P13] **Modeling of the Stem Taper of *Quercus glauca* in Jeju Island, South Korea**
 Roscinto Ian C. Lumbres^{1,2*}, Young Jin Lee¹, Sung Yong Kim¹, Mi Na Jang¹, Azyleah C. Abino¹, Hyung Soon Choi³, Yeon Ok Seo³, Chan Soo Kim³ and Jung Hwan Park³
 (¹*Department of Forest Resources, Kongju National University*, ²*College of Forestry-Benguet State University, Philippines*, ³*Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, Korea Forest Research Institute*)
- [KSFMI-P14] **민간인통제선 이북지역의 산지이용 패턴**
 송정은^{1*}, 임채영¹, 김동민¹, 박미희¹, 함바우술¹, 김민선², 이천용¹
 (¹한국산지보전협회 기획연구처, ²북부지방산림청 민북지역국유림관리단)

구두 논문발표 초록

13:00-15:30, 서울대학교 75-1동 203호

좌장 : 이영진 교수(공주대학교)

김동근 교수(경북대학교)

■ 구두 논문발표 초록

수원함양보호구역의 문제점 및 개선방안

Problems and Improvement Methods of Protective Zone for Water Yield

박영규^{1*}, 전준현², 노혜정³

(¹산림교육원, ²국립산림과학원 산림정책연구부 산림경제경영과, ³산지보전협회)

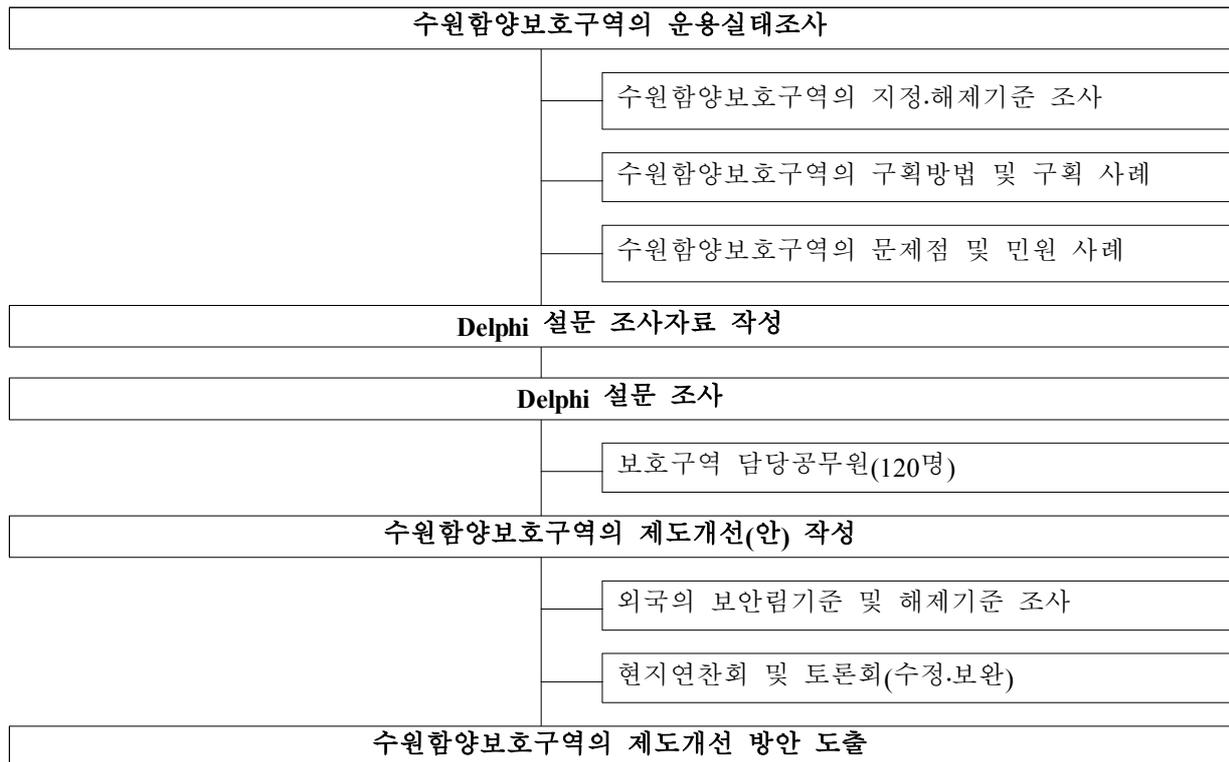
1. 연구목적

우리나라의 수원함양보호구역은 제1종과 제2종, 제3종 등 3종류로 구분된다. 제1종 수원함양보호구역은 저수지 주위의 산림이, 제2종 수원함양보호구역은 계곡의 경사가 급한 산림, 제3종 수원함양보호구역은 4대강 주변의 국.공유림이 지정된다. 구획방법은 지번 단위 또는 계곡 능선 등 천연경계로 하며, 제1종 수원함양보호구역은 저수지 만수위로부터 1키로 이내 산림, 제3종은 4대강 및 그에 속하는 지류의 양안 5키로 내 국.공유림이 지정 대상이 된다. 해제 규정은 지정목적에 달성하였거나 천재지변에 의해 지정목적이 상실되는 경우 등이다.

그러나 대부분의 수원함양보호구역은 지정.해제규정이 명확하지 않았던 구 산림법에 의하여 지정 되었기 때문에 지정목적과 부합되지 않으며, 해제할 경우 적절한 해제 규정이 없어 다수의 민원 사례가 발생하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 수원함양보호구역에 대한 명확한 지정규정과 해제규정, 과학적인 구획방법 등을 제시할 목적으로 수행하였다.

2. 연구방법

1) Delphi 조사를 응용한 설문조사



- (1) 수원함양보호구역의 지정.해제기준 적용 실태, 문제점, 민원사례 등 조사
 - 전국 시.도, 시.군, 지방청, 국유림관리소
- (2) 수원함양보호구역 제도개선을 위한 설문자료 작성
- (3) Delphi 조사를 응용한 설문조사 실시(전국의 보호구역 담당공무원 120명, 2차례)
- (4) 외국의 보안림 지정.해제기준 및 구획방법, 허용행위 등 조사
- (5) 수원함양보호구역 지정해제 및 구획방법 개선안에 대한 workshop 및 토론회
- (6) 수원함양보호구역의 제도개선 방안

3. 연구결과

1) 수원함양보호구역 제도의 문제점

(1) 보호구역에 대한 엄격한 규제 및 손실보상 미흡

보호구역으로 지정되면 농가주택의 신축 등 산지전용이 엄격히 금지되고, 간벌이나 택벌 등 산림사업도 제한된다. 그러나 보호구역 지정 산림에 대한 손실보상 규정에도 불구하고 1908년 보호구역 제도가 제정된 이후 현재까지 손실보상은 이루어지지 않은 실정이다.

(2) 제1종 수원함양보호구역의 신규 지정 전무

수원함양보호구역의 지정 권한이 시.도지사로 위임되면서 '70년대 이후 축조된 저수지 주변 산지에 대한 제1종 수원함양보호구역의 지정이 전무한 실정이다. 이는 신규로 지정 할 경우 산주들의 반발을 우려하고 있기 때문이다.

(3) 수원함양보호구역 구획의 불합리 및 형평성 결여

'70년대 이전 수원함양보호구역 지정 당시에 지정 방법이나 구획방법이 제시되지 않아 수원함양보호구역의 구획이 불합리 한 곳이 발생하였다. 또한, '80년에는 유실수, 특용수, 연료림 등은 수원함양보호구역에서 해제할 수 있도록 함으로써 주변 구획과 형평성이 맞지 않은 곳이 발생하게 되었다.

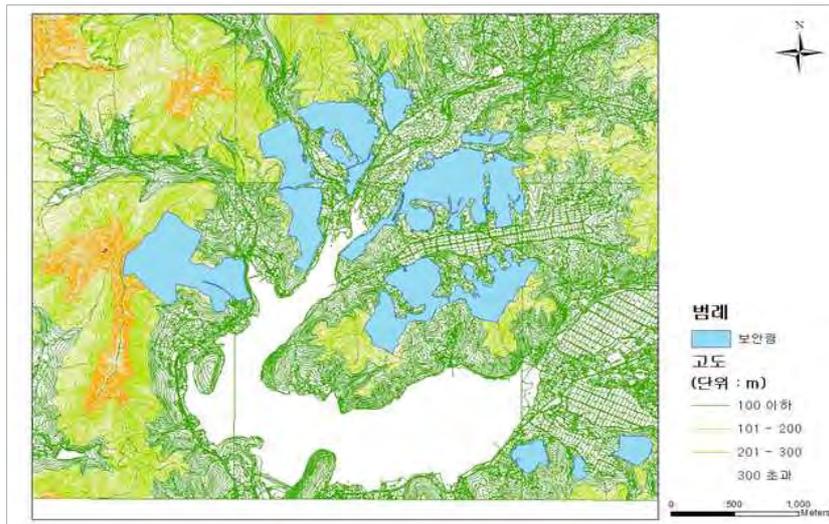


그림 1. 수원함양보호구역 구획의 불합리

(4) 수원함양보호구역 지정기준의 불합리

① 제1종 수원함양보호구역 지정기준의 불합리

제1종 수원함양보호구역의 지정기준이 저수지 만수위로부터 1km로 획일적으로 규정함으로써 수계에 영향 여부를 고려하지 않아 지정 목적에 부합되지 않으며, 지정기준이 “절대적인 영향을 준다고 인정하는 산림”으로 규정함으로써 “절대적인 영향” 여부에 대한 민원 사례가 발생하고 있는 실정이다.

② 제2종 수원함양보호구역의 지정기준의 불합리

제2종 수원함양보호구역의 지정 기준이 “계곡이나 경사가 급한 산림 또는 자연환경조건으로 인하여 임목의 성장이 불량하거나 수종갱신이 곤란한 산림”으로 규정되어 제2종 수원함양보호구역 대상지 불분명하여 제2종 수원함양보호구역으로 지정된 사례가 전무한 실정이다.

③ 제3종 수원함양보호구역 지정기준의 불합리

수질관리를 위하여 4대강 유역의 분류 및 제1지류의 양안 5km 내에 있는 국.공유림만을 지정하도록 한정함으로써 지정으로 지정 목적이 미흡하며, 양안 5km로 규정함으로써 수계에 영향이 미치지 않는 지역도 지정된 사례가 발생하고 있는 실정이다.

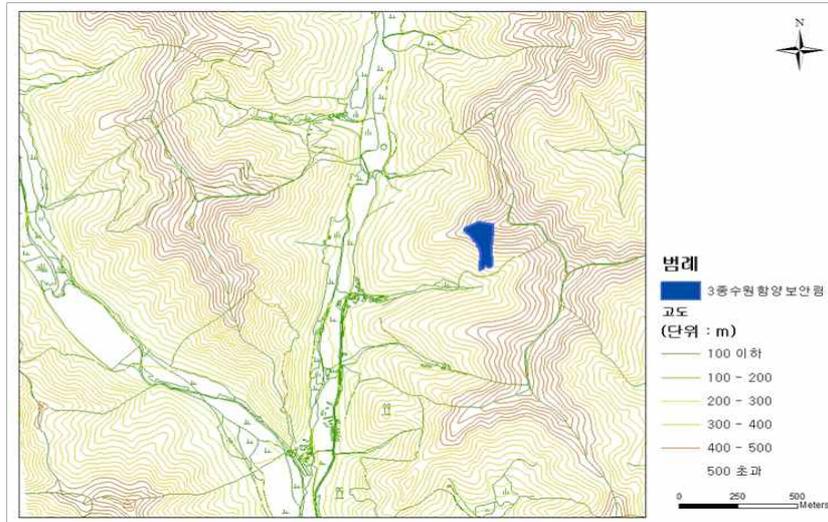


그림 2. 국.공유림으로 한정하여 지정목적에 미흡

(5) 해제기준의 미흡

수원함양보호구역의 해제기준이 “지정목적에 달성하여 보안림으로 존치할 필요가 없다고 인정하는 경우와 보호구역의 기능을 충분히 대체할 수 있는 시설이 설치되었다고 인정되는 경우”로 한정하여 사실상 해제기준이 없는 실정이다. 따라서 불합리하게 지정된 산주들에 대한 다수 민원사례가 발생하고 있는 실정이다.

2) 수원함양보호구역의 제도개선안

(1) 수원함양보호구역 지정기준의 개선안

① 제1종 수원함양보호구역

하류의 농업용수.공업용수 등 주요 산업용수의 저수량에 직접적으로 영향을 미친다고 인정하는 저수지 주위의 산림. 이 경우 그 지정은 분수량, 지형, 경영계획 단위 등을 고려하여 유역단위로 구획하여 지정

② 제2종 수원함양보호구역

계곡이나 경사가 급한 산림 또는 자연환경조건으로 인하여 임목의 성장이 불량하거나 수종갱신이 곤란한 산림, 이 경우 지정면적은 50ha 이상(조향 삭제)

③ 제3종 수원함양보호구역

상류수원지대(댐 포함)의 한.수해에 영향을 주거나, 상수원 수질관리를 위하여 필요한 지역으로서 4대강 수계에 직접적으로 영향을 미치는 산림, 이 경우 그 지정은 분수량, 지형, 경영계획 단위 등을 고려하여 유역단위로 지정

(2) 수원함양보호구역 해제기준의 개선안

- ① 저수지의 규모가 10ha 이하인 경우(만수위 기준)
- ② 도시·산업용도로 개발하여 물리면적 규모가 50ha 이하로 축소된 경우
- ③ 농경지와 택지 등으로 둘러싸여 있거나 소규모로 단절된 경우
- ④ 도로 개설 등으로 저수지와 보호구역산지가 단절되거나 자투리 산지로 남은 경우
- ⑤ 지목이 산이나 농지나 택지 등으로 이용되고 있는 경우

(3) 보호구역에서 허용해야 할 최소한의 행위 기준안

- ① 보호구역 산주가 100m² 미만의 주택을 증·개축하는 경우
- ② 표고버섯 재배용으로 이용하기 위하여 총 입목수량의 2/3이내에서 연간 50m³ 범위 내 벌채 허용
- ③ 임업경영을 위한 수종 갱신

(4) 수원함양보호구역의 제도개선안

- ① 제1종 수원함양보호구역으로 지정된 산주에 대한 손실보상규정의 현실화 필요
- ② 보호구역 산주에 대한 세재해택이나 장기용자 등의 우대조치 필요
- ③ 보호구역의 필요성, 중요성 등에 대한 대국민 홍보 필요

산림환경에서의 GPS 수신기별 정확도 연구

Accuracy Assessment of GPS Receivers Under Forest Environments

이기용¹, 서민혁^{2*}, 박주원²
 (1동부지방산림청, 2경북대학교)

1. 연구목적

최근 각종 산림사업에서 GPS수신기를 활용한 측정 방법이 보편화되어있다. 그러나 현재 산림 내 각종 환경 인자에 따른 GPS 오차발생에 대한 연구는 제한적이다. 일반적인 GPS 위치 수신 데이터 오차요인으로는 주로 안테나 성능차이로 인한 기계적 요인과 주변에 의해서 산란(Diffusion) 혹은 반사(Reflection)되어 수신기에 여러 개의 신호를 동시에 받아 오차가 발생하는 주변 환경요인이 있는데, 기계적 요인 중에서 GPS 사양에 따른 기계적 특징에 의한 오차와 주변 환경요인 중에서 임상, 소밀도 및 지형에 따른 오차를 확인하고자 본 연구를 진행하게 되었다.

2. 연구방법

1) 기준 값(참값) 설정

Trimble 5700 장비를 3시간 이상 Static 측량(15초 간격 좌표수집)하여 측량데이터를 수집하고 이를 국토지리정보원의 위성측지기준점과 삼각망을 구성하여 DGPS 처리한 값을 기준 값(참값)으로 설정하였다.

2) GPS 기종 선정 및 측량대상지 선정

GPS 정확도 비교 기종은 현재 산림청 및 지자체에서 사용하고 있는 GPS 중 대표적인 3개 기종을 선정하고, 지형, 임상, 수관밀도를 오차발생에 영향을 미치는 3가지 환경 요인으로 선정하였다. 지형적 요인은 능선부, 산복부, 계곡부로 구분하였으며, 임상적 요인은 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 구분하였다. 수관밀도에 의한 요인은 소밀도 “중”과 “밀”을 구분하여 실험 군을 선정하고 측정을 실시하였다.

표 1. GPS 장비별 사양

장비별	기준장비		비교장비		
	Trimble 5700	Garmin 60CS	Geo XM	Pro XRS	
GPS 수신기	24채널 L1 C/A 코드 L2/L2 Full Cycle Carrier	12채널 L1 C/A 코드	12채널 L1 C/A 코드	12채널 L1 C/A 코드 L1 Carrier	
용도	정밀 측량용	레저용	GIS 맵핑용	GIS 맵핑용	
정확도	실시간 (구분)	수평 ± 0.25m 수직 ± 0.50m(Beacon)	3m 이하(WAAS)	1m 이하(SBAS)	1m 이하(Beacon)
	후처리 (코드)	수평 ± 5mm 수직 ± 5mm (Static)	-	1m 이하	50cm 이하
무게	수신기(배터리포함) 1.4kg	0.21kg	0.76kg	2.8kg (안테나 1.5kg,, 수신기 0.8kg,, 데이터로거 0.5kg)	

표 2. 실험군 선정지역의 임황

요인별	구분	임 황					
		임상	주수종	혼효율(%)	수고(m)	경급(cm)	소밀도
지형적 요 인	능선부	침	소나무 신갈	90 10	12/8-13	18/10-22	중
	산복부	침	소나무 굴참	90 10	12/8-14	18/6-26	중
	계곡부	혼	소나무 신갈 서어	30 60 10	14/8-18	16/6-22	중
임상적 요 인	침엽수	침	소나무	100	15/9-18	20/8-26	중
	활엽수	활	신갈 굴참	30 70	12/8-14	18/6-26	중
	혼효림	혼	소나무 신갈 서어	30 60 10	14/8-18	16/6-22	중
수관밀도에 의한 요인	간 별 실 행	침	소나무	100	14/8-16	20/12-26	중
	사 업 미실행	활	신갈 굴참	80 20	12/8-16	16/6-24	밀

3) 측량방법

가장 정확한 비교를 위하여 점 좌표(point)에 대한 측량데이터를 수집하였으며, 측량일자 및 시간대별 위성 배열 및 전리층 변화 등 오차요인이 변화됨에 따라 4일간에 걸쳐 측량지점별 각각 10개의 측량데이터를 취득하였으며, 데이터 취득 시간은 현장에서 GPS 측량 수행 시 와 최대한 동일한 여건 조성을 위하여 1초 단위로 15~16초간 데이터를 취득하였다. 비교 대상 GPS는 안테나 높이를 1.2m로 고정 설치하여 측량하였다.

4) 측량데이터 분석방법

X, Y 좌표에 대한 오차 분석 방법으로는 평균제곱근 오차 산출방법(RMSE : Root Mean Square Error)을 적용하였으며, X좌표와 Y좌표에 대한 각각의 RMSE 값을 이용하여 평면 수평거리상의 평균 거리 오차를 산출하였다.

$$\text{평균 거리오차} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$$

3. 결과 및 고찰

1) 환경 인자에 따른 오차발생

지형별 요인에서는 능선부-산복부-계곡부 순으로 정확도가 높은 것으로 나타났으며 이는 다른 요인들보다 지형적인 영향에 의한 오차발생 개연성이 높은 것으로 분석된다. 또한, 임상 및 수관밀도에 의한 오차발생은 침엽수림과 활엽수림, 수관밀도 “중”, “밀” 지역에서는 대부분 3~4m 내외의 오차범위를 보이고 있으나 혼효림에서는 11.006m의 평균오차가 발생하였다. 이는 임상이나 수관밀도에 따라 오차가 발생되기 보다는 산림의 수관층 발달정도에 따라 GPS 수신율에 영향을 주는 것으로 사료된다.

표 3. 환경 인자별 평균오차

구분	지형별			임상별			수관밀도	
	능선부	산복부	계곡부	침엽수	활엽수	혼효림	중	밀
평균거리오차 (m)	3.379	5.059	13.581	4.376	3.696	11.006	3.736	4.160

2) 기종별 오차발생

기종별 최소 평균오차는 능선부에서 Pro-XRS 후처리 보정 값이 1.371m로 가장 낮게 나타났으며, 최대 평균오차는 계곡부에서 60CS가 51.189m의 평균오차를 나타냈다.

표 4. 환경 인자별 평균오차

(단위:m)

기종	구 분	최소평균 거리오차	최대평균 거리오차	최종평균 거리오차
60CS	실시간보정 (WAAS)	6.812	51.189	17.681
Geo XM	실시간보정 (SBAS)	2.198	5.028	3.584
	후처리보정	2.905	5.327	3.621
Pro XRS	실시간보정 (Beacon)	1.505	4.835	2.598
	후처리보정	1.371	5.523	2.374

MSPA를 적용한 보전산지의 산림경관지역별 공간구조 비교

Analysing Spatial Structure of Reserve Forest Lands by Forest-Landscape-Regions Using Morphological Spatial Pattern Analysis

송정은^{1*}, 임채영¹, 문병훈¹, 김동민¹, 박미희¹, 정주상², 이천용¹

(¹한국산지보전협회 기획연구처, ²서울대학교 산림과학부)

1. 연구목적

산림청에서는 산지의 합리적 보전과 이용을 위해 「산지관리법」에 따라 전국의 산지를 보전산지와 준보전산지로 구분하여 산지에서의 행위제한, 산지매수, 산지전용 인.허가 등의 산지관리업무 전반에 적용하도록 규정하고 있다. 이 중 보전산지는 임업생산 기능과 함께 재해방지, 수원 보호, 생태계 보전, 국민보건휴양 등의 공익기능 증진을 위하여 필요한 산지로 무분별한 산지개발과 이용을 사전에 방지하는 주요 수단으로 활용되고 있다.

최근 경관생태학적 관점에서 산림의 연결성 확보가 주요 이슈로 대두됨에 따라 현재의 보전산지가 본래의 기능을 발휘할 수 있도록 분포하고 있는가에 대한 문제가 제기되고 있다. 즉, 보전산지 단순 면적 합보다 개별 조각(patch)의 규모, 다른 조각과의 연결 관계 등 공간구조(spatial structure)에 대한 중요성이 부각되고 있다.

따라서 본 연구에서는 형태학적 공간패턴 분석기법을 활용하여 우리나라 보전산지의 공간구조 및 지역별 분포패턴의 차이를 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

1) 산림경관지역별 보전산지 구획

보전산지의 공간구조 특성을 분석하기 위해서 전국의 산지구분도를 보전산지와 준보전산지로 구분하여 래스터 형태로 변환하였다. 또한 보전산지의 지역별 분포현황을 비교하기 위하여 래스터 변환된 산지구분도를 우리나라의 27개 산림경관지역별로 구분하여 공간분석에 활용하였다.

2) MSPA를 적용한 보전산지의 기능적 분류

형태학적 공간분석기법(Morphological Spatial Pattern Analysis; MSPA)은 경관조각의 구조를 해석하고 그 변화패턴을 분석하기 위한 경관분석모델이다. 그림 1에 제시된 바와 같이 MSPA는 입력된 래스터 자료를 중요지역(foreground)와 배후지역(background)의 2진법의 형태로 인식하여 중요지역의 경관구조를 분류하기 위한 분석 프로세스를 거쳐 경관해석 지도를 시각화 하여 결과자료로 제시한다.

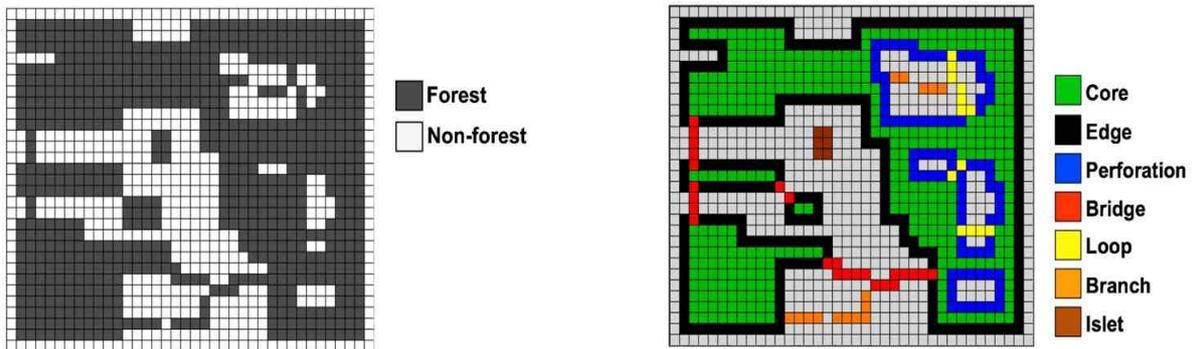


그림 1. MSPA의 산림경관구조 분석 프로세스. (좌) 산림과 비산림지역 구분, (우) 산림의 경관구조 분류 (Saura et. al., 2011)

본 연구에서는 MSPA를 활용하여 보전산지를 중요지역(foreground area), 준보전산지를 배후지역(background)으로 할당하고 다음과 같이 7개 기능별 구조 클래스로 분류하여 공간구조를 해석하였다.

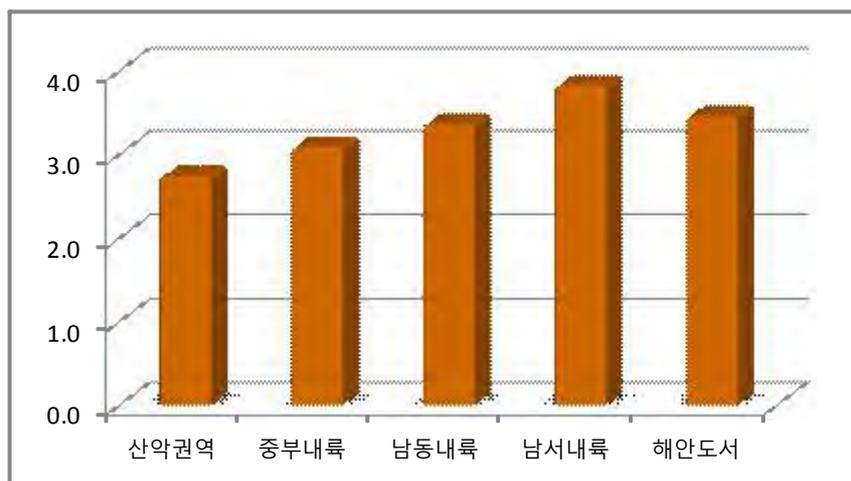
- 핵심지역(Core): 준보전산지와와의 거리가 가장자리와의 거리보다 먼 보전산지 조각
- 분리지역(Islet): 핵심지역으로 포함되기에 너무 작은 소규모로 분리된 보전산지 조각
- 다리(Bridge): 적어도 두 개의 서로 다른 핵심지역을 연결해주는 보전산지 조각
- 고리(Loop): 같은 핵심지역 내에서 서로 다른 부분을 연결해주는 보전산지 조각
- 가장자리(Edge): 핵심지역의 바깥쪽 경계를 둘러싼 보전산지 조각
- 천공(Perforation): 핵심지역의 내부 경계를 둘러싼 보전산지 조각
- Branch(가지): 위의 6개 클래스에 포함되지 않은 길쭉한 보전산지 조각

3. 결과 및 고찰

그림 2에 5개 산림경관권역별로 핵심지역과 분리지역으로 분류된 보전산지 패치의 평균면적을 비교하여 나타내었다. 핵심지역의 경우 산악지역이 많이 분포한 산악권역의 평균 면적이 256ha로 가장 컸으며 해안도서권역의 평균면적이 79ha로 가장 작았다. 반면, 분리지역 또는 다른 보전산지 패치와 분리되어 소규모로 분포하고 있는 분리지역 보전산지는 산악권역의 평균면적이 2.7ha로 가장 작았으며, 복잡한 해안선과 다수의 섬이 주로 분포하고 있는 남서내륙의 평균면적이 3.8ha로 가장 컸다.



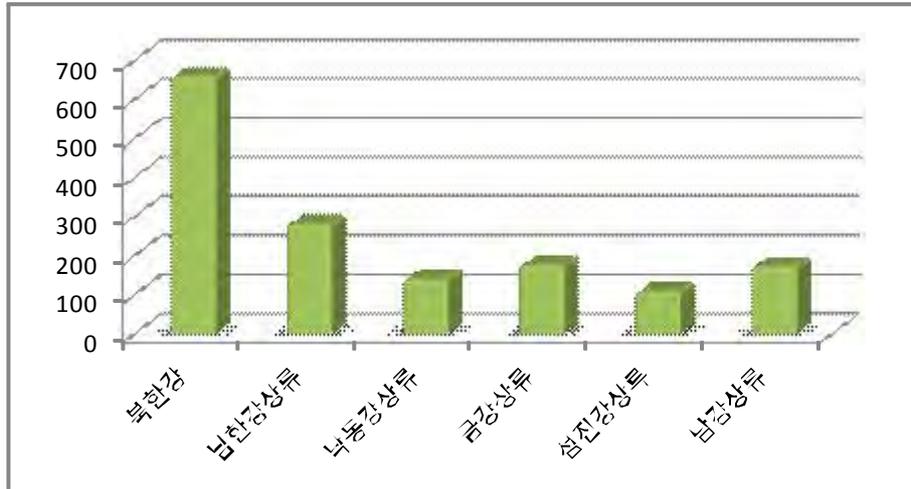
(a) 핵심지역



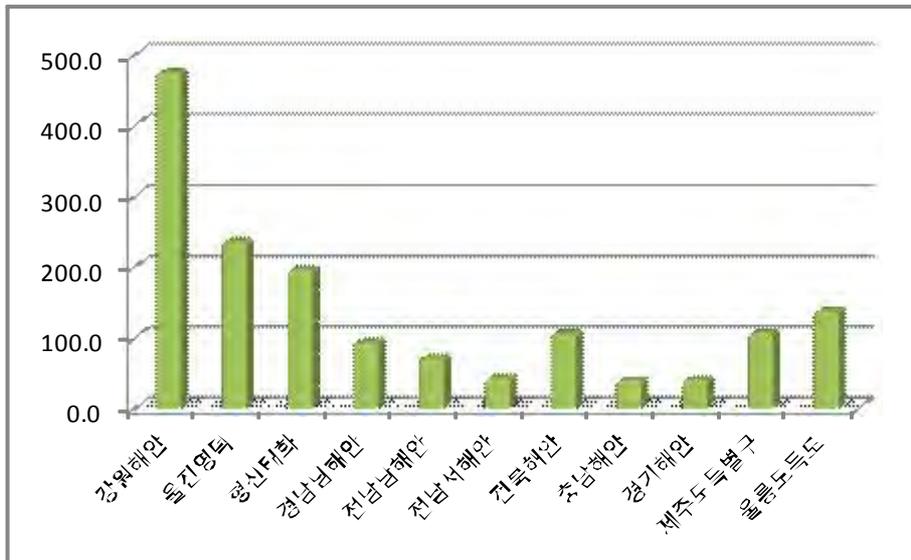
(b) 분리지역

그림 2. 5개 산림경관권역별 핵심지역과 분리지역 패치의 평균면적(ha)

그림 3에 산악권역과 해안도서권역의 산림경관지역 별로 핵심지역의 평균면적을 비교하여 나타내었다. 산악권역의 경우 강원도의 중심부에 위치한 북한강 지역의 평균면적이 659ha로 가장 컸으며, 섬진강상류 지역의 평균면적이 172ha로 가장 작았다. 또한 해안도서권역의 경우 강원해안 지역의 평균면적이 475ha로 가장 컸으며, 충남해안 지역의 평균면적이 39ha로 가장 작았다. 즉, 동일한 산악권역 내에서도 입지특성에 따라 핵심지역으로 분류된 보전산지의 평균면적의 차이가 있음을 알 수 있었다.



(a) 산악권역



(b) 해안도서권역

그림 3. 산악권역과 해안도서 권역의 핵심지역 패치의 평균면적 비교

표 1에 27개 산림경관지역별 보전산지 구조 클래스의 분석결과를 정리하였다. 천공으로 분류된 보전산지는 연속된 보전산지 패치에 소규모의 준보전산지가 섬처럼 존재하고 있는 것으로 해석할 수 있으며 다리로 분류된 보전산지는 핵심지역과 핵심지역의 연결다리 기능을 하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 본 연구에서 분류한 보전산지의 형태학적 공간구조는 현재 보전산지의 기능을 평가하기 위한 객관적인 분석지표로서 활용될 수 있음을 알 수 있다. 본 연구결과는 향후 지역별 보전산지 관리방안을 수립하는데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 산림경관지역별 보전산지 구조 클래스 분석 결과

산림경관권역	27개 산림경관지역	구분	핵심지역	분리지역	천공	가장자리	고리	다리	가지	합계
산악권역	북한강	면적(ha)	466,288.5	209.9	26,074.0	9,181.0	14,427.2	6,348.0	2,098.5	524,627
		빈도	708	126	5,340	2,208	2,613	887	1,343	13,225
	남한강상류	면적(ha)	324,235.4	313.7	17,019.6	24,039.2	13,098.0	10,078.4	3,372.6	392,157
		빈도	1,154	117	3,540	5,111	3,026	2,056	1,992	16,996
	낙동강상류	면적(ha)	425,393.3	391.6	24,332.2	51,013.6	24,835.6	27,017.1	6,376.7	559,360
		빈도	3,048	101	5,268	12,461	6,024	5,414	3,986	36,302
	금강상류	면적(ha)	237,838.1	328.6	12,756.8	23,243.1	11,382.5	10,336.9	2,868.0	298,754
		빈도	1,351	121	2,778	5,177	2,688	1,953	1,753	15,821
	섬진강상류	면적(ha)	87,046.1	201.0	2,128.3	15,926.5	4,232.9	6,373.0	2,329.3	118,237
		빈도	804	68	405	3,197	1,302	1,315	1,317	8,408
	남강상류	면적(ha)	101,159.2	88.8	2,969.7	13,680.8	4,327.6	3,312.3	1,370.6	126,909
		빈도	587	35	685	2,703	1,301	922	849	7,082
중부내륙	임진강	면적(ha)	127,337.7	587.9	2,660.9	14,171.0	4,347.2	3,465.4	2,134.9	154,705
		빈도	861	144	654	2,935	1,441	891	1,135	8,061
	남한강하류	면적(ha)	220,461.2	817.2	7,500.5	34,613.1	11,031.8	12,520.2	4,903.0	291,847
		빈도	1,693	257	1,621	7,091	3,104	2,879	2,616	19,261
	한강하류	면적(ha)	97,764.9	373.3	1,276.4	11,776.6	3,058.5	4,334.9	1,830.3	120,415
		빈도	1,154	123	274	2,591	1,049	1,064	989	7,244
남동내륙	낙동강중류	면적(ha)	218,695.4	335.7	10,966.9	26,466.1	11,638.4	8,309.1	3,357.2	279,769
		빈도	1,216	92	2,367	5,475	3,015	1,873	1,908	15,946
	낙동강하류	면적(ha)	235,639.9	342.6	7,756.0	40,275.3	12,272.6	10,279.1	4,921.5	311,487
		빈도	1,451	110	1,477	7,349	3,816	2,578	2,687	19,468
남서내륙	금강하류	면적(ha)	63,570.9	226.2	2,210.2	19,202.9	4,821.3	10,187.4	2,580.3	102,799
		빈도	1,069	50	432	4,223	1,412	2,084	1,475	10,745
	충남내륙	면적(ha)	46,102.0	151.5	1,363.3	9,615.6	2,680.5	4,919.7	1,027.4	65,860
		빈도	826	38	308	2,476	855	1,187	641	6,331
	호남평야	면적(ha)	73,475.0	191.8	3,041.3	7,927.4	3,242.2	2,420.2	1,032.0	91,330
		빈도	455	78	569	1,724	892	572	599	4,889
	영산강	면적(ha)	111,019.1	284.8	4,997.8	13,441.3	5,197.1	5,510.4	1,936.5	142,387
		빈도	1,198	59	1,136	2,987	1,476	1,249	1,055	9,160
	섬진강하류	면적(ha)	111,241.1	261.1	3,306.8	16,693.4	5,670.8	5,569.3	2,291.5	145,034
		빈도	658	69	684	3,452	1,626	1,304	1,315	9,108
해안도시	강원해안	면적(ha)	240,504.5	294.9	9,089.3	8,526.2	5,845.0	2,574.0	1,287.0	268,121
		빈도	506	173	1,913	1,822	1,276	580	761	7,031
	울진영덕	면적(ha)	107,676.5	90.4	5,073.4	6,751.6	4,053.5	4,518.3	929.5	129,093
		빈도	456	32	1,041	1,854	853	838	603	5,677
	형산태화	면적(ha)	146,491.8	368.9	4,648.2	17,541.4	6,824.7	6,050.0	2,527.0	184,452
		빈도	746	121	952	3,504	1,823	1,279	1,327	9,752
	경남남해안	면적(ha)	119,744.7	314.6	2,277.1	16,089.8	4,509.3	5,018.7	1,857.7	149,812
		빈도	1,277	130	545	3,368	1,507	1,310	1,091	9,228
	전남남해안	면적(ha)	116,031.3	392.3	3,032.8	17,246.3	5,854.4	6,337.2	1,991.7	150,886
		빈도	1,614	144	642	4,135	1,823	1,814	1,188	11,360
	전남서해안	면적(ha)	52,487.4	987.5	541.5	14,095.4	3,217.3	5,574.5	2,731.5	79,635
		빈도	1,206	184	103	2,818	1,064	1,403	1,310	8,088
	전북해안	면적(ha)	36,381.7	77.7	356.3	5,663.9	1,361.2	1,110.0	726.3	45,677
		빈도	342	37	69	1,115	499	333	407	2,802
	충남해안	면적(ha)	70,462.9	823.2	1,705.1	23,789.5	5,562.2	10,948.1	4,304.0	117,595
		빈도	1,770	147	348	4,934	1,656	2,430	2,193	13,478
	경기해안	면적(ha)	40,047.7	629.8	770.4	7,922.9	2,181.8	2,935.3	1,743.2	56,231
		빈도	977	209	173	1,757	708	700	834	5,358
	제주도특별구	면적(ha)	28,107.2	236.5	0	1,858.0	214.7	280.1	426.4	31,123
		빈도	263	89	0	274	75	98	178	977
울릉도독도	면적(ha)	4,299.3	2.0	226.4	146.3	141.4	111.7	16.8	4,944	
	빈도	31	1	55	57	37	27	15	223	

Bootstrap 기법을 이용한 산림자원조사 표본 크기의 적절성 평가

Adequacy Assessment of Sampling Size in Forest Inventory Survey with a Bootstrap Approach

설아라^{1*}, 정주상¹, 원현규², 이영진³, 김성용³, 최정기⁴, 한 희¹, 정혜진¹
(¹서울대학교 산림과학부, ²국립산림과학원, ³공주대학교, ⁴강원대학교)

1. 연구목적

산림자원조사는 조사방법에 따라 크게 전수조사와 표본조사로 구분된다. 목적에 따라 전수조사가 수행되기도 하지만, 많은 경우 인력·예산 등의 현실적인 어려움으로 인하여 모든 산림(모집단) 지역을 조사하기 보다는 표본조사로 대체·수행된다. 이러한 표본조사 수행 시, 표본의 크기는 조사결과와 정확성과 직접적으로 연계되어 중요성을 가지며, 해당 모집단을 제대로 반영할 수 있는 적절한 크기로 설정되어야 한다. 현재 일반적으로 이용되고 있는 임의추출법, 층화추출법, 계통추출법 등과 같은 표본조사법에서도 표본크기 결정을 위한 알고리즘을 제공한다. 하지만 모수적 통계분석을 기반으로 하는 이러한 알고리즘들은 산림자원조사 수행 시 의도적·비의도적인 이유로 적은 수의 표본이 수집된 경우, 표본의 모집단 대표성 및 모수추정의 신뢰성에 문제가 제기되기도 한다(심준섭, 2004). 최근 이러한 문제에 대한 해결방안의 하나로 소표본에서도 관심모수를 비교적 정확하게 추론할 수 있는 비모수적 통계 시뮬레이션 기법의 하나인 붓스트랩 방법이 제시되어(Efron, 1981) 큰 관심을 받고 있다. 본 연구에서는 보다 정확한 산림자원조사를 위하여 붓스트랩 기법을 적용하여 표본크기에 따른 모집단 추정정도와 그 적절성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

지속가능한 산림경영을 표방하며 체계적인 산림자원조사를 수행하고자하는 강원도 홍천군 매화산 특별경영계획구를 대상으로 하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이, 전차기 산림조사부에 나타난 566개의 소반을 모집단으로 상정하고, 이에 대해 일반적인 표본추출법의 하나인 층화추출법과 통계적 시뮬레이션 기법 중의 하나인 붓스트랩 방법(표 1)을 적용하여 각각의 표본크기를 추정, 비교분석하였다. 특히 붓스트랩 방법의 경우 각 과정 당 1,000번의 반복을 수행하였으며, 표본크기가 변화할 때 추정된 각 모집단의 특성을 고찰하며 표본크기의 적절성을 살펴보았다.

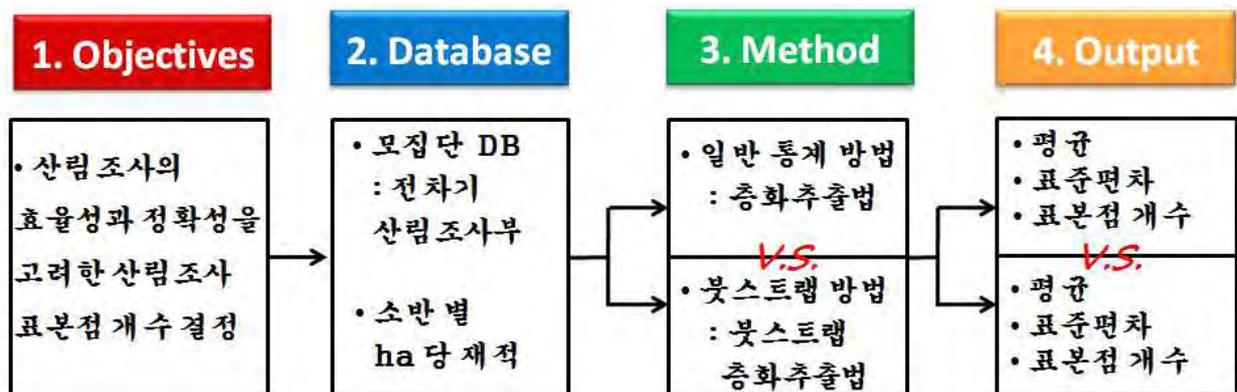


그림 1. 표본크기 적절성 분석체계

표 1. 층화추출법에서의 붓스트랩 시뮬레이션 알고리즘(허태영 등, 2012)

[단계 1]
• h 번째 층에서의 확률표본 $X_{hnh} = (X_{hn1}, X_{hn2}, \dots, X_{hnh})$ 으로부터 복원추출로 같은 크기 n_h 의 독립적인 붓스트랩 표본 $X_{*hnh} = (X_{*hnh1}, X_{*hnh2}, \dots, X_{*hnhn_h})$ 를 얻는다.
[단계 2]
• (단계1)의 붓스트랩 표본으로부터 평균 \bar{X}_h^* 와 분산 s_h^{*2} ($h = 1, 2, \dots, L$)을 다음과 같이 계산한다.
$\bar{X}_h^* = \frac{1}{n_h} \sum_{j=1}^{n_h} X_{*hj}^*, \quad s_h^{*2} = \frac{1}{n_h - 1} \sum_{j=1}^{n_h} (X_{*hj}^* - \bar{X}_h^*)^2.$
[단계 3]
• (단계2)의 평균 \bar{X}_h^* 와 분산 s_h^{*2} ($h = 1, 2, \dots, L$)로부터 전체 모평균 μ 에 대한 붓스트랩 평균 \bar{X}_{st}^* 와 분산 $\hat{\sigma}_{st}^{*2}$ 를 다음과 같이 계산한다.
$\hat{\mu}_{st}^* = \bar{X}_{st}^* = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N} \right) \bar{X}_h^*, \quad \hat{\sigma}_{st}^{*2} = \sum_{h=1}^L \left(\frac{N_h}{N} \right)^2 \left(\frac{N_h - n_h}{N_h} \right) \frac{s_h^{*2}}{n_h}.$
[단계 4]
• 이와 같은 과정을 적당한 크기 B 회 반복하여 층별 붓스트랩 추정량들인 $\bar{X}_{*h}^*(i)$ ($h = 1, 2, \dots, L$)와 모평균 μ 의 붓스트랩 추정량 $\bar{X}_{st}^*(i)$ ($i = 1, 2, \dots, B$)를 구하여 붓스트랩 추론에 사용한다.

3. 연구결과 및 고찰

1) 일반 통계방법에 의한 표본크기

매화산경영특별계획구의 대표적인 수종인 6개 수종에 대하여 일반적인 통계방법 중 하나인 층화추출법을 적용하여 조사표본점의 수를 선정하였다. 앞서 언급한 바와 같이 전차기 산림조사부 자료에 나타난 소반들을 모집단으로 가정하였으며, 표 2는 이에 대한 수종 별 소반 수, 평균 ha당 재적, 표준편차 등을 보여주고 있다. 층화추출 결과, 총 94개의 표본점을 조사해야하는 것으로 나타났으며, 그 중 가장 많은 소반을 점유하고 있는 낙엽송이 41개, 그 다음으로 잣나무가 29개의 조사표본점으로 선정되었다. 활엽수의 경우 113개 소반에서 대표수종으로 나타났으나 조사효율과 비용을 고려하여 11개의 비교적 적은 표본점에 대해 조사를 수행하도록 선정되었으며, 소나무의 경우에도 타 수종들에 비해 ha당 재적 변이(표준편차)가 적어 소반 수에 비하여 적은 수의 표본점 조사로도 전체 임상을 추정할 수 있는 것으로 나타났다.

표 2. 대표 수종(층: Strata) 별 모집단 통계량 및 층화추출 표본점 수

구분	수종	소반 수 (N_i)	면적 (ha)	평균 ¹⁾ ha당 재적 (m^3)	ha당 재적의 표준편차 ²⁾ (m^3)	비용 가중치 (C_i)	표본점 개수 (n_i)
S ₁	소나무 (<i>Pinus desiflora</i>)	66	2,161	86.6	22.6	1	6
S ₂	리기다소나무 (<i>Pinus rigida</i>)	15	84	95.3	49.5	1	3
S ₃	잣나무 (<i>Pinus loraiensis</i>)	153	1,489	56.9	45.9	1	29
S ₄	스트로브잣나무 (<i>Pinus strobus</i>)	17	130	64.8	63.2	1	4
S ₅	낙엽송 (<i>Larix kaempferi</i>)	180	1,361	94.0	54.4	1	41
S ₆	활엽수 (<i>Deciduous trees</i>)	113	1,667	59.8	33.7	2	11
총 표본점 수							94

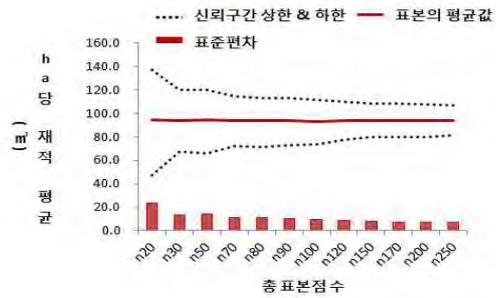
1) 모집단의 평균, 2) 모집단의 표준편차를 의미함.

2) 붓스트랩 시뮬레이션 방법에 의한 표본크기

앞에서 제시된 94개 조사표본점 수에 대한 적절성 판단하기 위하여, 붓스트랩 기법을 이용하여 총 표본점의 수를 최소 20개부터 최대 250개까지 변화시키며 각 수종(층) 별 조사표본점의 수, ha당 재적평균 및 표준편차를 추정하였다(그림2, 3, 4). 아래의 그림에서 나타난바와 같이 붓스트랩 시뮬레이션 결과, 대부분의 수종에서 ha당 재적 평균값을 추정하는데 50~70개의 표본점 조사만으로도 모집단의 특성을 신뢰성 있게 추정할 수 있는 것으로 나타났으며, 이는 앞의 일반적인 통계추정방법에 의해 도출된 조사표본점 94개 또한 수종 별 특성을 파악하는데 충분함을 시사하고 있다.

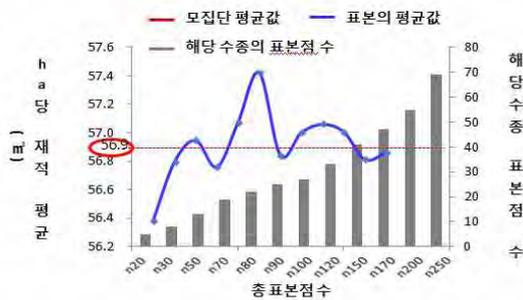


2-1. 평균값 추이

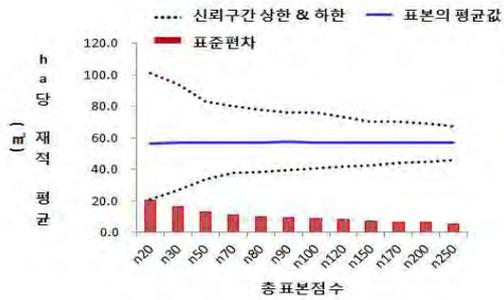


2-2. 표준편차와 신뢰구간

그림 2. 붓스트래핑 결과 : 낙엽송



3-1. 평균값 추이

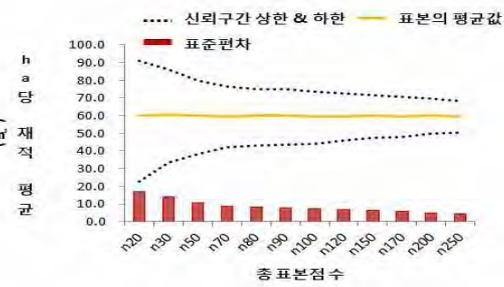


3-2. 표준편차와 신뢰구간

그림 3. 붓스트래핑 결과 : 잣나무



4-1. 평균값 추이



4-2. 표준편차와 신뢰구간

그림 4. 붓스트래핑 결과 : 활엽수

참고문헌

심준섭. 2004. 부스트래핑(bootstrapping) 기법을 활용한 회귀분석. 정책분석평가학회보 14(2): 167-183.
 허태영, 이두리, 조중재. 2012. 층화모집단 평균에 대한 붓스트랩 추론. 한국통계학회 19(3): 404-414.
 Efron, B. 1981. Nonparametric estimates of statnd error; the jack-knife, the bootstrap, and other method. *Biometrika* 68, pp. 589-599.

잣나무와 소나무 원판의 중량 변화에 관한 연구*

A Study on Weight Change using Wood Disks of *Pinus koraiensis* and *Pinus densiflora*

이대성¹, Safa Balekoglu², 최정기¹

(¹강원대학교, ²Istanbul University)

1. 연구목적

잣나무(*Pinus koraiensis*)는 우리나라를 대표하는 주요 조림수종 중의 하나로서 해발고가 높고, 추운 곳에서 잘 자라는 한대성 수종으로 알려져 있으며, 목재 생산과 잣 종자 생산이라는 효용성으로 식재가 장려되는 주요 경제수종의 하나이다. 소나무(*Pinus densiflora*) 또한 경제적으로 높은 가치를 가지고 있는 것으로 평가되고 있어 전국 각지에서 주요 조림수종으로 식재되어 왔다.

임목의 재적, 바이오매스(건중량) 및 임분 단위의 성장정보는 산림 경영에서 중요한 요소이며 이 요소들의 사용은 필수적이다. 특히, 임목의 중량은 수간의 탄소저장량이나 물질생산량을 평가할 때 사용될 수 있기 때문에 탄소의 가치에 대한 논의가 진행될 경우, 임목중량의 활용은 증가할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 잣나무와 소나무의 원판이 생중량에서 건중량으로 변해가는 과정을 알고자 실시하였다.

2. 연구방법

1) 연구자료

연구 자료는 강원도 및 경기도 지역의 잣나무림 16지역과 소나무림 8지역의 영구고정표준지에서 수간석해를 위해 채취한 원판들이다. 원판들의 채취 방법은 각각 1그루의 우세목을 별도로 한 후, 일정 간격으로 원판을 채취하였다. 첫 번째 원판(0판)을 근주 0.2m에서 별도로 하고 두 번째 원판(1판)은 첫 번째 별도지점으로 부터 1m 길이에서 별도로 하였다. 이후 2m 간격으로 별도로 하여 원판(2, 3, 4 ... n판)을 채취하였으며, 초두부 근처에서는 1m 길이로 별도로 하여 원판을 채취하였다. 채취한 잣나무와 소나무 원판들의 중량이 본 연구의 자료로 이용되었다.

2) 연구방법

각 원판들의 중량을 매 주 같은 날짜에 측정을 하여 변화 양상을 확인하였다. 저울은 1눈금 50g, 정도 1/200, 사용범위 최대 10kg의 일반 저울을 이용하였으며, 600g 이하의 원판은 전자저울을 이용하여 정밀 측정하였다. 자를 이용하여 각 원판의 높이를 구한 후, 높이가 다른 원판들의 중량 척도를 구하기 위하여 1cm에 대한 중량 값(단위 중량)으로 일치시켰다. 단위 중량에 원판과 원판 사이의 길이를 곱하여 원판들 사이의 중량 값을 추정하였다. 원판 사이의 중량들을 모두 합하여 임목의 총 중량을 산출하였다.

$$\text{단위 중량} = \frac{\text{원판의 중량}}{\text{원판의 높이}}$$

원판 사이의 중량(kg) = {원판 n번째의 단위 중량 + (n+1)번째의 단위 중량 ÷ 2} × 원판사이의 길이
단일 임목의 총 중량(kg) = 모든 원판사이의 중량들의 합

* 본 연구는 2012년 북부지방산림청과 동부지방산림청의 ‘기후변화 대응 주요 수종의 지속가능한 산림자원 장기 모니터링’ 연구용역 지원에 의하여 수행되었음.

3. 결과 및 고찰

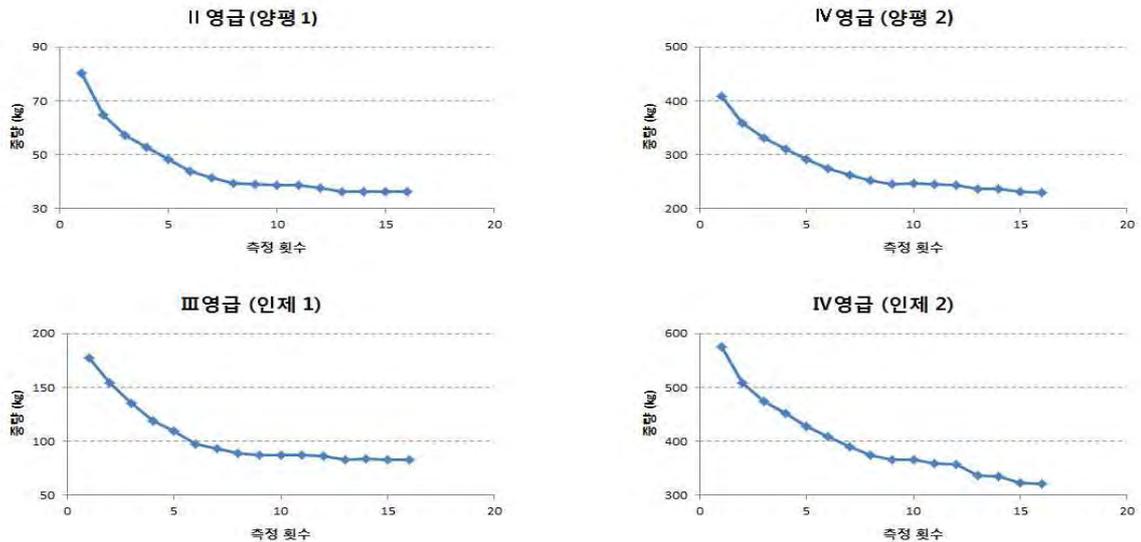
1) 임목제원현황

중량 측정에 사용된 잣나무와 소나무의 지역 및 임령 등 임목제원현황은 다음과 같다.

표 1. 임목제원현황

수종	지역	임령	흉고직경(cm)	수고(m)	원판개수	
잣나무	양평 1	16	15.8	9.3	6	
	양평 2	39	28.0	18.7	11	
	인제 1	26	21.2	12.5	7	
	인제 2	38	32.8	19.5	11	
	인제 3	69	40.9	22.1	12	
	춘천 1	37	34.5	18.1	10	
	춘천 2	37	29.3	19.3	10	
	춘천 3	38	24.6	18.4	10	
	춘천 4	52	30.8	20.9	11	
	춘천 5	76	44.4	23.5	13	
	홍천 1	29	19.7	11.4	7	
	홍천 2	32	27.3	17.5	9	
	홍천 3	38	26.5	16.3	8	
	홍천 4	52	32.3	20.8	11	
	홍천 5	52	35.0	20.2	11	
	홍천 6	77	43.4	24.0	13	
	소나무	강릉 1	34	26.9	17.6	10
		강릉 2	99	45.4	18.2	10
삼척 1		44	37.2	16.5	9	
삼척 2		61	37.9	20.4	11	
양양 1		41	23.7	9.6	6	
양양 2		87	47.3	19.6	11	
정선 1		48	32.7	19.6	11	
정선 2		56	39.6	21.7	12	

2) 영급에 따른 잣나무 중량 분석



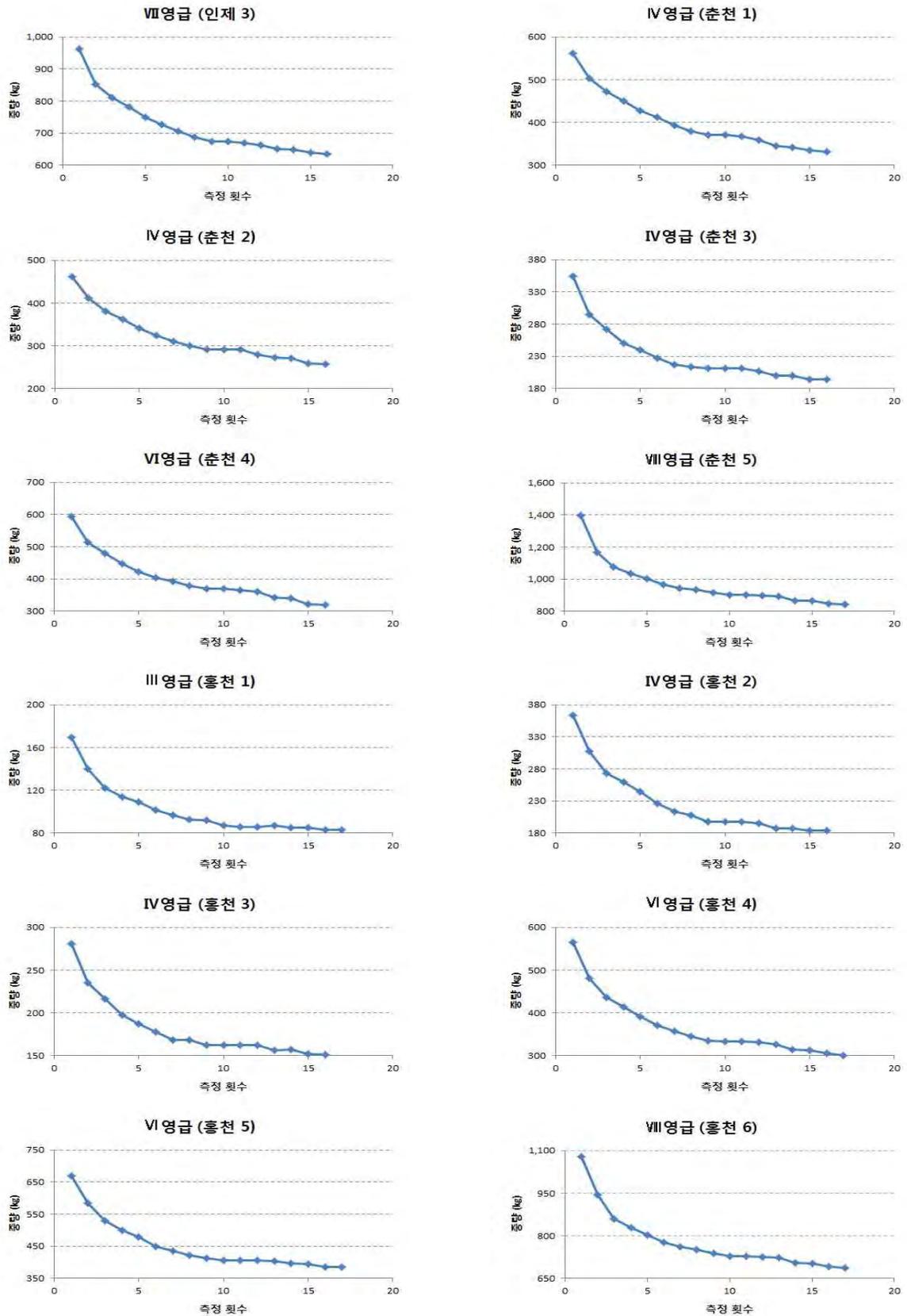


그림 1. 잣나무 임목별 증량 변화

잣나무의 생증량을 산림청에서 제시한 증량표와 비교한 결과, VIII등급(홍천6)은 1409.9kg(증량표)로 1077.1kg(측정값)보다 다소 높았지만, II등급(양평1)은 86.4kg와 80.4kg, IV등급(양평2)은 489.4kg와

407.6kg, VII영급(인제3)은 1089.2kg와 962.6kg, VI영급(춘천4)은 610.5kg와 593.4kg으로 대체로 비슷한 중량 값을 나타냈다.

잣나무의 건중량을 산림청에서 제시한 중량표와 비교한 결과, VIII영급(홍천6)은 644.6kg(중량표)와 686.3kg(측정값), VI영급(홍천5)은 366.3kg와 385.2kg, IV영급(춘천1)은 294.1kg와 331.7kg, IV영급(춘천2)은 248.3kg와 257.2kg, IV영급(홍천2)은 206.4kg와 183.7kg으로 측정값이 건중량 값에 거의 도달한 것으로 사료된다.

3) 영급에 따른 소나무 중량 분석

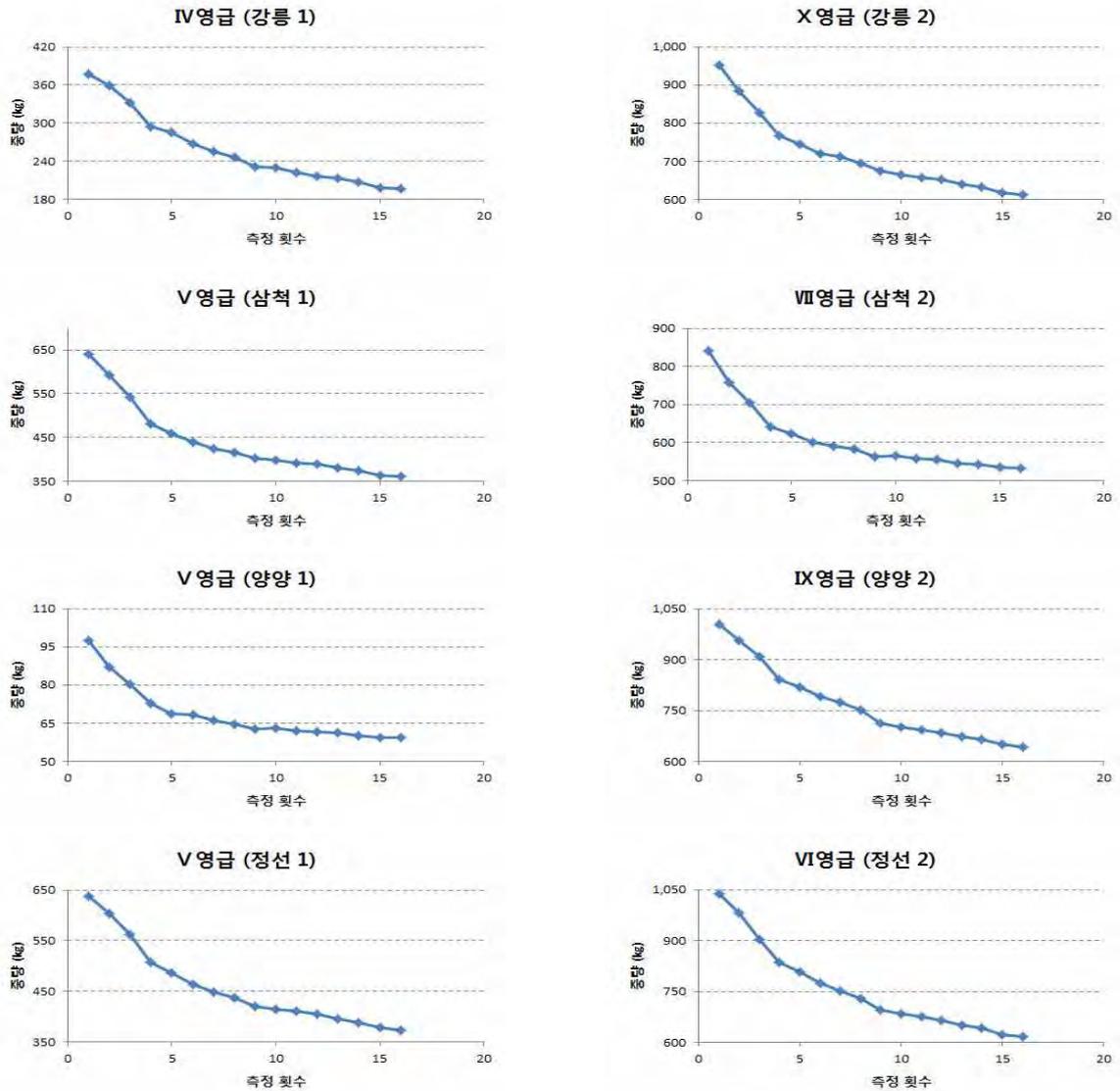


그림 2. 소나무 임목별 중량 변화

소나무의 생중량을 산림청에서 제시한 중량표와 비교한 결과, VII영급(삼척2)은 828.5kg(중량표)와 841.7kg(측정값), V영급(정선1)은 629.8kg와 638.6kg, IV영급(강릉1)은 395.3kg와 376.8kg, IX영급(양양2)은 1201.2kg와 1359.0kg으로 비슷한 생중량 값이 나타났다.

소나무의 건중량을 산림청에서 제시한 중량표와 비교한 결과, VII영급(삼척2)은 384.3kg(중량표)와 534.1kg(측정값), VI영급(정선2)은 473.4kg와 617.9kg, X영급(강릉2)은 462.5kg와 612.7kg, V영급(양양1)은 73kg와 103.2kg으로 측정값이 아직 중량표의 건중량 값에 도달하지 못한 것으로 사료된다.

미래 기후변화 시나리오에 따른 우리나라 소나무의 탄소 저장량 및 흡수량 추정

Estimating *Pinus densiflora*'s Carbon Storage and Sequestration based on Climate Change Scenario in Korea

김문일^{1*}, 이우균¹, 남기준¹, Hangnan Yu¹

(¹고려대학교 생명과학대학 환경생태 공학부)

1. 연구목적

우리나라는 국토면적의 약 65%가 산림으로써(산림청, 2011), 과거부터 산림자원의 관리와 경영이 매우 중요하게 인식되고 있다. 최근 기후변화가 산림에 미치는 영향에 대한 연구가 함께 진행되면서 미래 기후에 따른 수종분포변화 및 성장패턴변화에 관한 연구가 다양하게 이루어지고 있다(변재균 등, 2011). 임목은 일반적으로 임령이 증가할수록 성장량이 감소하며, 탄소흡수 능력이 감소하게 되므로 숲가꾸기와 같은 적절한 산림 시업을 통해 성장률과 산림의 가치를 유지시킬 필요가 있다. 또한, 주변 입지와 환경이 좋지 않아 산림으로써의 가치가 낮은 지역도 간벌과 개벌 등을 통한 효율적인 관리가 필요하다. 본 연구에서는 우리나라 주요 수종인 소나무를 대상으로, 미래 기후변화 시나리오에 따른 탄소저장량과 흡수량의 변화를 시·공간 적으로 예측하여 산림관리 및 계획을 지원하기 위해 수행되었다.

2. 재료 및 방법

1) 연구재료

본 연구는 우리나라 전국의 소나무림을 대상으로 실시되었으며, 전국 소나무림은 4차 임상도의 임상정보로부터 추출하였다. 4차 임상도의 정보는 1996년부터 2005년 사이에 조사된 자료로 구축되어 있다. 따라서 본 연구에서는 영급, 경급, 소묘도 등의 정보를 4차 임상도가 제작된 시기의 중간 값인 2000년의 값으로 고려하여 연구를 진행하였다. 미래 임목자원의 변화를 추정하기 위해 5차 국가산림자원조사에서 획득한 소나무 목편자료를 기반으로 성장모형을 구축하였으며, 기후변화의 영향을 고려하기 위해 임령, 지형, 크기(Size) 등과 같은 전통적 요인 외에 연평균 온도와 강수량도 고려하였다. 과거 기상자료는 기상청에서 제공하는 일별 자료를 기반으로 구축하였으며, 미래 기상자료는 RCP 8.5 시나리오 자료를 사용하였다.

2) 방법

임목의 재적과 성장량은 각각 탄소 저장량(Storage)과 흡수량(Sequestration)으로 전환될 수 있다. 특정 시기의 임목 재적은 흉고직경(DBH)과 수고(Height)로부터 산출할 수 있으며, 임분 단위의 재적은 면적과 단위 면적당 분수(N/ha) 정보를 통해 얻어진다. Kwak *et al.*(2012)은 국가산림자원 조사 자료와 임상도 자료를 융합하여, 전국의 산림축적 변화를 예측한 바 있다. 목편자료를 기반으로 DBH 성장모형을 구축하였으며, DBH를 기반으로 수고와 밀도를 추정하는 모형을 개발하였다. 또한, 임상도의 영급, 경급, 소묘도로부터 임령, 임분 평균 직경, 임분밀도를 산출한 뒤 성장모형을 적용하여 임목 축적을 수종별로 시·공간적으로 예측하였다. 본 연구에서는 Kwak *et al.*(2012)의 연구 방법을 적용하되, 기후변화가 소나무의 성장에 미치는 영향을 고려하기 위해 Kim *et al.*(2013)이 고안한 직경성장모형을 적용하였다. Kim *et al.*(2013)은 목편자료의 연년생장량을 분석하여, 온도, 강수량, 지형인자가 소나무와 참나무의 성장에 어떠한 영향을 미치는지 분석하여 직경성장모형을 구축하였다. 본 연구에서 적용한 성장모형은 표 1과 같다.

표 1. 본 연구에서 적용한 성장 모형(Kwak et al. 2012; Kim et al. 2013)

No.	Function Name	No. of Coefficients	Function
1	Power	2	$\Delta r_{i+1} = \Delta r_i \cdot \left(\frac{age_{i+1}}{age_i} \right)^b \cdot \left(\frac{eSG}{meSG} \right)$ $eSG = \alpha + \beta \cdot TWI + \gamma \cdot T + \delta \cdot P$
2	Power	2	$Nha = \alpha \cdot DBH^\beta$
3	Michailow	2	$H = 1.2 + \alpha \cdot e^{\beta/DBH}$

임목의 재적은 직경과 수고로부터 산출되며(식 1), 산출된 재적에 목재기본밀도(BWD), 바이오매스 확장계수(BEF), 뿌리-줄기비율(RSR), 탄소전환계수(CF)를 곱하여 산림 탄소저장량을 산출 할 수 있다(식 2). 식 1과 식 2에 대한 소나무의 계수는 표 2와 같다(국립산림과학원, 2010).

$$V = \alpha \cdot DBH^\beta \cdot H^\gamma \tag{1}$$

$$C = V \cdot BWD \cdot BEF \cdot (1 + RSR) \cdot CF \tag{2}$$

표 2. 산림재적과 탄소저장량 산출에 사용된 계수

Species	α	β	γ	BWD	BEF	RSR	CF
<i>Pinus densiflora</i>	0.000201	1.7593	0.6583	0.47	1.4	0.25	0.5

3. 결과 및 고찰

성장모형을 임상도에 연계하여 2000년 소나무의 임목축적을 산출해 본 결과, 2000년과 2010년 각각 68.67, 142.19m³/ha로 추정되었다. 2010년 산림통계연보(산림청, 2010)에 따르면 2000년과 2010년 소나무의 축적은 64.52, 144.42m³/ha로 본 연구에서 고안한 성장모형의 정확도가 매우 높으며, 소나무의 일반적인 성장 특성을 잘 반영했다고 할 수 있다. 본 모형에 따르면 2030년에는 단위면적당 임목 축적이 191.23m³/ha으로 증가하는 것으로 나타났으며, 2050년에는 220.66m³/ha까지 높아지는 것으로 나타났다(그림 1).

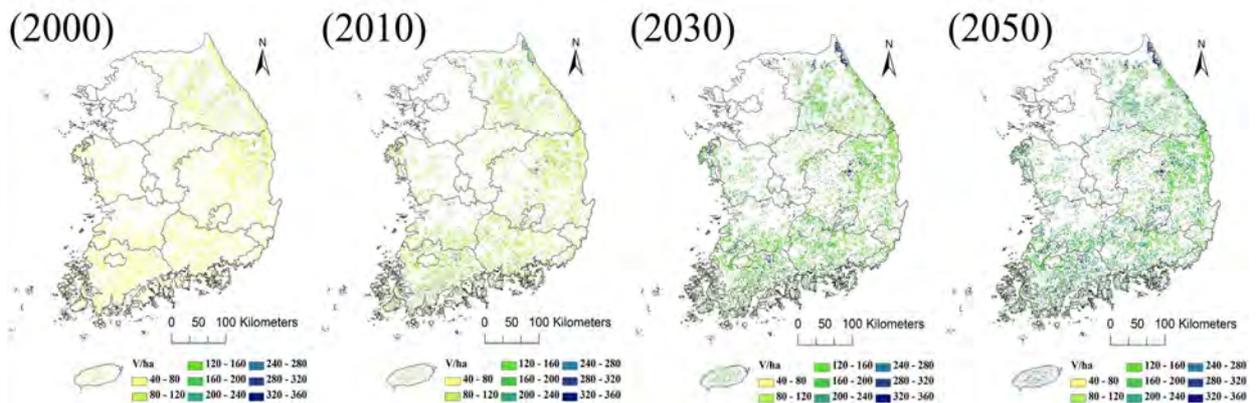


그림 1. 소나무 임분의 시기별 단위면적당 임목 축적량(m³/ha)

위의 결과를 연평균 증가량으로 살펴보면, 2000-2010년 기간에는 1년에 7.25m³/ha가 증가하였으며, 2010-2030년과 2030-2050년 기간에는 각각 2.50, 1.47m³/ha가 증가할 것으로 예측되었다. 이러한 재적 증가량은 일본, 독일 등과 비교해 보았을 때, 현실적으로 충분이 가능한 결과라고 사료된다(산림청, 2010). 산림 재적변화에 따른 탄소 저장량을 살펴보면, 2000년에 ha당 34.29Cton에서 2010년에는 58.07, 2030년에는 78.64, 2050년에는 90.75Cton으로 증가하는 것으로 예측되었다. 그림 2는 연평균 탄소흡수량의 변화를 보여준다. 예측된 미래 탄소흡수량을 보면 2000-2010년 시기에 비해 현격히 감소하는 것을 확인할 수 있다(그림 2). 특히 2030-2050년에는 전국 소나무림의 대부분이 연평균 1.2Cton/ha 미만의 탄소를 흡수하는 것으로 예측되었다. 이는 전국 대부분의 소나무림이 노령림으로 전환되어 산림 생산량이 저하되고, 그에 따라 산림의 중요한 기능 중 하나인 탄소흡수 기능을 거의 상실하게 됨을 뜻한다. 따라서 산림의 가치와 기능 유지를 위해 숲가꾸기와 같은 적절한 산림관리 방안이 필요함을 요구된다.

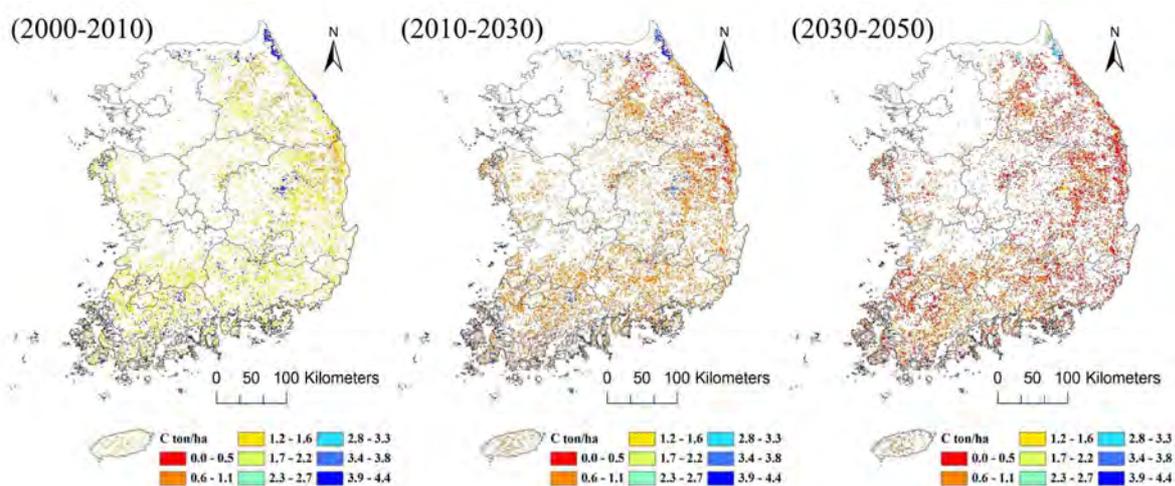


그림 2. 소나무 임분의 시기별 탄소 흡수량(Cton/ha/year)

참고문헌

- 국립산림과학원. 2010. 산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소배출계수
 변재균, 이우균, 노대균, 김성호, 최정기, 이영진. 2010. 중부지방 소나무와 참나무류의 반경생장량과
 지형, 기후 인자의 관계. 한국임학회지 99(6): 908-913.
 산림청. 2010. 임업통계 연보
 산림청. 2005. 임업통계 연보
 Kwak, D.A., Lee, W.K., Son, Y., Choi, S., Yoo, S., Chung, D.J., Lee, S.H., Kim, S.H., Choi, J.K., Lee,
 Y.J., Byun, W.H. 2012. Predicting distributional change of forest cover and volume in future climate of
 South Korea. Forest Science and Technology 8(2): 105-115.

사사

이 논문은 2012년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원(위성기반 탄소지도 시스템 개발)
 과 2013년 국립산림과학원 연구사업(기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응연구)의 지원을
 받아 수행된 연구임.

산림시업지 내에서의 기후변화에 따른 수종 및 재적변화 예측

Estimating Forest Volume and Forest Cover according to Climate Change in Forest Practice Area

남기준^{1*}, 이우균¹, 곽두안², 김문일¹, 곽한빈²

(¹고려대학교 생명과학대학 환경생태공학과, ²고려대학교 환경 GIS/RS 센터)

1. 연구목적

우리나라는 성공적인 산림녹화를 바탕으로 산림자원화 계획을 통해 조림위주의 정책에서 육림위주의 정책으로 전환함으로써 산림자원의 가치를 증진시키고 지속가능한 산림경영을 이행하기 위한 기틀을 마련하였다(산림청, 2008). 그 결과 III, IV영급 산림이 전체 산림의 66%를 차지해 장령림으로 편중된 영급 구조를 보이고 있다.

최근 기후변화에 의해 산림기후대가 북상하고 있으며, 침엽수림이 감소하면서 활엽수림이 증가한다는 연구가 있다(Lee *et al.* 2007; Choi *et al.* 2010). 산림청에서는 기후변화에 적응하기위해 산림기후대에 맞는 조림수종을 선정할 계획을 가지고 있다(산림청, 2012). 산림기후대에 따라 적합수종이 변함에 따라 Choi *et al.*(2010)이 개발한 Hydrological and Thermal Analogy Grouping(HyTAG)모델을 이용하여 미래 수종변화를 모의하였다.

본 연구에서는 기준 벌기령과 산림시업구역을 고려하여 이에 따른 미래 산림의 임상 변화와 함께 재적변화를 10년을 주기로 예측하였다. 이렇게 예측된 미래의 임상 및 재적변화를 파악하여 기후변화에 대응할 수 있는 산림경영전략을 수립하는데 그 목적이 있다. 또한, 시·공간적 분포를 통해 가시적으로 표현을 함으로써 좀 더 쉽게 임상 및 재적분포를 확인할 수 있다.

2. 연구자료 및 방법

1) 연구 대상지

연구대상지는 124°54′ -131°06′ E 와 33°09′ -38°45′ N에 위치하는 남한의 산림을 대상으로 하였다. 우리나라는 약 64%(6,368,844 ha)가 산림으로 이루어져 있고, 소나무(23%)와 참나무(27%)가 주를 이루고 있다(산림청, 2011a). 특히 우리나라 활엽수림은(참나무 대표) 2010년 기준 총 3,258,593 ha로 전체 산림(5,942,576 ha)의 약 54%를 차지하고 있으며, 70%가 IV, V 영급에 편중되어 있다

2) 자료

(1) 국가산림자원조사 기반의 성장모델

산림관리를 위해서는 산림의 현 상태를 파악하는 것 이외에도 미래의 산림상태를 파악하는 것이 필요하다. 즉, 조사한 자료로부터 산림의 성장에 관한 정보가 파악 되어야 하고, 그것을 근거로 계획이 수립되어야 한다. 그래서 국가산림자원조사를 이용한 성장모델(Kwak *et al.*, 2012)을 이용하였다.

(2) 임상도

현재 산림의 정보를 파악하기 위해 산림청에서 제공하는 임상도를 사용하였다(산림청, 2012). 본 연구에서 사용한 제5차 임상도는 국토지리정보원에서 발행하는 1:25,000 지형도를 기준으로 항공사진과 현지조사를 통하여 2006년부터 2010년까지 5년에 걸쳐 제작되었다. 임상도는 수종, 영급, 경급, 소밀도의 정보를 포함하고 있다.

(3) 기타 주제도

산림시업가능지역을 예측하기 위해서는 시업제한지역과 산림시업이 어려운 지역 등이 제외될 필요가 있다(Hetsch, 2009). 분석을 위한 주제도로 산림입지도, 생태자연도, 산림이용도, 용도지역자료를 활용하였다. 시업제한 지역은 전체 입목지 중에서 법적으로 지정되어 시업이 제한되는 지역으로서 특수산림과 별도관리지역을 추출하였다. 작업여건이 불량한 지역으로 경사도, 암반노출도, 고도를 고려하였다.

3) 연구방법

전체적인 흐름은 Figure 1과 같다. 본 연구는 크게 4가지 단계로 나뉜다. 첫째, 제5차 임상도를 주요 6수종으로 재분류한다. 둘째, 산림법규와 지형조건을 근거로 산림시업 제한지역을 제외하여 시업 제한지역을 선정한다. 셋째, 벌기령에 도달하면 잠재산림분포도의 수종으로 갱신하여 식재한다. 마지막으로 성장식을 바탕으로 미래의 산림재적을 예측한다.

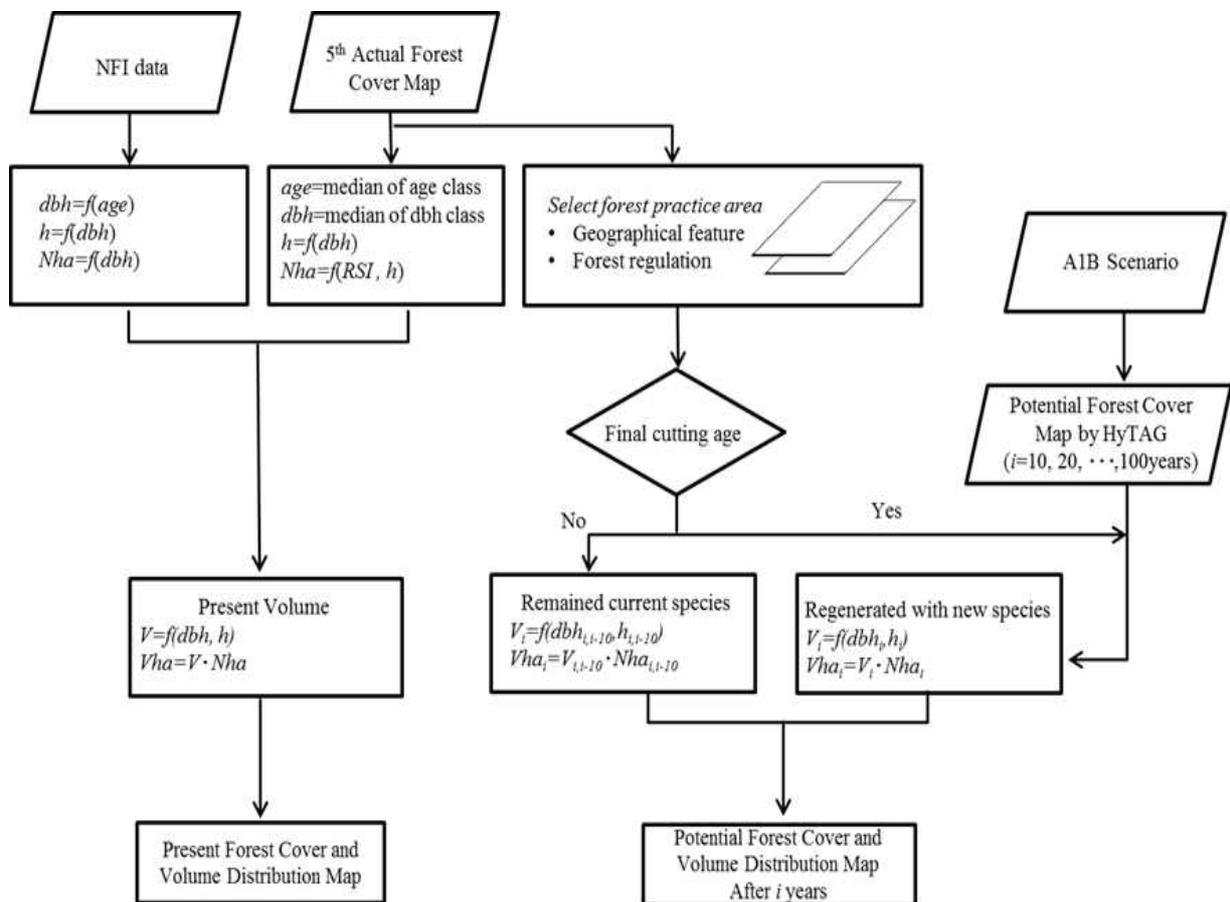


Figure 1. 전체과정

3. 결과

다양한 주제도를 이용하여 한국에서 산림시업이 가능한 대상지를 분석한 결과 3,138,000ha로 나타났다. 이렇게 추출한 산림시업지를 대상으로 미래의 임상변화를 예측한 결과, 참나무를 제외한 모든 임상이 감소하는 것으로 나타났다. 50년 후 산림시업지에는 83.57%가 참나무림이 차지할 것으로 예측되었으며, 100년후에는 94.39%가 참나무림이 차지한다고 예측 되었다(Figure 2).



Figure 2 임상의 변화

산림시업지에서 축적의 변화를 예측한 결과 다음과 같이 나타났다. 2030 년에서 2050 년에는 산림 재적의 감소가 나타나는데 이때, 대부분의 임령이 벌기령에 도달하여 벌채가 되는 임분이 많기 때문이다. 30~40 년 후에 대부분의 임분에서 벌채가 일어나는 것은 현재의 임령구조가 III, IV 영급에 편중되어있는 장령림 구조이기 때문이다.

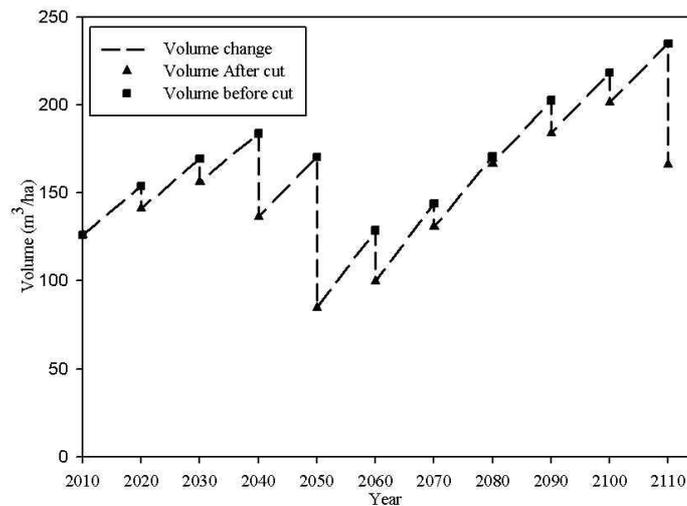


그림 3. 산림 재적 변화

4. 고찰

임업통계연보에서 제시하는 벌채에는 주벌, 간벌, 수종갱신, 피해목을 포함하지만 본 연구에서는 주벌이외의 산림관리는 전혀 고려하지 않았다. 또한, 벌채조건을 벌기령에 도달하면 무조건 벌채한다고 가정하였기 때문에, 대부분의 임령이 벌기령에 도달하는 시기에는 산림에서 급격한 변화가 일어나게 된다. 그렇기 때문에 향후 연구에서는 산림시업조건을 다양하게 한다면 이러한 갑작스러운 변화가 줄어들게 될 것이며, 산림재적이 항상 증가하는 결과가 예측 될 수 있을 것이다. 또한, 실제 산림시업면적을 정확하게 분류한다면 장기적인 산림계획을 수립하는 데 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

사사

이 논문은 2012년 국토해양부의 재원으로 한국해양과학기술진흥원(위성기반 탄소지도 시스템 개발)과 2013년 국립산림과학원 연구사업(기후변화에 따른 산림생태계 영향평가 및 적응연구)의 지원을 받아 수행된 연구임.

산림탄소 및 목재생산 경영을 위한 임분단위 산림사업모델의 개발

Development of a Forest Stand Management Model for Carbon and Timber Management

권기범^{1*}, 한 회¹, 정주상¹
¹(서울대학교 산림과학부)

1. 연구목적

최근 기후변화에 따른 지구 온난화 문제와 관련하여 산림은 주요한 탄소 흡수원이자 배출원으로 서 많은 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 산림생장의 복잡한 과정을 이해하고 탄소고정 효과를 정확히 평가·예측하는 것은 매우 중요하다. 한편, 산림의 생장은 인간의 산림경영활동에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서 간벌·주벌과 같은 산림사업의 시기·빈도·강도를 다르게 적용함으로써 차별화된 산림성장패턴을 유도하고 이에 따른 목재생산량과 탄소흡수량을 도출하는 등 산림경영 활동을 통하여 다양한 생태·경제적인 경영목표들을 달성할 수 있다. 그러나 상충된 다양한 경영목표 들을 효과적으로 달성하기 위해서는 시기별로 적용되는 경영활동들에 대한 합리적인 계획이 필요하 며, 이를 위해 최적화 기법을 이용한 산림경영계획의 수립과 적용이 필수적이다. 이에 본 연구에서 는 제주도 삼나무 임분을 대상으로 임분 단위 개체목 성장예측 시뮬레이터를 개발하여 산림성장 패 턴을 이해하고 이를 토대로 적정 산림사업체계를 도출함으로써 목재생산은 물론 생태계서비스로 인 식되는 탄소흡수기능을 극대화하기 위한 산림경영 의사결정지원시스템을 개발하고자 한다.

2. 연구방법

1) 임분 자료의 구축

본 연구에서는 제주도에 위치한 국립산림과학원 난대산림연구소 한남시험림의 40년생 삼나무 임 분을 연구대상지로 선정하였다(그림 1). 임분의 성장량을 개체목 단위로 정밀하게 추정하기 위해서는 고정표본점 조사 자료 및 산림사업에 따른 임분 성장 변화 등에 대한 다양한 자료가 요구되나 아직 국내에는 이러한 자료가 부족하므로 본 연구에서는 연구대상지 내 총 13개 표준지로부터 130본의 표준목 자료를 분석하고(표 1), 각 표준지별 소·중·대 경급의 대표목을 선정하여 총 39본에 대한 수 간석해를 시행하였다(표 2).



그림 1. 연구대상지(국립산림과학원 난대산림연구소 한남시험림)

표 1. 제주도 국립산림과학원 한남시험림 삼나무 임분 표준지 조사현황(표준목 130본)

	최소	최대	평균
평균흉고직경(cm)	16.3	45.0	25.9
ha당 본수(본/ha)	550.0	2100.0	1150.8
흉고단면적(m ² /ha)	27.1	90.5	66.0
임령(년)	24.0	66.0	36.5

표 2. 삼나무 개체목 수간석해 결과(총 39본)

	흉고직경(cm)	수고(m)	수령(년)	직경변화(cm/년)
최소	11.8	8.3	23	0.12
최대	49.5	24.3	68	1.69
평균	24.8	15.2	37.3	0.71
표준편차	9.7	3.7	11.2	0.34

2) 개체목 생장예측 시뮬레이터의 형태와 모수 추정

본 연구에서는 임분생장 예측을 위해 STEMS(Stand and Tree Evaluation and Modeling System) 모델을 이용하였다. 이 모델은 정확한 산림자원평가 실현을 위해 수행된 FREP(미국 농무성, 1979)의 GROW모델(Brand, 1981)을 바탕으로, 임목의 고사, 별채 및 갱신을 종합적으로 시뮬레이션할 수 있는 대표적인 개체목 중심의 임분 생장예측 모델로써 최근까지도 산림생장예측 및 산림경영과 관련된 다양한 분야에서 폭넓게 활용되고 있다. 이 모델은 총 4개의 구성함수로 이루어져 있으며(표 3), 이들 함수의 인자는 수간석해 자료를 바탕으로 SAS 9.3의 비선형회귀분석을 이용하여 추정하였다.

표 3. 개체목 생장예측 시뮬레이션 모델의 구성함수 및 인자

구성 함수	구 조
잠재직경생장함수	$PG = b_0 - b_1 DBH^{b_2} + b_3 \times SI \times CR \times DBH^{b_4}$
수정율함수	$MOD = 1 - \exp(-[f(R) \times g(AD)]) \times \left[\frac{BA_{max} - BA}{BA}\right]^{0.5}$ <i>where,</i> $f(R) = b_0 [1 - \exp(b_1 \times \frac{DBH}{AD})]^{b_2} + b_3$ $g(AD) = b_4 (AD + 1)^{b_5}$
수관율함수	$CR = b_0 \left[\frac{1}{1 + b_1 BA}\right] + b_2 [1 - \exp(-b_3 DBH)]$
고사율함수	$M = \frac{1}{1 + \exp(b_0 + b_1 (PG \times MOD)^{b_2} + b_3 DBH)} + b_4$

(SI: 지위지수, AD: 평균흉고직경, BA: 흉고단면적, BAm_{ax}: 수종별 최대흉고단면적)

3) 임분 단위 탄소고정효과 분석

개발된 생장예측 시뮬레이터를 이용하여 제주도 삼나무 임분의 탄소고정효과를 분석하였다. 임목의 탄소흡수량 분석에는 다음에 제시된 탄소전환식(수식 1)을 이용하였고, 이 때 사용된 삼나무의 탄소전환식 계수는 표 4와 같다.

$$W^C = \rho_0 \times V_{stem} \times E \times C_0 \tag{1}$$

W^C : 탄소흡수량(Ct) ρ_0 : 목재기본밀도(g/cm³)
 V_{stem} : 수간재적(m³) E : 바이오매스 확장계수
 C_0 : 탄소함량비

표 4. 삼나무 탄소전환식 계수(국립산림과학원, 2010)

구 분	목재기본밀도(g/cm ³)	바이오매스 확장계수	탄소함량비
값	0.35	1.31	0.5

4) 산림사업체계 분석을 위한 최적화 기법

본 연구에서는 목재생산에 의한 수익 최대화 및 임분 탄소흡수 최대화를 위한 최적 산림사업체계를 분석하기 위해 동적계획법 중 하나인 PATH(Projection Alternative Technique) 알고리즘을 적용하였다. 이 알고리즘은 Paredes와 Brodie(1987)가 개발한 것으로 이를 통해 복잡한 동적계획 문제에서 요구되는 계산시간을 효율적으로 줄일 수 있으며 식은 다음과 같다(수식 2).

$$f_i^* = \max\{f_i(T_i)\} \tag{2}$$

$$f_i(T_i) = \Pi_i(T_i) + V(T_i) - \Pi_{i-1}^*(T_{i-1}) + f_{i-1}^*$$

- $T_i = T(t_i)$: 시점 t_i 에서의 간벌량
- $\Pi_i(T_i) = \Pi(x(t_{i+1}), T(t_i), t_{i+1})$: 간벌이 시행된 시점 t_i 에서 잔존임분의 가치
- $V(T_i) = V(T(t_i))$: 시점 t_i 에서 시행된 간벌로 인한 가치
- $\Pi_i^* = \Pi_i(T_i^*)$: 시점 t_i 에서 임분의 최적 가치
- f_i^* : 시점 t_i 에서의 목적함수의 최적해

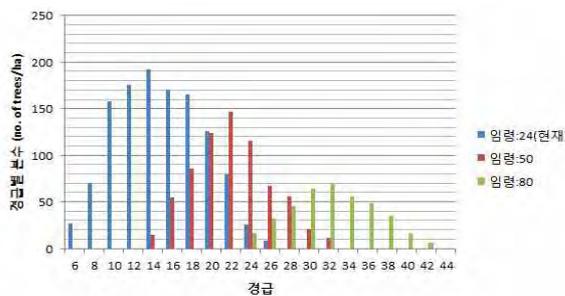
3. 결과 및 고찰

1) 성장함수 모수 추정 및 시물레이션

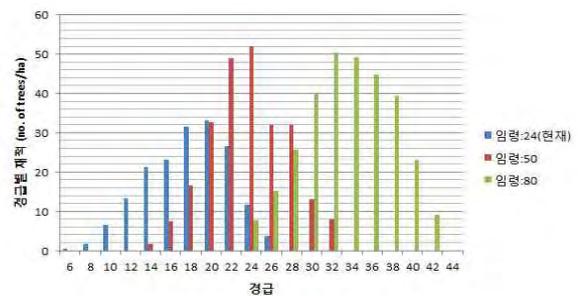
제주도 삼나무 임분에 대한 성장예측 시물레이터의 각 구성함수의 모수는 표 5와 같이 추정되었다. 이를 임령 24년, 지위지수 14인 제주도 한남시험림의 삼나무 현실 임분에 적용하여 임분 연령 80년까지 성장예측 시물레이션을 수행하였다(그림 2).

표 5. 제주도 삼나무 임분에 대한 개체목 성장예측 시물레이터의 구성함수별 모수 추정 결과

	추정된 회귀계수					
	b0	b1	b2	b3	b4	b5
수관율함수	0.6246	0.0663	0.6382	0.0318		
잠재직경성장함수	1.2	-0.016	1.1092	0.0014	1	
수정율함수	3.8847	-1.281	10.0669	0.8003	0.2897	0.4224
고사율함수	1.1973	0.5397	-0.9719	0.0691	0.0115	



(a) 경급별 분수변화

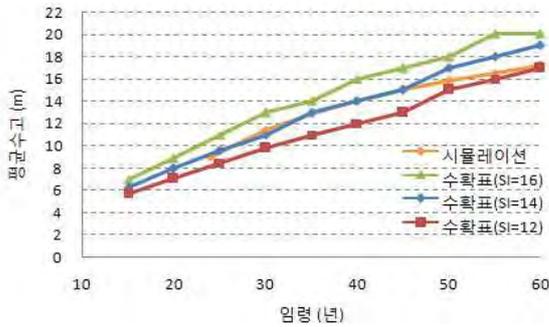


(b) 경급별 재적변화

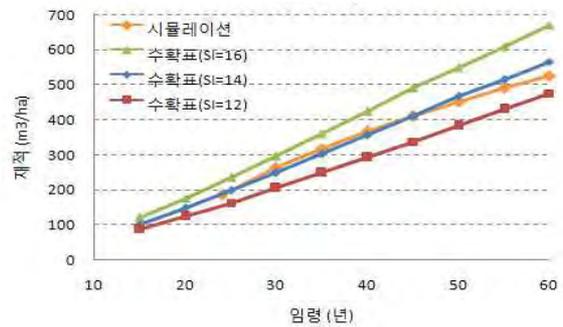
그림 2. 임분 성장에 따른 개체목 분포비교

2) 개체목 성장예측 시물레이터의 타당성 검토

본 연구에서는 지위지수 및 임령별 평균 임분의 성장결과를 표로 나타낸 수확표를 이용하여 성장예측 결과에 대한 타당성을 분석하였다. 그림 3은 삼나무 임분의 성장예측에 따른 성장량 변화 추이를 수확표와 비교한 것으로써 대체로 성장예측의 결과가 지위지수가 14인 변화선과 일치하는 것을 확인할 수 있다.



(a) 평균수고 변화



(b) 임분재적 변화

그림 3. 성장예측 및 수확표에 따른 성장량 변화 추이

3) 동적계획법을 적용한 임분관리 최적 산림사업체계 분석

본 연구에서는 STEMS 기반의 임분단위 성장예측 시뮬레이터와 동적계획법 중 하나인 PATH 알고리즘을 결합하여 임분의 목재생산과 탄소흡수를 고려한 최적의 산림사업체계를 결정하였다. 분석의 목적함수는 두 가지로써 목재생산에 의한 수익최대화 및 임분 탄소흡수 최대화이며 의사결정 변수인 간벌시기와 간벌횟수, 간벌강도의 조절을 통한 국유림 기준 벌기령 60년까지의 각 목적별 최적 산림사업체계를 도출하였다. 간벌강도의 경우 10%의 간격을 이용하였고, 간벌시기의 경우 5년 간격을 이용하였다. 한편, 분석에 이용된 현실 임분의 정보는 표 6과 같고, 수익성 분석을 위해서는 순현재가(NPV: Net Present Value)를 이용하였다(수식 3).

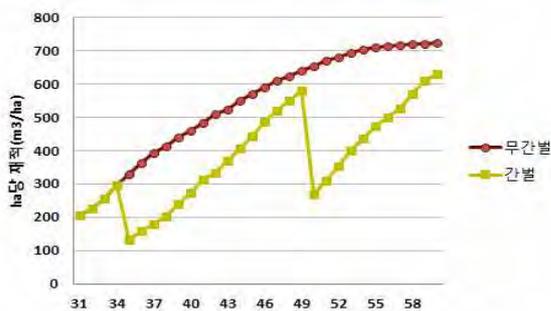
$$NPV = V_{stem} \times P / (1+i)^{n-n_0} - V_{stem} \times C / (1+i)^{n-n_0} \quad (3)$$

NPV : 순현재가(원) P : 입목매매가(원/m³)
 V_{stem} : 수간재적(m³) C : 벌채비용(원/m³)
 n₀ : 현재임령 n : 벌채임령

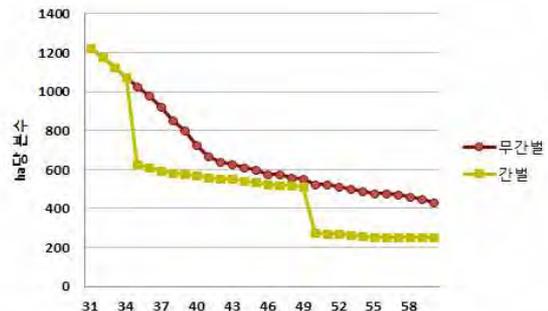
표 6. 최적 산림사업체계분석에 활용된 삼나무 현실임분의 현황

구분	임령(년)	본수(본/ha)	평균 DBH(cm)	평균 수고(m)	임분 재적(m³/ha)
값	31	1,225	18.04	13.32	207.8

그림 4, 5와 표 7은 두 목적함수에 따라 결정되어진 최적 산림사업체계 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

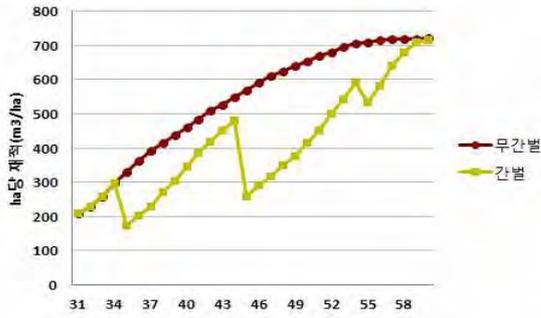


(a) 임분재적 변화

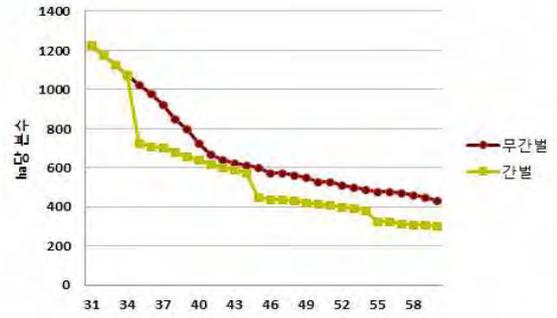


(b) ha당 본수 변화

그림 4. 수익최대화를 위한 최적 산림사업체계 분석결과



(a) 임분재적 변화



(b) ha당 분수 변화

그림 5. 탄소흡수 최대화를 위한 최적 산림시업체계 분석결과

표 7. 목적함수에 따른 최적 산림시업체계 분석결과(임령 60년 기준)

구 분	무간벌	수익 최대화	탄소흡수 최대화
간벌임령(강도)	-	35(40%), 50(50%)	35(30%), 45(40%), 55(10%)
분수(분/ha)	475	250	300
Basal area(m ²)	86	79	78
평균 DBH(cm)	50.0	59.2	54.3
평균 수고(m)	21.2	22.7	22.3
간·주벌 재적(m ³)	723	1,193	1,205
순수익 현재가(원)	9,430,070	16,409,095	15,879,805
탄소흡수량(Ct)	165.7	257.1	276.2

교토의정서 제3조 4항의 산림경영을 추정

Estimation of Forest Management Ratio under Article 3.4 of the Kyoto Protocol: A Case Study on the Chungcheongbuk-Do

김형호¹, 강현득^{2*}, 김래현³, 김철민³, 이경학³, 고광철⁴

(¹경상대학교 산림환경자원학과(농업생명과학연구원), ²경상대학교 대학원 산림자원학과,

³국립산림과학원 기후변화연구센터, ⁴주메타지아이에스컨설팅)

1. 연구목적

교토의정서는 산림흡수원에 의한 이산화탄소 흡수량을 감축목표 달성에 편입시키는 것은 인정하되 교토의정서 제3조 3항 및 4항의 대상이 되는 활동이 실시된 산림의 이산화탄소 흡수량만으로 제한을 두고 있다. 특히 제3조 4항에는 3조 3항 이외의 인위적인 활동으로 식생복구, 산림경영, 농경지 관리 및 목초지관리 중 일부 또는 모든 사항에서 기인하는 인위적인 온실가스 발생원으로부터의 배출과 흡수원에 의한 제거를 산입하는 것을 선택할 수 있다.

우리나라의 경우 흡수원을 위한 제3조 3항의 대상이 되는 산림은 거의 없을 뿐만 아니라, 제3조 4항의 식생복구, 농경지 관리 및 목초지관리에 의한 이산화탄소 흡수량을 기대 할 수 없는 현실에 있어서 산림경영에 의한 이산화탄소 흡수량의 산정 및 확보가 매우 중요하다고 할 수 있다.

산림경영활동에 따른 탄소배출권을 인정받기 위해서는 산림경영활동면적을 정확하게 산정하고 예측하는 것이 필요하다. 따라서 이 연구는 교토의정서 제3조 4항의 산림경영활동이 이루어진 면적을 산정하기 위해 수행되었으며, 충청북도 전역을 대상으로 산림면적대비 산림경영활동이 이루어진 면적 비, 산림경영율을 시범적으로 추정하였다.

2. 연구방법

산림경영면적을 추정하기에 앞서 교토의정서하의 산림경영활동에 관한 정의가 필요하다. 교토의정서하에서는 산림경영활동을 협의의 정의와 광의의 정의로 구분하고 있으며, 산림경영활동을 선택할 수 있도록 하였다. 일본의 사례에서처럼 교토의정서하의 우리나라의 산림경영활동이 이루어졌다고 간주되는 산림은 1990년 이후 적절한 산림사업이 적극적으로 실시되고 있는 시업림과 벌령 등에 기준한 벌채 등의 사업제한 및 전용규제와 같은 보전보호 조치가 취해진 제한림으로 정의하였다.

제한림의 경우는 수치산지구분도와 임업통계연보와의 연계로 추정이 가능한 반면, 각종 산림사업이 이루어진 시업림의 경우 정확한 산림경영면적을 산정하는데 있어 어려움이 있다. 이는 일반적으로 산림경영의 활동이 특정 소반이든 필지에서 시·공간적 중복성을 띄기 때문이다.

그림 1은 산림경영활동의 중복성으로 인한 산림경영면적 과대 산출을 방지하기 위한 최대산림사업법의 개념을 보여주고 있다. 즉, 한 소반이나 필지에서 1990년 이후 이루어진 모든 사업 중에서 가장 크게 이루어진 사업의 면적만을 산림경영 활동이 이루어진 면적으로 산출하는 방식이다.

이를 위해서는 상세한 산림경영정보가 요구되는데 국유림의 경우 국유림경영정보시스템이 구축되어 있고 사유림의 경우 2011년부터 충청북도를 시작으로 ‘사유림 경영정보 DB’가 구축되고 있다. 따라서 본 연구는 최대사업법을 적용하여 충청북도의 국유림과 사유림을 대상으로 산림경영활동이 이루어진 면적을 산출하여 산림경영율을 추정하였다.

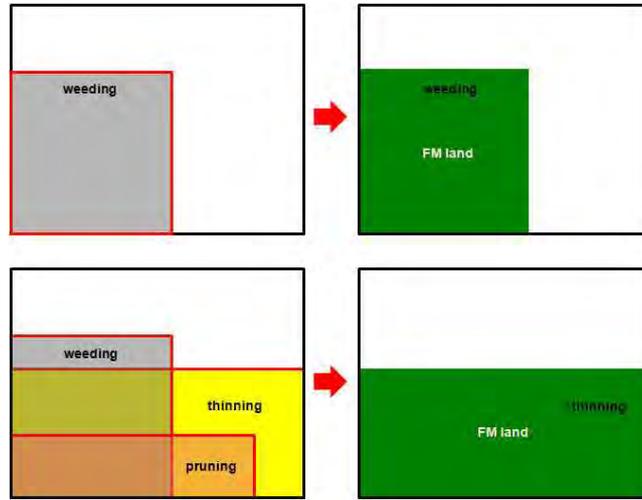


그림 1. 최대사업면적법 적용 모식도

3. 결과 및 고찰

국유림은 소반, 사유림은 필지에서 시행된 사업에 대해 연도별 사업별 최대사업면적을 산출하여 이를 산림경영면적으로 산출하였다. 충청북도 국유림의 경영면적추정은 국유림을 관할하고 있는 단양, 보은, 충주 관리소의 국유림경영정보시스템 자료를 이용하여 산림경영면적을 추정하였는데 관리소에서 관할하고 있는 지역마다 산림경영정보에 대한 구축년도가 달라 가장 늦은 2008년에 구축된 보은관리소 영동지역의 구축년도를 기준년도로 설정하여 2008년부터 2012년까지 국유림경영정보시스템의 사업의 종류를 기준으로 최대사업이 일어난 면적을 산출하였다(표 1).

표 1. 충청북도 국유림 최대사업면적

(단위:ha)

연도	풀베기	비료주기	천연림개량	천연림보육	무육간벌	인공갱신	어린나무가꾸기	덩굴류제거	보식	가지치기	합계
2008	231.9	59.2	2316.3	1729.1	519.5	201.5	306.1	432.0	8.0	11.5	5,815
2009	298.9	73.4	4227.4	1755.1	741.8	175.7	410.6	543.4	8.0	11.5	8,246
2010	330.2	69.4	5211.6	1769.1	1374.0	155.7	512.1	626.9	8.0	11.5	10,069
2011	525.0	64.9	6167.4	1852.4	1708.9	252.9	537.4	706.9	8.0	11.5	11,835
2012	584.3	64.9	6833.0	1840.7	1833.1	301.1	526.4	796.5	8.0	0.0	12,788

사유림은 2003년부터 2010년까지 구축된 사유림경영정보DB를 활용하여 산림경영면적을 추정하였다(표 2). 사유림의 경우 필지 단위의 사업종류를 기준으로 최대사업면적을 산출하였다.

최종적으로 사업림에서 인정받을 수 있는 산림경영면적은 국유림 12,778ha, 사유림 102,778ha로 산출되었으며, 여기에 제한림의 면적을 추가하여 충청북도의 산림경영을 추정하였다.

표 2. 충청북도 사유림 최대사업면적

(단위:ha)

연도	조림	풀베기	어린나무가꾸기	덩굴제거신규	덩굴제거보완	숙아베기	천연림보육	천연림개량	산물수집	임내정리	가지치기	기타	합계
2003	1,459	690	1,877	536	115	1,527	8,738	-	-	-	-	51	14,993
2004	2,611	1,389	2,770	946	282	2,380	11,523	-	10	-	-	264	22,175
2005	3,374	2,534	3,769	1,045	367	3,697	18,178	340	41	47	-	852	34,244
2006	4,168	2,622	4,465	1,008	438	4,825	18,959	5,985	69	47	-	2,621	45,207
2007	4,831	2,519	5,612	1,024	412	6,417	19,027	12,239	69	47	-	3,348	55,545
2008	5,766	2,521	6,079	1,099	342	9,412	18,941	21,241	101	69	-	3,767	69,338
2009	6,589	2,720	6,241	1,056	340	13,761	19,004	36,216	80	69	-	4,412	90,488
2010	7,534	2,811	6,236	1,024	329	15,915	18,513	44,506	76	119	-	5,715	102,778

산지전용에 따른 탄소배출량 산정을 위한 사례연구

A Case Study for Estimating the Amount of Carbon Emissions Caused by Changes in Forest Land Use

기태영^{1*}, 송정은², 한 희¹, 정주상¹
(¹서울대학교, ²한국산지보전협회)

1. 연구목적

2007년 IPCC 평가 보고서에 따르면 1990년대 산지전용으로 배출된 이산화탄소량은 연간 5.8Gt으로, 산지전용의 방지는 단기간에 가장 많은 탄소를 고정시킬 수 있는 온실가스 저감방안으로 인정받고 있다. 이에 기후변화협약 당사국 총회에서는 개발도상국의 산림전용 및 황폐화를 방지함으로써 온실가스를 감축하는 방안(REDD+)을 결의 사항으로 채택하였다. 국내에서도 그동안 시범적으로 운영하던 산림탄소 상쇄제가 2013년부터 ‘탄소흡수원증진법’으로 개정되어 본격 시행되고 있다.

REDD+ 활동을 인정받기 위해서는 국가통계자료를 이용한 기존의 방법과 달리 객관적으로 측정 및 검증할 수 있는 방법을 통해 산림 전용에 따른 탄소배출량을 산정하는 방안을 마련해야 한다. 따라서 본 연구에서는 고해상도 영상을 활용한 산지전용지의 탐지 및 GIS공간분석을 통해 산지전용에 따른 탄소배출량을 산정하는 기법을 개발하고자 하였다.

2. 연구재료 및 방법

1) 연구재료

본 연구에서는 원격탐사 및 GIS분석을 통한 산지전용지의 탄소배출량 산출을 위해 지속적으로 산지전용이 발생하고 있는 경기도 남양주시 일부 지역을 대상으로 2001년부터 2009년까지의 산지전용 허가대장을 취득하고, 연도별 산지전용 허가면적과 건수를 DB로 구축하였다. 또한 고해상도 위성영상(Quickbird, 2001)과 디지털 칼라 항공사진(2009)을 취득하여 산지전용지의 정확한 공간상의 위치 파악을 목적으로 토지이용 변화를 탐지하기 위한 분석을 수행하였다. 산지전용지의 공간 위치를 토대로 GIS 분석을 통해 제거되는 임목의 재적을 보다 정확히 추정하고자, 산림청에서 제작된 제4차 수치임상도를 이용하여 분석에 필요한 수종과 임령 정보를 취득하고, 수종별 성장함수를 적용하여 개발과정의 임목 벌채량을 계산하였다. 또한 임목 내에 저장된 탄소량 그리고 토양 및 고사유기물에 저장된 탄소량은 국립산림과학원에서 제공하는 수종별 탄소배출계수와 IPCC 기본 값을 각각 적용하여 분석하였다. 본 연구에서 활용된 자료가 표 1에 정리되어 있다.

표 1. 산지전용에 따른 탄소배출량 산정에 활용된 자료

내 용	이용자료	출 처
시군단위 산지전용면적	산지전용허가대장 고해상도 위성영상/항공사진	남양주시
임목제거에 따른 탄소배출	수종, 임령	4차 수치임상도(산림청)
	임목재적	수종별 성장함수(임업연구원, 1996)
	목재기본밀도, 뿌리함량비 바이오매스확장계수(BEF) 탄소전환계수	산림 온실가스 인벤토리를 위한 주요 수종별 탄소 배출계수 (국립산림과학원, 2009)
토양교란에 의한 탄소배출	온대지역 토양탄소량	IPCC

2) 연구방법

본 연구에서 산지전용에 따른 탄소배출량을 산정하기 위한 모델 구조는 그림 1과 같다. 이 그림에 의하면 IPCC 우수실행지침에서 제시하는 Teir 3 수준의 접근법을 적용하여 정밀한 시공간 자료에 기반 한 분석을 수행할 수 있도록 모델을 설계하였다.

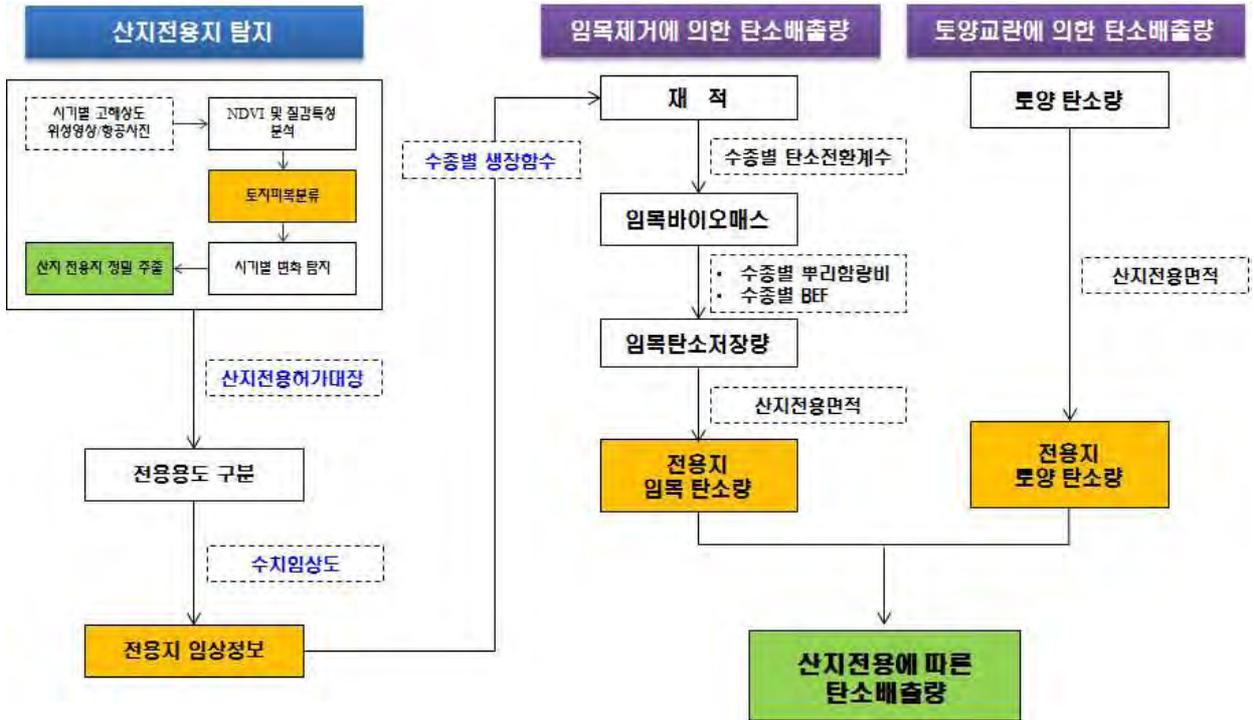


그림 1. 탄소배출량 산정 모델

산지전용에 따른 탄소배출량 산정은 산지전용지의 탐지과정으로부터 시작한다. 즉, 첫째, 시기별로 취득된 고해상도 위성영상의 NDVI 및 질감특성을 활용한 토지피복분류 후 변화탐지분석을 통해 시간 간 발생한 산지전용지를 정밀 추출하고, 둘째, 추출된 각각의 산지전용지는 산지전용허가대장과의 대조를 통해 용도별로 분류하고, 마지막으로 영상분석과 수치임상도를 기반으로 파악한 해당 전용지의 수종별 임상정보는 수종별 성장함수를 적용한 임목재적 산출에 이용된다.

전용과정에서 제거되는 임목의 탄소배출량은 앞에서 분석한 수종별 임목재적에 국립산림과학원에서 개발한 탄소배출계수를 곱하여 계산한다. 또한 토양교란에 의해 배출되는 탄소량의 경우 단위면적 당 토양 및 고사유기물 탄소량에 해당 면적을 곱하여 산출한다. 이렇게 산출한 두 저장고의 탄소량을 합산하여 산지전용 활동에 따른 탄소배출량으로 산출한다.

3. 결과 및 고찰

고해상도 위성영상을 활용한 시·군 단위 산지전용에 따른 탄소배출량 평가 결과, 사례 시군인 남양주시의 두 시기(2001년과 2009년) 간 산림에서 타 용도로 전환된 전체의 산림면적은 약 87.5ha로 산출되었다. 전체 전용면적 중 주택건설을 위한 산지전용이 20.5ha로 가장 넓은 면적을 차지했다.

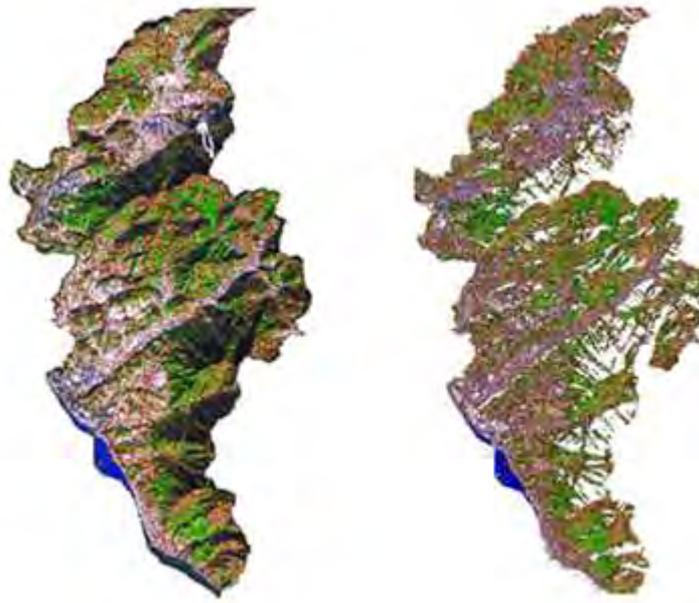


그림 2. 영상분류 결과(좌: 2001년, 우: 2009년)

표 2는 시·군 단위 산지전용에 따른 탄소수지모델을 적용하여 분석한 대상지의 탄소배출량 산정 결과이다. 이 결과에 의하면 산지가 택지로 전용된 면적이 3,407.18tC/ha로 가장 넓은 면적에 걸쳐 산지전용이 일어났으며, 그로 인해 각 용도별 산지전용 중 가장 많은 양의 탄소를 배출한 것으로 나타났다.

또한 이 표에 의하면 산지가 농경지로 전용되는 경우 단위면적당 탄소배출량이 178.62tC/ha에 달해 다른 용도에 비해 가장 높은 값을 보이고 있다. 이는 저투자 산업인 농업의 경우 상대적으로 접근성이나 지형조건과 같은 입지적 특성이 우수한 산림지역을 필요로 하기 때문인 것으로 판단된다.

표 2. 시·군단위 용도별 산지전용에 따른 탄소배출량(남양주시 사례지역)

구분	기타	농업	주거	도로	여가	공공시설	묘지	산업
탄소배출량(tC)	298.00	650.83	3,407.18	122.35	168.87	999.17	31.21	1,031.77
산지전용 면적(ha)	4.15	7.86	44.03	1.58	2.22	13.41	0.45	13.80
단위면적당 탄소배출량(tC/ha)	155.34	178.62	166.40	168.62	163.9	160.76	151.87	161.37

수종별로 살펴보면 그림 3에 제시된 바와 같이 활엽수림 보다 침엽수림에서 더 많은 양의 탄소가 배출되는 것으로 나타났다. 또한 다양한 수종의 침엽수 임분 중 낙엽송 임분의 전용으로 인한 탄소배출량이 가장 많은 것으로 나타났다. 이는 대부분의 산지전용 발생 지역이 도심지 근처로 활엽수 및 낙엽송 임분이 존재하기 때문으로 판단된다.

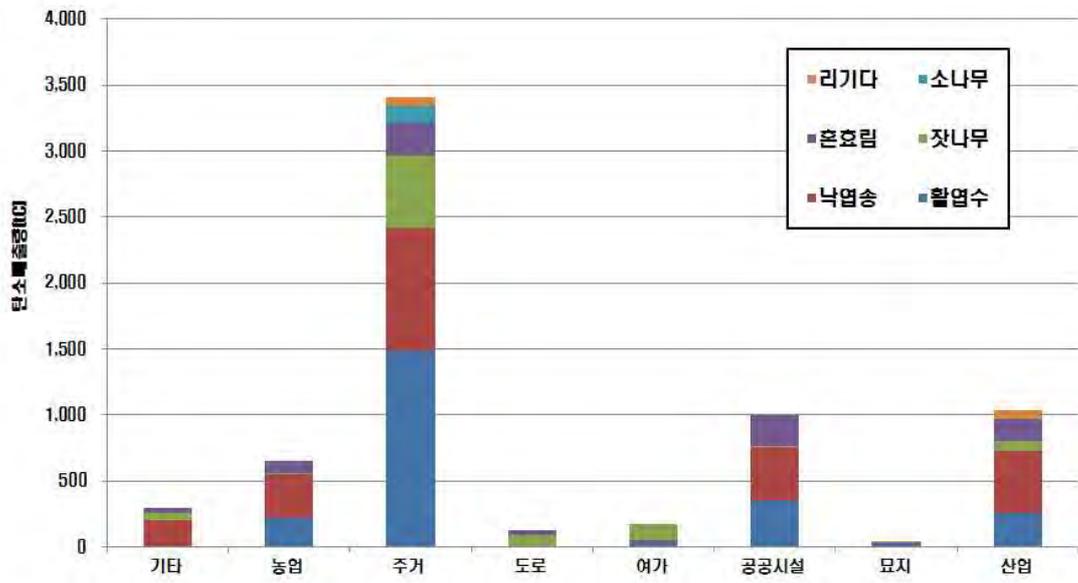


그림 3. 시·군 단위 산지전용에 따른 탄소배출량(남양주시 사례지역)

포스터 논문발표 초록

서울대학교 200동 2층 로비

■ 포스터 논문발표 초록

PDM기법을 이용한 산림재적추정 Estimation of Forest Volume Using Pattern Decomposition Method with Remotely-sensed Data

서환석^{1*}, 이정수¹
(¹강원대학교 산림환경과학대학)

1. 연구배경 및 목적

최근 산림은 온실가스 저감효과를 높이고, 화석연료를 대체할 수 있는 신재생 에너지원으로서 중요성이 대두되고 있다. 현재 우리나라 산림의 약 40%가 침엽수림으로 구성되어 있으며, 그중 잣나무는 국토녹화사업의 일환으로 우리나라 침엽수 조림면적의 약 20%를 차지하고 있다. 성장이 활발한 30년생 잣나무림은 연간 약 10.6t/ha의 이산화탄소를 흡수하여 온실가스 통계정보구축에 있어 중요한 수종으로 보고되었다. 임목축적은 산림생물량의 정량적 표현으로 지속가능한 산림경영의 중요한 지표일 뿐만 아니라 온실가스 흡수원으로서의 중요도가 높아지고 있다. 최근 위성영상 기술의 발달로 인하여 임분재적 추정방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히, 회귀식을 이용한 산림재적 추정에 관한 연구는 현장조사자료와 원격탐사자료를 활용한 산림자원량의 추정으로 확대되어 연구되고 있다.

따라서 본 연구는 위성영상의 다중밴드를 3개의 지수영상으로 추출해 추정하는 Pattern Decomposition Method(PDM)기법을 이용하여 강원대학교 학술림의 잣나무림 재적을 추정하는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구방법

대상지는 강원대학교 학술림의 잣나무림을 지역으로 총 면적은 약 3천백ha로 33개 임반으로 구성되어있다. 침엽수와 활엽수의 비율은 각각 26%, 74%로 대부분이 활엽수로 되어있으며, 잣나무림의 분포는 511ha로 16%를 차지한다. 잣나무림의 총 재적은 133,534m³이며, ha 당 재적은 약 261m³/ha로 전국의 잣나무림 축적보다 약 3배(80m³/ha)가 높았다. 영급은 IV영급이 약 40%(203.9ha)로 가장 많이 분포하였으며, VIII영급 약 34%(177.0ha)로 노령임분도 넓게 분포하였다. 현장조사자료는 38개소의 표본점으로 20m × 20m 크기의 사각형 표본점내의 6cm이상 모든 임목을 대상으로 수종, 흉고직경, 수고, 분수를 측정하였고, 표본점은 영급별 표본점수를 고려해 참조자료 24개와 검증자료 14개로 구분하였다. 위성영상은 2009년 5월25일 촬영된 Landsat TM-5 영상(row 115/path 34)을 사용하였으며, 영상에 기하보정과 Filterting을 실시하여 공간적 왜곡과 믹셀(Mixcell)의 영향을 제거하였다. PDM방법은 위성영상에서 3가지 지수영상(식생, 토양, 수계)을 추출한 후, 지수영상과 현장조사와의 회귀식을 도출해 재적을 추정 하는 방법으로 현장조사자료 중 24개의 참조표본점과 위성영상을 이용하여 잣나무림의 재적을 추정하였다.

3. 결과 및 고찰

표본점의 재적과 3개의 패턴영상간의 상관관계를 분석 한 결과, no filtering 지수영상에서 재적과

Corresponding author

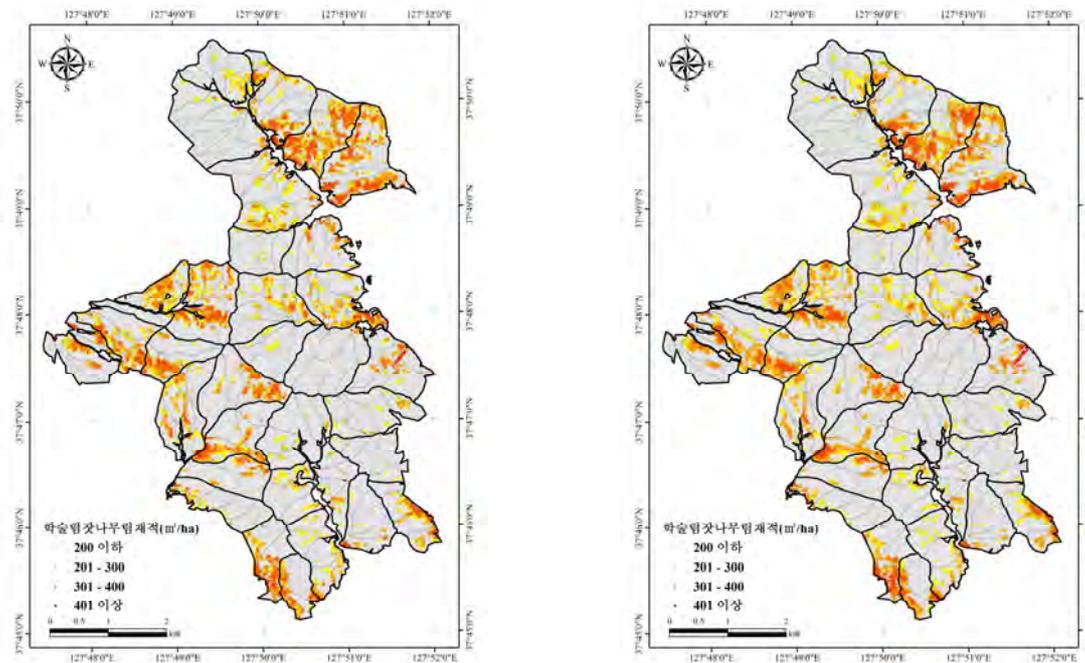
E-mail: jslee72@kangwon.ac.kr (J.S. Lee)*

식생지수와 상관계수는 음의 상관관계($r=-0.60$)로 높게 나타났으며, 토양과 수계가 각각 0.38, 0.30 순으로 양의 상관관계를 나타냈다. 한편 3 by 3 filtering 지수영상도 no filtering 지수영상과 유사하게 식생지수와 재적과의 관계는 음의 상관관계($r=-0.54$)였으며, 토양과 수계는 각각 0.25, 0.32로 양의 상관관계를 나타냈다. PDM기법에 의해 추정된 잣나무림의 총 재적량은 no filtering의 경우 약 130천 m^3 이며, ha당 재적은 244.3 m^3/ha 로 현장조사를 통한 재적보다 과소 추정된 것으로 나타났다. 3 by 3 filtering도 필터링을 실시하지 않은 영상과 매우 유사하게 나타나 필터링에 의한 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. PDM기법을 사용하였을 때 필터링 유무와는 관계없이 표본점 조사에 의한 추정치보다 약 10% 과소 추정되었다.

본 연구는 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호 : S111212L040110)’의 지원에 의하여 이루어진 것입니다.

표 1. 필터링 변화에 따른 PDM기법의 재적 추정량

	산림 재적(m^3/ha)		총 재적(m^3)
	평균	표준편차	
현장조사 (n=24)	275.1	95.6	146,628
PDM	No filtering	244.3	130,077
	3 by 3 filtering	244.9	130,399



a. No filtering

b. 3 by 3 filtering

그림 1. PDM기법에 의한 재적 분포맵

기후요인을 고려한 생태권역별 상수리나무의 지위지수 추정식 개발*

Development of Site Index Equations by Ecoprovinces Using Climatic Variables for *Quercus acutissima* in Korea

김태우^{1*}, 성주한², 권태성², 천정화², 신만용¹

(¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림생태연구과)

1. 연구목적

본 연구는 우리나라를 대표하는 활엽수종인 상수리나무를 대상으로 지형, 토양, 그리고 기후인자를 포함하는 환경요인을 이용하여 생태권역별 지위지수 추정식을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 통해 5개 생태권역별 상수리나무의 적지를 판정함으로써 효율적인 관리에 필요한 의사결정 정보를 제공하기 위해 수행하였다. 특히 기후요인이 독립변수에 포함된 상수리나무의 생태권역별 지위지수 추정식을 개발함으로써 생태권역별로 기후변화에 대응할 수 있는 정보를 제공하고자 하였다.

2. 연구방법

환경요인에 의한 생태권역별 상수리나무의 지위지수 추정식을 개발하기 위해 수치산림입지도와 수치기후도를 중첩하여 지위에 영향을 미칠 것으로 판단되는 26개의 지형, 토양, 그리고 기후인자를 도출하였다(Table 1). 생태권역별로 정리된 자료는 7:3의 비율로 추정자료(fit data)와 검증자료(test data)로 무작위로 분류하여 정리하였다. 추정자료는 회귀기법에 의해 상수리나무의 지위지수 추정식을 조제하기 위한 것이며, 검증자료는 추정자료에 기초하여 얻어진 지위지수 추정식의 통계적 검증에 사용되었다(Snee, 1977). 본 연구에서 사용된 5개 생태권역의 지리적 분포와 수치산림입지도 상의 상수리나무의 권역별 분포는 Fig. 1 및 Fig. 2와 같다.

Table 1. Environmental variables and code descriptions used in this study.

Variables	Variable Name	Code Description
X ₁	Climatic Zone	1: the north temperate zone 2: the middle temperate zone 3: the south temperate zone 4: warm temperate zone
X ₂	Parent Rock	1: igneous rock 2: sedimentary rock 3: metamorphic rock
X ₃	Soil Drainage	1: poor 2: common 3: good 4: very good
X ₄	Slope	real measured values in degree
X ₅	Altitude	real measured values in meters
X ₆	Aspect	real measured values in radian
X ₇	Available Soil Depth	real measured values in centimeters
X ₈	Wind Exposure	1: exposure 2: medium 3: protected
X ₉	Soil Depth in Horizon A	1. less than 50cm 2: 50~70cm 3: 70~90cm 4: more than 90cm
X ₁₀	Soil Depth in Horizon B	1. less than 50cm 2: 50~70cm 3: 70~90cm 4: more than 90cm
X ₁₁	Soil Moisture in Horizon A	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 4: humid 5: dry
X ₁₂	Soil Moisture in Horizon B	1: moderate 2: slight dry 3: slight humid 4: humid 5: dry

* 본 연구는 2012년 국립산림과학원 위탁연구과제 ‘기후요인을 고려한 생태권역별 주요 수종의 지위지수 추정식 개발’에 의해 수행된 결과의 일부입니다.

Table 1. (Continued).

Variables	Variable Name	Code Description
X ₁₃	Soil Consistency in Horizon A	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard
X ₁₄	Soil Consistency in Horizon B	1: very crumbly 2: crumbly 3: soft 4: hard 5: very hard
X ₁₅	Annual mean temperature	real measured values(°c)
X ₁₆	Annual maximum temperature	real measured values(°c)
X ₁₇	Annual minimum temperature	real measured values(°c)
X ₁₈	Annual total precipitation	real measured values (mm)
X ₁₉	Monthly mean of precipitation	real measured values (mm)
X ₂₀	Total precipitation for the growing season	real measured values (mm)
X ₂₁	Total precipitation for 3 months in the early growing season	real measured values (mm)
X ₂₂	Total precipitation for 5 months of non-growing season	real measured values (mm)
X ₂₃	Monthly mean of relative humidity	estimated values(%)
X ₂₄	Monthly mean of relative humidity for 3 months in the early growing season	estimated values(%)
X ₂₅	Monthly mean of relative humidity for the growing season	estimated values(%)
X ₂₆	Monthly mean of relative humidity for 5 months of non-growing season	estimated values(%)

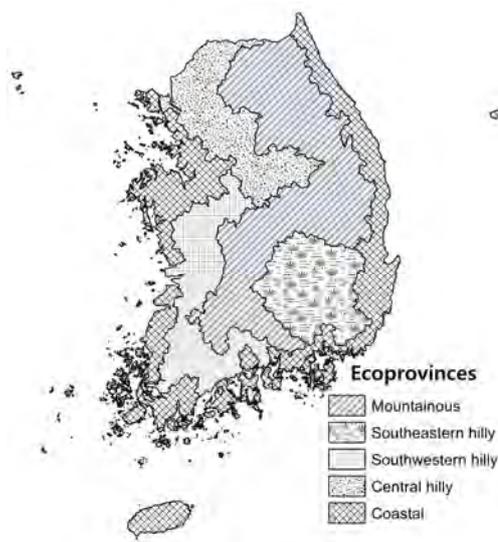


Figure 1. Ecoprovince classification in South Korea

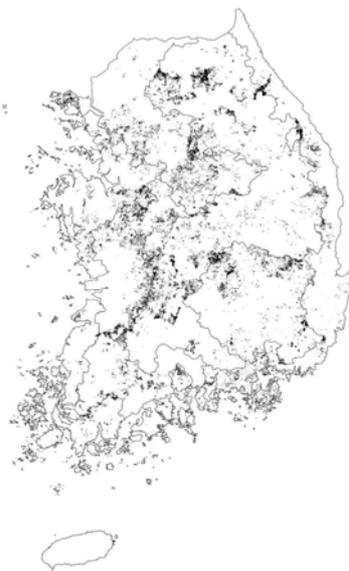


Figure 2. Current distribution for *Quercus acutissima*.

환경요인에 의한 상수리나무의 최적 지위지수 추정식을 도출하기 위해 본 연구에서 사용한 26개의 환경인자 중에서 지위지수와 상관이 비교적 높은 변수를 선택한 후, 지위 추정에 필요한 최적 변수 조합을 선택하기 위해 중회귀분석의 단계별 회귀기법(stepwise regression)을 사용하였다. 이러한 일련의 과정에서 내부상관의 여부를 검증한 후(Belsley *et al.*, 1980; Myers, 1986), 최적의 변수 조합에 의한 생태권역별 지위지수 추정식을 작성하였다. 이상과 같은 방법으로 도출된 상수리나무 지위지수 추정식의 적합성 검증은 모형의 추정편의, 모형의 정도, 그리고 이 두 가지를 고려한 측정치에 대한

오차의 평균평방화인 모형의 표준오차의 3가지 검증통계량을 이용하여 실시하였다(Shin, 1990; Arbatzis and Burkhart, 1992). 한편 본 연구에서는 통계검증에 이상이 없을 경우 최종적으로 추정자료와 검증자료를 합친 통합자료에 근거하여 최종 지위지수 추정식을 개발하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 첫 번째 단계로 추정자료를 사용하여 상수리나무의 생태권역별 지위지수 추정식을 조제하였다(Table 2). 생태권역별로 4~6개의 환경인자가 지위지수 추정에 사용되었으며, 그중에서 기후인자는 생태권역별로 각각 2~3개씩이 지위지수 추정에 관여하는 것으로 분석되었다. 생태권역별 지위지수 추정식의 설명력을 나타내는 결정계수는 0.30~0.42의 범위에 있었는데, 중부산야권역이 가장 낮고 남동산야권역이 가장 높게 추정되었다.

Table 2. Regression coefficients of site parameters to environmental factors by ecoprovince.

Ecoprovinces	n	Estimated equation of forest productivity	R ²
Mountainous	6,085	SI=34.4225+0.4762*X ₂ +0.1060*X ₇ +0.0793*X ₉ -0.3095*X ₂₆ +8.2743(Ln(X ₅)/X ₁₇)	0.36
Southeastern hilly	2,392	SI=67.6437-1.4948*X ₃ +0.0877*X ₇ -0.7002*X ₁₃ -0.4639*X ₁₇ -0.7901*X ₂₅	0.42
Southwestern hilly	3,078	SI=41.8882-0.5873*X ₁₁ -0.6886*X ₁₄ -0.0174*X ₂₂ -0.2830*X ₂₅	0.34
Central hilly	2,752	SI=42.8130+0.1131*X ₇ -0.3804*X ₁₁ -0.2715*X ₂₅ -4.7994(X ₂₄ /X ₁₆)	0.30
Coastal	4,029	SI=12.1147-1.0897*X ₁ +1.4838*X ₈ -0.0081*X ₂₁ +1.4401(X ₂₃ /X ₁₆)	0.35

이와 같이 얻어진 지위지수 추정식을 대상으로 검증자료를 사용하여 평가 통계량인 모형의 평균편의(MD), 모형의 정도(SDD), 그리고 모형의 표준오차(SED)를 산한 결과는 Table 3과 같다. 검증결과를 보면 생태권역별 상수리나무의 지위지수 추정식의 평균 편의를 나타내는 MD는 모두 절대값이 0.15m 이하로 나타나 높은 추정능력을 보이고 있다. 일부 생태권역의 경우 추정식의 편의가 음수로 나타나 과대 추정하는 경향을 보이고 있지만 모두 0에 가까운 값을 보여 큰 의미가 없는 것으로 평가되었다. 한편 추정식의 정도 및 적합성을 나타내는 SDD와 SED는 남서산야권역과 중부산야권역은 모두 2.0 이내로 낮게 추정되었다. 나머지 권역은 2.0~3.0의 범위로 다소 높지만 지위지수 추정식의 적합성은 문제가 없는 것으로 평가된다.

Table 3. Evaluation results of the estimation ability based on the test data set for site index equations by ecoprovince.

Ecoprovinces	n	MD	SDD	SED
Mountainous	2,608	-0.0550	2.3284	2.3290
Southeastern hilly	1,025	0.1070	2.2399	2.2424
Southwestern hilly	1,319	-0.1474	1.9640	1.9695
Central hilly	1,180	-0.0436	1.7811	1.7816
Coastal	1,726	0.0888	2.7949	2.7963

검증결과에 근거하여 최종 상수리나무의 생태권역별 최적 지위지수 추정식은 통합자료를 사용하여 개발하였으며 그 결과는 Table 4와 같다. 지위지수 추정식의 결정계수는 0.30~0.41의 범위에서 모형 설명력을 보이고 있다. 상수리나무에 대한 생태권역별 지위지수 추정식은 모두 18개의 환경요인에 의해 지위지수를 추정하는 것으로 평가되었다. 특히 생태권역별로 유효토심(X₇), A층 토심(X₁₁), 연 최고기온(X₁₆), 연 최저기온(X₁₇), 그리고 성장기간 동안의 월평균 상대습도(X₂₅)와 같은 변수들이

지위지수 추정에 가장 영향을 많이 미치는 것으로 나타났다. 한편 기후변수의 경우에는 생태권역별 상수리나무의 지위지수 추정식에 단독 또는 다른 기후인자와의 상호작용, 그리고 지형인자 및 토양인자와 상호작용의 형태로 산림생산력 추정에 관여하는 것으로 나타났다.

Table 4. The final regression equations developed for the site index estimation by ecoprovince.

Ecoprovinces	n	Estimated equation of forest productivity	R ²
Mountainous	8,693	SI=34.4126+0.4762*X ₂ +0.1030*X ₇ +0.0826*X ₉ -0.3132*X ₂₆ +7.8680(Ln(X ₅)/X ₁₇)	0.35
Southeastern hilly	3,417	SI=68.7944-1.4894*X ₃ +0.0802*X ₇ -0.6243*X ₁₃ -0.4617*X ₁₇ -0.8065*X ₂₅	0.41
Southwestern hilly	4,397	SI=41.9565-0.6-47*X ₁₁ -0.6599*X ₁₄ -0.0172*X ₂₂ -0.2859*X ₂₅	0.33
Central hilly	3,932	SI=42.5575+0.1132*X ₇ -0.3774*X ₁₁ -0.2567*X ₂₅ -5.1634(X ₂₄ /X ₁₆)	0.30
Coastal	5,755	SI=11.4448-1.0385*X ₁ +1.4724*X ₈ -0.0083*X ₂₁ +1.7100(X ₂₃ /X ₁₆)	0.35

상수리나무의 적지기준은 지위지수 16 이상으로 설정하였으며(국립산림과학원, 2012), 이 기준에 따라 상수리나무의 적지 면적을 산출한 결과는 Table 4와 같다. 여기서 산출된 생태권역별 적지면적은 환경인자의 조합에 의해 도출된 최종 지위지수 추정식에 의해 얻어진 지위지수 추정치를 적지기준과 비교하여 상수리나무의 현재 분포지역과 생태권역별 전체 산림지역으로 구분하여 산출한 적지면적의 합계이다.

Table 5. Estimates of productive areas by ecoprovinces based on the site index equations.

Ecoprovinces	Total area (ha)	Current Distribution			All Forest in Ecoprovince		
		polygon (n)	area (ha)	Rate (%)	polygon (n)	area (ha)	Rate (%)
Mountainous	196,630	1,890	40,291	20.5	24,524	459,212	21.3
Southeastern hilly	66,148	711	9,752	14.7	2,523	45,352	6.7
Southwestern hilly	88,421	602	7,916	9.0	3,368	42,865	6.4
Central hilly	65,136	1,181	15,197	23.3	10,246	151,835	24.1
Coastal	108,610	495	11,810	10.9	4,859	103,687	7.2

참고문헌

- Albert, M. and Schmidt, M. 2010. Climate-sensitive modelling of site-productivity relationships for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* 259: 739-749.
- Corona, P., Scotti, R. and Kutner, M.H. 1998. Relationship between environmental factors and site index in Douglas-Fir plantation in central Italy. *Forest Ecology and Management* 110: 195-207.
- Curt, T., Bouchaud, M. and Agrech, G. 2001. Predicting site index of Douglas-Fir plantations from ecological variables in the Massif Central area of France. *Forest Ecology and Management* 149: 61-74.
- Takahashi, K., Azuma, H. and Yasue, K. 2003. Effect of climate on the radial growth of tree species in the upper and lower distribution limits of an altitudinal ecotone on Mount Norikura, central Japan. *Ecological Research* 18: 549-558.

남부지방 곰솔의 수간곡선식 개발 및 정도 비교

Estimating Distribution of Emission Factor with Probability Density Function for *Pinus densiflora* in the Republic of Korea

손영모^{1*}, 이광수¹, 표정기¹, 이경학¹

(¹국립산림과학원)

1. 연구목적

임목 수간 형태는 다소 불규칙적이어서 어떤 정형적인 기하학적 그림으로서 정확하게 묘사하기 매우 어렵다. 그럼에도 불구하고 재적을 측정할 때 임목측정자들은 정형성을 가정하고 “회전입방체 (solids of revolution)”에 속하는 많은 기하학적 그림이나 그 자신들의 고유한 추정 그림형태로서 이를 기술하여 왔다. 이러한 수간 형태를 도식화한 것이 수간곡선(Stem profile)이며, 수식으로 표현한 것을 수간곡선식(Stem profile equation or Stem taper function)이다.

본 연구에서는 문헌 상 활용도가 높은 몇몇의 수간곡선식을 선정하여 각 식별 파라미터를 추정하고, 이에 대한 검정통계량을 제시하며, 우리나라 남부 및 해안지방 주요 수종인 곰솔에 대한 최적수간곡선식을 도출하고자 하였다. 본 최적 수간곡선식은 남부지방 곰솔의 수간재적표를 작성하는 가장 기본 자료가 될 것이다.

2. 연구방법

1) 분석자료

곰솔의 최적 수간곡선식을 도출하기 위하여 경남북, 전남 해안 지역에서 정상적으로 생육하고 있는 임목을 직접 벌채하여, 이를 수간석해하였다. 실제 벌채한 임목의 수는 50여 그루이나, 이를 1년 단위로 수간석해하여 1년의 생장을 하나의 개체목으로 간주하였다.

Table 1. The results of stem analysis in *Pinus thunbergii*

Trees	Age	DBH(cm)	Height(m)
1,333	34.3	16.8	12.8
	4.0-68.0	0.4-44.1	1.5-24.2

2) 분석방법

남부지방 곰솔의 수간형을 가장 잘 설명할 수 있는 최적의 수간곡선을 도출하기 위하여, 분석에 이용한 수간곡선식은 Table 2에서 보는 바와 같이 6개식이다.

Table 2. Fitted taper equation for *Pinus thunbergii* in southern districts, Korea.

Model	Year	Equation form
Demaerschalk	1972	$d = a_0 D^{a_1} (H-h)^{a_2} H^{a_3}$
Max and Burkhart	1976	$d = D \sqrt{b_0(T-1) + b_1(T^2-1) + b_2(a_0 - T)^2 I_1 + b_3(a_1 - T)^2 I_2}$
Kozak	1988	$d = a_0 D^{a_1} a_2^D X^{b_1 Z^2 + b_2 \ln(z_i + 0.001) + b_3 z_i^{1/2} + b_4 e^{z_i} + b_5 (D/H)}$
Muhairwe	1999	$d = a_0 D^{a_1} (1 - \sqrt{T})^{b_0 T + b_1 T^2 + (b_2/T) + b_3 T^3 + b_4 D + b_5 (D/T)}$
Kozak	2002	$d = a_0 D^{a_1} H^{a_2} X_i^{b_1 z_i^4 + b_2 [1/e^{D/H}] + b_3 X_i^{0.1} + b_4 [1/D] + b_5 H^Q + b_6 X_i}$
Lee	2003	$d = a_0 D^{a_1} (1 - T)^{b_0 T^2 + b_1 T + b_2}$

3. 결과 및 고찰

1) 수간곡선식별 파라미터 추정

남부지방 곰솔의 수간형을 설명할 수 있는 각 수간곡선식의 파라미터는 Table 3과 같다.

Table 3. Values of the estimated parameters for each taper equation

Model	Parameter									
	a_0	a_1	a_2	a_3	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
Demaerschalk (1972)	1.4664	0.9498	0.6996	-0.7450						
Max and Burkhart (1976)	0.6879	0.1249			-3.9244	1.8566	-2.2122	23.1566		
Kozak (1988)	1.4221	0.8224	1.0043		0.6958	-0.1681	1.1196	-0.4226	0.0254	
Muhairwe (1999)	1.1945	0.9156			0.6859	-0.4759	-0.0237	0.4420	0.0009	-0.0241
Kozak (2002)	1.2157	0.9530	-0.0554		6.8369	-1.4366	-2.8049	2.4906	0.0446	4.9391
Lee (2003)	1.4518	0.9224			1.3996	-1.7793	1.2456			

2) 수간곡선식별 정도 비교

수고 15m, 직경 25cm를 정하고, 이를 적당한 수간고별로 나누어, 각 식별 식을 적합시켜, 수간곡선을 그어, 형태를 비교하였다.

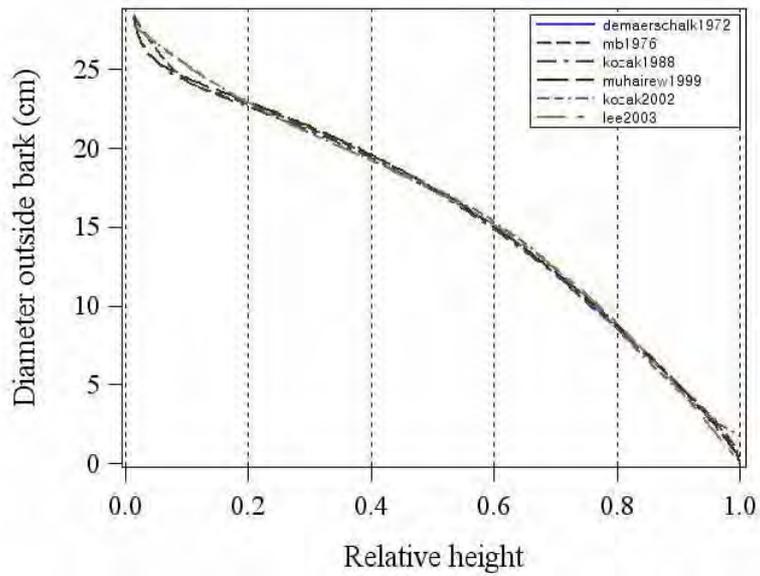


Figure 1. Predicted taper using the six taper equations with a diameter at breast height 25cm and height of 15m.

3) 검정통계량

수간곡선식의 정도를 설명할 수 있는 검정통계량 정보는 다음 Table 4이다. Table 4에서 적합도 지수가 가장 높은 것은 Kozak(1988)식이었다. 물론 적합도 지수 0.01 정도의 차이를 두고 통계적으로 정도의 차이를 논할 수는 없을 것이다. 다만 조금이라도 곱술의 수간형을 더 정확히 표현하고자 식들 중 가장 높은 적합도 지수를 갖는 것을 선택할 수밖에 없는 다른 방법이 없었다. 다른 검정 통계량인 편이나 오차 역시 Kozak(1988)식이 낮은 수치를 보여 주고 있었다.

Table 4. A summary of fitting statistics for *Pinus thunbergii*.

Model	Fitting statistics		
	F.I	Bias	RMSE
Demaerschalk (1972)	0.9759	0.0337	1.3436
Max and Burkhart (1976)	0.9765	0.2589	1.3265
Kozak (1988)	0.9802	0.0284	1.2165
Muhairwe (1999)	0.9798	0.0520	1.2290
Kozak (2002)	0.9789	0.0372	1.2584
Lee (2003)	0.9779	0.0764	1.2879

사회·경제적 지표를 이용한 폭설에 의한 등산조난 취약성평가

Vulnerability Assessment for Climbing Distress of Heavy Snow using Socio-economic Factors

최솔이^{1*}, 이우균¹, 박한빈¹, 김문일¹, 남기준¹, 유소민¹, 정래선²
(¹고려대학교 환경생태공학부, ²고려대학교 환경GIS/RS센터)

1. 연구목적

최근 이슈화되고 있는 기후변화에 대응하기 위한 방법은 완화와 적응으로 구분할 수 있다. 기후변화는 지구온난화, 이상기후, 극한기후출현 등을 포괄하는 개념으로 이를 방지하기 위하여 이산화탄소 배출량 줄이고, 이산화탄소 흡수원을 만들어 기후변화의 추세를 낮추는 것이다. 기후변화 적응은 완화와 함께 변화하는 기후에 대하여 예측하고 대처하기 위한 방법의 수립 등이다. 이에 기후변화에 대응하기 위하여 국제기구와 다수의 나라들이 사회·경제적, 정책적으로 많은 제도와 방법을 수립하고 있다. 우리나라 또한 기후변화 완화와 적응정책 수립을 위하여 “저탄소 녹색성장기본법(2010)”을 시행하여 기후변화 완화 정책을 펼치고 있으며, 기후변화 적응 기본계획인 “국가 기후변화 적응대책(2011~2015)”을 수립하는 등, 정부기관, 지자체, 대학들이 노력을 기울이고 있다. 기후변화 정부간위원회(IPCC)에서는 기후변화 취약성평가를 권고하며, 기후노출, 민감도, 적응능력의 함수로 취약성의 정도를 분석하고 있다. 우리나라에서도 상당한 취약성 평가가 이루어지고 있다. 취약성이란 기후 변동성이나 극단적인 기상현상을 포함하는 기후변화의 악영향에 대하여 어떤 시스템이 받아들일 수 없는 정도, 혹은 대처 할 수 없는 정도로 정의할 수 있다. 우리나라에서 연구된 취약성평가의 방법들은 기후변화에 대해 반응을 일으키는 대표적인 대상을 항목으로 선정하여 취약성 평가를 수행하였다. 이에 본 연구는 비교적 연구가 되어 있지 않은 기후변화에 따라 발생할 수 있는 현상으로, 극한기후에 따른 폭설에 의한 등산조난 취약성 평가를 수행하여 취약성 평가를 바라보는 새로운 시각을 제시하는데 의의가 있다.

2. 연구재료 및 방법

1) 연구의 대상지 및 범위

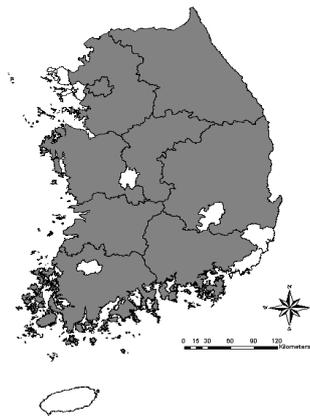


Figure 1. Study area for Vulnerability assessment

본 연구의 범위는 한반도 전체를 대상으로, 등산객의 현황과악과 사회·경제적 지표의 자료 확보가 가능한 국립공원이 포함되어있는 지역 중심으로 12.5km 공간규모로 평가하였다. 취약성 평가가 수행된 지역은 Figure 1과 같고, 시간규모는 2010년(현재), 2020년, 2050년, 2100년으로 취약성 평가를 수행하였다.

2) 취약성 평가방법

본 연구에서는 IPCC의 취약성 개념에 따라 기후노출, 민감도, 적응능력의 기준의 함수로 취약성 평가를 수행하였으며, 기후노출이란 반응을 보이는 대상이 기후에 영향을 받는 정도를 의미하며, 민감도는 기후노출에 의하여 연구하고자 하는 대상이 환경요인이나, 사회적 요인에 의하여 영향을 받는 정도가 변화하는데, 이때 영향의 정도를 결정하는 요인이다. 적응능력은 기후노출과 민감도의 정도에 적응할 수 있는 능력을 의미하여, 적응능력은 사회·경제적인 여건과 제도적, 기술적인 조건에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 취약성 평가(Vulnerability)를 민감도(Sensitivity)와 기후노출(Exposure)의 곱을 적응능력(Adaptation capacity)으로 나누어 식1과 같이 평가하였다.

$$Vulnerability = \frac{Sensitivity \times Exposure}{Adaptation} \quad \text{식 (1)}$$

3) 자료의 구축

본 연구에서 취약성평가에 이용한 각 기준별 자료로 기후노출은 대표농도경로(Representative Concentration Pathway, RCP) 8.5를 이용하여 추출하였으며, 민감도와 적응능력은 국립공원관리공단에서 제공하는 국립공원통계자료를 이용하였다. 또한 변동의 폭이 클 것이라 판단되는 사회·경제적 지표는 회귀모형을 통해 산출하였다. 또한 지표들 각각이 취약성에 기여하는 정도가 다를 것이라 판단하여 회귀계수를 통하여 가중치를 산정하였다. 본 연구에서 이용한 기준별 지표와 가중치는 Table 1과 같다.

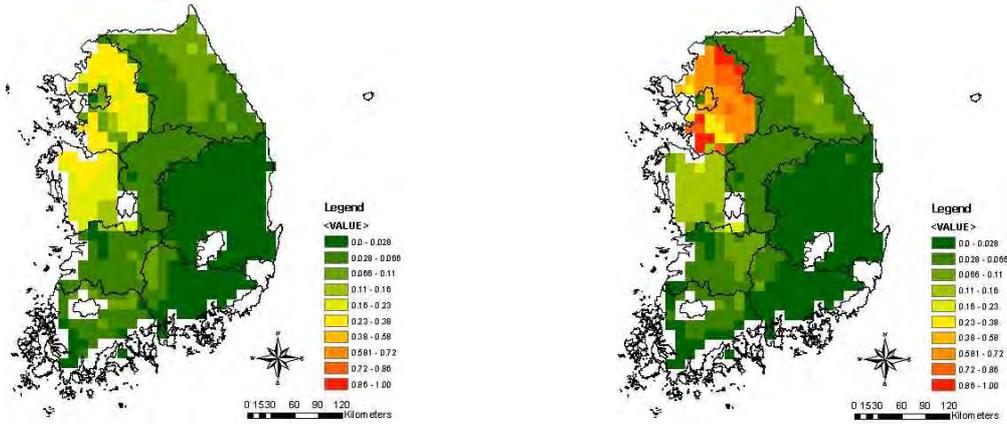
Table 1. 폭설에 의한 등산조난 취약성 평가 지표 및 가중치

기준	지표	지표 가중치	기준 가중치
기후노출 (Exposure)	일평균기온이 영하인 날의 수	0.064	0.236
	일최저기온이 영하인 날의 수	0.001	
	연평균 적설량	0.172	
민감도 (Sensitivity)	해발고도	0.021	0.415
	경사도	0.013	
	등산로 길이	0.003	
	입장객 현황	0.158	
	야영장	0.220	
적응능력	구조대 현황	0.247	0.348
	구조장비 현황	0.101	
계		1	1

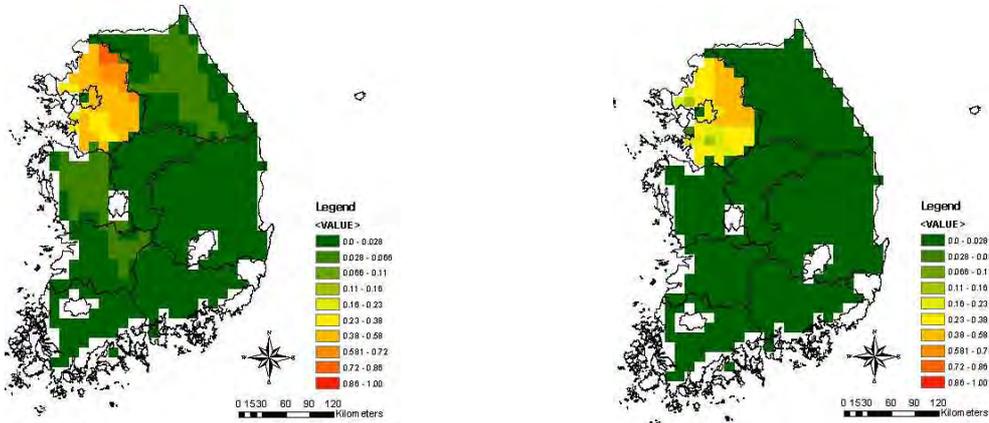
3. 결과 및 고찰

본 연구에서 12.5km로 폭설에 의한 등산조난 취약성평가를 수행한 결과는 Figure 2와 같으며, 2010년부터 2100년까지의 취약성의 정도를 비교하기 위하여 자료의 표준화 과정을 수행하였다. 2010년부터 2100년까지 취약성평가 결과 2010년에서 가장 취약한 지역은 경기도와 충청남도로 나타났으며, 이는 낮은 적응능력의 영향으로 판단된다. 2020년대에는 충청남도 지역의 취약성이 감소하고 경기도,

서울특별시의 취약성이 증가 하는 것으로 나타났다. 이는 서울특별시지역과 경기도 지역의 민감도의 증가와 낮은 적응능력의 영향인 것으로 판단이 되며, 비교적 가중치가 큰 민감도지표인 입장객현황과 적응능력 지표인 구조대 인원, 구조장비 지표의 영향으로 판단된다.



(a) (b)



(c) (d)

2050년에는 충청남도과 경기도 일부지역에서 취약성이 감소하였다. 이는 적응능력 지표인 구조장비현황의 영향이 가장 큰 것으로 판단이 되며, 다음으로 기후노출의 영향이 큰 것으로 판단된다. 2100년에는 대상지 전체에 대하여 취약성이 감소한 것으로 나타났으며, 이는 적응능력지표의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다. 또한 경기 일부 지역에서 취약성의 큰 감소가 나타났는데, 이는 기후노출의 영향인 것으로 판단된다. 본 연구의 모든 결과에서 경기도 지역이 가장 취약한 것으로 나타났는데, 이는 타 지역에 비하여 현재 입장객 현황이 가장 큰 지역이며, 이에 따라 미래의 자료에도 영향을 미쳤기 때문이다.

본 연구의 결과를 비추어볼 때 본 연구는 사회·경제적 지표의 미래자료의 예측의 한계성이 존재한다. 현재 사회·경제적인 시나리오가 각 분야에서 개발되고 있으며, 개발된 시나리오를 차후 본 연구에 적용한다면, 본 연구에서 뿐 아니라 각 분야의 취약성 평가에 필요한 미래자료의 구축과 불확실성을 줄일 수 있을 것으로 판단되며, 차후 기후변화에 대한 적응정책의 기반연구로서 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

사사

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 유가영, 김인애. 2008. 기후변화 취약성 지표의 개발 및 도입방안. 한국환경정책평가 연구원
- 한화진, 안소은, 최은진, 한기주, 이정택, 김해동, 손요환, 박용하, 조광우, 윤정호, 이은애, 김승만. 2007. 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축Ⅲ. 한국환경정책평가연구원
- 환경부. 2010. 지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립 매뉴얼 개발 I. 연구보고서
- IPCC 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 717-743.

산림자원조사의 표준공정 및 표준단가 분석

Estimation of Standard Costing for Forest Inventory Survey

설아라^{1*}, 정주상¹, 원현규², 이영진³, 김성용³, 최정기⁴, 기태영¹, 유중원¹
 (¹서울대학교 산림과학부, ²국립산림과학원, ³공주대학교, ⁴강원대학교)

1. 연구목적

최근 ‘지속가능한 산림경영’이라는 패러다임이 정착됨에 따라, 생물다양성, 탄소고정효과 등의 많은 정보들을 산림자원조사를 통하여 얻고자 한다. 또한, 이러한 정보의 정확성 제고를 위하여 GIS 분석을 통한 현지과약, 통계적 표본설계, 정교성을 요하는 측정 장비 도입 등의 전문적인 요소들을 산림자원조사에 반영. 수행하고 있다. 하지만, 그림 1에 나타난 바와 같이 아직까지 산림청에 고려하고 있는 ‘산림자원조사’의 개념은 비전문인 2인이 현장에서 수행하는 산림조사에 국한되어 있는 실정이며, 이에 ha당 1일 단가 또한 12,631원의 비현실적인 금액으로 책정되어 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 진단하고 나아가 신뢰성을 보장할 수 있는 산림자원조사체계 구축을 위한 첫 걸음으로서, 보다 현실에 부합할 수 있는 산림자원조사의 표준공정 및 표준단가를 분석.제시하고자 한다.

(단위 : 원)

구분	공정	단가	금액	비고
합계			12,631	
1. 직접인건비			8,644	
○ 산림조사			8,644	
- 기술2급 산림경영기술자	20ha/1일	97,283	4,864	대한건설협회 공표 특별인부임(12.1.1) 적용
- 보조원	20ha/1일	75,608	3,780	대한건설협회 공표 보통인부임(12.1.1) 적용
2. 직접경비			1,500	
○ 식비	20ha/1일	20,000	1,000	
○ 교통비	20ha/1일	10,000	500	
3. 제경비	직접인건비 × 5%		432	
4. 수수료 및 이윤	(직접인건비+제경비) × 10%		907	
5. 부가가치세	(1+2+3+4) × 10%		1,148	

그림 1. 2012년도 ha당 산림조사용역 단비표(산림청)

2. 연구방법

현재 국유림에서 일반적으로 수행되고 있는 산림자원조사 프로세스를 바탕으로 표준공정을 제시하고, 이에 대한 현실성 있는 표준단가를 산정하였다.

3. 연구 결과 및 고찰

1) 산림조사 표준공정 분석

표 1. 현 산림자원조사 공정 및 단가의 문제점

문제점	내용
1. 외업만 고려	국유림조사지침에 따르면 국유림 경영계획을 위한 산림자원조사 수행에 있어 현장에 나가 측정기구로 산림자원을 조사하는 외업뿐만 아니라, 재계산, 지도작성, 산림조사부 작성 등의 많은 내업이 포함되어 있다. 하지만 본 단비표(그림 1)에서는 이러한 내업에 관한 고려가 전혀 되어 있지 않고 현장에 나가 조사할 2인에 대해서만 인건비가 책정되어 있다.
2. 조사인력의 비현실성	현장에 나가 조사를 수행하는 외업만을 고려하더라도 이들에 대한 인건비는 대한건설협회에서 정의한 보통인부와 특별인부를 기준으로 책정되어 있다. 보통인부는 「기능을 요하지 않는 경작업인 또는 일반 잡역에 종사하면서 단순 육체노동을 사람」이며, 특별인부는 「보통인부보다 다소 높은 기능정도를 요하며, 특수한 작업조건 하에서 작업하는 사람」으로 정의되어 있다. 하지만, 요즘 수행되고 있는 산림자원조사는 정교한 측정기기를 다루는 것부터, 다양한 분석과 조사방법을 요함에 따라 보통인부나 특별인부보다는 보다 전문적인 인력이 필요하다.
3. (외)업무량의 비현실성	단비표에는 1일 20ha 조사를 기준으로 하고 있다. 하지만 실제 현장에서 산림조사를 수행해보면, 하루에 0.04ha의 표본점을 최대 5~6개 밖에 할 수 없는 실정이다. 표본강도를 감안하더라도 1일 20ha의 산림조사를 수행한다는 것은 매우 비현실적임을 알 수 있다.

현실적인 산림조사 표준공정을 제시하기 위해서는 현장에서 수행되는 외업뿐만 아니라 조사 설계, 분석, 보고 등의 내업에 관한 고려가 필요하다. 그림 2는 최근의 산림조사 경향을 잘 반영하면서도 보다 체계적인 산림조사 수행을 위해 필요한 구성 요소들을 고려한 새로운 산림조사 표준공정을 보여주고 있다. 본 표준공정에서는 조사수행 이전 현장에 대한 철저한 분석과 효율적인 조사를 위한 표준지 설계단계에서부터 시작하여, 현지조사, 조사자료의 입력 및 분석, 비조사지에 대한 재적 추정, 산림조사부 작성 및 검수, FGIS 도면 및 보고서 작성 등의 총괄적인 과정을 모두 포함하고 있다.

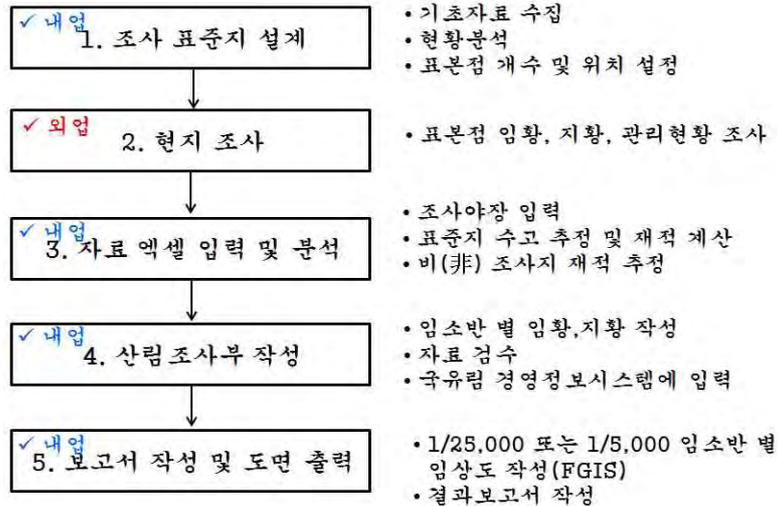


그림 2. 산림자원조사 표준공정 흐름도

2) 산림조사 표준단가 분석

산림조사를 수행하기 위해서는 무엇보다도 전문적인 인력의 수급과 이들에게 지불되어야 하는 적절한 인건비 및 여비에 대한 고려가 필요하다. 그림 3은 각 표준공정 단계별 전문 인력을 현실성 있게 배치하였으며, 이들에 대한 인건비 및 여비도 그림 4에 제시된 항목기준들을 바탕으로 책정하였다. 특히 현지조사의 경우 현 국유림 산림자원조사에서 통용되고 있는 전체면적 대비 2%의 표본추출강도를 적용하여 업무량을 산정하였다.

구분	소요인력				1일 공정 (ha/일)
	특급	고급	중급	초급	
1. 조사표준지 설계	1	1	1		1000
2. 현지 산림조사	-	-	1	2	10
3. 자료 입력 및 분석	-	1	2	2	1000
4. 산림조사부 작성	1	1	1	1	1000
5. 보고서 작성 및 도면 출력	-	1	2	2	500

그림 3. 표준공정에 필요한 전문인력 할당

1. 등급별 기술자 일당 (단위: 원/일)

특급기술자	고급기술자	중급기술자	초급기술자
258,612	205,855	181,472	133,629

* 연지니어링기술자 노임단가 '건설 및 기타분야' 기준 적용

2. 여비

숙박비(원/일)	식비(원/일)	임비(원/일)	교통비(원)
40,000	18,000	5,000	24,000

* 숙박비: 일반 모델수준 적용
* 교통비: 서울-대전 간 고속도로 운임 적용

3. 현지조사

표본추출율(%)	표준지 크기(ha)	조사팀(인/조)	작업생산성(표준지/일)
2%	0.04	3	5

그림 4. 표준단가 항목별 기준

그 결과, ha당 산림조사 단가비용은 약 89,000원 정도로 책정되었으며(그림 5), 이는 산림조사 법인들이 현재 자체적으로 설정하여 운영하고 있는 5~6만원보다는 약간 높은 것을 알 수 있다. 하지만

본 표준공정 및 단가는 보다 전문적인 과정과 인력에 대한 고려가 반영되었음을 감안할 때, 현실적으로 타당한 비용이라 할 수 있다.

(단위 : 원)

구분	공정	단가	금액	비고
○ 직접비				
1. 직접인건비			47,341	
- 조사표준지 설계	1000ha/일	258,612	259	특급기술자 1인 기준
	"	205,855	206	고급기술자 1인 기준
	"	181,472	181	중급기술자 1인 기준
- 현지 산림조사	10ha/일	181,472	18,147	중급기술자 1인 기준
	"	133,629	26,726	초급기술자 2인 기준
- 자료입력 및 분석	1000ha/일	258,612	259	특급기술자 1인 기준
	"	181,472	181	중급기술자 2인 기준
	"	133,629	134	초급기술자 2인 기준
- 산림조사부 작성	1000ha/일	258,612	259	특급기술자 1인 기준
	"	205,855	206	고급기술자 1인 기준
	"	181,472	181	중급기술자 1인 기준
- 보고서 및 도면 작성	500ha/일	205,855	412	고급기술자 1인 기준
	"	181,472	363	중급기술자 2인 기준
	"	133,629	267	초급기술자 2인 기준
2. 직접경비 (여비)			26,100	
- 숙박비	10ha/일	40,000	12,000	3인 기준
- 식비	10ha/일	18,000	5,400	3인 기준
- 일비	10ha/일	5,000	1,500	3인 기준
- 교통비	10ha/일	24,000	7,200	3인 기준
○ 간접비				
3. 제경비 (일반관리비)	직접인건비×5%		2,367	
4. 기술료	(직접인건비+제경비)×10%		4,970	
○ 기타				
5. 부가가치세	(1+2+3+4)×10%		8,078	
합 계			88,856	

그림 5. 표본조사장도 2% 일 때의 ha당 산림조사 단가비용

소나무 탄소배출계수의 적정 확률밀도함수 추정

Estimating Distribution of Emission Factor with Probability Density Function for *Pinus densiflora* in the Republic of Korea

표정기*, 손영모¹, 이경학¹, 김래현¹, 김소원¹, 김정남¹

(¹국립산림과학원)

1. 연구목적

탄소배출계수의 특징을 나타내는 확률밀도함수(Probability Density Function)의 선정은 몬테 카를로 시뮬레이션을 이용한 불확도 평가에서 중요한 부분이다. 불확도는 알고자하는 미지의 값과 적용되는 값의 차이를 나타내는 수치이고 신뢰성 있는 연구 결과의 제시를 위하여 불확도를 최소화해야 한다 (Dieck, 2007; Ramirez *et al.*, 2008). IPCC(2003; 2006a)는 불확도를 계산하는 방법으로 두 가지를 제시하고 상황에 따라 유연한 계산이 가능하도록 하였다. 산림은 환경과 지형적인 차이에 따라 입목의 생장과 목재의 밀도는 상이하고 불확도를 높이는 주요한 원인이 된다. 그러므로 반복적인 모의 실험을 통하여 자료의 변이와 추정 과정에서 발생하는 오류를 줄여야 한다. 모의 실험에서 가장 중요한 단계는 자료가 나타내는 확률밀도함수의 선정에 있다.

그러므로, 본 연구의 목적은 IPCC에서 권장하는 몬테 카를로 시뮬레이션의 적용성을 판단한 후, 소나무 탄소배출계수의 적정 확률밀도함수를 제시하는데 있다.

2. 연구방법

1) 분석자료

본 연구는 우리나라에 분포하는 소나무 임분을 대상으로 45개의 표준지를 선정하였다. 표준지별 5분의 표준목을 벌채하고 2에서 3분은 뿌리까지 굴취 하였다. 수집된 자료는 산림 바이오매스/탄소 DB관리 프로그램(<http://forestcarbon.kfri.go.kr>)에서 관리되고 수종별 탄소배출계수와 바이오매스 정보를 제공한다. 본 연구는 산림 바이오매스/탄소 DB관리 프로그램에 구축되어 있는 소나무의 탄소배출계수 자료를 이용하였다. Figure 1에서 탄소배출계수별 분포를 나타내었다.

2) 탄소배출계수별 확률밀도함수의 선정

산림에 저장된 탄소량을 추정하기 위하여 사용되는 탄소배출계수는 목재기본밀도(Basic wood density, 이하 D), 바이오매스 확장계수(Biomass expansion factor, 이하 BEF), 뿌리함량비(Root-to-shoot ratio, 이하 R)이다(IPCC, 2006b). 몬테 카를로 시뮬레이션을 이용하여 불확도를 평가하기 위해서 탄소배출계수 별 모집단의 분포 특성을 나타내는 확률밀도함수를 선정해야한다. 현재, 다양한 확률밀도함수가 존재하지만 탄소배출계수의 일반적인 특징을 고려하여 4개(Normal, Lognormal, Gamma, Weibull)의 확률밀도함수를 비교하였다. 확률밀도함수의 모수를 추정하기 위하여 최우도법(Maximum likelihood method)을 이용하였다.

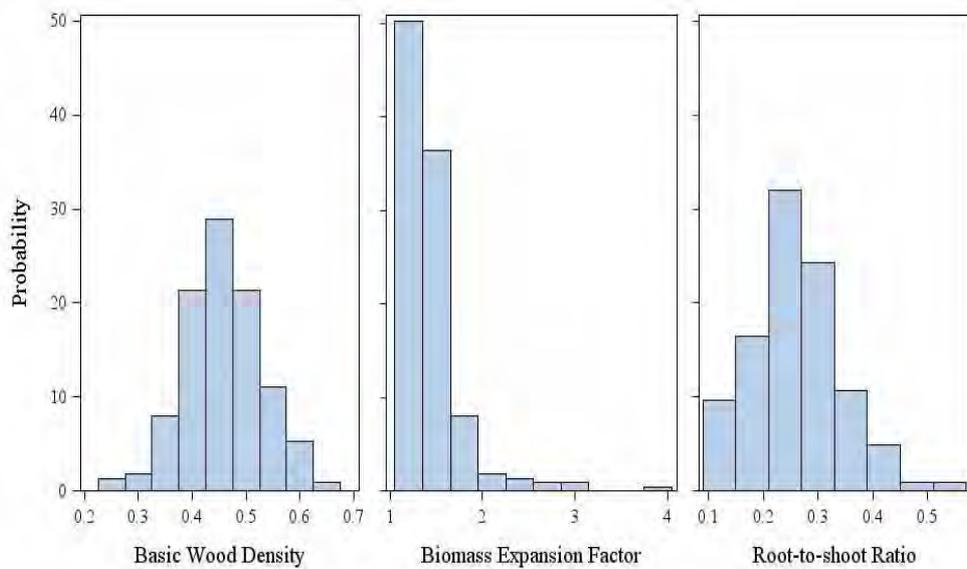


Figure 1. The probability histogram of emission factors.

3. 결과 및 고찰

탄소배출계수별 적합한 확률밀도함수를 제시하기 위하여 자료들의 연속적인 형태를 가정하였다. 최우도법을 이용하여 추정된 확률밀도함수 별 모수와 K-S 통계량은 Table 1과 같다. 목재기본밀도에 선정된 확률밀도함수는 Normal 분포이고 K-S 통계량은 2.363이다. 바이오매스확장계수에서 선정된 확률밀도함수는 Gamma 분포이고 K-S 통계량은 3.331이며 뿌리합량비에서 선정된 확률밀도함수는 Weibull 분포이고 K-S 통계량은 2.155이다. 최우도법을 이용하여 추정된 모수의 범위를 고려하였을 때, 시뮬레이션을 위한 확률밀도함수의 사용은 적합한 것으로 판단된다.

Table 1. Maximum likelihood estimators and the two-sample kolmogorov-smirnov test results in each probability density function of emission factors.

Emission factor	Distribution	Parameter			D	Rank
		Location	Scale	Shape		
D	Normal	0.459	0.073		2.363	1
	Lognormal		-1.396	0.329	4.979	4
	Weibull		0.286	3.875	3.884	3
	Gamma		0.024	10.809	3.452	2
BEF	Normal	1.427	0.354		9.027	4
	Lognormal		-1.084	0.676	3.529	2
	Weibull		0.475	1.415	4.992	3
	Gamma		0.188	2.272	3.331	1
R	Normal	0.259	0.079		3.518	3
	Lognormal		-1.988	0.619	5.945	4
	Weibull		0.180	2.122	2.155	1
	Gamma		0.046	3.399	3.078	2

본 연구는 소나무 탄소배출계수의 적정 확률밀도함수를 추정하고 불확도의 산정과정에서 몬테 카를로 시뮬레이션 기법의 적용성을 검토하였다. 산림 바이오매스/탄소 DB에 저장되어 있는 탄소배출계수와 최적의 확률밀도함수는 목재기본밀도에서 Normal 분포이고, 바이오매스확장계수는 Gamma 분포이며 뿌리함량비에서 최적의 분포는 Weibull 분포이다. 추정된 확률밀도함수와 불확도의 관계를 알아보기 위하여 시뮬레이션 결과와 비교하였을 때, 불확도가 낮을수록 추정된 확률밀도함수는 높은 적합도를 나타내는 것으로 조사되었다. 탄소배출계수는 환경적, 지형적 원인과 계수의 개발과정에 발생하는 불확도의 원인으로 정확한 수치를 산정하기 어렵다. 그러므로 탄소배출계수별 불확도 분석의 결과를 고려하여 지속적인 자료의 수집과 효과적인 분석방법이 개발된다면 정도 높은 모집단의 확률밀도함수 추정이 가능하다. IPCC가 권장하는 불확도 접근방법에서 접근 2(Approach 2)인 몬테 카를로 시뮬레이션을 이용하여 탄소배출계수의 결과를 분석하였다. 본 연구에서 적용된 몬테 카를로 시뮬레이션은 신뢰성 있는 확률밀도함수 정보의 제공과 불확도의 산정에 도움이 되는 것으로 판단된다.

시간 경과에 따른 택벌림화 작업지의 경쟁지수 변화 예측*

Predicting the Change of Competition Indices over Time for Natural Deciduous Forests Applied by Selection Cutting System

고성윤^{1*}, 박병배², 성주한², 신만용¹

(¹국민대학교 산림환경시스템학과, ²국립산림과학원 산림생태연구과)

1. 연구목적

본 연구는 강원도 평창 가리왕산 일대 천연 활엽수림을 대상으로 택벌림화 작업을 실시한 후 현재의 임분통계량, 직경생장량, 치수발생 현황, 수고곡선식 등의 정보에 근거하여 시간 경과에 따른 경쟁지수의 변화를 예측하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 택벌림화 작업이 실시된 임분을 대상으로 향후 30년 동안 5년 간격으로 임분구조의 변화에 근거한 경쟁상태를 비교 분석하여 시업의 적합성을 평가하였다.

2. 연구방법

1) 임분조사

본 연구에서 사용한 자료는 택벌림화 작업지로 선정되어 시업이 이루어진 임분 내에 설치된 3반복의 30m×30m(0.09ha)의 표본점과 10반복의 20m×20m(0.04ha)의 표본점, 즉 총 13개의 표본점을 대상으로 수집하였다. 각 표본점 내의 흉고직경 6cm 이상의 모든 입목에 대해 수종명, 흉고직경, 수고, 지하고, 각 입목의 위치(X-Y 좌표), 8방위 수관폭, 임령을 측정하고, 모든 측정대상 입목의 목편을 채취하여 최근 5년간의 직경 성장량을 파악하였다. 이를 통해 각 표본점의 ha당 본수, ha당 흉고단면적, ha당 재적, 평균 흉고직경, 평균 수고, 그리고 직경생장량 및 직경생장률과 같은 임분통계량을 산출하였다. 이와 함께 표본점 내의 교목 치수발생 현황을 조사하여 흉고직경 1cm 단위로 정리하였다.

2) 경쟁지수

본 연구에서 사용한 경쟁지수는 다양한 거리중속 경쟁지수 중에서 가장 널리 알려진 Hegyi의 경쟁지수(1974)이다. 이 경쟁지수는 중심목의 흉고직경(d_i)과 주변 j 번째 경쟁목의 흉고직경(d_j)의 상대적 크기의 비율과 중심목과 경쟁목의 거리($Dist_{ij}$)를 사용하여 산출한다(Table 1).

Table 1. Competition index models used in this study.

Model Name	Equation
Hegyi (1974)	$\sum_{j=1}^n \left[\frac{\frac{d_j}{d_i}}{Dist_{ij}} \right]$

이와 같은 거리중속경쟁지수의 경우 경쟁관계에 있는 입목의 범위를 설정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 다양한 경쟁목 선정방법 중에서 이전 연구(이태희, 1999; 신만용 등, 2002)를 통해 가장 합리적인 방법으로 확인된 중심목의 지표로부터 50°로 시준된 각도에 의해 경쟁목을 선정하는 방법을 사용하였다. 즉, 중심목의 지표로부터 50°로 시준한 연장선보다 주변 입목의 수고가 크면 경쟁 대상으로 선정하는 방법이다. 이 방법은 중심목과 경쟁목 간의 거리($Dist_{ij}$) 및 j 번째 경쟁목의 수고(HT_j)에 의해 경쟁목의 범위를 설정한다.

* 본 연구는 2012년 국립산림과학원 위탁연구과제 '가리왕산 일대 산림작업 실연지의 임분 변화 구명(2)'에 의해 수행된 연구 결과의 일부입니다.

3) 통계분석

본 연구의 목적은 택벌림화 작업을 시행한 임분의 구조가 시간이 경과됨에 따라 목표임분형인 택벌림에 적합한지를 평가하기 위한 것이다. 이를 위해 정리기를 30년으로 설정하고 그 기간 동안 추가 시업의 시기와 시업 양을 결정한 후, 시업 시나리오에 따른 작업 후의 변화된 임분의 구조를 경쟁지수의 추정을 통해 평가하였다. 이를 위해 본 연구에서는 향후 30년 간 매 5년 간격으로 Hegyi의 경쟁지수를 각 표본점별로 산출하였다. 이와 같이 산출된 경쟁지수가 시간 경과에 통계적으로 의미 있는 차이가 있는지를 확인하기 위해 SAS의 PROC ANOVA를 통해 분산분석을 실시한 후, 연도별 경쟁지수 간의 다중검정을 위해 Duncan이라는 부가적인 분석명령으로 결과를 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 택벌림화 작업지의 임분현황

(1) 임분통계량

Table 2는 택벌림화 작업지의 시업후 임분통계량을 요약한 결과이다. 택벌림화 작업지의 ha당 본수는 556본 그리고 ha당 흉고단면적에서도 21.8m²로 상대적으로 임분밀도가 낮음을 알 수 있다. 경급별 본수는 71:24:5로 목표 임분형의 경급별 비율인 70:20:10과 비교하여 중경급의 비율이 높고 대경급은 상대적으로 낮은 상태이다. 또한 ha당 재적은 132m³으로 추정되었는데, 이는 택벌림의 이상적인 경급별 재적비율이 20:30:50인 것을 감안하면 목표 임분형으로 유도하기 위해서는 상당한 시간이 필요함을 알 수 있다. 하지만 이상적인 택벌림에서의 경급별 본수 비율 및 재적 비율은 어느 정도 유연성이 허용되며(이돈구 등, 2010), 앞으로 지속적인 모니터링과 시간이 경과함에 따라 추가적인 시업을 실시할 경우 경급별 재적비율도 점차 개선될 것으로 예상된다.

Table 2. Summary of stand statistics after selection cutting was applied.

Silvicultural System	<i>N/ha</i>	<i>BA/ha(m²)</i>	<i>V/ha(m³)</i>	$\overline{DBH}(cm)$	$\overline{HT}(m)$
Selection Cutting	556	21.8	132.0	20.0	12.1

(2) 직경성장률

Table 3은 Schneider법에 의해 산출한 경급별 직경성장률 추정치이다. 임분밀도가 가장 낮은 택벌림화 작업지의 전체 직경성장률은 1.89%이며, 경급별 성장률에서는 소경급이 2.26%, 중경급은 1.44%, 그리고 대경급은 1%에 미달하는 0.92%로 추정되어 경급이 클수록 성장률이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Estimate of diameter growth rates by DBH class in the stands applied by selection cutting.

Silvicultural System	DBH-growth rate(%)			
	Small DBH class	Medium DBH class	Large DBH class	Total
Selection Cutting	2.26	1.44	0.92	1.89

(3) 교목 치수 현황

시간 경과에 따른 진계를 예측하기 위해 교목 치수 현황을 5단계의 직경 구간에 따라 요약하였다

(Table 4). 택벌림화 작업지는 상대적으로 교목 치수가 적은 ha당 450본인 것으로 분석되었다. 특히 대상지내 전체 치수 중 직경이 4cm 이상인 치수의 비율이 28%로 추정되어 단기간 내에 진계되는 임목본수가 상대적으로 적을 것으로 평가되었다.

Table 4. Distribution of young growth reproduction in the stands applied by selection cutting.

Silvicultural System	Distribution of young growth reproduction (N/ha)					Total
	DBH ≤ 2cm	2cm < DBH ≤ 3cm	3cm < DBH ≤ 4cm	4cm < DBH ≤ 5cm	5cm < DBH	
Selection Cutting	111	89	113	98	39	450

(4) 수고곡선식

본 연구에서는 $HT = b_0 DBH^{b_1}$ 의 수고곡선 모형에 근거하여 택벌림화 작업지의 수고곡선식을 개발하였다. 흉고직경과 수고 측정자료에 근거하여 개발한 수고곡선식은 모형의 설명력을 나타내는 결정계수는 0.63으로(Table 5), 시간이 경과되면서 변화하는 흉고직경 추정치를 이 식에 적용할 경우 수고 변화를 예측하는데 큰 무리가 없을 것으로 평가되었다.

Table 5. Regression coefficients of height growth curve for the stands applied by selection cutting.

Silvicultural System	Regression coefficient		r^2
	b_0	b_1	
Selection Cutting	2.4848	0.5373	0.63

2) 시간 경과에 따른 임분구조의 변화 예측

Table 6은 택벌림화 작업지를 대상으로 향후 30년 간 매 5년 단위로 미래 임분 구조를 예측한 결과이다. 이 결과는 목표 임분형 유도를 위해 10년 후와 20년 후에 2회에 걸쳐 추가시업을 실시한 것으로, 이 과정에 따른 임분변화를 반영하여 30년 동안의 임분통계량을 추정하였다.

Table 6. Prediction of the changes of stand attributes by Selection system for 30 years at every 5 years.

Classification	N/ha	$BA/ha(m^2)$	$V/ha(m^3)$	$\overline{DBH}(cm)$	$\overline{HT}(m)$
Current	556	21.8	132.0	20.0	12.1
5 Years Later	567	25.6	158.4	21.5	12.7
10 Years Later (before prescription)	577	29.9	188.3	23.1	13.1
10 Year Later (after prescription)	495	25.2	157.6	22.7	12.9
15 years Later	526	29.7	189.9	23.9	13.1
20 Years Later (before prescription)	553	34.2	222.0	25.1	13.5
20 Years Later (after prescription)	470	29.6	192.5	25.5	13.6
25 Years Later	491	35.0	231.8	27.3	14.1
30 Years Later	534	41.1	276.3	28.1	14.1

택벌림화 작업지는 10년 후 시업을 통해 ha당 흉고단면적을 15.7%인 $4.7m^2$ 를 제거하였으며 시업 후에는 ha당 $25.2m^2$ 를 유지하였다. 또한 택벌림으로 유도하기 위해 ha당 임분재적은 $188.3m^3$ 에서 16.3%인 $30.7m^3$ 를 제거하여 $157.6m^3$ 가 되도록 구조를 조정하였다. 이 과정에서 ha당 본수는 감소하여 495본으로 예측되어 잔존목 생존을 위한 공간 확보가 되도록 정리되었다. 그 결과 임분의 평균흉고직경과 평균수고는 다소 감소하는 것으로 평가되었다. 또한 20년 후에 추가시업을 통해 ha당 본수는 470본, 흉고단면적은 $29.6m^2$, 재적은 $192.5m^3$ 이며, 평균흉고직경과 수고는 각각 25.5cm와 13.6m가 될 것으로 예측되어 임목 본수는 적지만 대경급 위주의 임목들로 구성되는 동시에 충분한 생육 공간을 유지하는 것으로 파악되었다. 두 차례의 추가 시업으로 인하여 30년 후의 택벌림화 작업지는 ha당 534본의 임목을 보유하면서 ha당 흉고단면적이 $41.1m^2$ 가 되는 것으로 예측되었다. 특히 ha당 재적에서는 $276.3m^3$ 으로 현재를 기준으로 두 배 수준의 축적을 보유할 것으로 예상되었다.

3) 시간 경과에 따른 경쟁지수 비교

택벌림화 작업지의 시간경과에 따른 경쟁상태 변화를 추정하기 위해 경쟁지수를 산출한 결과는 Table 6과 같다. 택벌림화 작업지의 현재 경쟁지수는 4.27로 추정되었다. 시간이 경과하면서 5년 후와 10년 후의 경쟁지수가 각각 4.38과 4.46으로 증가했지만 현재의 상태와 통계적으로 차이가 없는 것으로 분석되었다. 하지만 1차 추가 시업이 이루어진 10년 후에는 경쟁지수가 3.31로 감소하였으며 이후 20년 후까지 지속적으로 증가하여 20년 후에는 가장 높은 4.59로 추정되었다. 목표임분으로 유도하기 위한 2차 추가 시업으로 경쟁지수가 3.53으로 감소하였으며, 이는 Duncan의 다중검정 결과 시업으로 인한 지수의 감소가 확연한 것을 의미한다. 그 이후 경쟁지수가 지속적으로 증가하여 30년 후에는 4.60으로 상당한 정도의 경쟁 상태를 유지하고 있다. 하지만 목표임분을 구성한 후 택벌작업을 통해 대경목 위주의 수확벌채가 이루어지면 임목 간의 경쟁은 상당한 정도로 완화될 것으로 판단된다.

Table 6. Comparison of competition index over time in the stands applied by selection cutting.

Classification	Hegy's competition index
Current	4.27 a*
5 Years Later	4.38 a
10 Years Later (before prescription)	4.46 a
10 Year Later (after prescription)	3.32 b
15 years Later	4.12 a
20 Years Later (before prescription)	4.59 a
20 Years Later (after prescription)	3.53 b
25 Years Later	3.87 a
30 Years Later	4.60 a

* Same letters stand for no significant difference at 5% level

참고문헌

- 신만용, 정동준, 김재현. 2002. 잣나무 유령임분의 최적 경쟁지수의 선발. 한국임학회지. 91(1): 59-70.
- Hegy, F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. Royal College of Forestry, Stockholm, Sweden pp. 75-91.

일본의 기후변화 대응 산림정책 동향 - 산림경영 사례를 중심으로-

A Review on Forest Policy for Climate Change in Japan : Focused on the Cases of Forest Management

황정순*, 송민경, 손영모, 이경학

(국립산림과학원 산림정책연구부 기후변화연구센터)

2005년 2월 교토의정서의 발효에 따라 일본 정부는 교토의정서 달성계획을 수립하였다. 이 계획에 따르면 일본은 제1차 의무기간 동안 1990년 대비 평균 6%의 온실가스 배출량을 감축하기로 하였고, 그 가운데 산림분야에서는 산림경영 등 산림흡수원을 통하여 3.9%의 배출량을 감축한다는 목표를 설정하였다.

그러나 일본은 교토의정서가 일부 선진국에게만 감축 의무를 부여하고 실질적인 주요 배출국을 포함한 개도국의 참가를 이끌어내지 못한다는 견지하에 제2차 공약에 참가하지 않겠다는 결정을 내렸다. 일본 정부는 주요 온실가스 배출국 모두가 책임을 부담해야 한다고 주장을 하고 있으며 일본의 제2차 공약 불참 결정이 향후 “전 세계의 국가가 참여하는 새로운 협약을 제시할 수 있는 방향을 추진하는 계기”가 될 것이라고 확신하고 있다.

제2차 공약 참가 거부와 함께 일본 정부는 「지구온난화 대책 추진에 관한 법률의 일부를 개정하는 법률안」(이하 개정안)을 공표하였으며 2013년 3월 15일 내각회의를 통과하였다. 또한 동법의 구체적인 실증 계획으로 ‘지구온난화대책본부’를 결성하여 「한시적 지구온난화 대책에 관한 방침(안)」을 제시하였다. 2013년 이후 제2차 공약기간(2013년-2020년)에는 참가하지 않지만 일본 정부가 자발적으로 감축 목표를 달성하겠다는 표명에 이어, 1차 공약기간에 제시한 “정부의 실증계획(2007년 3월, 환경성)”을 기초로 만든 개정안을 토대로 칸쿤합의에 기초하여 2013년 이후에도 지속적으로 온실가스 감축에 참여하겠다고 발표했다.

이러한 배경하에 본 연구는 일본의 기후변화대응 산림정책 동향과 그 추진 사례를 검토하였다. 자료는 제1차 공약기간에 일본 정부가 산림분야에서의 감축 목표를 달성하기 위해 수립한 정책과 그 추진 사례를 일본의 뉴스 기사*를 대상으로 검토하였다. 핵심 내용은 다양한 산림정책 가운데 산림부문 탄소상쇄 프로그램 중 간벌촉진과 지속가능한 산림경영 촉진을 포함하는 산림경영사업과 관련한 사례이다.

이를 통해 일본이 2013년 이후부터 자발적으로 참여하게 될 산림부문 배출량 감축 활동의 기반이 되는 기존의 정부실증계획과 정책의 실제 이행사례들을 살펴볼 수 있었다.

일본에서의 탄소상쇄사업은 2008년 2월 일본 환경성 「Guidelines for Carbon Offsetting in Japan」을 공표와 함께 본격적으로 시행되었다. 그리고 ‘간벌촉진사업’과 ‘지속가능한 산림경영 촉진사업’의 두 가지 유형으로 구성된 산림경영사업은 ‘탄소상쇄크레딧제(J-VER)’ 제도에 의해 산림부문 탄소상쇄사업으로 인정되고 있다. 한편 일본은 지자체와 기업의 참여를 통한 산림정비 및 보전활동에 대한 제도를 마련하여 적극 추진하고 있다. 수집한 기사를 대상으로 그 사례들을 검토한 결과, 온실가스 감축의 일환인 산림경영활동에 기업이 참여함으로써 기업이 감축해야 하는 목표를 달성하고, 동시에 CSR(기업의 사회적책임) 활동으로서 활용되고 있었다. 각 지자체 단위로 산림탄소상쇄제도를 시행하여 산림부문의 온실가스 배출량을 상쇄하고, 이에 기업 및 민간의 자발적 참여를 이끌어내어 지속가능한 산림경영을 달성하는 사례들을 확인할 수 있었다.

* 일본 환경성, 임업뉴스, Google 뉴스 등, 시간적 범위는 2010-2011년으로 제한

풍동실험을 통한 방풍림의 수종과 식재방법에 따른 방풍효과 분석

Analysis on Effects of Protection against Wind according to Tree Species and Planting Methods of the Wind Break Forest based on the Wind Tunnel Experiment

김현준¹, 김현수¹, 정성훈¹, 이상현^{1*}

(¹전북대학교 산림환경과학과)

1. 연구목적

본 연구는 풍동실험을 통한 방풍림의 수종과 식재방법의 변화에 따른 방풍효과를 분석함으로써 방풍림 조성 시 보다 효과적이고 효율적인 설계를 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 실시되었다.

2. 연구방법

1) 연구범위 및 재료

본 연구의 풍동실험은 전북대학교에 위치한 건설연구인프라 대형풍동실험센터(Wind Tunnel Center; KOCED)의 대형풍동시설을 이용하여 수행하였다. 실험에 사용된 시험부는 풍속이 0.3m/s에서 13m/s까지 조절이 가능한 저속시험부이다. 수종선택은 해송과 상수리나무를 선택하였는데, 해송은 대표적인 방풍림 수종이며, 또한 상수리나무는 떡갈나무 등과 같이 현재 일본에서 방풍림을 목적으로 사용되고 있어 2종류의 수종을 선택하였다(산림청, 2012).

2) 풍동실험 설계

수목 풍동실험은 수종 별 열 식재구조에 변화를 주었으며, 열 식재구조는 침엽수(해송) 단순구조(1열, 2열, 3열), 활엽수(상수리나무) 단순구조(1열, 2열, 3열), 혼효구조 1(해송+상수리나무+해송)와 혼효구조 2(상수리나무+해송+상수리나무)로 배치하였다. 공시재료는 3년생 해송과 8년생 상수리나무를 사용하였으며, 수목의 하단부를 절단하고 수고를 1.5m 기준으로 하였다. 시험체는 가로 3m×세로 9m×높이30cm의 크기로 제작하였다. 또한 2차원성인 시험체 좌우에서 발생하는 바람의 왜곡을 방지하기 위하여 좌우에 충분한 높이 2m와 길이 9m의 벽을 설치하였다. 또한 폐공율(black ratio)은 7.5%로 계산되나 나무사이의 공극률을 제외하면 적합한 것으로 나타났다. 풍속은 최근 3년간 군산시의 평균풍속이 2.3m/s(기상청, 2009, 2010, 2011)의 풍속을 적용시켜 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

해송의 식재 열 구성에 따른 풍속감소효과는 모든 측정위치에서 나타났다. 특히 해송식재 시 3열 구조는 1열 구조보다 모든 측정위치에서 15% 이상의 풍속감소효과를 보이는 것을 알 수 있었다. 그리고 거리에 대한 해송식재 시 풍속감소효과는 1m 부분에서 최고치를 나타냈으며 그 이후로는 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 1열 구조에서 높이에 따른 풍속감소효과를 보면 중간 높이에서의 효과가 가장 크게 나타나며 중간 높이에서 멀어질수록 그 효과가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 해송특유의 원추형 수관형태 때문이라 판단된다. 그러나 이러한 차이가 3열 구조에서는 나타나지 않는 것으로 보아 수관형태에 의한 공극은 식재 열을 추가함으로 상쇄시킬 수 있음을 알 수 있었다.

Table 1. Case A for *Pinus thunbergii*

Species	Classification	Distance(cm)	Wind speed(m/s)	Reduction (%)
<i>Pinus thunbergii</i>	1 row	-10(Control)	2.300±0.000 ^c	0
		100	0.931±0.355 ^a	60
		200	1.036±0.272 ^{ab}	55
		300	1.084±0.276 ^{ab}	53
		400	1.132±0.246 ^b	51
		500	1.206±0.157 ^b	48
		600	1.210±0.140 ^b	47
	3 rows	-10(Control)	2.300±0.000 ^b	0
		100	0.570±0.444 ^a	75
		200	0.600±0.345 ^b	74
		300	0.610±0.328 ^b	73
		400	0.600±0.309 ^b	74
		500	0.627±0.286 ^b	73
		600	0.668±0.241 ^b	71

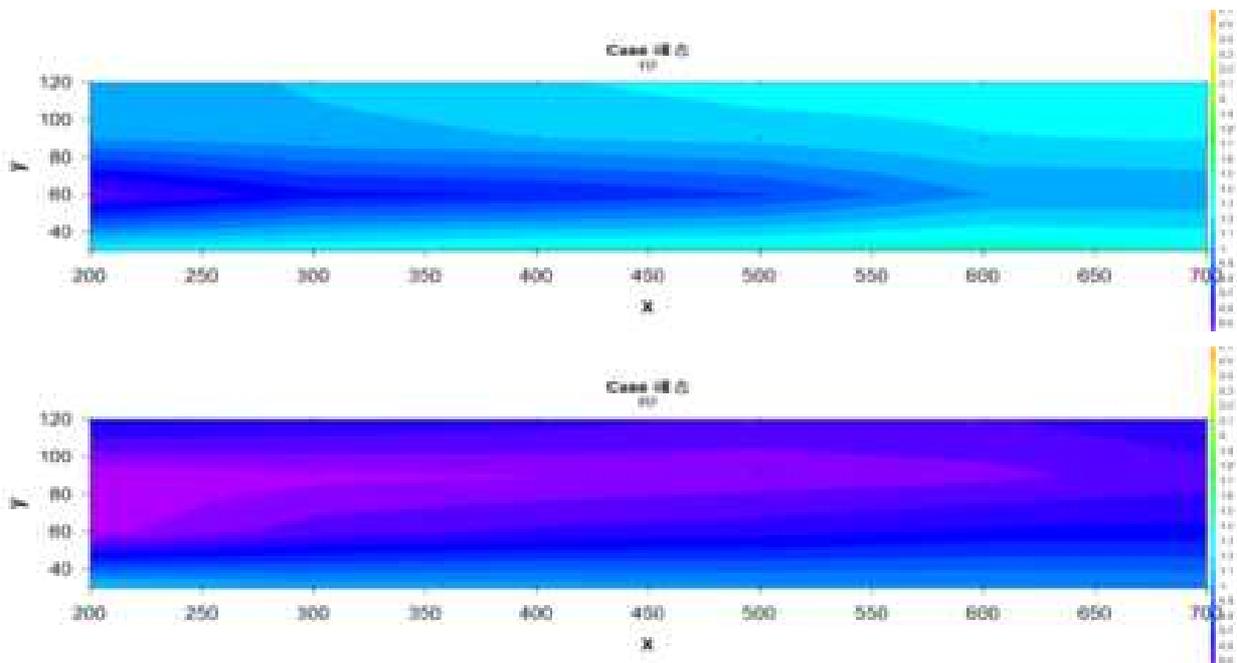


Figure 1. Case A for *Pinus thunbergii* (1 row and 3 rows)

상수리나무의 구성에 따른 풍속감소효과는 모든 측정위치에서 나타났다. 특히 상수리나무식재 시 3열 구조는 1열 구조보다 모든 측정위치에서 16% 이상의 풍속감소효과를 보이는 것을 알 수 있었다. 그러나 그 풍속감소효과는 해송식재 시와 달리 거리에 따른 비례적 변화를 보이지 않았다. 또한 1열 구조에서 높이에 따른 풍속감소효과를 보면 하단부보다 상단부에서 큰 효과를 보이는 것을 알 수 있었다. 그 원인은 원형에 가까운 상수리나무의 수관형태 때문이라고 판단된다. 상단 부는 수관에 의해 공극률이 낮아져 풍속감소효과가 증가하고, 하단 부 즉, 수목의 근원부에서 역지 이하까지의 지하고 부분은 많은 공극에 의해 풍속감소효과가 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 3열 구조에서는 40cm 이하의 지하고를 제외한 모든 높이에서 풍속감소효과가 고르게 나타나는 것을 보아 식재 열의 추가 시 수관형태에 의한 공극발생을 상쇄시킬 수 있다고 판단되었다.

Table 2. Case B for *Quercus acutissima*

Species	Classification	Distance(cm)	Wind speed(m/s)	Reduction (%)
<i>Quercus acutissima</i>	1 row	-10(Control)	2.300±0.000 ^b	0
		100	1.134±0.868 ^a	51
		200	1.104±0.835 ^a	52
		300	1.092±0.753 ^a	53
		400	1.115±0.651 ^a	52
		500	1.143±0.585 ^a	50
		600	1.165±0.497 ^a	49
	3 rows	-10(Control)	2.300±0.000 ^b	0
		100	0.611±0.784 ^a	73
		200	0.615±0.750 ^a	73
		300	0.582±0.682 ^a	75
		400	0.572±0.634 ^a	75
		500	0.784±0.401 ^a	66
600	0.950±0.208 ^a	59		

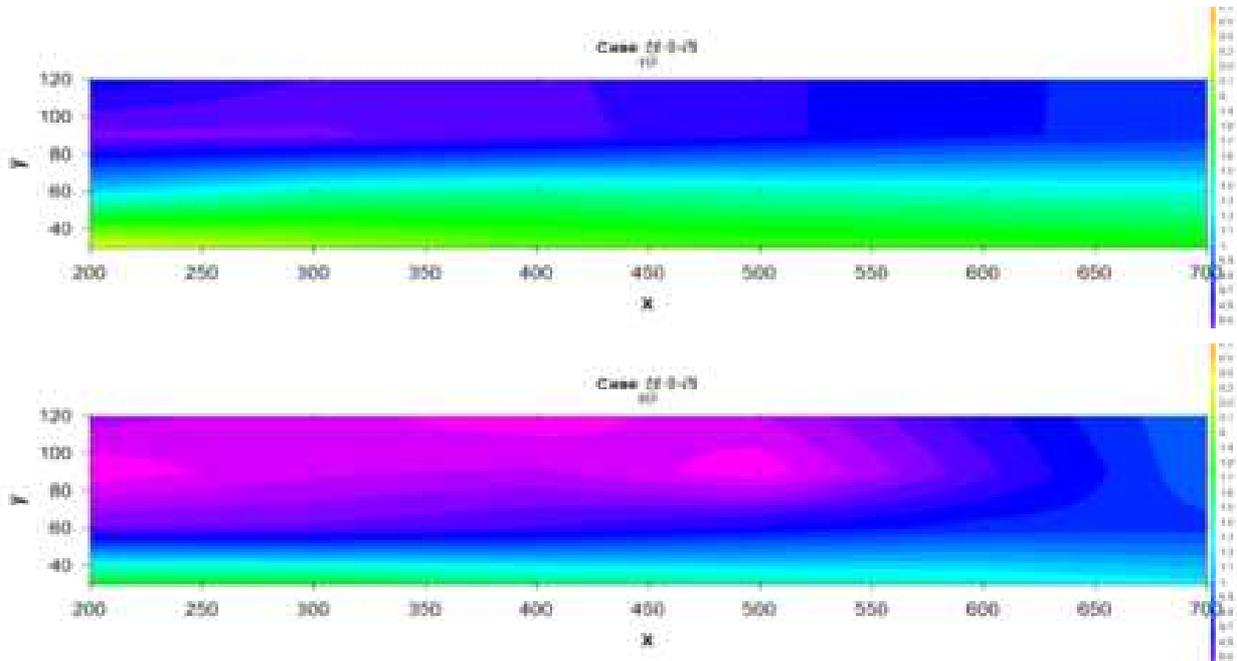


Figure 2. Case B for *Quercus acutissima* (1 row and 3 rows)

혼효식재 열 변화에 따른 풍속감소효과는 모든 측정위치에서 나타났다. 또한, 해송+상수리나무+해송 혼효식재 열 구조가 상수리+해송+상수리 혼효식재 열 구조와 비교하여 보다 더 많은 풍속감소효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 수평적으로 방풍림을 조성할 때에 선단부에 침엽수를 식재하고 그 뒤에 활엽수, 다음으로 침엽수를 식재방법이 더 효과적이라고 판단된다. 또한 높이에 따른 풍속감소효과는 모든 높이에서 고르게 나타났지만 40cm 이하의 높이에서 그 효과가 낮은 것을 확인할 수 있었다. 이러한 문제점은 방풍림 조성 시 관목층을 조성함으로써 해결할 수 있을 것이라고 판단된다. 끝으로 해송과 상수리나무 단순 3열 식재 와 혼효 3열 식재 시 풍속감소효과가 비슷한 수준임을 확인할 수 있었고, 이로써 방풍효과의 감소 없이 혼효식재를 통해 병해충 등 각종 재해에 대한 저항성이 강한 방풍림을 조성할 수 있을 것이라 판단하였다.

Table 3. Case C for *Pinus thunbergii* with *Quercus acutissima*

Species	Classification	Distance(cm)	Wind speed(m/s)	Reduction (%)
		-10(Control)	2.300±0.000 ^b	0
<i>Pinus thunbergii</i>	3 rows	100	0.675±0.580 ^a	71
+		200	0.581±0.616 ^a	75
<i>Quercus acutissima</i>		300	0.558±0.587 ^a	76
+		400	0.557±0.520 ^a	76
<i>Pinus thunbergii</i>		500	0.565±0.463 ^a	75
		600	0.613±0.370 ^a	73
<hr/>				
		-10(Control)	2.300±0.000 ^b	0
<i>Quercus acutissima</i>	3 rows	100	0.717±0.507 ^a	69
+		200	0.707±0.426 ^a	69
<i>Pinus thunbergii</i>		300	0.697±0.395 ^a	70
+		400	0.675±0.419 ^a	70
<i>Quercus acutissima</i>		500	0.717±0.359 ^a	69
		600	0.768±0.292 ^a	67

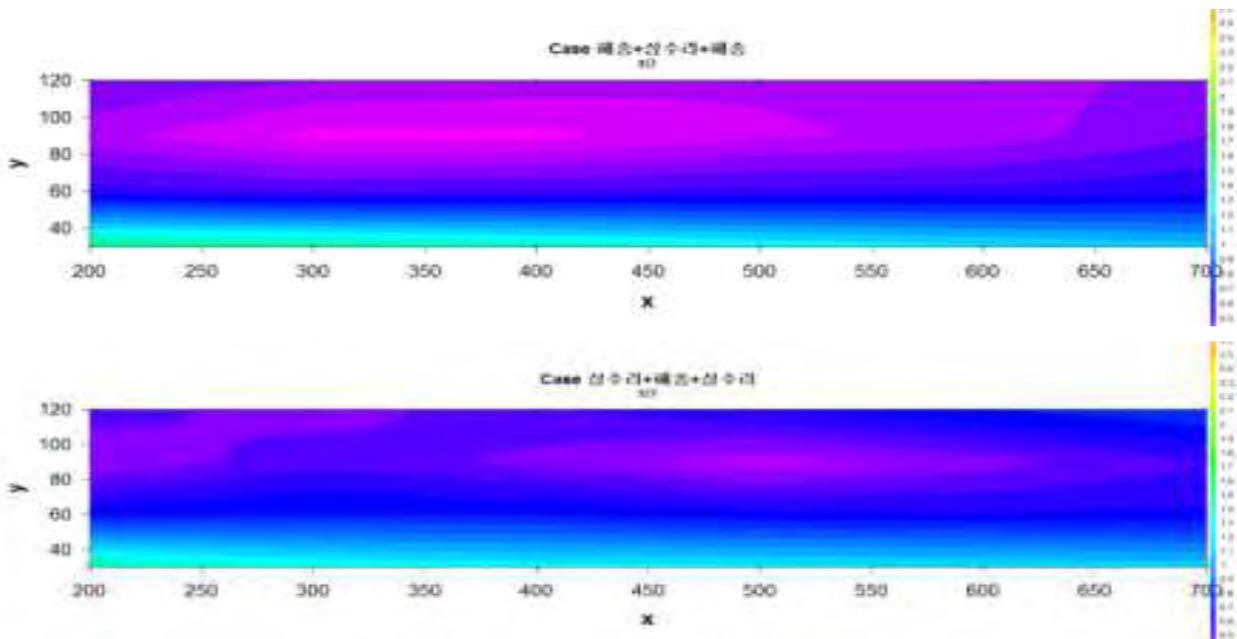


Figure 3. Case C (*Pinus thunbergii* + *Quercus acutissima* + *Pinus thunbergii* and *Quercus acutissima* + *Pinus thunbergii* + *Quercus acutissima*)

혼합모형을 이용한 남부지방 해송의 직경과 수고 성장 분석

Using Mixed Model for DBH-Height Change for *Pinus thunbergii* in Southern Region of Korea

표정기^{1*}, 이광수¹, 손영모¹, 이경학¹, 황정순¹

(¹국립산림과학원)

1. 연구목적

최근 연속형 자료(Continuous data)와 범주형 자료(Categorical data)에 대한 연구 수요가 높아지고 있다. 예를 들어, 대단위 지역에서 수집된 자료는 지역에 따라 개체목간 성장과 일정한 연관성이 존재하며 이러한 관계는 다양한 형태의 공분산(Co-variance)행렬로 표현 가능하다. 공분산 행렬의 변화에 대한 정보를 분석하기 위하여 범주형 자료에 대한 임의효과(Random effect)를 가정하여 분석하는 것이 고정효과(Fixed effect)를 고려한 모형보다 각 추정치의 분산이 적은 분석결과를 얻을 수 있으며, 지역 별 변화량을 정도 높게 추정할 수 있다. 임의효과와 고정효과를 고려한 모형을 혼합모형(Mixed model)이라고 하며 동일 수종에 대하여 지역 간 자료의 분석에 적합한 것으로 알려져 있다. 본 연구의 목적은 남부지역의 주요 조림 수종인 해송을 대상으로 직경과 수고의 성장을 추정하는데 있다. 추정하는 과정에서 임의효과와 고정효과를 고려한 혼합모형을 이용하였으며 임의효과에 대한 공분산 행렬을 제시하였다.

2. 연구방법

1) 분석자료

본 연구는 남부 지방의 주요 조림 수종인 해송을 대상으로 하였으며 조사구 별 입목의 흉고직경과 수고는 Table 1과 같다. 자료는 경상남도와 전라남도에서 수집되었고 직경과 수고의 관계는 Figure 1과 같다. 두 지역 간 직경과 수고의 차이를 검정하기 위하여 t-검정을 시행하였다.

Table 1. The summary of observed statistics for survey data of 57 trees.

Variable	Gyeongsangnam-do (numb. of data = 40)		Jeollabuk-do (numb. of data = 17)	
	Mean	Std. dev.	Mean	Std. dev.
Age	45	14.9	36.9	16.4
DBH	24.1	9.4	20.9	10.1
Height	16.2	4.6	11.5	4.0

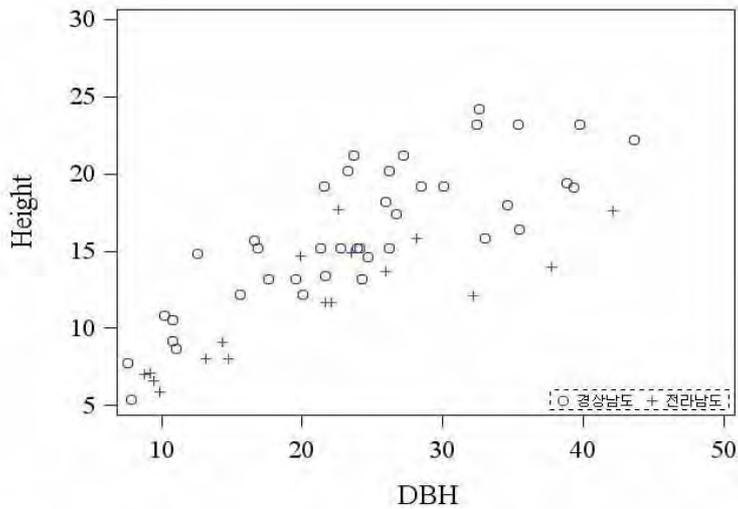


Figure 1. The relation of dbh and height by region.

2) 혼합모형

혼합모형은 고정효과(Fixed effect)와 임의효과(Random effect)를 함께 포함하는 모형으로 고정효과를 나타내는 모수들은 설명변수와 관련된 모수를 의미하고, 랜덤효과를 나타내는 모수들은 자료들 사이의 변동을 설명하는 공분산을 의미한다(Eq. 1). 임의효과에 대한 가정과 분석을 위하여 SAS의 MIXED procedure를 이용하였으며 고정효과 모수들에 대한 구간추정과 임의효과의 공분산을 추정하였다. 본 연구는 조사시기(임의효과)에 대한 흉고직경의 관계를 나타내며 임의 효과에 대한 벡터와 오차항의 분산추정을 위하여 Eq. 2를 변환하여 이용하였다. 선형 혼합모형의 정확도를 파악하기 위하여 AIC(Akaike information criterion)과 BIC(Bayesian information criterion)를 이용하였다.

$$y_i = X_i\beta + Z_i\gamma_i + \epsilon_i \quad (1)$$

$$V(\gamma_i) = Z_iGZ'_i + R_i \quad (2)$$

여기서, y_i 는 i 번째 개체목의 수고 벡터, β_i 는 고정효과에 대한 모수 벡터, γ_i 는 임의효과에 대한 모수 벡터이고 $N(0, G)$ 이다. X_i 과 Z_i 는 고정과 임의 효과에 대한 행렬, ϵ_i 는 오차항의 행렬이고 $N(0, R)$ 이다. R 은 오차항의 분산으로 σ^2I 이다.

3. 결과 및 고찰

수집된 해송 자료의 수고는 지역 간 유의한 차이(p-value=0.0005)를 나타내었다. 그러므로 지역 간 임의효과를 고려한 혼합모형을 이용하였다. 추정된 고정효과, 임의효과 모수 및 오차항의 벡터는 Table 2와 같다. 혼합모형과 회귀모형을 비교한 오차그림은 Figure 2와 같다. 오차분석을 통하여 임의 효과를 이용한 선형복합모형의 적합도가 우수한 것으로 나타났다.

Table 2. Estimates for random effect parameters in dbh-height for *Pinus thunbergii* in southern region of Korea.

Effect factor	Estimate	Stad. Err.	Pr > t	AIC	BIC
Intercept	-19.5735	0.5287	< 0.0001	-25.7	-30.9
Region	0.0114	0.0002	< 0.0001		
σ^2I	0.0265				

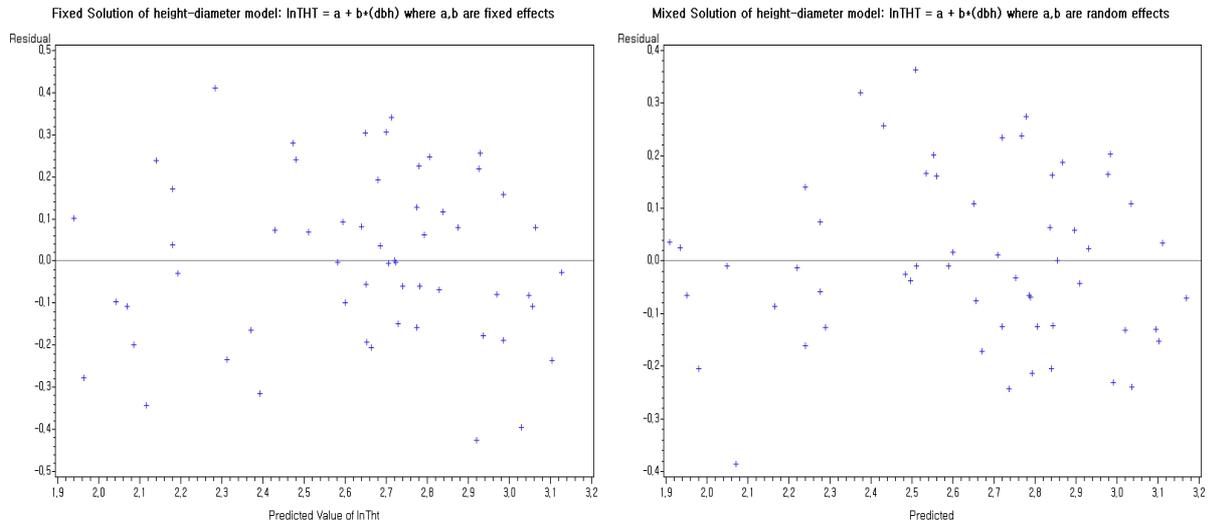


Figure 2. Residual plot between Fixed effect model and Mixed effect model.

임의효과에 대한 오차항의 분산 행렬은 아래와 같다. 오차항 행렬은 7×7 의 정방형 행렬이며 벡터는 Table 2의 $\sigma^2 I$ 와 같다. 여기서 빈칸은 0이 포함된다.

$$R = \begin{pmatrix} 0.0584 & \\ & 1.393E-9 \end{pmatrix}$$

본 연구는 남부지역 해송림을 대상으로 직경과 수고의 생장을 추정하기 위하여 지역 간 임의변수를 고려한 혼합모형을 이용하였다. 임목의 흉고직경과 수고를 대상으로 임의효과, 선형식의 절편을 고정효과로 구분하였다. 측정시기에 따른 선형복합모형의 모수는 BLUP(Best Linear Unbiased Predictor)에 따라 추정하였으며 AIC와 BIC를 이용하였다. 그리고 회귀모형과의 오차항을 비교하였을 때, 선형복합모형의 사용은 가능한 것으로 판단된다. 혼합모형(Mixed model)을 이용한 수직적 자료의 분석은 기존의 선형모형의 문제점을 해결하고 정도 높은 결과치의 제시가 가능한 것으로 판단된다. 그리고 기후변화협약에 대응한 산림부분 온실가스 통계체계 기반구축의 일환으로 국가산림자원조사의 반복측정에 따른 변화량 평가 연구에 활용이 가능할 것이다.

Assessment of Plant Diversity, Biomass and Carbon Sequestration Potential of Natural Mangrove Forest in Samar, Philippines

Azyleah C. Abino^{1,2*}, Jose Alan A. Castillo³, Roscinto Ian C. Lumbres¹,
Sung Yong Kim¹, Mi Na Jang¹ and Young Jin Lee¹

¹Department of Forest Resources, Kongju National University, Yesan, Chungnam, 340-802, South Korea

²Laguna Lake Development Authority, Diliman, Quezon City, 1101, Philippines

³Ecosystems Research and Development Bureau, College, Laguna, 4031, Philippines

1. Objectives of the study

Mangrove stands are recognized as the backbone of the tropical ocean coastlines. Apart from the various ecosystem goods and services to coastal inhabitants, tidal forests provide ecological services such as bioprotection from littoral erosion, natural breakwaters, dissipating the energy of the waves and tsunamis and protection from cyclonic storms. Recently, the roles of mangrove forests to sequester substantial amounts of atmospheric carbon dioxide (CO₂) and store carbon in its biomass have been underscored.

The Philippines is one of the countries with most number of true mangrove species worldwide. On the other hand, these coastal woodlands, having a very high risk factor because of their relative accessibility, are subjected to numerous pressures related to developmental needs and often over-exploited. Vast areas of mangroves in this country have been cleared and converted to aquaculture ponds. As they are subjected to unsustainable anthropogenic activities and their vulnerability to the impacts of climate change such as sea-level rise, it inevitably leads to degradation of ecosystems. This loss predicates the remarkable reduction in forest biomass contributing significantly to the already alarming concentration of CO₂ in the atmosphere. The province of Samar, formerly known as Western Samar, has a relatively long coastline extending over 300 km in the western side of the island. Being one of the areas in the country with the largest remaining mangroves, carbon sequestration and storage potential in its biomass is expectedly huge.

As one of the mangrove-rich countries across the globe, very little is known on the precise amount of biomass and carbon sequestration and storage of this coastal vegetation. Thus, this study aims to assess plant diversity, biomass, and estimate C-stocks of natural mangrove stand in Botoc, Pinabacdao, Samar, Philippines.

2. Materials and Methods

This study was carried out in natural mangrove stands at the coastal village of Botoc, Pinabacdao, Samar. This site was selected based on accessibility and safety in going to and from the natural mangrove stand. A nondestructive method through quadrat sampling technique was utilized in this study. A total of twelve plots (10 m × 10 m) with 20-30 m distance between plots were established to facilitate inventory. Within sample plots, a 100% inventory of trees with at least 5 cm in diameter was undertaken where trunk diameters and total height of each tree were measured in addition to species identification. Trunk diameters of *Rhizophora* species was measured at 30 cm above the highest prop root, whereas the rest were measured at diameter at breast height (DBH). The average density of mangroves in the study site was 1133 ha⁻¹.

The species diversity was determined using the Shannon-Weiner's Index. Allometric equations for Southeast Asian mangroves developed by Komiyama *et al.* (2005) were used in the estimation of the above-ground biomass and root biomass. The computed total biomass (above-ground and root) per plot was summed for all plots and averaged to get the mean stand biomass which was then converted to tons per hectare. Carbon pools of the above-ground and root components were calculated as the product of biomass multiplied by the 47% carbon concentration based on the carbon default value recommended in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006). The total C-stock was estimated by getting the sum of the above-ground and root C-stocks. The ratio of molecular weight of CO₂ to carbon was

used in the conversion of biomass C-stocks to their CO₂ equivalent.

3. Results and Discussion

A total of 136 trees belonging to five families were recorded at the old-growth mangrove stand. *Avicennia officinalis* dominated the plots in association with *Sonneratia alba* and *Xylocarpus granatum*. Several species belonging to Rhizophora family coexisted in the stand, specifically *Aegiceras corniculatum*, *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora mucronata*, and *Ceriops decandra*. The trunk diameters of the trees ranged from 5.0 cm to 70.7 cm, total height varied between 2.0 m to 14.1 m, and average of 12.9 cm and 5.6 m, respectively. *Avicennia officinalis* was recorded with the largest girth with 70.7 cm, the same species also registered the tallest at 14.1 m. Of the eight mangrove species subjected for analysis, the *Avicennia officinalis* belonging to Acanthaceae family turned out to have the highest relative frequency of 27.03%, relative dominance of 71.74%, relative density of 36.03%, and therefore got the highest importance value of 134.80%. This was followed by *Sonneratia alba* from Lythraceae family and *Xylocarpus granatum* from Meliaceae family with 54.66% and 46.03% importance values, respectively. The summed importance values of species belonging to the family Rhizophoraceae was 50.50%, which a little more than half was accounted to *Rhizophora apiculata*. The community's species diversity ($H' = 1.6365$) was very low primarily due to the lack of species variation in the mangrove stand.

From accumulation of above-ground and root-biomass of individual trees of the Botoc mangrove forest, the total biomass was estimated from 59.73 to 1091.53 t ha⁻¹ with an average of 401.07 t ha⁻¹. With a 47% carbon content of the biomass, stand C-stock was 188.50 t C ha⁻¹ which was equivalent to 691.81 t CO₂ ha⁻¹. In terms of the equivalent C-stock of the biomass, the value ranged from 28.07 to as high as 513.02 t C ha⁻¹. The biomass C-stock was equivalent to 103.03 to 1882.78 t CO₂ ha⁻¹ which was held and stored in the biomass, both above-ground and roots. Furthermore, the above-ground biomass ranged from 41.43 to 828.11 t ha⁻¹, with a mean of 297.20 t ha⁻¹, while the root biomass varied from 18.31 to 263.42 t ha⁻¹, with an average of 103.87 t ha⁻¹. In this study, the greater percentage of the total biomass was accounted to the above-ground corresponding to 74%, while the remaining 26% was owed to the roots. The above-ground biomass to below-ground biomass (T/R) ratio ranged from 2.22 to 3.21 or an average of 2.60.

Taking into account the total natural mangrove cover of the province of Samar which is equal to 16,337 ha (DENR, 2011), it has potential to store a substantial quantity of 3.05 million t C and an estimated amount of 11.18 million t CO₂. These estimates suggest that natural mangrove forests in Botoc, Pinabacdao, Samar has the potential to sequester and store huge quantities of atmospheric carbon despite the lean species diversity. However, its vulnerability to unsustainable anthropogenic activities and impacts of climate change such as sea-level rise threatens the existence of what is also known as oceanic rainforests. It is imperative therefore to explore sustainable funding and tangible incentive systems to balance mangrove conservation with sustainable livelihoods for coastal inhabitants. Among the emerging options of promising opportunities to assist ecological conservation and economic development in the coastal zone is the Payment for Ecosystem Services (PES) and the recently established blue carbon fund, the ocean equivalent of Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD) for carbon sequestration on coastal areas.

References

- DENR 2011. Philippine forestry statistics 2011. Forest Management Bureau, Department of Environment and Natural Resources, Quezon City.
- IPCC 2006. Forest lands. Intergovernmental Panel on Climate Change guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES): Hayama, Japan, 4: 83.
- Komiyama A, Pongpan S, Kato S. 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. J. Trop. Ecol. 21: 471-477.

Comparison of Two Kinds of Method in Forest Growth Estimation

Hangnan YU^{1*}, 이우균¹, 남기준¹

¹*Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Republic of Korea*

Introduction

It is undeniable that recent phenomena such as global warming have been experienced throughout Earth's long history and will probably continue to be experienced irrespective of human contribution towards increasing greenhouse-gas concentrations. The Kyoto Protocol was agreed upon in 1997 and came into force in 2005. It obliges participating developed countries to reduce their emissions to 5.2% below the 1990 levels, averaged over the period from 2008 to 2012. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) found that the atmospheric concentrations of greenhouse gases such as carbon dioxide, methane, and nitrous oxide have grown significantly since pre-industrial times (about 1750). Among all the gases that cause the greenhouse effect, is the main contributor in this effect because it is the most important anthropogenic greenhouse gas. Therefore, the reduction of greenhouse gases (GHGs) such as and the acquisition of emission rights have become serious social issues in today's world.

Forests have been considered one of the most important land areas for the storage and sequestration of GHGs that lead to global warming. Temperate and boreal forests in particular function as an important terrestrial sink.

Forest growth models were develop in several countries to estimate forest volume. However, since each models were independently used in each nation, the space for developing model face to challenge. For overcome, comparing different models is became necessary.

Study area and Method

1. Study area

The study area comprised the entirety of South Korea, located at longitude of 124°54′ -131°06′ and latitude of 33°09′ -38°45′ (Figure 1). Currently, the forest occupies approximately 64% (6,368,844 ha) of the total land area in South Korea. The forest area in South Korea is composed of coniferous (40.5%), deciduous (27%), mixed (29.3%), and other forests (3.2%) (Korea Forest service 2011). According to the Korea Forest Service (2011), the forest cover distribution of South Korea is being changed gradually into deciduous broad-leaved forest because of the rise in mean temperature due to climate change.

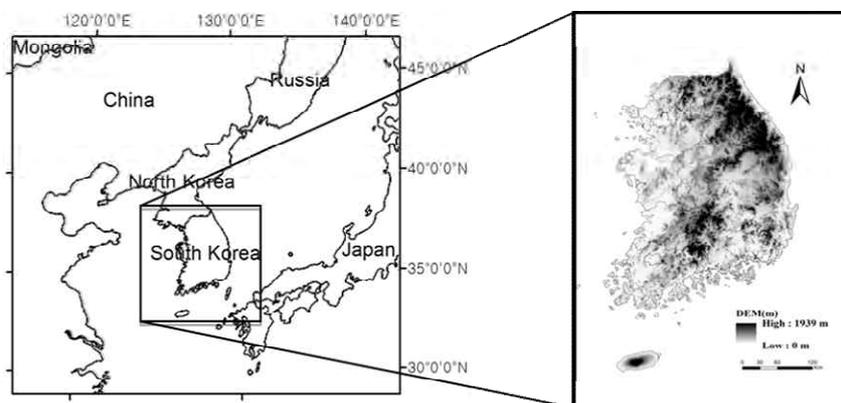


Figure 1. Geographical location and elevation distribution of study area.

2. Method

1) The *Xu et al.*'s method (China)

Xu et al. (2010) developed a biomass-age relationship regression model for calculating China's carbon stocks. The model's equation was based on the study by Fang and Wang (2001), in which biomass was estimated from the relationship of BEF and timber volume. Then, the biomass and tree age were used to develop a regression model. However, for using available data, in this study, the biomass-age relationship model was converted to a volume-age relationship model, and the equation changes to

$$V = \frac{w}{1 + ke^{-at}} \quad (1)$$

Where V denotes the volume density, t denotes the forest age, and w , a , and k are constants for a specific forest type.

2) The Korean method

$$V = a \cdot dbh^b \cdot h^c \quad (2)$$

Where V denotes the volume density, h denotes the forest height, and a , b , c are coefficients which proposed by the Korea Forest Service (2000).

Result and Discussion

Table 1. Comparison of estimation between two kinds of method

Method	present		After 50 years		After 100 years	
	m ³ /ha	tC/ha	m ³ /ha	tC/ha	m ³ /ha	tC/ha
China	126.89	50.51	226.81	91.11	246.61	99.76
Korea	117.22	50.75	239.95	109.69	289.01	133.49

As result, we found that estimations from two kinds of method are have not significant differences. From the table 1, the prediction which calculated using *Xu et al.* (2010) method were little lower than prediction by Korean method. This may because of each methods was developed from each nation, and differences of environment and forest situation.

Reference

- Fang JY, Wang ZM. 2001. Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China's forest biomass. *Ecol Res.* 16: 587-592.
- Korea Forest Service. 2011. Statistical Yearbook of Forestry. Daejeon: Korea Forest Service.
- Xu B, Guo ZD, Piao SL, Fang JY. 2010. Biomass carbon stocks in China's forests between 2000 and 2050: A prediction based on forest biomass-age relationships. *Sci China Life Sci.* 53:776-783, doi: 10.1007/s11427-010-4030-4.

Acknowledgement

This research was a part of the project titled "(Satellite-based carbon monitoring system)" funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Korea.

Modeling of the Stem Taper of *Quercus glauca* in Jeju Island, South Korea

Roscinto Ian C. Lumbres^{1,2*}, Young Jin Lee¹, Sung Yong Kim¹, Mi Na Jang¹, Azyleah C. Abino¹,
Hyung Soon Choi³, Yeon Ok Seo³, Chan Soo Kim³ and Jung Hwan Park³

¹Department of Forest Resources, Kongju National University, South Korea

²College of Forestry-Benguet State University, Philippines

³Warm Temperate and Subtropical Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, South Korea

1. Objectives of the study

Precise and accurate methods for estimating tree and log volumes are vital for efficient forest inventory and management (Fonweban, 1999) and one of the most common procedures to estimate growing stock is to develop equations based on relationships between volume and other variables such as diameter at breast height (DBH) and total height Akindele and LeMay (2006). Equation or model that can estimate stem volume at any height is an essential building blocks in forest growth and yield modeling (Klos *et al.* 2007) and considered as prerequisite for a successful forest planning and management (Kublin *et al.* 2008). Jiang *et al.* (2005) considered taper equation as one of the most accurate approaches to estimate stem diameter and volume to any height. Thus, this study was conducted to develop stem taper models for *Quercus glauca* in Jeju island, South Korea, using four stem taper equations: Kozak88 (Kozak, 1988), Kozak01 (Kozak, 2004), Kozak02 (Kozak, 2004) and MB76 (Max and Burkhart, 1976).

2. Materials and Methods

A total of 170 trees of *Quercus glauca* were measured in Jeju island through non-destructive sampling. Diameter outside bark (DOB, cm) along the stem and their height from the ground (m) with an interval of 1-2m were measured using the CRITERION400 device. The DBH (cm) and total height (m) of all trees were also determined. The total height was measured using a Haglof Vertex III and Transponder whereas DBH was measured 1.20 m from the ground and was determined using standard diameter tape. The mean DBH was 15.97 cm with a range of 6.20-38.40 cm and the mean total height was 12.99 m with a range of 6.70-22.60 m.

Four commonly used stem taper equations were selected as candidate models for the estimation of DOB at any given height and these are Kozak88 (Kozak, 1988), Kozak01 (Kozak, 2004), Kozak02 (Kozak, 2004) and MB76 (Max and Burkhart, 1976). These were selected in this study because these equations provided accurate results for many species in many countries and were used in the different researches. The parameters of these models were estimated using the Statistical Analysis System Non-linear (SAS NLIN) procedure(2004).

The mathematical forms of these four models are,

$$\text{Kozak88: } d = a_1 D^{a_2} a_3^D X^{b_1 Z^2 + b_2 \ln(Z+0.001) + b_3 Z^{1/2} + b_4 e^Z + b_5 (D/H)} \quad (1)$$

where: D = DBH (cm)

H= tree total height (m)

h= height from the ground (m)

Z = h /H, proportional height from the ground

d= predicted diameter outside bark at a height from the ground h (cm)

$$X = \frac{(1 - Z^{1/2})}{(1 - p^{1/2})}$$

p= proportional height of the "inflection point"

$a_i, b_i =$ estimated parameters

$$\text{Kozak01: } d = a_1 D^{a_2} X^{b_1 + b_2(1/e^{D/H}) + b_3 D^X + b_4 X^{D/H}} \quad (2)$$

$$\text{where: } X = \frac{(1 - Z^{1/4})}{(1 - 0.010^{1/4})}$$

All other variables are previously defined.

$$\text{Kozak02: } d = a_1 D^{a_2} H^{a_3} X^{b_1 Z^4 + b_2(1/e^{D/H}) + b_3 X^{0.100} + b_4(1/D) + b_5 H^Q + b_6 X} \quad (3)$$

$$\text{where: } Q = (1 - Z^{1/3})$$

$$X = \frac{Q}{(1 - (1.2/H)^{1/3})}$$

All other variables are previously defined.

$$\text{MB76: } \frac{d^2}{D^2} = b_1(Z - 1) + b_2(Z^2 - 1) + b_3(a_1 - Z)^2 I_1 + b_4(a_2 - Z)^2 I_2 \quad (4)$$

$$\text{where: } I_i = \begin{cases} 1, & \text{if } Z \leq a_i \\ 0, & \text{if } Z > a_i \end{cases} \quad i = 1, 2$$

All other variables are previously defined.

In order to evaluate the performance of these four models, fit index (*FI*), root mean square error (*RMSE*), bias (\bar{E}) and absolute mean difference (*AMD*) were used as statistical criteria.

3. Results and Discussion

The performance of these candidate models were compared using statistical criteria and the results showed that the Kozak02 taper equation provided the best *FI* with 0.9847 followed by Kozak88 (0.9841), Kozak01 (0.9832) and MB76 (0.9793), respectively. Kozak02 model also had the best *RMSE* with 1.5745 while MB76 had the poorest with 1.8272. Kozak02 model also had the best mean bias with -0.0030 cm while MB76 had the largest mean bias of 0.3040 cm. Kozak02 also provided the best *AMD* with 1.0990 cm, followed by Kozak88 model with 1.1120 cm, Kozak01 with 1.1750 cm and MB76 model with 1.3060cm, respectively. The overall ranking analysis showed that the Kozak02 model had the best performance as compared to the other three models. This model was followed by Kozak88 model as the second best model.

To further evaluate the four candidate taper equations, the bias was plotted against the predicted DOB for each candidate model. The *AMD* in each relative height class was also determined for further evaluation of the four models and results showed that the Kozak02 model had the lowest *AMD* in most of the relative height classes while the MB76 model showed the poorest performance. It is hope that the stem taper equations can help forest managers in predicting the growth and yield of the standing trees of *Quercus glauca* in Jeju island, South Korea which essential in sustainable forest planning and management.

References

- Akindele SO, LeMay VM. 2006. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. For Ecol Manage. 226: 41-48.
- Fonweban JN. 1999. An evaluation of numerical integration of taper functions for volume estimation in *Eucalyptus saligna* stands. J Trop For Sci. 11(2): 410-419.

- Jiang L, Brooks JR, Wang J. 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *For Ecol Manage.* 213: 399-409.
- Klos RJ, Wang GG, Dang QL, East EW. 2007. Taper equations for five major commercial tree species in Manitoba, Canada. *West J Appl For.* 22(3): 163-170.
- Kozak A. 1988. A variable-exponent taper equation. *Can J For Res.* 18: 1363-1368.
- Kozak A. 2004. My last words on taper equations. *For Chron.* 80(4): 507-515.
- Kublin E, Helene A, Lappi J. 2008. A flexible regression model for diameter prediction. *Eur J For Res.* 127: 415-428.
- Max TA, Burkhart HE. 1976. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *For Sci.* 22(3): 283-289.

민간인통제선 이북지역의 산지이용 패턴

Forest Land Use Patterns in the Northern Area of the Civilian Passage Restriction Line

송정은^{1*}, 임채영¹, 김동민¹, 박미희¹, 함바우솔¹, 김민선², 이천용¹
(¹한국산지보전협회 기획연구처, ²북부지방산림청 민북지역국유유림관리단)

1. 연구목적

민간인통제선 이북지역(민북지역)은 6·25전쟁 이후부터 현재까지 민간인의 접근이 엄격히 금지된 제한지역으로 인식되어 왔으나 최근 한반도의 동서를 잇는 국토생태네트워크의 핵심벨트로서 중요성이 부각되고 있다. 특히 정부차원에서 비무장지대(DMZ : De-Militarized Zone) 일대를 유네스코 접경생물권보전지역으로 지정·관리하려는 노력이 활발히 진행되고 있다.

그러나 과거 민간인의 출입이 철저히 통제됨으로 인하여 산불 또는 산사태 피해지 군사작전시설, 불법훼손지 등의 인위적인 산림 훼손지에 대한 복원이 추진되지 못한 채 방치되어 있어 지속적인 산지훼손이 우려되고 있는 실정이다. 또한 비무장지대 일원을 대상으로 한 각종 특화사업 및 개발사업이 부처별, 지자체별로 추진됨에 따라 산지이용 수요 및 개발압력이 점차 증가할 것으로 예상되고 있다. 즉, 민북지역의 지역적 특성을 고려하여 생태적·문화적·경제적으로 보호가치가 높은 산지를 보전하고 합리적인 이용을 도모하기 위하여 보다 종합적이고 과학적인 산지관리체계의 마련이 시급하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 민북지역의 산지전용허가현황 자료를 활용하여 민북지역의 산지이용수요 패턴을 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

1) 민북지역 경계구축

본 연구에서는 민북지역을 「군사기지 및 군사시설보호법」 제5조2항에 따라 지정된 민간인 통제선으로부터 남방한계선 까지로 정의하고 2012년 7월 현재 구축되어 있는 KLIS 자료를 취득하여 「군사기지 및 군사시설보호법」에 의해 통제보호구역으로 지정되어 있는 필지를 추출하여 민북지역의 최외곽 경계로 구축하였다.

2) 민북지역 산지이용패턴 분석

민북지역의 산지이용 수요와 관련하여 민북지역에 해당하는 인천광역시 강화군, 경기도 파주시, 연천군, 김포시, 강원도 철원군, 화천군, 양구군, 인제군, 고성군의 인구통계자료를 수집하여 최근의 인구변화 추이를 분석하였다. 또한 민북지역 일원을 대상으로 시행되고 있는 각종 특화사업 및 개발사업 계획을 조사하였다.

산지이용패턴을 파악하기 위하여 민북지역 해당 시·군 및 지방산림청의 3년간 국·사유림의 산지전용허가 대장을 수집하였다. 수집된 산지전용허가대장을 기반으로 산지전용용도를 농지, 초지, 택지, 공장, 도로, 묘지, 군사용, 공공용 및 기타로 구분하여 용도별 인허가 면적을 분석하였다. 또한 산지전용허가 대상지를 공간자료로 구축하고 지형분석을 통해 산지전용허가 용도별 입지특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

1) 민북지역 산지이용수요

그림 1에 2003년부터 2010년까지 민북지역 내 시·군별 인구변화추이를 나타내었다. 국가통계포털 및 시·군별 통계연보 상의 인구통계를 조사한 결과, 전국인구의 약 0.04%에 해당하는 1만8천여 명의 인구가

민북지역에 거주하고 있는 것으로 집계되었으며, 지속적인 감소추세에 있는 것으로 분석되었다.

민북지역을 대상으로 한 주요 개발계획은 2011년 행정안전부에서 발표한 ‘접경지역발전종합계획’으로 생태관광벨트육성, 저탄소 녹색성장 지역조성, 동서·남북간 교통인프라 구축, 접경특화 발전지구 조성 전략 등 약 165개 사업을 포함하고 있는 것으로 나타났다.

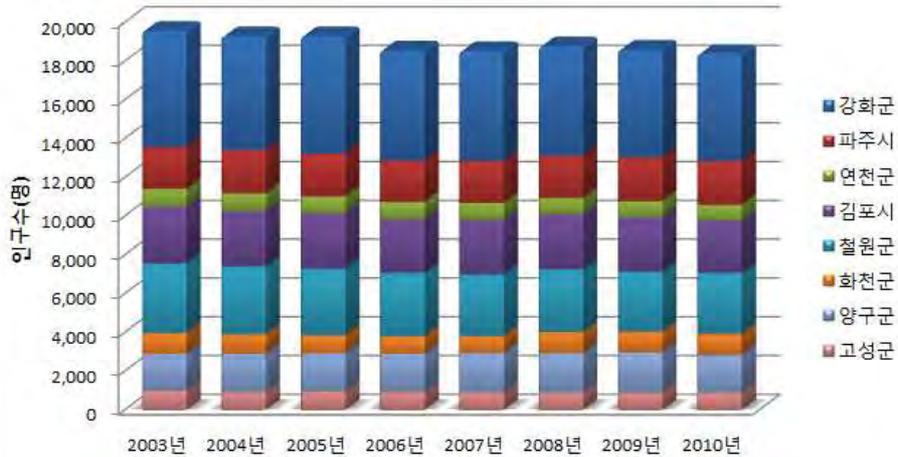


그림 1. 시군별 민북지역 인구변화추이

2) 민북지역 산지전용허가 현황

표 2에 최근 3년간 민북지역의 연도별 산지전용허가 면적 및 건수를 정리하여 나타내었다. 최근 3년간 민북지역에서는 총 580건, 847,984ha의 산지가 타용도로 전용되도록 허가된 것으로 나타났으며 접경지역발전종합계획이 발표된 2011년 이후 전용면적이 증가한 것으로 분석되었다. 그림 2에 나타난 바와 같이 산지 소유별로는 사유림의 산지전용허가 면적 및 건수가 국유림 보다 많은 것으로 나타났다.

표 1. 연도별 민북지역 산지전용 면적 및 건수

구분	합계	2010년	2011년	2012년*
면적(m ²)	847,984	328,333	451,887	67,764
건수	580	263	243	74
면적/건수	1,462	1,248	1,860	916

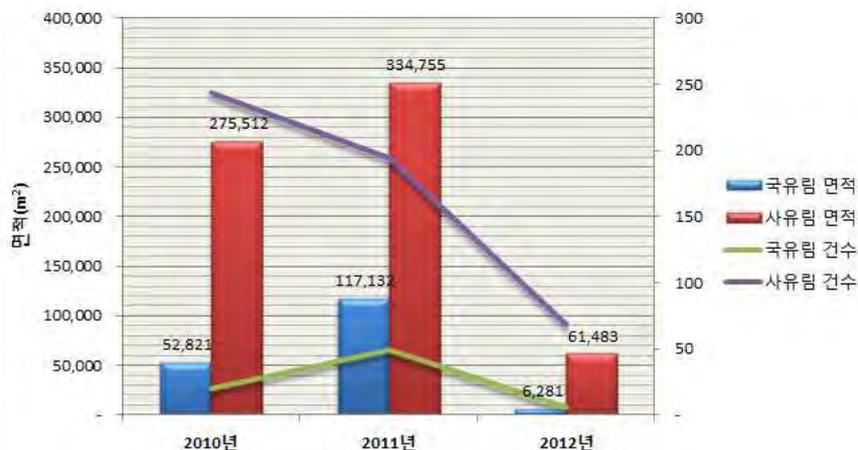


그림 2. 소유별 산지전용허가 현황

그림 3에 산지전용허가 대상지에 대한 위치자료를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 국유림 산지전용의 경우 민북지역 중 동부지역에서 주로 발생하고 있으며, 사유림의 경우 강화군, 김포시, 파주시, 연천군 등 서부지역에서 주로 발생하여 지역 간 차이가 있음을 알 수 있다.

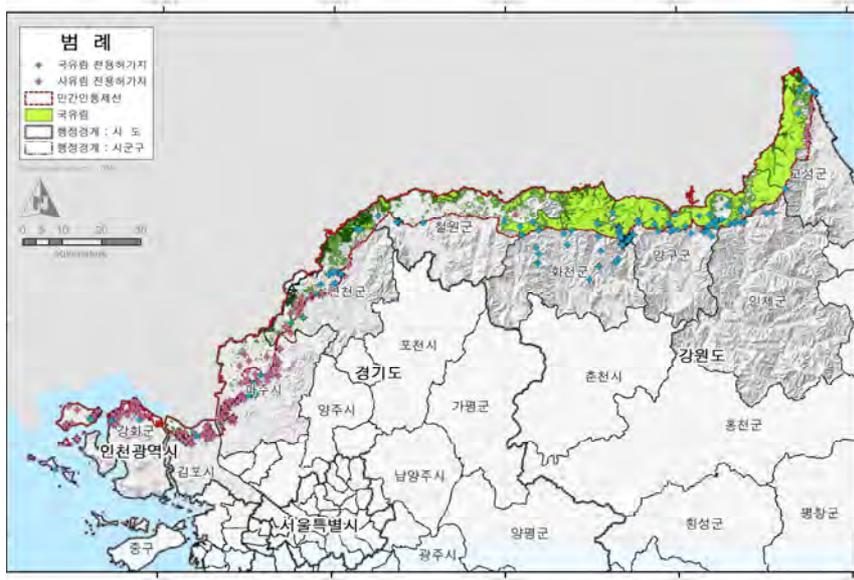


그림 3. 산지전용 인허가지 현황도



그림 4. 산지전용허가 용도별 허가면적 비교

그림 5에 산지전용허가 용도별 허가대상지의 지형특성을 분석한 결과를 제시하였다. 산지전용허가 대상지의 평균표고와 평균경사도 모두 군사용 시설이 469m로 가장 높았으며, 공공용 314m, 초지 127m의 순으로 높은 것으로 나타났다.

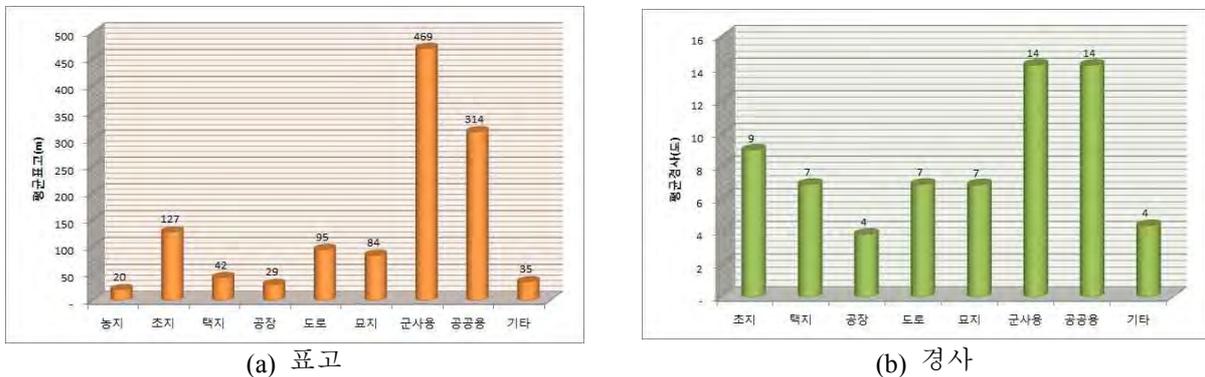


그림 5. 산지전용허가 용도별 지형특성 분석