

발 간 사

산림청장 남 성 현

‘포플러 속성수’ 제32호 발간을 진심으로 축하드립니다.

산림청 개청보다도 앞서 태동한 (사)한국포플러속성수위원회가 올해(2022년)로 62주년이 되었습니다. 그간 국내 포플러, 버드나무, 백합나무 등 속성수의 증식·이용에 관한 기술보급과 해외 조림사업 지원 등의 지속적인 활동으로 그 입지를 굳건히 지켜가고 있음에 감사드리며, 앞으로도 산림분야의 탄소중립실현과 기후변화 대응을 위한 연구와 보급의 역할을 기대합니다

(사)한국포플러속성수위원회는 1960년 설립된 이후로 유엔식량농업기구(FAO) 산하 국제포플러위원회(IPC)에 가입하여, 신품종 포플러 심기 운동 등 우리나라 속성수 양묘, 보급 및 산지녹화에 기여하였습니다. 최근에는 백합나무 조림적지 설정을 위한 연구, 사시나무 우량개체 및 우수클론 선발을 위한 연구를 수행하는 등 산림분야 탄소중립 실현을 위해 앞장서고 있습니다.

새로 출범한 윤석열 정부의 국정비전은 “다시 도약하는 대한민국, 함께 잘 사는 국민의 나라”입니다. 우리 산림과 임업분야 국정과제는 “산림

재해 대응 역량강화와 산림자원의 효율적 관리”, 그리고 “임업인 지원과 산림복지 강화”입니다. 저는 이를 토대로 하여 앞으로 산림청의 정책 추진방향, 즉 산림 정책의 비전을 ‘선진국형 산림경영관리를 통하여 산림 르네상스시대를 열어 나가자’라고 정하였습니다.

산림청은 다양하게 얽혀있는 산림과 임업 그리고 환경 분야에 관심이 많으신 이해관계자들(stakeholders)의 정책만족도를 높여 나가기 위해 경제임업과 환경임업, 그리고 사회임업을 조화롭게 추진해 나가겠습니다.

2023년은 산림녹화 50주년을 맞이하는 해입니다. 그동안 국민과 함께 우리의 숲을 푸르게 녹화하는 데 성공하였다면, 앞으로 100년은 국가경제와 국민들의 더 나은 삶을 위한 산림 정책으로 국민 곁으로 다가가겠습니다.

(사)한국포플러속성수위원회도 산림청과 함께 새로운 100년, 새로운 산림정책 추진에 함께 힘을 모아 주시길 바랍니다. 감사합니다.

권 두 사

(사)한국포플러속성수위원회 회장 구 영 본

벌써 임인년(2022)은 저물어가고 계묘년(2023) 새해가 밝아오고 있습니다. 계묘년 새해는 포플러와 속성수에 관심을 가지신 모든 분들과 우리 위원회 회원 여러분들의 가정과 건강에 행운이 가득하시길 기원합니다.

먼저 포플러속성수지 32호가 발간될 수 있도록 소중한 원고를 내주신 산림청 청장님을 비롯한 관계관님, 국립산림과학원 원장님께 깊은 감사의 인사를 드립니다. 또한 포플러지 발간에 적극적으로 참여하신 포플러위원회 임·회원 여러분, 그리고 원고의 편집과 발간에 고생하신 편집위원 여러분들에 감사를 드립니다.

지난 2년간을 돌이켜 보면, 2021년 10월 5~8일까지 이태리 로마에서 제26차 국제포플러위원회(IPC) 총회가 비대면(화상)으로 개최되었다. 그 총회에서 우리 위원회에서 추천한 서울대학교 강규석 교수(우리 위원회 부회장)가 국제포플러속성수위원회 집행위원으로 선출되었습니다. 1975년 고 현신규 박사님이 제15차 국제포플러위원회 집행위원으로 선출된 이후 2012년까지 우리나라는 지속적으로 국제포플러위원회 집행위원으로 활동하여 왔습니다. 1975년 이후 24, 25차 총회를 제외하고 제26차 총회에서 다시 우리 위원회에서 국제포플러속성수위원회 집행위원으로 선출됨으로 국제사회에 한국포플러속성수위원회의 위상을 되찾는 계기가 되었습니다.

국제포플러위원회가 2019년 “포플러와 기타 속성수 관한 국제위원회”로 명칭이 변경됨에 따라 우리 위원회에서도 한국포플러위원회를 2020



년에 “한국포플러·속성수위원회”로 다시 태어나게 되었습니다. 그렇지만 법원의 등기소 등록 과정에서 중앙의 (·) 점을 사용할 수가 없어 “한국포플러 속성수위원회”로 공식적으로 등록되어 왔습니다. 금년 정관 개정에서 다시 산림청에 “한국포플러속성수위원회”로 승인을 받아 등록함으로써 공식적으로 명칭이 변경되었습니다.

또한 우리 위원회 정관 제31조에 수입원으로 기부금을 받을 수 있는 조항은 있지만 활용할 수 있는 구체적인 규정이 없었습니다. 기존의 31조에 있던 내용을 ① 항으로 하고, 『② 본회는 전항 제3호(기부금)에 의한 기부금을 수입금으로 충당하였을 경우 연간 기부금 모금액 및 활용실적을 홈페이지에 공개하여야 한다.』를 추가하였습니다.

이와 같이 정관 개정을 통하여 최근에 기업의 성과를 측정함에 있어 기업의 재무적 성과를 제외한 친환경(environment), 사회적 기여(socia

1), 투명한 지배구조(governance) 등의 분야에서 기업성과를 가리킵니다. 재무적인 요소에서 드러나지 않는 기업의 사회적 활동을 계량화 하여 기업의 계속 경영 가능성을 평가하기 위해 개발한 지표로 선진국에서는 비재무적 정보 공시를 제도화하고 있습니다.

전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위하여 속성수인 포플러와 버드나무를 이용하여 탄소 흡수원 및 목재에너지림 조성하고 있습니다. 따라서 우리 위원회에서도 기업과 공동으로 이산화탄소 흡수·저장 능력이 우수한 포플러와 버드나무를 이용하여 “탄소 상쇄숲”을 조성하여 대국민 홍보를 할 수 있도록 정관개정을 통하여 우리 위원회와 기업이 동시에 상생할 수 있는 기반을 확보하였습니다.

특히 정부에서 추진하고 있는 기후변화 대응 2050년 탄소중립 산림부분 추진전략 일환으로 “신규 탄소흡수원 확충으로 한계농지 조림, 수변 지역 대상의 산림조성”과 “남북 협력사업을 통한 탄소흡수원 확충”을 추진하고 있습니다. 한강변(경기 여주)에는 포플러와 같은 나무를 심어도 강물의 흐름을 방해하지 않을 많은 면적의 땅이 있으므로 우리 위원회, 정부, 기업이 공동으로 “탄소 상쇄숲”, “목재에너지림”등을 조성할 수 있도록 적극적으로 노력해 나아가야 할 것입니다.

끝으로 제가 회장으로 재임한 지난 4년간 본 위원회 관심과 도움을 주신 모든 분들 및 회원 여러분들께 깊은 감사의 인사를 전하며, 2023년 계묘년(癸卯年) 새해는 건강하시고 무궁한 발전이 있기를 기원합니다.

목 차

- 발 간 사	1
- 권 두 사	2
01 국내외 정책 및 연구동향	
'21~'22년 국립산림과학원 주요 성과	8
사막을 녹지로 바꾼 바이오 순환림	17
단별기 임업에 의한 버드나무 바이오매스 생산과 이용	22
02 특별기고	
도시림(都市林)	36
03 포플러 및 속성수 최근 연구	
사시나무(Populus davidiana) 유전연관지도 작성 및 양적형질 유전자 탐색	41
새만금 목재에너지림 생육상황 및 바이오매스 생산량 모니터링	47
백합나무 조림적지 및 한계권역 설정	61
목본류의 배수체 육종 현황 및 전망 - 포플러류를 중심으로	76
포플러류 생육증진 후보미생물의 분리 및 동정	90
04 우리 생활 속의 포플러	
기독교에서 속성수인 버드나무는 또 다른 의미	97
05 추모사	
박광서(朴光緒)회장을 추모하며	103
06 부록	
국제포플러속성수위원회 정관	107
사단법인 한국포플러속성수위원회 정관	116
사단법인 한국포플러속성수위원회 연혁	121
국제포플러속성수위원회 활동실적	122
한국포플러속성수위원회 주요업무실적	124
한국포플러속성수위원회 2021~2022년도 연보	128
한국포플러속성수위원회 회원명단	130

01

국내외 정책 및 연구동향

'21~'22년 국립산림과학원 주요 성과

국립산림과학원장 박 현

우리나라를 포함한 전 세계는 기후위기에 대응하고자 2015년에 파리협정을 체결하고, 지구 평균기온 상승 폭이 산업혁명 이전보다 1.5℃를 넘지 않도록 노력하자는데 합의했다. 이후 2018년 유엔 산하 '기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)'는 지구 평균기온 상승을 1.5℃ 이하로 낮추려면 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다고 권고했다. 최근 국제학술지 사이언스에서 공개한 '기후 임계점' 평가에서 지구 평균 온도 상승이 멈춰도 과거 상태로 되돌아갈 수 없는 한계 온도와 현재 상황을 평가한 요소인 '16가지 기후전환 요소'를 밝혔다. 그중 그린란드와 남극 서부의 빙상 붕괴, 래브라도해 대류 붕괴, 영구동토층의 해동, 저위도 산호초 소멸 등 5가지 요소가 이미 임계점에 매우 가까워졌다고 보고했다. 결국, 지구의 평균 온도 상승을 산업혁명 이전 기준에서 1.5℃ 이내로 억제한다는 파리협약의 목표를 달성하더라도 이들 요소는 산업혁명 이전 상태로 돌아가지 못할 것이라는 비관적인 전망을 보여준다.

이러한 문제를 해결하기 위해 자연의 지속가능성과 회복탄력성에 기반한 '자연기반해법(Nature-based Solution, NbS)'이 부상하고 있으며 산림은 그 중심이 되고 있다. 지구 표면의 30%를 덮고 있는 산림은 육상 동식물과 곤충의 80%가 서식하는 생물다양성의 보고(寶庫)이다. 또한, 인본주의적 관점에서도 산림의 지속가능한 관리와 이용은 현재와 미래세대의 번영과 복지를 달성하기 위해 매우 중요하다. 아울러 산림은 깨끗한 공기와 물의 공급원일 뿐만 아니라, 이산화탄

소를 흡수하고 저장하는 '탄소흡수원'으로서 기후위기에 대응하는 데 중요한 역할을 한다.

산림의 생태적, 경제적, 사회적 가치에도 불구하고 매년 훼손되는 산림은 1,000만 ha에 이르고 있다. 즉, 아이슬란드의 크기와 비슷한 면적의 산림이 매년 사라지는 것이다. 이에, 지속 가능한 산림관리·경영 정책의 구현과 이를 뒷받침할 수 있는 산림과학기술 개발은 국제적인 현안이 되고 있다.

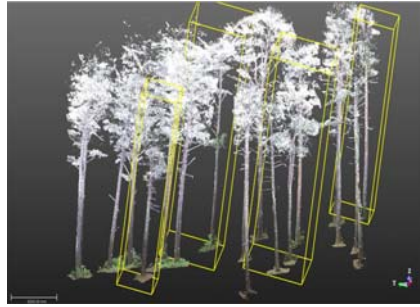
최근 산림청은 국내·외 산림·임업 환경변화를 고려하여, 산림의 경제적·환경적·사회적 가치를 더욱 높이기 위한 순환경영 모델인 「선진국형 산림경영·관리를 위한 산림 르네상스 추진 전략(22~'27)」을 마련하였다. 국립산림과학원은 이러한 시대적, 사회적 수요에 선제적으로 대응할 수 있도록 산림ICT연구센터 등을 신설하고, 미래산림전략연구부 등으로 명칭과 부서별 사명을 재편하며 미래지향적 산림과학 R&D를 추진하고 있다. 특히, 최근 2년간 산림과학 연구를 한 단계 더 높게 도약시키기 위한 주요 연구성과 및 추진 사항을 소개하면 다음과 같다.

지속가능한 보전과 이용을 위한 산림생태계 관리

국립산림과학원은 3D LiDAR, 드론 등 ICT 장비를 산림자원조사에 활용하여 적은 인력과 시간으로도 조사의 정확성을 높이는 방법을 연구·개발하고 있으며, 정밀화된 고품질의 산림자원 정보를 활용해 산림관리의 효율성을 높이고 있다. 즉, 산림정보를 디지털 트윈을 통해 제공하고 메



〈LiDAR를 활용한 산림정보 취득〉



〈나무의 디지털 정보 추출〉



〈멸종위기종 구상나무 복원 재료〉

타버스(Metaverse) 상에서 시뮬레이션하며 실행 계획을 사전 점검하고 효과성을 높이는 기술이 개발되고 있다.

이 시대의 화두인 기후위기를 극복하기 위하여 멸종위기종의 DNA 이력 관리와 체계적인 복원 재료 확보 기술도 개발하고 있다. 특히 구상나무의 소멸 위험이 높은 금원산에 구상나무 복원 재료로 증식한 개체 생존율은 92.7%로 높은 활착률을 보였다. 이러한 과학적 근거를 바탕으로 산림청의 「제2차 멸종위기 고산 침엽수종 보전·복원대책」 이행을 위한 핵심기술을 지원하고 있다. 국립산림과학원은 이러한 최신 기술을 적용하여 우리나라 산림의 생태적 관리를 위한 생계서비스 증진, 재해 방지, 숲의 구조 개선, 생물다양성 향상 등을 포함한 경관 규모의 산림관리 방법인 ‘미래 100년 숲 산림경영모델’을 지속해서 연구하고 있다.

또한, 가로수, 공원수 등 생활권 수목의 병해충 피해와 기상재해 피해를 최소화하고 체계적인 관리를 위해 ‘수목 관리 이력 정보화 시스템’을 개발하였다. 본 시스템은 나무별로 부착된 표식(NFC, Near Field Communication)과 스마트폰 앱을 통해 수목의 실시간 상태, 관리 이력 등의 정보를 서버에 저장하고 확인할 수 있어 도시권 수목의 체계적인 관리가 가능하다.

빅데이터/ICT 기술을 활용한 산림재해 대응 고도화

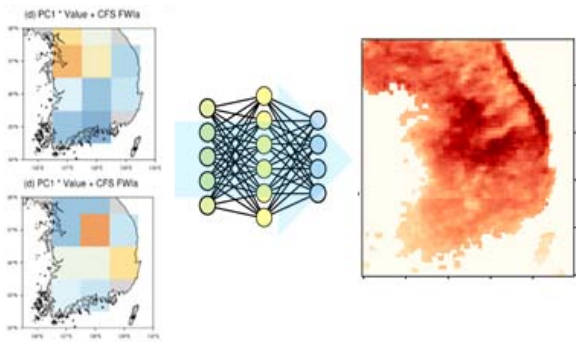
산불의 연중화·대형화로 위험성이 계속 증가하고 있으나 산불확산예측의 불확실성과 실시간 현장 상황을 공유하는 시스템이 미비하여 초동대응에 한계가 발생하고 있었다. 이에, 국립산림과학원은 산림 미기상 빅데이터 및 인공지능에 기반하여 산불 중기(1주), 장기(1개월) 예보 알고리즘을 개발하였고, 총 413개소의 산악기상관측망을 운영하면서 산림재해 예방을 강화하였다. 또한, 산불예측 정확도를 '14년 77%에서 '21년 87%, 산사태의 경우 단기 92.1%, 중기 84.8%까지 정확도를 높였고, 실시간 산사태 예측정보를 1시간 전 예측에서 12시간 전 초단기 예보시스템으로 발전시켰다. 아울러 실시간 산불·산사태 예측 및 상황도를 행정안전부 등 관련 기관에 공유할 수 있는 시스템을 마련하여 한국농림기상학회 신진학술상, 산불방지 유공 대통령 표창을 수상하였다.

또한, 산림공간정보 빅데이터 및 임분·토성예측 머신러닝을 활용한 산림물지도 모델을

개발하여 산림조성, 재해대응 등 맞춤형 산림관리를 위한 정책 의사결정 지원시스템도 구축하였다.

산림자원 선순환체계 구축 및 다기능 증진을 위한 산림자원 개발·조성·육성

2030 국가 온실가스 감축목표(Nationally Determined Contribution, NDC) 기여 및 2050 탄소중립 목표 달성을 위해서는 탄소흡수 능력을



〈AI기반 산불위험 예측 고도화〉



〈산사태 초단기 예보시스템〉

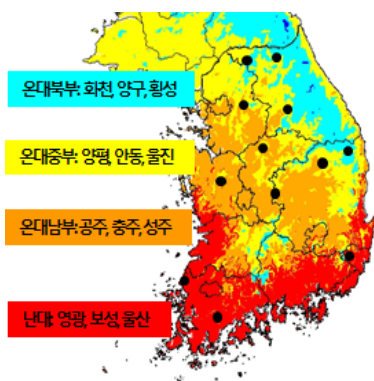
높이는 연구가 필수적이다. 즉, 기후변화에 적응성이 높고 경제적 가치가 높은 유망 조림수종의 발굴이 필요하다. 국립산림과학원은 스트로브잣나무, 루브라참나무, 백합나무, 테다소나무, 편백, 헝가리 아까시나무 등의 조림·생육 적지를 구명하고, 백합나무의 국내 조림 한계지 설정을 위한 추정 모델인자를 구명하였다. 이러한 연구성과는 기후변화 적응력과 탄소흡수 능력이 우수한 조림수종 개발 및 육성으로 탄소중립 목표에 기여할 것이며, 유망한 도입 수종의 우수한 산지 및 종묘 보급으로 산림의 생산성 및 가치를 증대할 것이다.

산림용 스마트 양묘 시스템을 구축하기 위해 양묘장(규모·수준별 8유형) 시설 표준안을 개발하고 빅데이터·Cloud를 활용한 산림용 자동제어 온실 관제시스템 프로그램(스마트 1.5세대)도 개

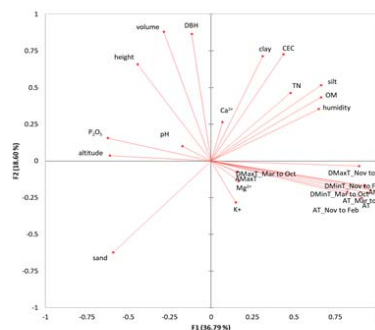
발하였다. 세부적으로는 뿌리 성장점 집중형 냉방 시스템을 개발하였고, 저면관수 용기 받침대를 개발하여 묘목 품질이 1.5배 상승하고 생존율이 10% 향상되는 결과를 얻었다. 또한, 낙엽송 조림 확대 정책에 맞춰 묘목 생산기간을 2년에서 1년으로 단축하는 기술을 개발하였다. 이러한 연구 결과는 산림청·지자체·민간 양묘장을 통해 양묘시설 현대화 및 스마트 양묘시스템 구축 사업에 활용·보급되어 생산성 향상에 기여할 것이다.

2050 탄소중립사회 전환을 위한 산림 기여도 제고

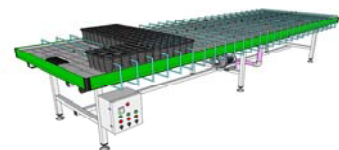
NDC 달성에 기여하는 산림의 탄소흡수량 평가를 위해서는 산림탄소 통계보고 기준연도인 '90년부터 실제로 산림경영이 이루어진 공간의 면적 비율을 정량적으로 나타내는 '산림경영률' 산



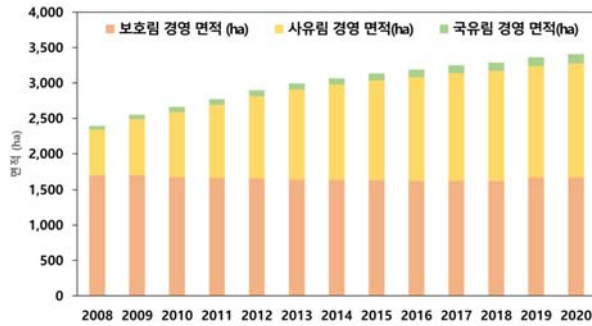
〈스트로브잣나무 조림적지 구명〉



〈뿌리 성장점 집중 냉방시스템〉



〈저면관수 용기받침대〉

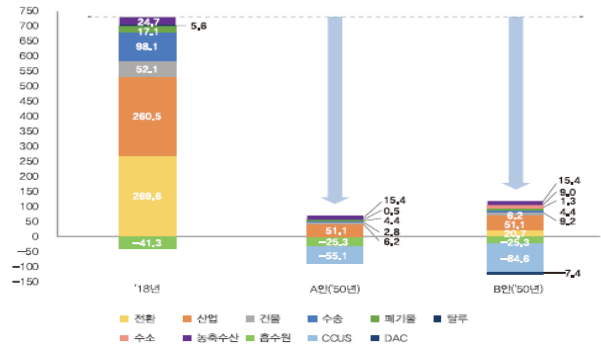


〈산림경영면적 변화 추이('08~'20)〉

정이 필요하다. 이를 위해 사업 위치 확인이 불가능한 경영 이력 간의 중복 계산 방지 및 경영 단위(소반, 필지)별 작업 면적의 최대값만 분석에 활용하는 '최대사업법'을 개발하였다. 그 결과 '20년 기준 산림경영률이 전년도 대비 0.9% 증가한 54.3%임을 확인하였다. 또한 총 산림경영면적은 3,411천ha로 '19년 대비 46천ha 증가하였다.

이를 바탕으로 탄소배출 측정·보고·검증(MRV) 기반 체계가 수립될 것이며, 이러한 공로를 인정받아 환경부 기후변화대응 장관 표창을 수상하였다.

탄소중립 시나리오는 장기적인 관점에서 우리가 나아가야 할 방향성을 제시한 것으로 우리나라의 산업구조, 에너지 생산·이용체계, 생활양식 등 사회 전반의 획기적인 전환을 목표로 한다. 특히, 우리나라 산림은 노령화로 인해 연간



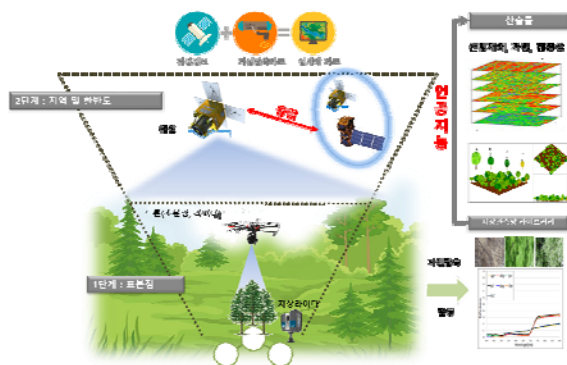
〈2050 온실가스 배출량 예측〉

생장량이 '20년 4.3(m³/ha/년)에서 '50년 1.9(m³/ha/년)로, 산림의 순흡수량은 '20년 38,733천톤에서 '50년 13,908천톤으로 감소할 것으로 예측되었다.

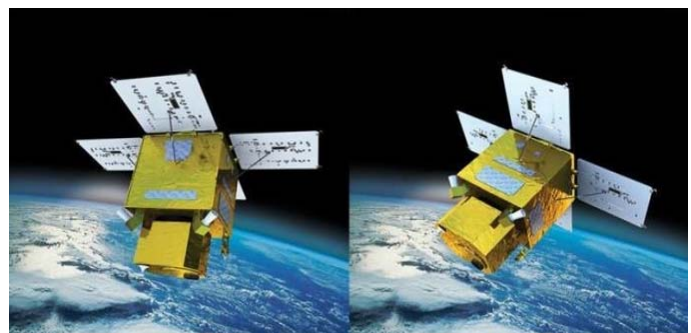
그러나 '50년까지 국산목재 공급량을 800만m³까지 확대하고 우수품종 조림면적을 확대하면 흡수량이 20,808천톤까지 높아질 것으로 예측하였다.

이러한 예측 결과는 「2050년 산림부문 탄소중립 시나리오 수립」에 활용되어 적극적인 정책 추진 필요성에 대한 논거로 제시되었다.

국립산림과학원은 2020년부터 농림위성의 품질 확보를 위한 검보정기술을 개발하고 있으며, 2021년부터는 산림 분야에서의 활용을 위한 응용기술을 개발하고 있다. 검보정기술은 농림위성이 촬영한 영상과 지상에서 관측한 자료와의 일치도를 높여주는 기술로 우리나라 산림은 지형의



〈농림위성을 활용한 산림 모니터링 개념도〉



〈농림위성 이미지〉



〈약용자원 소재은행〉



〈구조용 직교 집성판〉



〈나노셀룰로오스 신소재〉

경사 및 형태, 계절에 따라 노출되는 상태가 다양하여 위성영상에서 차이가 발생하므로 정밀한 검보정기술 개발이 필수적이다.

농림위성의 폭넓은 활용을 위해 다양한 연구를 추진하고 있으며, 위성정보를 활용하여 정밀임업을 위한 산림자원 조사 기술을 지속적으로 개발해 나가고 있다.

특히, 2024년까지 서울시 강동구 고덕동에 산림위성정보활용센터를 건립하여 2025년 2월 발사되는 농림위성의 정보를 제대로 활용할 수 있도록 준비하고 있다.

산림생명산업 · 목재산업 진흥을 위한 과학기술 정보 제공

바이오 순환경제와 나고야의정서에 대응하여 면역기능성 소재(산양삼, 다래, 남오미자 등), 향염증(상동나무, 갯대추나무, 어수리 등), 미백(구상나무 정유, 왕초피나무 정유 등), 향료소재(비자나무, 참식나무 정유 등) 등 고부가가치 식·약용 소재를 발굴하였다. 이들 소재의 원료 공급체

계를 확립하고 산림약용소재 은행 및 식물정유 은행을 구축하여 기술 개발을 지원하였다. 이러한 공로를 인정받아 한국과학기술단체 총연합회의 과학기술우수논문상을 '20년부터 '22년까지 3년 연속 수상하였다.

또한, 산림 내 주요 자원인 목재를 활용한 목재친화도시 조성 가이드라인을 수립하였다. 도시 목조화와 관련된 목조시설·건축물의 탄소저감효과 분석(131m³/110tCO₂, 136m³/114t CO₂), 도시목조화의 경제성 분석(생산/부가가치, 취업/고용유발효과 분석), 목재특화거리 유형 정립 및 조성을 위한 모델을 개발하여 국산 목재를 활용한 도시목조화 실현 정책 기반을 마련하였다. 더하여 고층 목조건축 관련 국내외 산업 및 기술 동향을 반영하여 '구조용 직교 집성판(CLT, Cross-Laminated Timber)'과 '건조 제재목'의 한국산업표준(KS) 2종을 제정하였고, 목조건축 시장의 유통질서 확립과 향후 증가할 목조건축물의 구조적 성능과 안정성을 담보할 수 있는 근거를 마련하였다.



〈산림치유 향노화 프로그램〉



〈주거지(좌)와 공단(우)사이 도시숲〉



〈산림 미세먼지 측정넷 구축〉



〈2022 산림·임업전망대회〉

아울러 목질계 나노셀룰로오스를 활용하여 플라스틱 사용률 저감을 위한 나노 복합소재 제조 기술을 개발하고 결정형 나노셀룰로오스로 수질 개선용 중금속 흡착제를 개발하였다. 나노셀룰로오스를 활용한 다양한 소재 개발 연구성과는 '21년 기후변화대응 대표기술 10선에 선발되었다. 또한, 플라스틱계 건축재 대체용 친환경 목섬유 단열재를 개발하고 '나 등급' 단열성능(선진국 기술대비 10~30% 우수)을 확보하였으며, 이를 산업화하기 위해 최적의 제조조건을 확립하고 대량 생산 기반을 구축하였다.

국민 삶의 질 향상을 위한 산림·도시숲 활용 제고

국립산림과학원은 「노인 대상 치매 예방 산림 치유 향노화 프로그램」을 개발·운영하고 있다. 산림치유 향노화 프로그램을 통해 인지기능(5.3%), 체력(42.2%), 근력(24.8%), 보행기능(9.3%)이 향상되며, 우울감(49.8%)과 기분장애(9.3%)가 감소하는 정량적인 결과를 확인했다. 또한, 산림 치유 빅데이터 구축을 위해 국민건강보험공단과 산림치유 건강생활실천지원금제와 연계된 DB 시스템 연동 지표를 선정하고 평가방법을 도출하여 금후 건강보험과 연계한 산림치유가 진행될 수 있는 발판을 마련하였다.

최근, 미세먼지를 저감하기 위해 도시숲의 가

치가 높아지고 있다. 이에, 「산림 미세먼지 측정넷」구축을 위한 법적 근거를 마련하고 24개소 71지점에 모니터링 체계 구축을 완료하였다. 전국 단위의 산림 미세먼지 측정넷을 통해 실시간 미세먼지를 모니터링하고, 도시숲의 미세먼지 저감 효과를 구명하였다. 향후 측정넷 정보의 대국민 개방 서비스 플랫폼(숨 편안길, 더위 피하는 길) 구축을 통해 측정넷 활용성을 강화할 것이며, 미세먼지 대응 정책(차단숲, 바람길숲 조성)에 과학적 정보를 제공할 것이다.

'산림·임업 전망' 발표대회 개최

매년 초에 개최하는 '산림·임업 전망' 발표대회는 산림과 임업을 둘러싼 국내외 경제, 환경 동향과 이슈를 종합적으로 분석하고 산림·임업·산촌의 가치를 찾는 소통과 협력의 장으로 지난 '18년에 시작되어 올해로 5회째를 맞이했다. 우리나라 산림 분야가 나아가기 위한 잠재력을 확인하고, 미래지향적인 방향성을 서로 논의하는 장으로 자리매김하고 있다.

'21년에는 '미래 지속가능한 사회와 산림'이라는 큰 주제 아래, 환경위기를 극복하고 지속가능한 사회로 나아가기 위한 방안 모색을 위해 건강한 산림(그린뉴딜), 가치 있는 산림(디지털뉴딜), 균형 있는 사회(안전망강화)라는 핵심이슈를 다루었다. '22년에는 '뉴노멀 시대, 산림·임업·산촌'이

라는 주제로 변화된 환경 속 산림·임업·산촌의 미래 방향 설정을 위해 탄소흡수와 산림경영, 탄소저장과 목재이용, 산림생명자원, 도시숲 등 메가트렌드를 반영한 핵심 이슈에 대해 논의했다.

6회째를 맞이하는 '23년에는 '숲과 과학기술로 미래를 열다'라는 주제로 새정부의 국정과제, 치산녹화 50주년, 산림 르네상스 등 시의성 있는 주제를 다룰 예정이다. '산림·임업 전망' 대회를 통해 최신 이슈에 대응하여 산림의 가치를 확장하고, 과학적인 근거를 통해 산림 정책으로 발전시켜, 국민의 삶 속에서 숲이 가지는 가치와 의미가 더욱 확장되기를 기대한다.

산림과학연구 100년 미래를 위한 산림과학연구 비전·수립

2022년은 국립산림과학원이 흥릉숲에서 산림과학연구를 시작한 지 100년이 되는 해이다. 1922년 임업시험장으로 시작하여 광복을 맞이한 후, 1945년 9월 조선임업시험장으로 개편되었고, 1967년 임업시험장, 1987년 임업연구원, 2004년 국립산림과학원으로 개칭하며 현재에 이르게 되었다. 일제강점기와 한국전쟁으로 황폐해진 산림이 건강한 숲으로 탈바꿈하고 산림녹화의 세계적 모범사례로 평가받을 수 있었던 과정에는 국립산림과학원의 산림과학 연구와 함께 하였다.

현재 국립산림과학원은 산림의 가치를 발굴하고 증진하여 국민 행복에 기여하기 위해 노력하고 있으며, 숲에 있는 다양한 생물의 유전자부터 산림 생태, 숲에서 나오는 산물의 가공 및 이용, 산림 정책에 이르기까지 다양한 연구를 수행하고 있다.

특히, 2022년 8월 22일에 산림과학연구 100년을 기념하며 '숲과 함께 한 100년, 국민과 함께할 100년'의 슬로건 아래 "숲과 과학기술로 더 나은 세상을 만들겠다"라며 미래 비전을 공표하

고, 건강한 숲을 만드는 연구에서 이제는 국민이 누릴 수 있는 숲을 위한 연구로 지향점 전환을 선포하였다.

위와 같은 산림과학연구의 성과와 확산으로 국립산림과학원은 행정안전부가 주관하는 책임운영기관 종합평가에서 ▲3차원 디지털 트윈 기술 등 ICT 기반 산림자원 정보 구축을 위한 표준기법 개발 ▲산업연관분석을 통한 산림산업 국가경쟁력 영향 평가 ▲산림생태계 순환경영체계 기반 구축 ▲목조건축 활성화 및 목재 고부가 이용을 위한 기틀 마련 등의 유의미한 성과를 창출하여 '21년에 이어 2년 연속 최우수등급인 S등급을 달성하였다.

뉴 노멀 패러다임에 맞는 진취적 연구 추진

'자원채취 - 대량생산 - 그리고 폐기'의 일방향이었던 기존의 '선형경제'가 한계에 달함에 따라 자원의 절약과 재활용을 통해 지속가능성을 추구하는 친환경 경제 모델인 '순환경제'가 새로운 패러다임으로 자리잡고 있다. 이러한 상황에서 지구의 1/3을 차지하는 산림의 지속 가능한 관리와 이용은 생태주의적인 측면과 더불어 인본주의적 관점에서도 매우 중요하다. 이러한 관점에서, 숲과 나무에 한정된 시각이 아닌, 사람을 생각하는 다양한 접근, 산림의 생태적, 경제적 가치를 넘어 사회문화적 가치를 구현할 수 있는 산림과학 연구가 필요하다. 이를 위해서는 ICT 등 4차산업혁명 시대에 부응하는 첨단 기술 활용과 산림자원의 선순환 체계 확립을 위한 제도적 장치가 마련되어야 한다. 즉, 산림자원의 가치가 제대로 발휘되도록 과학기술에 기반한 각종 정책이 먼저 준비되어야 한다.

국립산림과학원은 좋은 숲을 만들고 숲을 활용하는 연구를 통해 대한민국 산림과학 발전을 이끌어왔다. 숲에 존재하는 각종 생물의 DNA, 유

전자부터 시작하여 생태환경 보전, 산물 활용 기술은 물론, 사회과학 분야인 산림정책까지 매우 넓은 스펙트럼을 담당해왔다. 특히 최근 산림자원의 가치가 제대로 발휘될 수 있도록 ICT, IoT, 3D 스캐닝, AI, LiDAR 등의 첨단 기술을 산림경영 및 서비스 분야 등 산림 전 분야에서 활용하기 위해 노력하고 있다.

앞으로 국립산림과학원은 100년간의 산림과학 연구 기반과 미래의 첨단 과학기술을 바탕으로 자연과학과 사회과학의 종합적인 연구를 통해 산림과학 융복합 연구의 선도적 모델이 되고자 노력할 것이다.

사막을 녹지로 바꾼 바이오 순환림

산림문학 부이사장 변 광 옥

미국 북서부 태평양 연안에 위치해 있는 인구 300만의 오레곤 주는 국제 무역 중심지역이다. 주 북서부에 위치한 포틀랜드시는 산림자원이 풍부했던 곳으로 콜롬비아 강 유역에 위치해 있어 1880년대 초 철도가 개통되기 전까지는 이 지역의 목재자원이 뗏목을 이용하여 태평과 다른 지역으로 많이 공급 되었다고 한다.

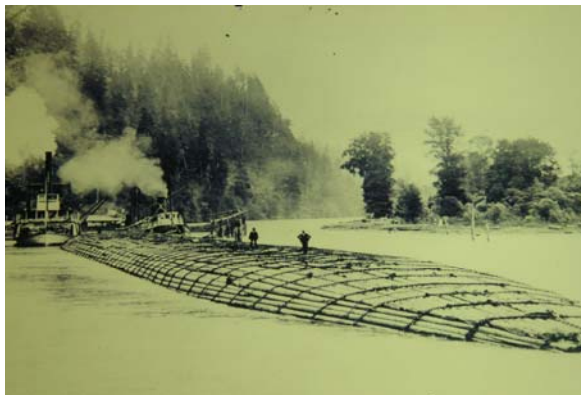


그림 1. 콜롬비아 강에 떠온 뗏목

오레곤 주는 해안에서부터 내륙에 이르기까지 해안, 산악, 사막지역에 따라 다양한 기후를 나타내고 있다. 특히 Cascade산맥을 중심으로 동쪽으로는 연평균 강수량이 1,500mm정도로 식물생육에 충분한 강수량이 되고 있지만 서쪽에는 200mm정도의 강수량 밖에 안 되는 사막지역이 Cascade산맥을 따라 광활하게 펼쳐지고 있다. 이와 같이 물 부족으로 인해 식물이 자랄 수 없는 지역을 주 당국에서는 Phytoremediation 실용화 시스템을 적용하여 포플러를 식재함으로써 사막을 녹지로 바꾸는 바이오순환림 조성사업

을 추진해 왔다.

바이오 순환림은 속성으로 자라고 Biomass량이 많아야 하기 때문에 일반적으로 포플러류의 수종이 많이 이용되고 있다. 이러한 수종 선택과 개량을 위한 연구사업이 미국 오레곤주의 포틀랜드에 본사가 있고, 남미 칠레와 아시아의 중국에 지사를 둔 Greenwood resources(GWR)사에 의해 추진되고 있었다. 이 회사는 세계 최대의 속성수 양묘, 목재 및 펄프재 생산과 환경복원을 위해 1998년에 설립되어 연구와 생산을 병행하여 기업을 운영하는 회사로 포플러의 신품종을 개발하고 개량된 품종을 이용하여 바이오 순환림을 조성하고 있었다.



그림 2. 광활하게 펼쳐진 준 사막지역

GWR사의 포플러 육종

오레건의 Columbia 강 주변에는 충분한 습도와 비옥한 토양조건으로 인해 많은 *Populus trichocarpa*와 이 수종의 자연교잡종이 광범위하게 자생하고 있으며 생장 또한 우수하다. GWR



그림 3. 포플러 선발현황 설명



그림 4. 포플러 우수클론 선발

사의 Westport 연구소에서는 1990년부터 1999년까지 Columbia 강 주변의 *P. trichocarpa* 천연림 101산지에서 1,416본의 수형목을 선발하여 그 중 1,189본을 대상으로 채종원을 조성한 다음 생장과 수형 등을 분석하여 우수한 형질을 가진 212본을 2001년까지 중간교잡을 위한 육종재료로 사용하여 왔다. 포플러 신품종 개발을 위한 연구는 주로 생장과 생존율이 우수하고 녹병 및 강한 바람의 피해에 내성이 강한 품종 육성을 목적으로 *Populus trichocarpa*와 *P. deltoides* 및 *P. maximowiczii* 를 각각 모수 및 화분수로 하여 전통육종방법을 통해 인공교배 차대를 생산한 다음 목적 형질에 대하여 단계적으로 선발을 수행하고 있다.

1988년부터 1997년까지 우량품종 선발을 위해 사용된 인공교배 차대묘의 개체 수는 23,902본이었으며, 1997년까지 클론 검정을 거쳐 최종 선발된 개체의 수는 57본으로 0.24%의 강도 높은 선발이 이루어지고 있었으며, 1998년부터 현재까지 15,908본의 인공교배 차대묘에 대하여 같은 방법으로 클론 선발이 계속하여 추진되고 있었다. 이와 같이 육종된 주요 포플러 인공교배 선발클론 11년생의 평균 DBH는 20.5cm 이며 ha당 바이오매스 생산량은 152톤으로 나타났고 검정 클론 중 '1428' 과 '4700'은 11년생까지

생존율을 90%이상으로 양호하게 유지하면서 각각 180톤 과 211톤의 우수한 바이오매스 생산능력을 나타내고 있어 바이오 순환림 구성에 좋은 품종으로 기대하고 있었다.

또한 *Populus trichocarpa* × *P. deltoides* 로부터 선발된 클론으로 조성된 조림지의 11년생 평균 수고는 35m, 흉고직경은 20cm로 왕성한 생장을 하고 있었다. 한편 강한 바람에 대한 내성이 우수한 품종 육성을 위해 모수인 *P. deltoides*와 화분수인 *P. maximowiczii*를 인공교배 하여 개발한 몇몇 클론은 현지 검정 결과 뿌리의 측근이 굵고 튼튼하게 잘 발달하여 강한 바람에 맞서 도복되지 않고 잘 견딜 뿐만 아니라 생장도 우수한 것으로 나타났다고 한다.

바이오순환림 조성

오레건의 서쪽 Boardman 지역은 연평균 강수량이 200mm밖에 안되는 준 사막 지역이다. phytoremediation 실용화 시스템을 적용하여 물 부족으로 인해 황폐화되고 반 사막화 된 24,807 acre의 광활한 면적에 식물이 성장할 수 있도록 물 부족 문제를 해결하기 위해 펌프시설과 파이프라인을 이용하여 가까운 Columbia 강으로부터 물을 끌어올려 조림지 사이에 일정한 간격으로 건설된 운하로 이동시켜 조림지에 물을

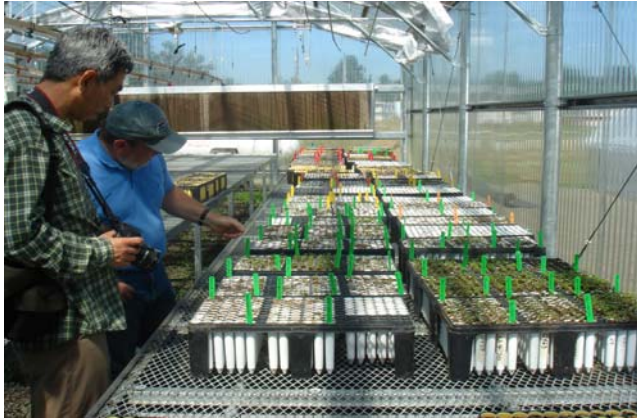


그림 5. 인공교배 종자 파종



그림 6. 교잡종 육묘

공급하고 있었다. 이렇게 공급된 물로 인하여 사막지역에 심겨진 나무들은 우수한 성장을 보이고 있었으며 이러한 성장률은 강수량이 충분한 지역보다 더 우수하다고 한다. 이는 광량은 충분하지만 물이 부족해 식물이 자랄 수 없는 사막지역의

기후 특성을 인위적으로 묘목을 심고 식재한 열마다 비닐 호수(직경 3cm)를 통해 점적관수를 해 줌으로서 수분 부족을 해소했기 때문이라고 한다. 조림지에 식재되는 포플러는 육종 프로그램에 의해 개발된 최고의 우량품종 중 소수 클론



그림 7. 콜롬비아강물 관수



그림 8. 조림지 점적 관수



그림 9. 수확기에 이른 포플러



그림 10. 사막을 녹지로 바꾼 바이오 순환림

을 이용하여 mono-culture의 형태로 재배되고 있어 조림지의 임분은 수령에 따라 차이가 날 뿐 수세나 모양이 균일하였다. GWR사에서 Boardman Tree Farm의 24,807 acre 조림지외에도 Lower Columbia Tree Farm의 6,000 acre 등 총 30,000 acre (12,000 ha)가 넘는 조림지를 소유하고 있다.

이와 같은 토지의 확보 및 포플러 조림은 주로 목재 또는 에너지 산업과 관련된 기업에서 투자한 펀드에 의해 운영되고 있으며 과거에는 투자자들이 주로 목재나 펄프재에 관심을 두고 투자를 하였지만 현재는 바이오에너지 재료에 대한 비중을 높여가고 있다고 한다.



그림 11. 조림지내 목재가공 공장

맺는말

사막을 녹지로 바꾼 바이오 순환림의 수확은 묘목의 생육상황에 따라 주로 6~8년 주기로 수확되어 주로 목재나 펄프재로 이용되고 있었으며 ha당 평균 수확량은 약 150톤 내외로 나타나고 있다고 한다.

현재 GWR 회사의 운영은 주로 조림지 확보와 조성에 주력하고 있고 수확기에 이른 조림지가 많지 않아 수확에 따른 실질적인 수익성 평가는 최근부터 시도되고 있다. 현재 벌기령에 이른 6~8년생 조림지로부터 얻을 수 있는 연평균 총

수익은 ha당 16,000천원이며, 그중 수확과 운송 비용 50%, 조림 및 관리비용 25%를 뺀 나머지 25%가 순 수익으로 나타났으며, 펄프재 보다는 목재가 수익성이 우수한 것으로 나타나 이지역내에 목재를 제재하고 가공할 수 있는 공장을 건설하고 있었다.

지금 세계는 바이오에너지 생산경쟁에 돌입한 것 같다. 점점 악화되는 지구환경을 보존하기 위해 모든 정책을 동원하고 있다. 우리나라도 예외일 수는 없다. 그래서 저탄소 녹색성장을 주창하였고 그에 따른 정책들을 집행해 가고 있다. 우리나라는 전국적으로 많은 유휴지와 이용 가능한 하천부지가 있다. 이러한 지역에 임업 선진국들의 기법을 벤치마킹할 경우 좋은 자원으로 활용할 수 있지 않을까 기대해 본다.

(☛ 본 내용은 국립산림과학원에 근무할 때 p hytoremediation 실용화를 위해 선진지 견학을 다녀 온 내용 임)

단벌기임업에 의한 버드나무 바이오매스 생산과 이용

경상국립대 환경산림과학부 교수 최 명 석

1. 서론

버드나무(*Salix* spp.) 재배 및 이용은 북미에서 오랜 역사를 가지고 있다. 아메리카 원주민은 버드나무를 의약, 땀 빼는 오두막(sweat lodge s), 가구, 바구니, 밧줄, 호루라기, 화살, 그물 등을 포함한 다양한 용도로 사용하였다. 일부 지역에서는 침식되기 쉬운 하천 제방을 안정화하기 위해서도 사용되었다. 미국에서의 버드나무의 재배는 1840년대 유럽 이민자들에 의해 시작했다. 버드나무 재배는 1800년대 후반까지 메릴랜드 해안에서 위스콘신과 일리노이지역까지 확대 재배되었으며, 주로 바구니와 가구로 사용되었다. 뉴욕주는 당시 전체 재배 면적의 60%를 차지한

만큼 많이 재배하였다.

그러나 1800년대 말 버드나무 수요는 더 값싼 재료의 출현으로 감소되었고, 바구니 생산조차도 수입산에 밀려 의해 감소되었다.

그러나 20세기에 들어 버드나무는 바이오에너지 및 바이오제품 생산을 위해 재배되었다. 이후 생물학, 생태생리학 및 관리에 대한 이해가 높아짐에 따라 버드나무는 바이오에너지 뿐만 아니라 식물 복원, 눈 울타리 및 강변 완충림과 같은 여러 분야에 응용되기 시작하였다.

북미의 버드나무 바이오매스 생산은 단벌기재배림(Short rotation coppice, 단벌기목재에너지림)에 기본을 둔다. 단벌기재배림은 통상적으

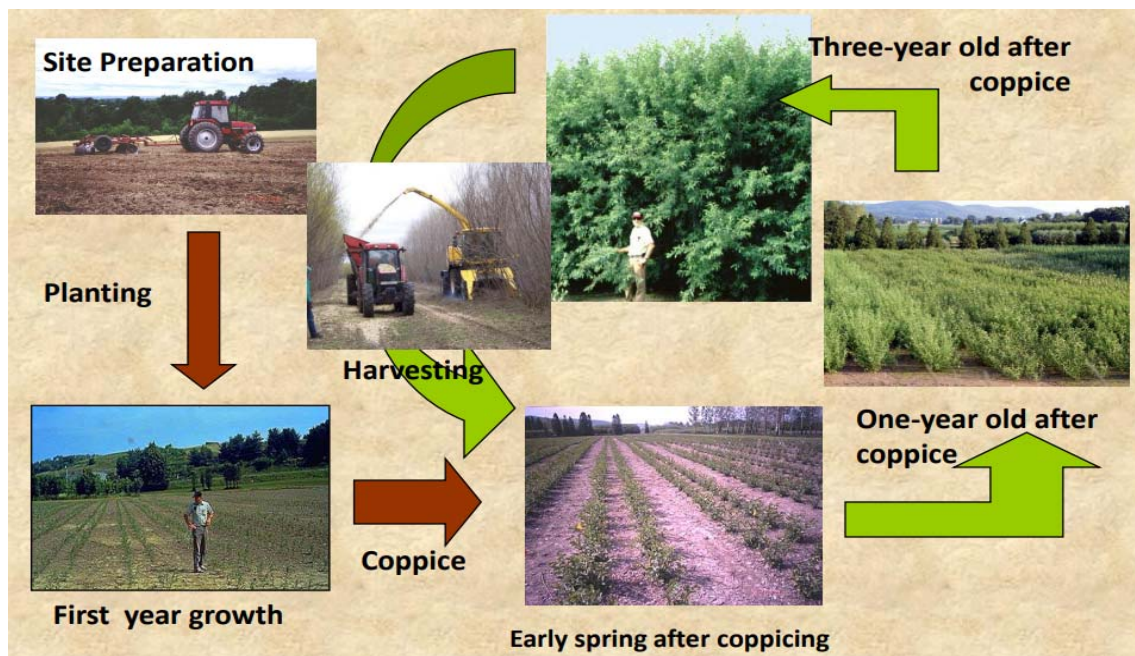


그림 1. 북미 버드나무 단벌기림으로부터 바이오매스 수확과정.

(자료 : SUNY-ESF)

로 단별기임업, 단별기목재에너지림으로도 불려진다.

모두 단기간에 바이오매스를 생산하는 의미를 담고 있지만 최종적으로 이용분야(임업과 에너지)를 굳이 국한할 필요가 없고, 보다 명확한 의미전달을 위해 본고에서는 단별기재배림으로 나타내고자 한다.

단별기임업은 에너지 작물 중 목질계 작물, 버드나무와 같은 속성수를 고밀도로 식재하여 지상부의 바이오매스를 3-4년의 단기간에 수확하는 임업(혹은 농업)의 한 형태이다. 북미 버드나무단별기림의 바이오매스 수확에 소요되는 기간은 총 23년(1년 준비기간 포함)이다. 식재 대상지를 정비하고, 버드나무 삽수 식재 후 1년간 생육 시킨 뒤 대절한다. 대절 후 생겨난 맹아를 3년간 생육 시킨 후 수확하는데 7번 수확한다(그림 1).

화석에너지 고갈과 에너지 안보에 대한 관심이 증가하면서 우리나라도 많은 휴경지에서 단별기임업을 계획하고 있다. 본고는 미국의 버드나무 바이오매스 생산과 이용 현황을 분석하여 국내 바이오매스 및 바이오에너지 정책에 도움을 주고자 작성하였다.

2. 단별기재배 상업화를 위한 노력

미국에서의 버드나무는 영국, 스웨덴에서의 버드나무에 대한 기초 연구가 고무적인 결과를 낳기 시작하고, 화석 연료의 사용에 따른 부정적 인식, 쇠퇴하는 농촌 경제와 관련된 환경 문제 우려가 커지면서 관심의 대상이 되었다.

버드나무는 바이오에너지 및 바이오 제품을 위한 목질계 셀룰로오스의 재생 가능한 공급원이다. 미국 농무부(USDA)는 중부 및 북부 뉴욕에서 재생 에너지 연료로 관목 버드나무 재배를 장려하기 위해 430만 달러를 투자하였다. 1990년대 중반 제반 환경변화에 따라 20개 이상의 단

체가 모여 Salix 컨소시엄을 결성하였다. Salix 컨소시엄의 목표는 미국 북동부와 중서부 지역에 버드나무를 대규모로 재배하여 바이오매스 작물로서의 상업화를 촉진하는 것이었다.

버드나무는 지역 한계 농지에서 재배되었으며, ReEnergy Holdings LLC가 소유한 지역의 바이오매스 에너지 전환 시설 연료로 사용하고자 하였다. 이 프로젝트에서 중요한 것은 ReEnergy와 Syracuse에 있는 SUNY College of Environmental Science and Forestry(ESF)가 힘을 모아 지방 정부 공무원, 농업 지도자, 농부 및 지주에게 버드나무 재배에 대한 교육 및 연구 프로그램을 제공하고자 하였다. 컨소시엄의 목표를 달성하기 위해 신품종 육종, 지역 검정 시험, 대규모 데모 프로그램, 홍보 및 교육을 포함한 활동이 동시에 시작되었다. 이러한 활동은 생산 시스템을 최적화하여 가장 낮은 비용으로 가장 높은 바이오매스 생산량을 달성하고, 잠재적 버드나무 재배희망자와 일반인을 교육하며, 나아가 바이오에너지 및 바이오 제품의 시장을 확대하기 위한 것이었다.

Salix 컨소시엄들 간의 협력으로 1998년에서 2000년 사이에 뉴욕 서부와 중부에 280헥타르 이상의 버드나무 바이오매스 작물이 재배되었다. 2011년까지 여러 주와 여러 지방에서 0.5~1.0ha 규모의 소규모 클론묘 생산 시험, 눈울타리 이용 연구 및 식물 정화시험이 수행되었다. 바이오매스 시험 장소에는 4~60개 유전자형의 버드나무가 다양한 토양과 기후 조건에 대한 적합성을 위해 산지시험 되었다. 테스트한 클론들은 큰 차이를 보였으나, 새로운 유전자형을 가진 클론들이 적극적으로 발굴되었으며, 이후 이 클론과 품종을 토대로 버드나무에 대한 혼농임업 및 식물 복원 응용 프로그램이 개발되었다.

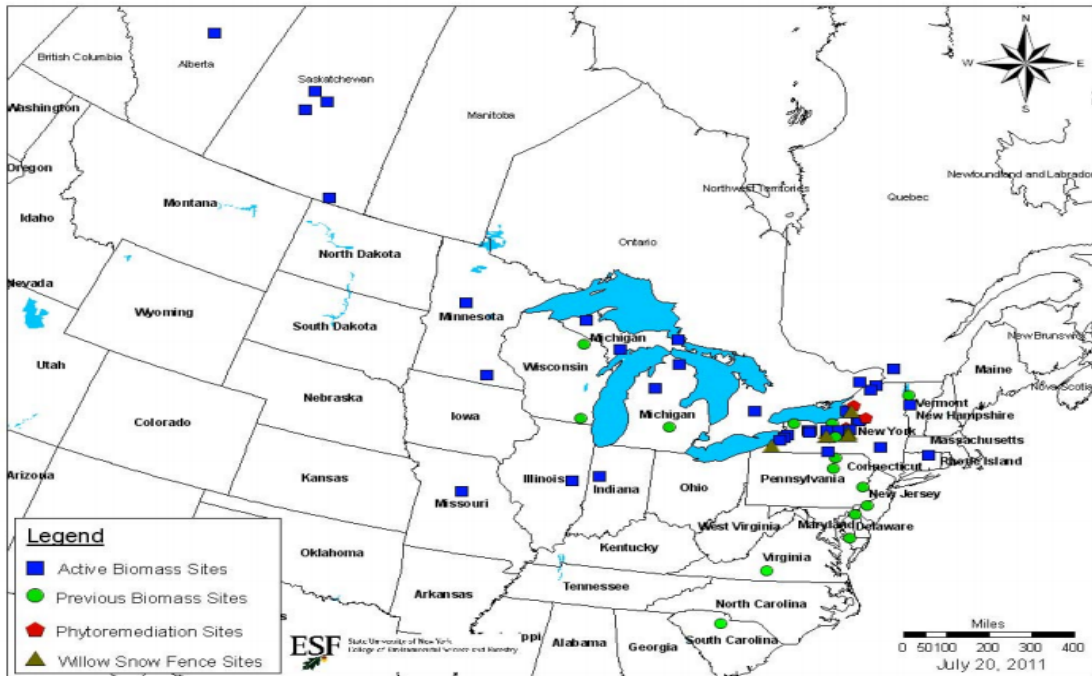


그림 2. SUNY-ESF의 식물 재료로 구축된 버드나무 바이오매스 작물 재배지 식재시험은 바이오매스 생산용, 식물정화용 및 Snow fence용으로 수행

시비와 관수를 행한 단별기 재배 버드나무를 3년 주기로 수확할 때 건물 바이오매스량은 헥타당 27톤을 초과했는데 이것은 유럽의 30톤과 비슷한 양이었다. 그러나 이 값은 이상적인 조건에서 얻은 수율로 생산성 향상을 위해 생물 및 비생물적 스트레스에 내성인 식물 신품종개발과 최적 재배법을 구명하였다.

18종의 버드나무 수율 시험에서 상위 3개 클론의 첫 번째 수율은 7.1에서 14.9톤이었으며, 평균 11.1톤으로 나타났다. 이것은 에너지 함량이 약 19.4 GJ/dry ton일 때, 연간 에너지 생산 수율은 약 215 GJ/ha/1년에 해당하는 것이다.

북미에서의 버드나무 바이오매스 작물 첫 번째 상업적 규모의 수확은 2001/2002년 겨울 스웨덴에서 구입한 원뿔형 치퍼와 벤더 수확기를 함께 사용하며 시작되었다. 가장 일관성 있는 재배 품종으로부터 얻어진 바이오매스 수확은 평균 7.5톤이었다. 이것은 잡초 관리, 재배지, 재배 밀도 및 영양 관리 최적화 등 생산 시스템을 개선

하였다.

버드나무에 대한 잘못된 인식 개선과 버드나무 바이오매스 생산에 미치는 환경적 영향, 농촌 개발 혜택도 중시하였다. 스웨덴, 영국 및 캐나다에서의 적극적 노력은 북미의 버드나무 생산 의지를 더욱 자극하였다. 북미의 버드나무 상업적 재배는 잡초 방제와 더불어 ha 당 15,300개체 2열 식재, 3년 또는 4년 주기로 순환 수확하는 시스템을 구축하였다.

3. 버드나무 재배의 지속가능성

버드나무 바이오매스 작물 관련 환경 및 농촌 개발 이점의 구명, 토양 보존, 생물다양성, 온실가스(GHG) 및 에너지 균형, 시스템의 사회경제적 영향과 관련된 문제 등이 연구되었다. 이것은 버드나무 바이오매스 작물의 지속가능성을 입증하는 것이었으며, 이러한 지속가능성은 주 및 연방 차원의 정책 결정을 장려하고 대중의 지지를 이끌어 내고자 하였다.

버드나무 바이오매스 작물의 확립 단계에서 취약한 토양의 침식에 대한 연구도 수행되었다. 그 결과 가을과 겨울에는 호밀을, 봄에는 네덜란드 클로버와 같은 피복작물을 식재하는 것이었다. 이 방법은 지상 바이오매스 생산 저감 없이, 토양 침식을 방지하는 효과를 가져왔다.

버드나무 단벌기재배에서 가장 큰 오해는 단일 종 식재에 따른 "생물학적 사막"을 만든다는 것이었다. 그러나 이것은 앞서 언급한 피복작물과 혼용재배가 생물다양성에 대한 우려를 부식시켰다. 식재된 버드나무는 다양한 조류 종의 먹이와 서식지를 제공하였다. 재배지에서는 79종의 조류가 관찰되었으며, 그 중 39종이 정기적으로 관찰되었다. 이러한 다양성은 농경지보다 더 크며, 미동부의 관목 및 낙엽수림 등과 비슷한 수준이라고 하였다. 이러한 데이터는 북미에서 버드나무 단벌기 재배의 인식 개선에 크게 기여하였다.

버드나무 바이오매스 생산 시스템에서 순 에너지 비율(net energy ratio)은 3년마다 7차례 수확하였을 때 1:55로 보고되었다. 이것은 버드나무 바이오매스 작물을 생산하는데 사용되는 비재생 화석 연료 unit를 의미하는 것이다. 상용 질소 비료를 유기 퇴비로 대체하면 순 에너지 비율을 1:73 - 80으로 증가시킬 수 있다고 하였다.

버드나무 바이오매스를 96km 운반하고, 30%가 전기로 전환된다면 1:11 또는 1:13의 순에너지 비율이 발생한다고 한다. 이것은 버드나무 바이오매스는 현재와 미래의 환경 및 에너지 안보 문제를 해결하는 데 좋은 재료임을 의미한다.

버드나무 바이오매스 작물은 농경 작물을 다양화하고, 토지 소유자의 대체 수입원이 되며, 에너지 달리를 순환시킴으로써 농촌 경제를 활성화시킬 수 있을 것이다.

4. 탄소원 저감을 위한 버드나무

USDA 토양 정보와 ESF의 30년 연구 데이터, 뉴욕에 있는 1,200에이커 이상의 상업적 버드나무 재배지에서 예측한 온실가스 배출량을 바이오매스 수명주기 분석(LCA)으로 구명하였다. 이 연구는 심기 1년, 버드나무 제거 1년, 3년 주기, 7번의 3년 수확 주기 등 총 23년 기간 동안 온실가스(GHG) 배출량을 분석한 것이다. 버드나무 줄기가 수확되어 에너지로 변환될 때 줄기에 저장된 탄소가 대기로 되돌아가 다음 3년 동안 버드나무 작물에서 유사한 양의 탄소가 재활용된다. 버드나무는 사용되는 화석 연료에 의해 대기에 방출되는 것보다 식재 후 자라면서 더 많은 CO₂를 흡수한다. 버드나무 단벌기재배는 1주기 수확 당 3.7 Mg CO₂ eq/ha를 보인다고 하였다. 또한 발달된 뿌리 시스템은 토양에 장기간 탄소를 저장하기도 한다. 버드나무 작물은 대기 중 CO₂를 목질계 바이오매스로 전환하며, 바이오에너지 및 바이오 제품 생산에도 사용할 수 있다.

한편, 버드나무 바이오매스로부터 바이오에탄올을 생산하면 온실가스 방출량은 줄어든다. 2022년에 행한 버드나무 에탄올 연료의 수명주기 GHG 배출량 연구를 보면 석유 가솔린과 비교할 때 GHG 배출량은 78% 낮았고, 천연가스 사용시 보다는 GHG가 약간 증가(2%)한 것으로 보고하고 있다. Monte Carlo 분석에서도 비슷한 결과를 얻었는데, 입력 매개변수를 20%까지 변동하였을 때는 바이오매스 시나리오가 항상 60% 이상 GHG 감소효과가 있다고 하였다. 바이오리파이너리의 에너지 효율을 개선하기 위한 조치(즉, 에탄올 수율 증가 또는 에너지 소비 감소)를 단행할 때에도 천연가스와 석유 가솔린과 같거나 적은 GHG가 배출되는 것으로 나타났다(그림 2). 이것은 미국 북동부의 버드나무 바이오매스로부터 바이오에탄올 생산 공정은 탈탄소화 공정

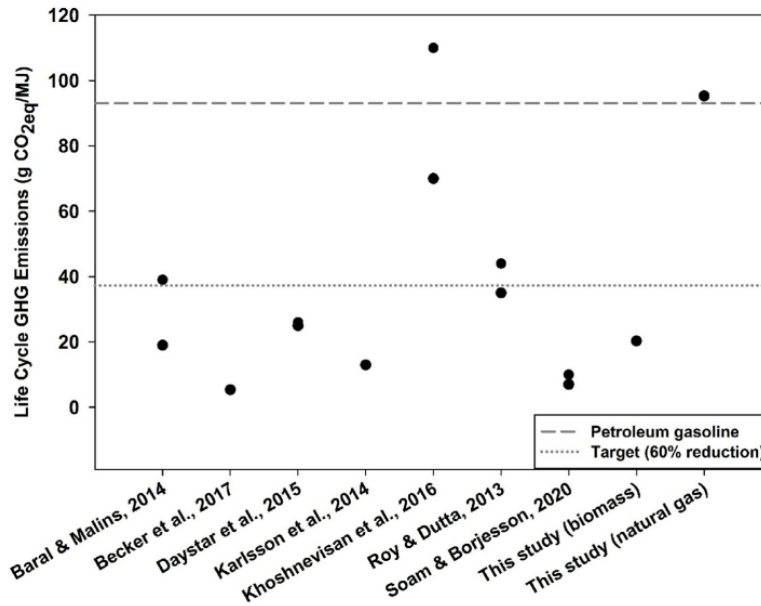


그림 3. 화석에너지연소와 바이오매스로부터 바이오에탄올 생산에 있어 GHG 배출량 비교(자료:Therasme 등, 2022)

이라는 것을 의미한다.

5. 버드나무 바이오매스 시장

버드나무 바이오매스 작물을 대규모로 재배하는데 있어 당면 과제는 생산의 최적화, 농부 관심 유도, 재배 면적 확대, 발전에 따른 부가가치 증대, 바이오에너지 외 다양한 용도 개발 등이 있다. 또한, 버드나무 대규모 재배는 보다 확실한 시장 확보, 첫 수확 시까지의 시간 등이 걸림돌이 되기도 한다.

처음에 Salix 컨소시엄과 관련된 유틸리티 기업(공공기업)들은 이 과정에 적극적으로 참여했으며, 버드나무 바이오매스 작물 생산자들과 공급 계약을 맺었다. 각 주체들은 바이오매스의 개념에 대해 어느 정도의 관심을 갖게 되었지만, 수익성 문제에 민감하게 반응하였다.

뉴욕주에는 바이오매스를 사용하는 2개의 석탄 화력 발전소가 있다. 104MW Green-idge 화력 발전소는 Greenidge 화력발전소는 10년간 10% 수준의 폐목재를 발전에 이용하였다. 1990년대

후반 Greenidge에서 버드나무 바이오매스의 시험 발전이 수행되었으며, 재료 처리 및 취급에 대한 귀중한 교훈을 얻었다. 또 다른 발전소인 Dunkirk Steam Station은 목질계 바이오매스(버드나무 부산물 포함)를 사용한 동시 소성 테스트가 성공적으로 완료되었다. 테스트 결과 목질 바이오매스를 사용할 때 NO_x, SO_x 및 미립자 물질 등 오염 배출이 감소되었다고 한다. 테스트 결과는 뉴욕주에서 버드나무 바이오매스를 상업적 바이오에너지로 사용 승인을 얻는 데 필요한 데이터를 제공했지만, 이들 발전소는 경제적인 문제로 목질계 바이오매스를 사용하지 않았다.

여러 모델링을 통해 뉴욕에서 목질 바이오매스가 약 300MW의 재생 가능 에너지를 제공할 수 있음을 나타내었다. 1MW의 전력 생산에는 약 300-325ha의 버드나무 바이오매스가 필요한 것으로 나타났다. 이는 버드나무가 중 바이오에너지 공급시장의 잠재성이 있음을 의미한다.

바이오매스는 공동 연소 시설 외에도 목질 바이오매스를 연료로 사용하는 발전소, 난방 시설

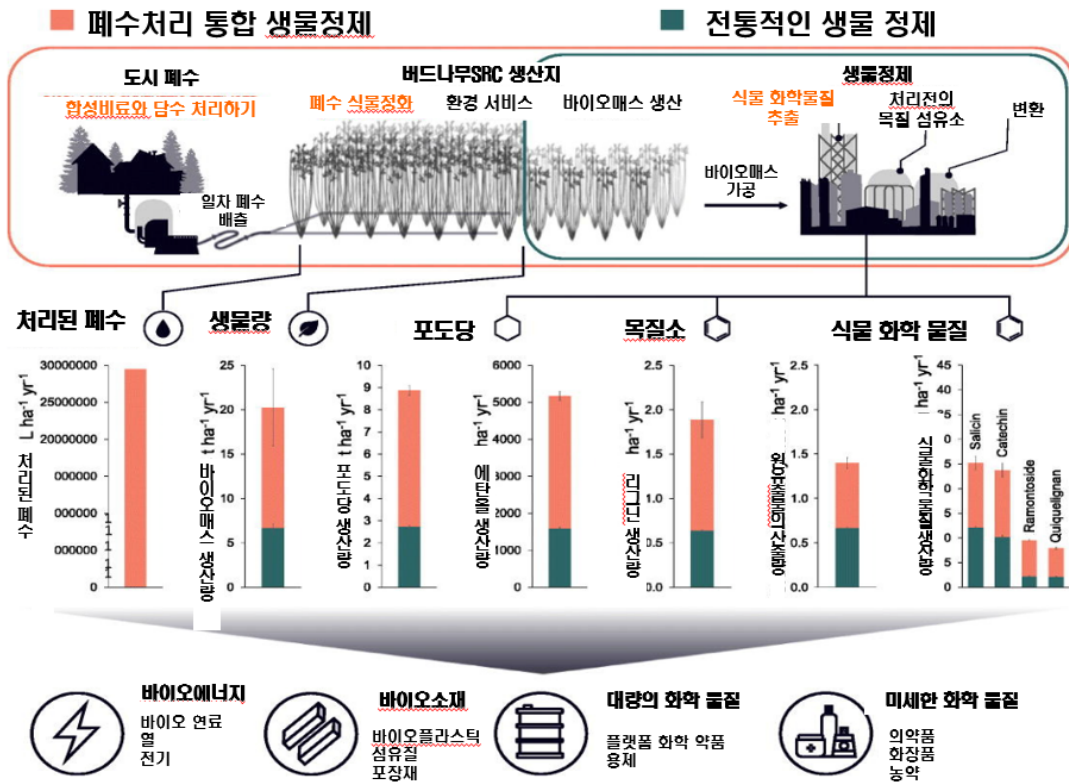


그림 4. 산림 바이오매스로부터 바이오리파이너리 공정 도식도(자료: Sas 등, 2021)

및 복합 열 및 전력(CHP) 운영에서 혼합 연료로 사용될 수 있다. 바이오매스 관련자들이 버드나무 바이오매스를 사용하는 데 관심을 보인 이유는 버드나무 바이오매스가 다른 목질계 바이오매스에 비해 가격 및 공급 변동에 덜 취약하기 때문이다. 우리는 이점을 잘 인식할 필요가 있다.

이후 전반적인 에너지 변환 효율성을 높이고 환경 편익을 개선하는 다양한 연구가 이루어졌다. 이 중 최대 30%의 수분 함량을 가진 목재 칩을 사용할 수 있는 150 ~ 300 kW의 소규모 난방 애플리케이션이 가능한 고효율 보일러를 개발하기도 하였다.

바이오리파이너리(biorefinery)의 개념을 사용하여 바이오매스로부터 여러 제품을 만들 수 있다. 바이오리파이너리는 식물자원인 바이오매스를 원료로 화학제품과 바이오연료 등을 생산하는 기술을 말한다. 바이오리파이너리는 오늘날 정유

정제 공정에 기반을 두고 있다. 바이오매스 기반 바이오리파이너리의 모델은 열, 전력, 사료, 건강 기능성 식의약품 원료, 생분해성 플라스틱 등 바이오소재를 생산할 수 있다(그림 3). 목질계 바이오매스는 에너지나 펄프를 생산하기 전 유용한 바이오케미컬을 추출할 수 있다. 오래전 버드나무와 설탕 단풍나무(*Acer saccharum*) 목재 칩을 실험실 규모의 바이오리파이너리 테스트한 결과 목질 바이오매스 1톤에 최대 45달러의 가치를 더할 수 있다고 하였다. 이러한 부가가치 바이오 제품의 개발은 향후 버드나무 등 목질 바이오매스에 대한 수요를 자극할 것이다.

6. 버드나무 육종을 통한 수확량 증가

버드나무의 수확량을 증대시킬 수 있는 가장 좋은 방법은 신품종 육종이다. 버드나무는 유전적 다양성이 풍부하여 유전적 변이 창출이 용이

하며, 삼목으로 빠르고 쉽게 영양번식 할 수 있어 우월한 유전자형이 확인되면 빠르게 생산 시스템에 적용할 수 있다. 버드나무 바이오매스 수확량이 50% 증가하면 내부 수익률도 두 배 이상 증가한다고 한다.

스웨덴과 영국에서 지난 50년 이상 동안 바이오매스 작물로 관목 버드나무를 재배하려는 노력이 진행되고 있다. 육지꽃버들(*Salix viminalis*)은 대표적인 육종 버드나무로 많은 연구를 통해 유전학적 정보를 가지고 있다. 이러한 장기 육종 프로그램을 통해 스웨덴에서는 12-67%의 수확량 증가를 가져왔으며, 영국에서는 8-143%의 수확량 증가를 보였다. 북미의 버드나무 육종은 토론토 대학의 Louis Zsuffa에 의해 시작되었고, 유럽과 같이 집중적이고 장기적인 육종 프로그램을 수행하고 있다. 미국에서 육종된 버드나무 신품종의 바이오매스 평균 수확량은 13.9% 더 향상되었다고 한다.

1994년부터 SUNY-ESF의 연구원들은 많은 토착종과 외래종의 다양한 유전자원을 수집하기 위해 노력을 기울여 우량개체 선발, 교잡 및 차

대검정 시험을 통해 신품종을 개발하여 왔다. 특히 현재 뉴욕주 툴리에 있는

SUNY-ESF 시험장과 뉴욕주 제네바에 있는 시험장에는 미국 북부 전역에서 수집된 750개 이상의 다양한 버드나무 유전자형이 식재되어 있다. 또한 유럽, 아시아 및 북미에서도 자원을 수집하여 육종 프로그램에 응용하였다. 하트잎버드나무(*S. eriocephala*), 키버들(*S. purpurea*), 검은버드나무(*S. nigra*), 붉은버드나무(*S. lucida*), 사구버드나무(*S. cordata*), 미국고양이(*S. discolor*) 및 부리버드나무(*S. bebbiana*) 등 300종 이상이 2000년부터 수집되었다. 이들의 육종은 1998년부터 시작되었고, 많은 수의 개체로부터 표현형 분석을 통해 우수개체를 선발하였고, 반복적인 선발 시험을 통해 민간에 보급하였다.

'98-'00년에도 *S. eriocephala*, *S. purpurea* 등 100개 이상의 개체로부터 우수 개체를 선발하였고, 선발목의 차대검정 및 추가 선발이 이루어졌다. 이러한 잡종체들은 바이오매스 수율에 중요한 특성이 잘 발현되었다. *S. purpurea*, *S. viminalis* x *S. miyabeana*, *S. sachalinensis*

표 1. 미국에서 상업적으로 이용 가능한 관목 버드나무 품종

변 종	품 종
SV1	<i>Salix</i> × <i>dasyclados</i> 'SV1'
S365	<i>Salix caprea</i> hybrid 'S365'
S25	<i>Salix eriocephala</i> 'S25'
SX61	<i>Salix sachalinensis</i> 'SX61'
SX64	<i>Salix miyabeana</i> 'SX64'
SX67	<i>Salix miyabeana</i> 'SX67'
Fish Creek	<i>Salix purpurea</i> 'Fish Creek'
Onondaga	<i>Salix purpurea</i> 'Onondaga'
Allegany	<i>Salix purpurea</i> 'Allegany'
Sherburne	<i>Salix sachalinensis</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Sherburne'
Canastota	<i>Salix sachalinensis</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Canastota'
Tully Champion	<i>Salix viminalis</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Tully Champion'
Owasco	<i>Salix viminalis</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Owasco'
Otisco	<i>Salix viminalis</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Otisco'
Oneida	<i>Salix purpurea</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Oneida'
Millbrook	<i>Salix purpurea</i> × <i>S. miyabeana</i> 'Millbrook'

x *S. miyabeana*, *S. purpurea* x *S. miyabeana* 등 20종 이상의 새로운 품종이 산지시험이 진행되고 있다(표 1). 뉴욕 프레도니아에 있는 Double A Willow사는 상업용 버드나무 품종을 삼목 생산하고 판매할 독점 라이선스를 보유하고 있다.

버드나무 육종은 현재 코넬 대학교를 중심으로 연구되고 있으며, QTL 및 DNA 마커를 개발하였다. Oak Ridge National Laboratory, J. Craig Venter Institute, Joint Genome(자료: SUNY-ESF) Institute 등 연구소와 Cornell 대학의 협력으로 키버들(*S. purpurea*) 게놈의 차세대 염기서열분석을 실시하였다. 게놈의 차세대 시퀀싱을 보완하기 위해 CBAC 및 fosmid 라이브러리를 개발하였고, 키버들(*S. purpurea*)의 다양한 조직 유형에 대한 전사체 분석을 완료하였다. 연구팀은 버드나무에서 37,864개의 기본 전사체 및 23,656개의 대체 전사체를 구명하였다.

뉴욕주 농업시험장은 키버들의 양친 및 mapping 집단으로부터의 특성과 표현형을 분석하였다. 상업적 재배종의 고해상도 열중량 분석 결과 셀룰로오스, 헤미셀룰로스, 리그닌, 줄기 밀도 및 회분 함량의 유의미한 변화가 관찰되었다. 이러한 우량 품종은 지역 산지시험을 통해 적응력 및 수확량을 검증하고 있다(그림 4).

7. 버드나무의 이용

버드나무는 바이오매스 작물로 적합한 특성을 가지고 있다. 유형기 빠른 성장 속도, 여러 번의 수확 후에도 유지되는 왕성한 맹아력, 삼목 용이성, 높은 재배 밀도에도 잘 성장하는 특성, 높은 유전적 다양성 및 빠른 유전적 형질 개량 가능성 등이 있다. 또한 버드나무는 긴 식물 성장 기간, 광범위한 뿌리 시스템, 높은 증산율, 침수에 대한 내성을 가지고 있다. 미국과 유럽의 버드나무

바이오매스 생산 시스템에 대한 연구를 보면 버드나무는 식물 복원, 살아있는 눈 울타리, 강기슭 완충대에 널리 응용될 수 있다.

7.1. 버드나무 기반 식물 정화 시스템 개발

버드나무는 식물 정화(phytoremediation)과정을 통해 다양한 산업 폐기물로 오염된 장소를 정화하는 데 사용될 수 있다. 토양에서 중금속과 유기물을 흡수하고(식물 추출), 유기물을 무독성 화합물로 분해하는 것을 촉진하며(근경 분해), 물의 동태를 조절한다. 오염된 지하수 흐름 및 증산을 통해 토양으로의 물 침투(식물 휘발 및 수압 조절)가 가능하며, 빠른 지상부 및 지하부 생장, 높은 생존 능력 때문에 식물 복원이 유용하다. 버드나무는 전 세계적으로 450종이 존재하며, 상대적으로 가혹한 토양 조건, 습한 장소 및 높은 물 발산 능력, 광범위한 유전자 풀은 식물 정화의 효율을 보다 더 높일 수 있다.

뉴욕주 북부지역에서는 관목 버드나무가 100년 이상된 소다회분(Na_2CO_3) 오염지(주로 CaCl 및 NaCl)의 정화 식물로 사용되고 있다(그림 5). 이 지역의 주요 환경 문제는 염화물이 지하수와 인근 지표수로 침출되는 것으로 침출수를 포집하기 위해 수 킬로미터에 달하는 프랑스식 배수구를 조성하여야만 했다. 버드나무 식재는 폐수장으로 유입되는 오염수의 양을 최소화하고, 궁극적으로 생성되는 침출수의 양을 줄인다는 것을 확인했다.

성장기와 휴면기 동안 오염수를 뿌리에 저장하고 머물게 하였다. 다음 성장기에는 오염수 일부도 버드나무에 의해 용해되고 일부는 증발된다. 버드나무는 가혹한 현장 조건에 견딜 수 있으며, 빠른 성장 속도 및 높은 증산 속도는 식물정화능을 높일 수 있다. 다양한 버드나무 클론이 오염현장에 식재되어 지금도 모니터링 하고 있다.



그림 6. Solvay의 soda ash 오염지에서 버드나무 식재를 통한 식물정화.(자료: SUNY-ESF)

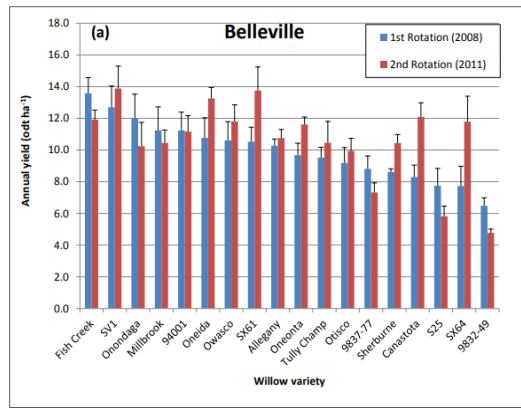


그림 5. 북미에서의 버드나무 우량클론 선발 시험. 대절 후 2년 후의 생장(A), 3년 주기 1차 수확 및 2차 수확의 바이오매스 수율(B). (자료: SUNY-ESF)

7.2. 버드나무 눈 울타리 개발

폭설은 위험한 도로 상황을 조성하고, 긴급 서비스에 대한 접근을 제한하여 사고 및 부상 건수를 증가시킨다. 미국의 제설 및 제빙 비용은 매년 20억 달러가 넘으며, 그와 관련된 간접 비용이 연간 50억 달러 이상일 것으로 추정되고 있다. 사고 및 부상과 관련된 비용을 고려한다면 이 비용은 더욱 증가할 것이다.

날리는 눈은 눈 울타리를 사용하여 제어할 수 있지만, 울타리의 유지 관리 비용, 미관 등을 고려해야 한다. 나무를 이용한 눈 울타리는 이러한 문제를 일부 해결할 수 있다. 6m 높이의 눈 울타리는 거의 16배 더 많은 눈을 저장할 수 있으며, 겨울 내내 기능을 유지할 수 있다.

효과적인 눈 울타리는 겨울 동안 줄기와 가지

의 밀도가 높고, 잘 자라며, 수고에 따라 비교적 균일한 밀도와 직립 형태를 유지해야 하는데 버드나무가 적합하다. SUNY-ESF는 뉴욕주 교통부(NYSDOT)와 협력하여 3000m가 넘는 북열 버드나무 생활 눈 울타리 설치하기도 하였다(그림 6).



그림 7. 버드나무를 이용한 눈 울타리 조성. 자료: SUNY-ESF)



그림 8. 버드나무 식재를 통한 강변완충대 조성(자료: SUNY-ESF)

버드나무 강변 완충대 개발

수변 완충대는 농경지에서 수로로의 토양 및 영양소 이동에 효과적인 장벽 역할을 할 수 있다. 강변 지역이 조성된 다년생 초목의 식물 완충대는 하천으로 유입되는 퇴적물과 영양분의 양을 줄이고 토양 특성을 개선 및 경관을 좋게 하며, 야생동물 서식지로서의 역할도 한다. 나무를 이용한 강변 완충대는 몇 달 동안 휴면 상태인 초본류 보다 질산염 방출을 줄이는 데 더 효과적인 것으로 나타났다.

버드나무를 하천변에 조성하면, 시간이 경과할수록 수변 완충대의 효과가 향상될 수 있다(그림 7). 다양한 깊이에서 발달된 광범위한 미세 뿌리 시스템은 수변을 완충할 수 있다. 2년생 버드나무는 지름 2mm 미만의 뿌리가 70~90%를 구성한다. 광범위한 미세 뿌리 발달은 (1) 영양

흡수원 (2) 미생물에 탄소원 공급원 및 (3) 토양 안정제로서의 역할을 빠르게 수행하게 된다. 버드나무 하천변 식재는 목본 식물 근계(rhizospheres)에 존재하는 미생물을 풍부하게 하여 강기슭의 여과 능력을 증대시켜 제초제, 살충제 및 기타 독성 화합물도 분해할 수 있다.

버드나무의 수변 완충 역할에 대한 연구는 많지 않다. 6종의 버드나무를 뉴욕주 중부의 두 개 읍을 따라 식재하여 인접한 경작지의 토양과 얇은 지하수를 분석한 결과 반응성 인 및 질산염의 지하수 농도가 경작지와 비교하여 현저히 낮았다고 한다.

결론

앞서 언급한 바와 같이 버드나무는 목질계 바이오매스로 매우 우수한 수종이다. 그러나 버드

나무도 다른 새로운 바이오매스 작물과 마찬가지로 장단점이 있어 이용목적과 지역에 맞는 고찰이 필요하다. 장점으로는 척박한 환경에 대한 적응력이 높으며, 심기와 수확에 기계화가 가능하고 빠른 성장 속도와 지속적인 특성을 유지한다는 것이다. 또한 생물다양성을 좋게 하며, 토양 개선효과, 탄소를 격리하고, 무엇보다도 바이오에너지 생산 및 바이오 제품을 생산할 수 있다. 즉, biorefinery를 통해 바이오에너지뿐만 아니라 특수 및 플랫폼 화학 물질, 생분해성 플라스틱 등을 생산할 수 있다.

그러나 단점으로는 높은 초기 조성 비용, 초기 수확 시까지 수익성이 실현되지 않는 것, 병해충과 같은 잠재적인 문제, 상업화에 대한 경험 부족 등이다.

북미에서도 버드나무는 바이오매스 단별기 재배 작물로서의 가능성과 환경적, 지역 경제적 이점에도 불구하고 버드나무 바이오매스를 생산하는 데 드는 높은 비용과 시장 부족이 걸림돌이 되어 왔다. 수확 효율의 증가, 우량품종 개발을 통한 수확량 개선 및 최근 개선된 작물 관리 기술은 생산 비용을 낮추고 재배자의 수익을 증가시킬 수 있다.

북미의 버드나무 단별기재배에서 반드시 인지해야 되는 것은 컨소시엄의 활약이다. SUNY-ESF를 중심으로 공공기관 및 생산자가 참여한 버드나무 프로젝트와 다양한 바이오매스 지원 프로그램, Conservation Reserve Program과 작물재배와 수확에서 행재정적 지원, 세금 공제 및 연방 차원의 정책 지원은 우리가 눈여겨 보아야 할 것이다.

또 하나는 바이오매스 생산과 이용을 장기간 연구 및 시연 프로젝트를 통해 수행하였다는 점이다. 이러한 작업은 버드나무 바이오매스 생산 및 관리에 대한 이해를 증가시켰고, 이 정보를

바탕으로 잠재적 재배자와 투자자들을 유치하였다는 점이 있다. 또한 바이오에너지 외 다양한 응용분야를 창출하기도 하였다. 즉 탄소원 고흡수 도시숲조성, 훼손지 및 오염지의 식물정화, 살아있는 눈 울타리 및 강변 완충대로서 응용이 가능하게 하였다. 이는 단시간 프로젝트에 의존하는 우리에게 시사하는 바가 크다고 하겠다.

결론적으로 버드나무는 기후변화와 환경정화, 신재생바이오에너지 등 지속 가능성을 포함하며, 낙후되어져 가는 농촌 개발 문제 해결에 부합하는 유용한 수종이다. 우리나라도 대학, 민간 및 공공 파트너와 적극적으로 협력하여 국내 환경과 용도에 맞는 버드나무 품종 육성과 단별기재배를 통한 바이오에너지, 바이오소재 생산 및 환경적 응용을 위한 연구와 현장적용이 가속화 되기를 기대한다.

9. 참고문헌

- Agostini F, AS Gregory, GM Richter. 2015. Carbon sequestration under perennial energy crops: is the jury still out? *BioEnergy Res* 8: 1057-1080.
- Lewandrowski J, Rosenfeld, D Pape, T Hendrickson, K Jaglo, K Mofroid. 2020. The greenhouse gas benefits of corn ethanol - assessing recent evidence. *Biofuels* 11: 361-75.
- Richard B, GM Richter, M Cerasuolo, I Shield. 2019. Optimizing the bioenergy water footprint by selecting SRC willow canopy phenotypes: regional scenario simulations. *Ann Bot* 124:531-54
- Sas E, LM Hennequin, A Frémont, A Jerbi, N Legault, J Lamontagne, N Fagoaga, M Sarrazin, JP Hallett, PS Fennell, S Barnabé,

M Labrecque, NJB Brereton, FE Pitre. 2021. Biorefinery potential of sustainable municipal wastewater treatment using fast-growing willow. *Sci Total Environ* 792:148146.

Therasme O, TA Volk, MO Fortier, YW Kim, CD Wood, HS Ha, A Ali, T Brown,

R Malmshheimer. 2002. Carbon footprint of biofuels production from forest biomass using hot water extraction and biochemical conversion in the Northeast United States. *Energy* 241:122853.

The Willow Project at SUNY-ESF. <https://www.esf.edu/willow/pubs.htm>

02

특별기고

도시림(都市林)

(전)포플러속성수위원회 회장 노 의 래

사실 도시림이라는 말은 그리 자주 나오는 말은 아니다. 그러나 요즘 들어 급격한 도시화의 증가와 함께 그것의 중요성이 점점 더 커지면서 이제는, 최소한 임업에서는, 자주 인구에 회자하는 단어가 됐다. 우선 도시림 하면 구체적으로 무엇을 뜻 하는지, 그 정의에 대하여 한 번 구글(Google)을 찾아보았다.

도시림의 정의

도시임업(Urban Forestry, 1986년 발행)이라는 책의 저자들 Gene W. Grey와 Frederick J. Deneke는 그의 책에서, 집단적으로, 도시림을 구성하는, 사유지와 공공토지 양쪽의 공원과 길 거리에 서 있는, 모든 도시 나무의 총합이며, 또한 고려 대상이 되는 도시지역 전체의 과수원(orchards), 생울타리(hedges) 그리고 다른 녹색 공간(green spaces)이라고 설명하고 있다.

저자 Evans의 Forest Handbook(2001년 발행)에서는, 도시지역 안에 있는 개별 단위의 산림을 도시림이라고 하며, 그러므로 도시림은 도시지역 안에 혹은 근처에 자리 잡은 산림으로 정의될 수 있다고 하였다. 이것은, 좁은 의미로, 도시림으로서 도시지역 안에 있는 뚜렷하게 구분되는 숲(woodland) 지역을 말한다. 이것은 산림에서 도시를 떼어낸 것으로 크게 도움이 되지 않는다고 한다.

R.Sands(2013년에 발행된 Forestry in Global Context의 저자)는 “도시림은 도시 안과 주변 양쪽에서 도시환경 속에 있는 나무,

식물 그리고 관련된 동물 모두를 함유하고 있는 생태계이다.”라고 정의한다.

Deneke는 “도시는 산림이라고 말할 정도까지 멀리 나갔으며, UN의 정의(10% 이상의 수관 면적을 가지고, 0.5ha 이상의 면적을 가진 토지)는, 대부분의 도시와 도시지역이 실로 산림으로 분류될 수도 있다고 정의하였다. 그래서 어쩌면, 우리는 우리의 읍내(town, *시내)에 있는 나무들에 대한 생각을 멈춰야 할 때이다, 대신 실제로 우리의 산림 속의 읍내를 고려해야 할 때이다. 이것은 결코 새로운 생각이 아니며, 17세기 Amsterdam 방문자들은, 종종 그들이 읍내에 있는지 아니면 산림 속에 있는지 말할 수 없을 만큼 도시 속의 나무들이 울창했다고 언급했다.

도시 산림의 이러한 폭넓은 정의를 고려하는 것 그리고 우리의 산림 속의 읍내에 대하여 생각하기를 시작하는 것, 이것이 진정으로 나무(우리의 녹색 기반시설의 가장 중요한 요소)를 전면에 내세우는 것이라고 주장하는 것을 고려하면서, 우리도 하루빨리 우리나라의 도시림은 무엇인지 공식적인 정의가 있어야, 이것에 대한 정책을 효율적으로 펼쳐 나갈 수 있을 것이라고 생각한다.

도시림이 사람의 건강에 미치는 영향

이러한 도시림은 주민들의 건강과 삶, 그리고 노는 것까지도 영향을 미쳐, 좀 더 나은 건강한 삶을 가져다줄 수도 있다. 주민들의 건강과 관련된 도시림의 사례를 몇 가지 들어보고자 한다:영국의 Sheffield 대학은 영국 내의 68개 도시의

도심부의 나무 면적, 식생, 공원의 면적에 따라 등급을 매겼는데 이 중에서 Exeter시가 가장 우수하였으며, 꼴찌는 Cambridge로 조사되었다고 보고하고, 그 연구자들은 나무 면적, 식생 피복(vegetation cover, *식생 면적), 그리고 공공녹지 공간이 생물다양성과 인간 건강에 긍정적인 영향을 미쳤다고 보고하였다.

우리는 보통 도시의 교통에서 나오는 오염물이 시와 읍내에 사는 사람들의 건강에 문제를 일으킨다는 것은 잘 알고 있으나, 거기서 나오는 소음에 대해서는 잘 모르고 있다. 소음은 서유럽의 두 번째로 큰 환경 위험이라고 일부 연구자들이 주장하고 있다. 나무들이 이러한 소음을 줄이는 위대한 수단이 된다는 것이 판명되었다.

영국의 생태 및 수리학 센터의 David Fletcher가, 도시의 나무들을 관찰하고 나무들의 소음 감소 혜택을 우리의 건강에 미치는 영향을 따져 현금 가치로 전환하는 모델을 제안했다. 그는 Birmingham을 하나의 모델로 하여 그 시의 나무들이 주민들에게 거의 400만 파운드(15억2500만 원 상당)의 건강 혜택을 가져다주어 그들에게 돈을 절약하게 하는 것으로 보인다고 하였다. 이미 우리나라에서도 이러한 소음을 차단하기 위하여 요즈음 웬만한 아파트 단지 주변에는 소음 차단림이 조성되어 있다는 것을 우리는 잘 알고 있다.

미국 Oregon 주의 Portland에 있는 비영리 단체 Friends of Trees는, 지난 30년 동안 도로를 따라 나무 심기 운동을 했다(49,246본의 가로수 식재). 연구자들이, 도로에 심은 이 나무들의 수가 사망자 수의 감소와 연관되며, 그 연관성은 나무가 나이 먹고 자라면서 더 강하게 증가한다는 것을 보여준다고 하였다. 특히 15-30년 전에 심은 나무들은, 사고로 사망한 경우가 아닌 사망자의 수 그리고 심혈관병으로 죽은 사망자 수의 현저한 감소와 연관되었다. 11-15년 전에

심은 나무들과 관련된 치사율의 감소는, 30%로 1-5년 전에 심은 나무들의 감소율 15%의 두 배를 보였으며, 이러한 연관성은 65세 이상의 남성에게서 뚜렷하였다. 아무튼, 나무를 더 많이 심은 곳 주변의 치사율(100,000명 당 사망자)은 더 낮아지는 부(否)의 상관을 보였다. 나무를 심는 것의 경제적 혜택은 그것들을 유지하는 비용보다 훨씬 컸다고도 보고였다.

영국 과학자들이 도로와 학교 운동장 사이의 생울타리가 혹은 식생이 자동차에서 나오는, 각종 유독성 오염물을 학교 아이들에게 도달하지 않도록 실질적으로 줄일 수 있다는 증거를 발표했다. 이러한 것은 도로변의 식생이 공기 질의 향상을 위하여 신속하게 설치하고 유지할 수 있다는 증거를 보여주고 있다.

공기 오염 중에서 미세먼지는 세계적으로 심혈관 질병과 사망의 원인이 되는 가장 큰 환경 위험으로, 매년 약 600만에서 900만의 사람들의 조기사망과 관련되어 있다.

영국의 과학자들이 3개의 Manchester에 있는 초등학교에, 머리 높이로 관리하는 생울타리(tre dge)를 설치했다. 하나는 담쟁이덩굴 걸름막(ivy screen)을 설치하고, 다른 하나는 서양측백(western red cedar)을 설치하고, 세 번째는 자작나무(Betula pendula)와 안쪽에는 향나무(juniper)를 같이 심었다. 아무것도 심지 않은 4번째 학교는 비교로 이용하였다. 그 결과, 지나가는 차량이 배출한 미세먼지 PM2.5와 PM1을 서양측백 생울타리가, 각각 46%와 26%를 포착하였으며, 더욱이 탄소 검댕(black carbon)의 거의 절반인 49%를 포착하여 가장 좋은 성적을 보였다. 그들은 서양측백의 많고 작은, 거친 상록의 잎이(작은 돌기 같은 것이 있음) 먼지 오염을 포착하는 데 유리하여 대기권에서 순환하는 먼지를 걸러내, 학교 운동장에 도달하는 것을 막아준다

고 하였다. 이렇게 걸러 낸 먼지는 빗물에 의하여 씻겨 내려가고 다시 흡착을 반복하게 된다.

사람이 있는 곳에는 나무가 있어야 건강을 유지할 수 있는 것 같다. 특히 최근의 도시림은 가장 위험한 환경 오염인 미세먼지와 소음을 제거하는데 혹은 줄이는데 결정적인 역할을 하며, 여

기에다 잘 알려진 대로 이산화탄소를 흡수하고 산소를 공급하는 특성까지 있어 앞으로 기후변화, 산업화, 도시화로 인한 각종 환경 위험으로부터 사람을 보호하는 나무의 역할은 점점 더 커지면서, 나무의 중요성 또한 더 커질 것이다.

03

포플러 및 속성수 최근연구

사시나무(*Populus davidiana*) 유전연관지도 작성 및 양적형질 유전자 탐색

서울대학교 농업생명과학대학 강규석, 김수비, 김양길

들어가며

사시나무(*Populus davidiana* Dode)는 국내 자생하고 있는 사시나무속 가운데 그 분포 면적이 가장 넓은 수종이며, 근계형성 능력이 뛰어나 산지에서 생존력이 강한 특성이 있다(구영분과 여진기, 2003). 그리고 사시나무 유전체 크기는 침엽수류에 비교하여 그 크기가 작아서 유전체 연구가 용이하다(Tuskan et al., 2004). 사시나무 유전체에 대한 물리지도(Kelleher et al., 2007) 및 엽록체 DNA 염기서열 등 다양한 유전정보에 대한 자료가 축적되고 있어 임목 모델종으로서 인정받고 있으며 분자 유전학적으로도 중요한 수종이다(Bradshaw et al., 2000).

유전연관지도(genetic linkage map)는 서로 다른 표현형을 가진 개체의 차대를 이용하여 차대에서 보이는 형질을 조사하여 부모 개체에서 가지고 있는 유전자의 상대적인 위치를 나타낸 일종의 유전자 지도이다. 염색체 교차 및 재조합이 많이 일어났을 때 유전자 간의 거리가 멀다고 판단하고, 반면에 적게 나타나면 유전자 간의 거리가 가깝다고 판단하여 유전자 교차 및 재조합률을 계산하여 유전자의 상대적인 위치를 계산한다. 이렇게 형질에 대한 유전자의 상대적 위치 정보를 가지고 있는 유전연관지도는 다양한 종류의 DNA 마커가 개발되기 시작하면서 광범위하게 육종사업에 이용되고 있다(Doergem, 2002; Maloofm, 2003).

차세대 염기서열 분석기술(next generation s

equencing, NGS) 방법이 보편화되면서 기존에 사용하던 AFLP, RAPD 마커 분석 방법보다 SNP(single nucleotide polymorphism) 마커를 이용한 분석기술은 임목에서도 고밀도 유전연관지도의 작성을 가능하게 되었다. 이러한 방법을 이용하여 유럽사시나무(*P. tremula*), 그리고 미루나무(*P. deltoides*)와 당버들(*P. simonii*)을 인공교배한 육종집단에서 고밀도 유전연관지도가 작성되었다(Mousavi et al., 2016; Tong et al., 2016).

유전연관지도 작성 및 양적형질 유전자좌(quantitative trait locus, QTL) 탐색을 통하여 적은 개체로도 목표 형질의 유전형을 밝혀내고 우수한 개체를 조기에 선발할 수 있게 되었다(Sewal and Neale, 2000). 아울러 최근 기후변화로 인하여 임목의 서식지, 생장 특성이 변화하고 있고 기온 상승으로 인한 식염성 해충의 피해가 늘어나면서(Pureswaran et al., 2018) 이를 대비하기 위한 형질 개량도 필요하다.

본 연구에서는 오대19와 봉현4로 인공교배 하여 얻은 사시나무 4년생 F1 육종집단을 대상으로(그림 1) 우선 각 개체의 유전자형을 확인한 후 차세대 염기서열 분석 방법 가운데 하나인 Genotyping-by-sequencing (GBS) 기법을 사용하여 사시나무의 고밀도 유전연관지도 작성을 목적으로 하였다. 또한 사시나무 육종집단의 수고, 근원경 생장 그리고 식염성 해충 피해 회복력 형질에 관여하고 있을 것으로 추정되는 양적형질

유전자좌(QTLs)를 탐색하고, 전장유전체연관연구(genome-wide association study, GWAS)을 통해 조사한 형질에 대응하는 유전자를 탐색하는 것이다.



그림 1. 사시나무 유전체 육종집단 (오대19 x 봉현4 F1)

사시나무 유전체 육종집단 특성 조사 및 유전자형 확인

Microsatellite 마커를 이용하여 유전자형을 확인한 결과, 총 295본 가운데 31개체가 친자가 아닌 것으로 밝혀져서 총 264본이 연구대상으로 선정되었다. 그리고 DNA 품질 검사에서 4개체가 탈락하여 최종적으로 260본을 유전연관지도 작성 대상 개체로 확정하였다.

사시나무 육종집단에서 가장 수고가 높은 개체의 크기는 170cm이었고 가장 작은 개체는 26cm였으며, 총 295본의 수고 평균은 101.7cm이었다. 근원경이 가장 굵은 것은 12.94mm, 가장 가는 것은 2.87mm였으며, 근원경 평균은 7.64mm였다(그림 2). 꼬마버들재주나방 피해 회복력에 있어서 0점인 개체가 33개체, 1점인 개체가 77개체, 2점인 개체가 99개체 그리고 3점인 개체가 89개체였다. 꼬마버들재주나방 피해에 대한 해충피해 회복 능력 형질의 평균은 1.82점이었다.

수고와 근원경 생장 그리고 해충피해 회복력

형질들 간의 상관관계를 분석하였을 때 수고와 근원경 생장은 서로 높은 정의 상관관계(0.764*)를 보였다. 그러나 꼬마버들재주나방 피해 회복력은 수고와 근원경 생장량과 서로 상관(-0.000, 0.013)이 없었다.

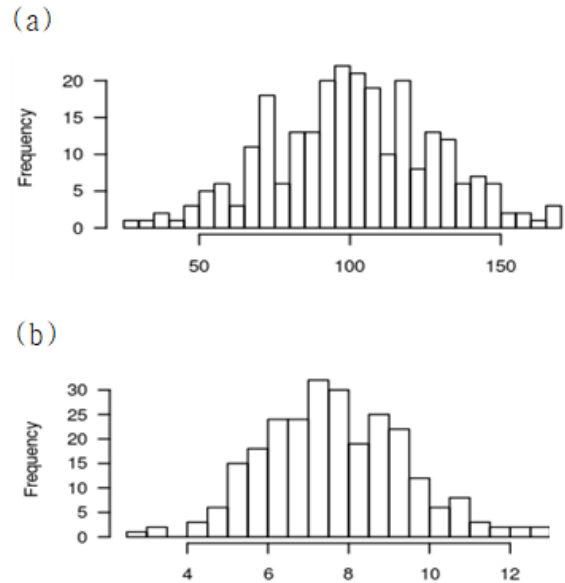


그림 2. 사시나무 유전체 육종집단의 수고(cm), (a) 및 근원경(mm), (b) 생장량 빈도

SNP 마커를 이용한 유전연관지도 작성 및 GWAS 분석을 통한 유전자 탐색

유전연관지도는 19개의 연관그룹(염색체)으로 나뉜 것을 확인할 수 있었다(그림 3), 이것은 FISH(fluorescent in situ hybridization)로 확인된 사시나무줄 수종의 핵형 19쌍과 같은 결과이다(Kim et al., 2020). 기존에 작성된 사시나무속 수종의 미루나무(4,057cM), 당버들(3,809cM), 미국사시나무(3,054.99cM) 등의 유전연관지도 길이(Tong et al., 2016; Zhigunov et al., 2017)와 비교할 때 우리나라 사시나무의 유전연관지도의 크기는 그 보다 작은 2,129.54cM로 나타났다.

작성된 연관지도의 전체 길이는 2,129.54cM

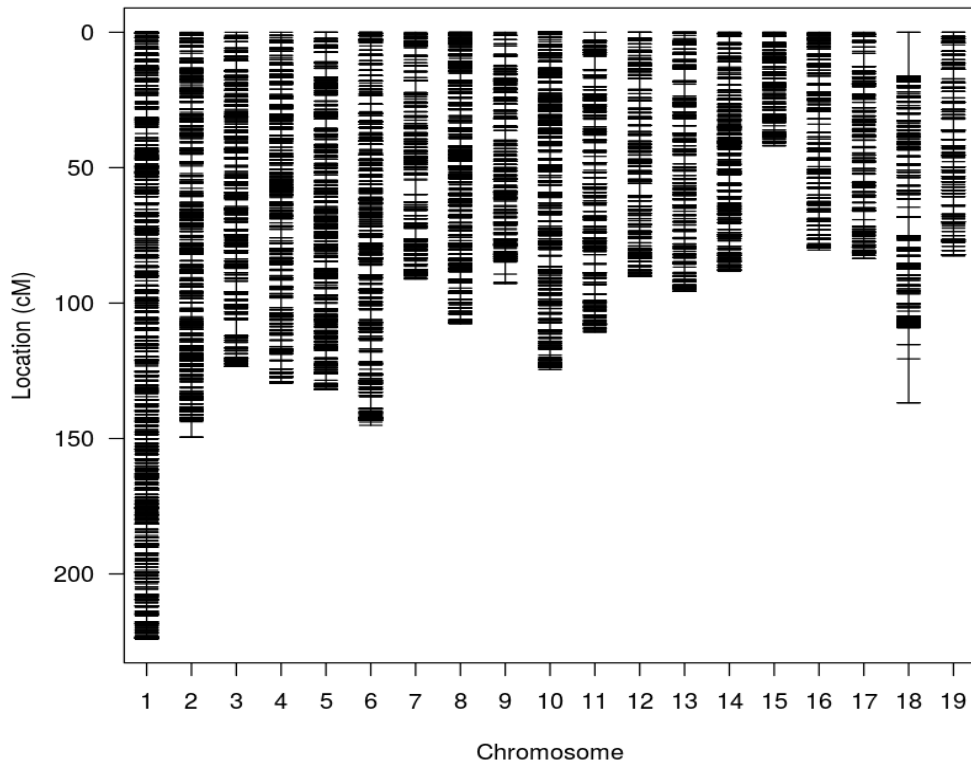


그림 3. 사시나무 유전연관지도. x축: 염색체(연관군), y축: SNP 마커 간 유전적 거리

으로, 가장 긴 연관그룹은 연관군 1번으로(LG1) 223.88cM이었고 가장 짧은 연관그룹의 길이는 LG15로써 41.91cM이었으며, 마커의 평균 밀도는 0.120 cM으로 나타났다(그림 3).

사시나무 유전연관지도 작성에 사용된 SNP 마커의 개수는 총 17,755개이었는데, 이는 기존에 연구되었던 당버들, 미루나무 및 유럽사시나무의 유전연관지도 작성에 사용된 마커 수자 1,430개, 2,012개 및 2,055개와 비교하여 약 7.6배에서 11.3배 더 많은 숫자이다. 따라서 마커 밀도로 표현되는 마커 간 평균 거리 역시 기존의 유전연관지도의 경우 평균 2.65cM에서 4.06cM의 밀도를 가지고 있었으나, 본 연구에서 작성된 유전연관지도의 마커 밀도가 평균 0.12cM로써 매우 고밀도의 유전연관지도를 작성하였다.

수고, 근원경 생장 및 해충피해 회복력에 대하여 GWAS를 실행하였을 때, 수고와 근원경 형질에서는 유의미한 SNP가 확인되지 않았으나, 꼬

마버들재주나방 피해 회복력 형질에 대해서는 4번 염색체에서만 유의미한 후보 유전자가 발견되었다(그림 4, (c)). 양적형질 유전자좌 탐색과 마찬가지로, p-value에 가장 근접한 값을 가진 유전자 위치를 탐색하여, 이 유전자가 형질과 간접적으로 또는 약하게 연관되어 있다고 추정하였다. 즉, 수고 형질에 대하여 2, 5, 7번 염색체, 근원경 형질에 대하여 3, 5, 11번 염색체 그리고 꼬마버들재주나방 피해 회복력 형질에 대하여는 10번 염색체에서 가장 근접한 p-value를 가지는 유전자를 확인할 수 있었다. 이렇게 GWAS 분석으로 탐색된 유전자는 표 5에 정리하였다.

GWAS 분석을 통하여 꼬마버들재주나방 피해에 따른 해충피해 회복능력 형질에 대해서는 4번 연관군(염색체)에서 연관유전자가 발견되었다. 그러나 GWAS 분석에는 육종집단의 모든 개체가 균일한 정도의 피해를 입었다고 가정하여 분석이 진행되므로 금후 연구에서는 피해 정도에

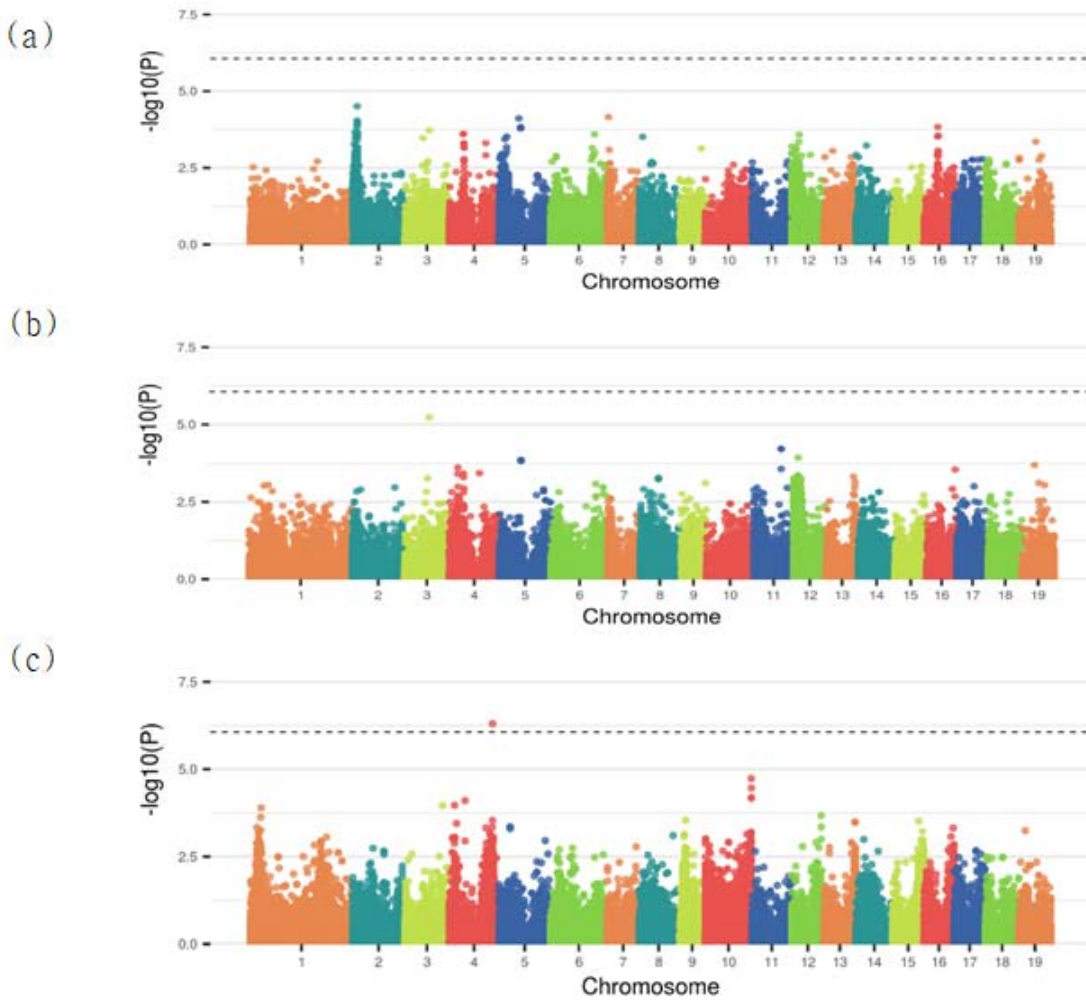


그림 4. 수고와 흉고직경 성장량 그리고 해충피해 회복력에 대한 GWAS 분석. (a) 수고 성장, (b) 근원경 성장, (c) 해충피해 회복력. 수평 점선: LOD 임계점

따른 그룹화 후 분석을 진행하는 것이 필요할 것이다.

참고문헌

김용률, 강범용, 최형순, 홍용표, 여진기, 구영분. 2004. Composite Interval Mapping에 의한 사시나무 전형매 차대의 2년생 성장 형질과 관련된 QTL(Quantitative Trait Loci)의 동정. 한국산림과학회지 93: 251-264.

구영분, 여진기. 2003. 포플러 연구현황과 전망. 산림바이오에너지 22: 1-17.

Bradshaw HD, R Ceulemans, J Davis, R St

ettler. 2000. Emerging model systems in plant biology: poplar (*Populus*) as a model forest tree. J. Plant Growth Regul 19: 306-313.

Doerge, R.W. 2002. Mapping and analysis of quantitative trait loci in experimental populations. Nature Reviews Genetics 3: 43-52.

Kelleher CT, R Chiu, H Shin, IE Bosdet, MI Krzywinski, CD Fjell, J Wilkin, T Yin, S P DiFazio, J Ali. 2007. A physical map of the highly heterozygous *Populus* genome:

integration with the genome sequence and genetic map and analysis of haplotype variation. *Plant J* 50: 1063-1078.

Kim, YG, SH Kwon, HI Kang, DB Yoem, KW Kim, HH Kim, KS Kang, 2020. Similarity of chromosome structure among *Populus tremula* var. *davidiana*, *Populus alba* and their hybrids revealed by FISH karyotype analysis. *Dendrobiology* 83: 68-74.

Lee KM, YY Kim, JO Hyun. 2011. Genetic variation in populations of *Populus davidiana* Dode based on microsatellite marker analysis. *Genes and Genomics*. 33: 163-171.

Maloof JN. 2003. QTL for plant growth and morphology. *Current Opinion in Plant Biol* 6: 85-90.

Mousavi M, C Tong, F Liu, S Tao, J Wu, H Li, J Shi. 2016. De novo SNP discovery and genetic linkage mapping in poplar using restriction site associated DNA and whole-genome sequencing technologies. *BMC Genomics* 17: 1-12.

Pureswaran DS, A Roques, A Battisti. 20

18. *Forest insects and climate change*. *Current Forestry Reports* 4: 35-50.

Sewell MM, DB Neale. 2000. Mapping quantitative traits in forest trees. In *Molecular biology of woody plants*. Springer, Dordrecht. 407-423 pp.

Tong C, H Li, H, Y Wang, X Li, J Ou, D Wang, H Xu, C Ma, X Lang, G Liu. 2016. Construction of high-density linkage maps of *Populus deltoides* × *P. simonii* using restriction-site associated DNA sequencing. *PLoS one* 11: e0150692.

Tuskan GA, SP DiFazio, T Teichmann. 2004. Poplar genomics is getting popular: the impact of the poplar genome project on tree research. *Plant Biology* 6: 2-4.

Zhigunov AV, PS Ulianich, MV Lebedeva, PL Chang, SV Nuzhdin, EK Potokina. 2017. Development of F1 hybrid population and the high-density linkage map for European aspen (*Populus tremula* L.) using RADseq technology. *BMC Plant Biology* 17: 1-12.

새만금 목재에너지림 생육상황 및 바이오매스 생산량 모니터링

(사)한국포플러속성수위원회 **장경환, 노은운, 구영본**
국립산림과학원 **이위영, 한국임업진흥원 여진기**

서언

세계에너지 및 기후통계 연감(2021년)에 의하면 우리나라는 570 Mton의 이산화탄소를 배출하여 독일에 이어 세계 8위를 기록하고 있다(<https://yearbook.enerdata.co.kr/>). 파리협약(Paris Agreement)은 기후변화에 대한 법적구속력이 있는 국제조약으로 이 협약의 국가온실가스 감축목표[NDC]는 2030년까지 국제사회에 감축이행을 약속하는 목표를 포함하고 있으며, 우리나라는 2017년 배출량 대비 24.4% 감축을 국가온실가스 감축목표로 제시하고 있다.

새만금 간척종합개발사업은 본래 농경지와 535백만톤 규모의 수자원을 확보하기 위해 검토되었으며 그 목적은 대규모 식량단지조성, 서해안 지역발전 중심지조성 그리고 친환경 간척지구 조성이었다. 당초 농작물의 경작만을 허용하였으나 2015년 개정된 “새만금 사업촉진을 위한 특별법”으로 목재에너지림의 추진이 가능하게 되었다.

목재에너지림의 근간인 산림바이오매스는 대기 이산화탄소를 비축하며 화석연료를 대체할 신재생연료로서의 잠재력이 인정되고 있다. 국내에서도 화석연료 대체용 바이오매스 수요 증가하여 탄소흡수원 확충과 목재자원 확보를 위하여 속성수 대량조림이 시급하다.

그동안 산림청은 산림자원의 조성 및 관리에 관한 법률을 제정하고, “지속가능한 산림자원 관리지침”을 토대로 매년 전국적으로 22,000ha 이상 인공조림을 실시하고 있으며 특히 바이오순

환림은 중벌기(20~35년) 수확으로 바이오매스와 산업용재를 공급한다는 목표를 정하고 있다. 바이오매스 생산림은 이보다 짧은 단벌기를 이용하여 용재보다는 연료재 등의 최대 생산을 목표로 한다.

만일 간척지 등 유휴지에 바이오매스 생산용 조림지가 조성된다면 화석연료를 대체하는 재생가능한 에너지를 생산함과 동시에 이산화탄소비축의 목표를 달성할 수 있을 것이다.

포플러 등 속성수를 조림하여 화석연료를 대체하는 재생가능한 바이오매스 생산 연구는 세계에서 1970년대부터 수행되고 있다. 우리나라에서도 유휴지를 대상으로 집약적으로 목질계 바이오매스를 생산하기 위한 일환으로 간척지 및 매립지를 활용한 포플러 바이오매스 생산을 위한 연구 및 대규모의 실험적 조림이 시행되었다. 특히, 새만금 간척지는 2012년부터 단벌기 포플러 목재에너지림 조림 사업이 시작되었으나 간척지의 일반적 특성인 과도한 염분, 높은 토양 pH, 빈약한 토양양료 외에도 불량한 배수성, 통기성 등 물리적 특성으로 포플러 바이오매스의 생산량이 극히 저조한 실정이나 현재의 생육 상황, 생육 제한 인자 등 생산 실태에 대한 정보가 부족한 상황이다. 이와 같이 생육이 불량한 간척지를 바이오매스 생산을 위한 목재에너지림으로 이용하기 위해서는 조림지의 정착과 생장, 적응 및 바이오매스생산에 제한적인 인자들을 조사, 분석하여 개선시키는 작업이 필요하다.



그림 1. 목재에너지림 방형구(조사구) 위치도(숫자로 표기된 지점).
 노란색 box들은 이번 조사에서 제외된 면적임

본 조사사업은 새만금 간척지 목재에너지림의 생산성을 극대화 시키는 환경 조성을 목적으로 현재 조성된 조림지의 생육상황과 바이오매스 생산량을 추정하고 조림지의 환경특성을 분석하여 바이오매스 생산의 제한 인자들을 확인, 개선대책을 제시하고자 포플러 단벌기 목재에너지림의 생육 조사 및 생산량을 추정하고 토양의 화학적 특성 등 토양 환경 인자들과의 관계를 조사 분석하고자 하였다.

조사 사업 내용 및 범위

2012~2016년 새만금 간척지 내에 조성된 약 157.6ha의 조림지에서 조림 연도별 및 시비 등 시험 처리별 성장상태를 조사하였다. 전체 조림지에서 30개의 10m x 10m 방형구(조사구)를 선정한 후 방형구내 현존 분수, 흉고직경, 활력도를 조사하였다.

먼저 흉고 계급별 표준목을 선정하고 표준목의 수고, 흉고, 건중량 분석을 통하여 흉고직경에

따른 건중량 추정식을 개발하였다. 추정식을 이용한 각 방형구의biomass 량을 추정하고 유기질비료 효과, 춘기추기 삼목 효과, mulching 효과 등을 분석하였다. 마지막으로 토양인자의 분석을 통하여 이 목재에너지림의 생산제약요인을 구명하였다.

연구 결과

방형구별 지상부 바이오매스 생산량 조사

가. 표준목의 흉고직경, 생중량, 건중량에 근거한 allometric model

흉고측정 데이터만을 이용한 바이오매스 추정을 위하여 회귀식을 이용한 allometric model이 유도되었다. 선정된 표준목 20본을 대상으로 흉고직경과 수고, 생중량, 건중량과의 관계를 조사하였다.

흉고직경과 생중량간의 유도된 회귀식은

$$y = 0.822x^2 - 5.963x + 14.27$$

($R^2 = 0.979$)이며
 증량과의 회귀식은
 $y = 0.459x^2 - 3.326x + 7.963$
 ($R^2 = 0.979$)으로 도출되었다 (그림 2A).
 이 회귀식을 이용할 경우 흉고직경 값으로 생
 증량과 건증량을 정확하게 추정할 수 있었다. 그
 러나 3.5cm 이하의 직경에서는 흉고직경과 생
 증량, 건증량의 관계가 위의 공식과는 다르게 나
 타나므로 3.5cm 이하의 범위의 값은 따로 아래
 의 직선 회귀식으로 유도하였다(그림 2B).

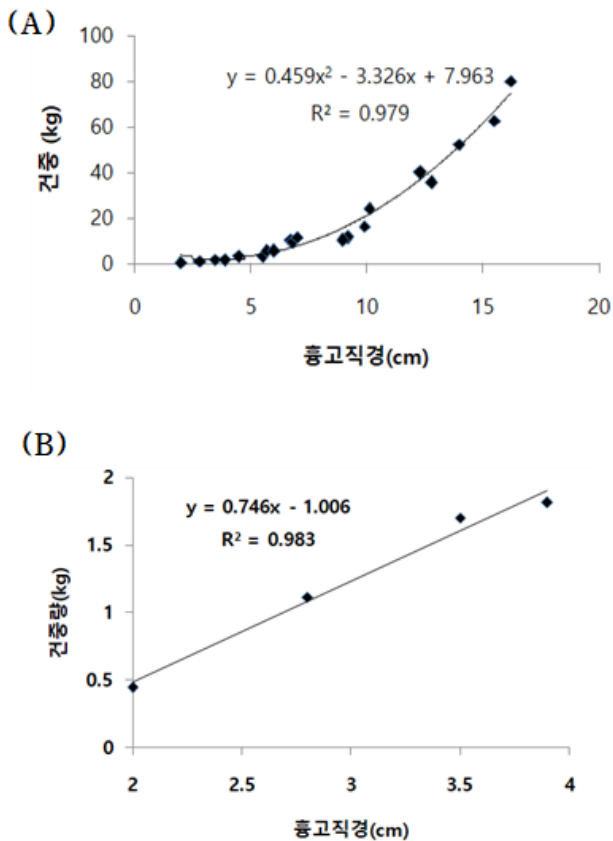


그림 2. 흉고직경을 이용한 건증량 추정 회귀식 모델

$y = 0.746x - 1.006$ ($R^2 = 0.983$)

나. 방형구 평균을 이용한 조림 연도별 바이오
 매스 생산량 추정

표 1은 조림 연도별로 설정된 조사구(방형구)

별 생존 본수율, 평균활력도, 그리고 생산량을 1
 ha로 환산한 총건증과 총생산량을 지상부 수령
 으로 나눈 연평균 ha당 총건증을 나타낸 것이다.

조림 연도별로 본다면 2013년의 생존율이 가
 장 저조하고 2016년이 가장 우수하였는데 이는
 시간이 지나면서 점차 생존개체 수가 감소하는
 경향과 일치한다(그림 3). 그러나 전체조림지 평
 균 생존율이 24%에 미치지 못하는 것은 일반조
 림지에 비해 새만금 조림지가 얼마나 비우호적인
 환경인지를 드러낸다. 새만금 사례와 유사한 경
 우로 벨기에에서 오염된 토양에 관수시설 없이
 밀식 재배한 포플러의 식재 후 6년의 생존율은
 25~85%를 기록하기도 하였다(Dillen 등 201
 3). 여진기 등(2011)이 수행한 포플러 클론별 생
 육특성 및 적응능력을 평가에서 식재클론들의 식
 재 3년째의 평균 생존율은 88% 정도였다고 보
 고하였다. 새만금 에너지조림지와 거의 똑같은
 밀도(10,000본/ha) 및 배치(0.3ha block)로 식
 재된 체코의 바이오매스 조림지의 경우 클론별로
 차이는 있으나 식재 6년 후 전체 생존율은 52~7
 3%에 이르고 있다(Trnka 등 2008). 따라서 새
 만금 에너지림은 태풍피해 등으로 2013, 2014
 년의 조림지가 파괴된 것을 감안하면 최악의 환
 경은 아니며 여러 번의 윤벌기를 거쳐 토양의 유
 독한 물질을 흡수제거하고 갈대의 지속적인 경운

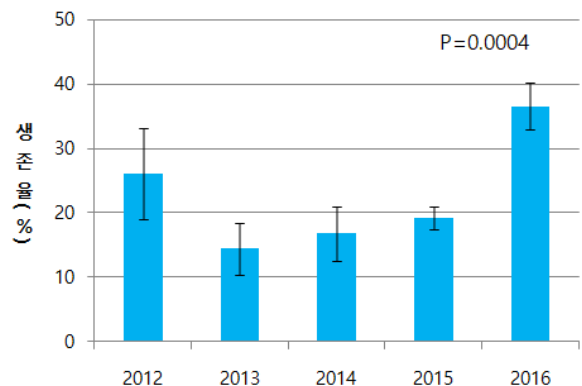


그림 3. 추정된 조림 연도별 생존율

표 1. 조림 연도별 설정된 방형구의 생존율(%), ha 당으로 환산한 총건중생산량, ha 당으로 환산한 연평균 건중생산량(ton/ha) 및 조사목들의 평균 활력도

방형구 번호	조림 년도	사업내역	지상부 수령(년)	생존율 (%)	총생산량/ha	연평균 생산량/ha	평균 활력도
1	2012	2017 대절	5	12.4	50.9	10.2	2.2
2	2012	2017 대절	5	30.6	46.1	9.2	1.6
3	2012	2017 대절	5	35.5	40.0	8.0	3.26
4	2013	2017 대절	4	5.0	11.8	3.0	1.67
5	2013	2018 대절	4	14.0	8.9	2.2	3.12
6	2013	2018 대절	4	5.8	20.7	5.2	2.43
7	2013	2018 대절	4	9.1	8.7	2.2	1.46
8	2013	2018 대절	4	28.9	13.9	3.5	1.75
9	2013	2018 대절	4	24.0	10.8	2.7	1.62
10	2014	일반조림	8	24.8	12.7	1.6	2.1
11	2014	일반조림	8	14.9	44.6	5.6	2.72
12	2014	일반조림	8	10.7	31.1	3.9	1.85
13	2015	일반조림	7	29.8	16.4	2.3	1.2
14	2015	일반조림	7	14.0	6.5	0.9	1
15	2015	일반조림	7	16.5	6.3	0.9	0.8
16	2016	일반조림	6	19.0	12.9	2.1	1.44
17	2016	일반조림	6	29.8	14.3	2.4	1.72
18	2016	일반조림	6	42.1	25.5	4.2	1.41
19	2014	춘계삼목	7	15.7	29.4	4.2	1.69
20	2014	춘계삼목	7	14.0	10.1	1.4	1.24
21	2014	춘계삼목	7	13.2	25.6	3.7	2.25
22	2015	추계삼목	7	22.3	24.1	3.4	1.15
23	2015	추계삼목	7	21.5	29.8	4.3	2.35
24	2015	추계삼목	7	24.0	35.3	5.0	2.59
25	2016	유기질비료	6	39.7	24.5	4.1	1.34
26	2016	유기질비료	6	44.6	33.9	5.7	1.98
27	2016	유기질비료	6	45.5	26.4	4.4	2.11
28	2016	유기질대조	6	26.4	12.5	2.1	0.85
29	2016	유기질대조	6	53.7	17.1	2.9	0.73
30	2016	유기질대조	6	28.9	23.7	3.9	1.63

과 유기질 비료 등의 투여를 통해 토양을 개선한다면 시간이 경과됨에 따라 생존율은 올라갈 것으로 기대된다.

그림 4(A)는 각 조림 연도별 누적 건중량을 나타낸 것으로 시비, 삼목여부 등을 고려하지 않았고 2014년 추계삼목은 2015년 조림으로 간주하

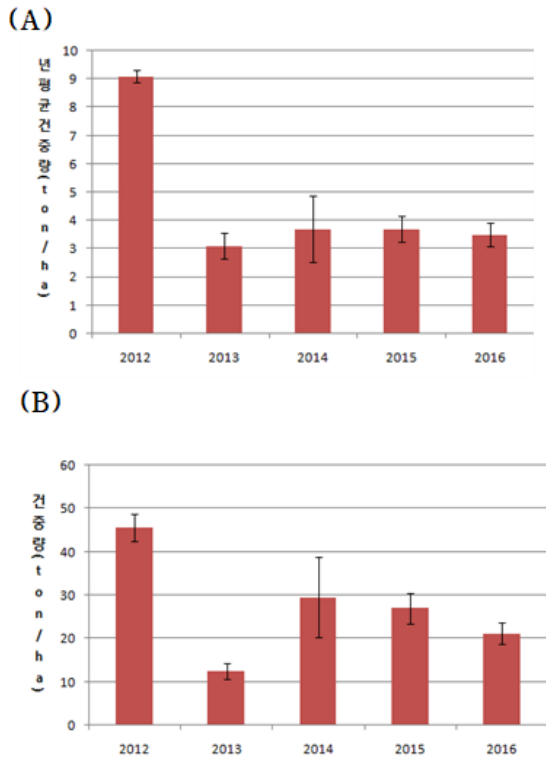


그림 4. 조림 연도별 ha 당 바이오매스 건중량(ton), (A) 총누적 건중량, (B) 연간 평균 건중량

여 추정하였다. 2012년 조림지가 압도적인 바이오매스 생산성을 보이는 이유는 초기 소면적(2.1 ha) 조림에 따른 조성, 제초 관리, 시비 등의 각별한 관리가 따른 결과로 판단된다. 2013년 조림지의 부진은 1차 바이오매스 수확 후 발생한 맹아에 대한 총 피해로 생존 본수율이 낮아 부진

한 것으로 추정된다. 그러나 2013년부터 2016년 조림지는 비우호적인 조림지에서 평균적으로 나타날 수 있는 생장으로 보인다. Poland에서 수행한 타카마하카절 포플러품종들의 단별기 바이오매스 생산시험에 의하면 저조한 품종의 건중량은 ha 당 년 2.6ton, 우수한 품종은 5년차에 ha 당 년 5.2ton, 6년차에 연 6.9ton을 생산하였는데(Niemczyk 등, 2016) 새만금이 간척지라는 악조건임을 감안하면 기대 이상의 성적이라고 볼 수 있다.

다. 연도별 조림지의 활력도 조사 결과

조림지 전체의 평균활력도는 1.85로 매우 불량하였다. 그림 5은 조림 연도별 활력을 나타내는데 분산분석(ANOVA) 결과 $p < 0.0001$ 로 유의차가 있었다. 2016년이 가장 최근에 조성한 조림지임에도 불구하고 가장 활력이 낮은 것은 주목할 일이다. 2016년 조림지에는 유기질 비료처리구가 많은 면적을 차지하고 있는데 밀도가 높고 수관이 발달하여 상대적으로 피압되는 개체목들이 많아서 나온 결과로 추정된다. 실제로 2016년 조림지의 생존율은 44.3%이며 2013년에서 2015년의 생존율은 모두 그 절반에도 못 미치는 17.5~23%에 그치고 있다.

표 2. 상대밀도와 조사구 건중량 평균값을 이용한 block의 총 건중량 추정의 예

Block	방형구번호	재적(100m ²)	상대밀도	재적(100m ²)	block내 총건중,kg/3,000m ²)
1	3	483.0	1	552	16,560
2	.	.	1	552	16,560
3	2	558.0	0.9	496.8	14,904
4	.	.	0.9	496.8	14,904
5	.	.	1	552	16,560
6	1	615.0	0.8	441.6	13,248
7	.	.	0.6	331.2	9,936
평균		552	.	합계	10,2672

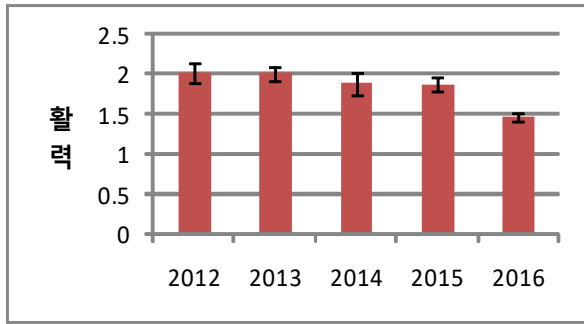


그림 5. 조림 년도별 활력도

라. 방형구 별 바이오매스 생산량 추정에 의한 조림지 전체 바이오매스 생산량

표 2는 생장이 가장 우수한 2012년 조림지 전체의 바이오매스 건중량을 구한 예이다.

2012년 조림지는 7 개의 0.3ha block 으로 총 2.1ha이며 도로를 따라 나란히 배열되었는데 이 안에 3개의 조사구(방형구)가 설치되었다. 3 개 방형구는 위성사진과 현장에서 목측으로 조림지의 중간정도 밀도에 설치되었고 평균재적은 100m²에서 552kg을 기록하였다. 따라서 밀도가 가장 높은 1,2,5번 block은 552kg/100m²이며 밀도가 0.9인 경우 0.9를 곱하여 497kg/100m²이며 밀도가 0.8인 경우 441kg/100m²로 추정하였다. 한 block이 3000m²이므로 각 방형구의 값을 30으로 곱하여 한 block의 총 바이오매스

건중량을 계산하였다(표 5). 2012년 조림지의 총 건중량은 이 7개 block의 건중량을 합친 것이다. 표 3은 위와 같은 방식으로 조림년도별 총 건중량과 생중량을 나타낸 것이다. 2014년 조림지는 3곳에 흩어져있으므로 나누어 표기하였다. 조림년을 기준으로 한다면 2012년이 압도적인 바이오매스생산을 하였고 2013년 조림지가 가장 저조하였다.

그러나 주목할 점은 2012년 조림지에서 2015년 59.69ton의 벌채가 이루어졌고 2013년 조림지에서는 2019년 13ha에서 137.36 ton을 수확하였다는 점이다. 따라서 2013년 벌채지는 해충 피해의 결과이지 본래 생산성이 없는 곳은 아니었을 것으로 판단된다.

마. 일반조림과 삼목조림, 추계삼목과 춘계삼목의 차이

태풍 등 피해를 입은 2013년 조림지를 제외하고 2014~2016년간 조림 결과를 그림 10에 요약하였다. 이 기간에 포플러 조림은 춘기에 13.5 ha, 추기조림은 87.9ha, 춘계삼목은 37 11.1ha, 추계삼목은 2.7ha가 시행되어 추기조림의 비율이 3.7배 높았다. 그러나 춘기조림의 ha 당 연평균 생산량(3.05 ton)이 추기조림(1.95 ton)

그림 3. 각 조림 연도별 지상부 연령, 면적 및 바이오매스 생산량

조림년도	처리	지상부 연령	면적 (ha)	총건중 (ton)	총생중 (ton)	건중 (ton/ha/yr)	생중 (ton/ha/yr)
2012		5	2.1	102.7	184.7	9.78	17.59
2013		4	15	35.8	64.4	0.60	1.07
2014 A		8	12.6	313.0	563.0	3.11	5.59
2014 B		8	20.85	293.3	527.5	1.76	3.16
2014 C	추계삼목	7	13.2	261.9	471.0	2.83	5.10
2015	춘계삼목	7	54.6	561.1	1009.1	1.47	2.64
2016		6	13.5	275.0	494.5	3.39	6.11

표 4. Mulching 처리에 따른 생산량 차이(2015년 조림지)

	면적 (ha)	수령	총건중량 (ton)	ha 당 건중량 (ton)	년 ha 당 건중량 (ton)
Mulching 처리	11.7	8	396	33.8	4.2
비교구	41.1	7	320	7.8	1.1

의 1.5배에 이르는 것으로 나타났다. 삼목의 경우 추기삼목이 춘기삼목보다 나왔으나 춘기조림 보다는 못하였다. 같은 춘기삼목이라도 2014년 과 2016년의 성과가 다르고 2015년 추기성과가 월등한 것은 조성 당년의 기상 등의 차이로 나타난 결과로 보인다. 대면적을 조림할 때 인력 확보, 기상 등의 문제로 제약이 있어서 봄과 가을에 분산시켜서 진행해야 한다면 봄에는 일반조림 가을에는 삼목조림을 위주로 하는 것이 좋은 선택일 수 있다.

바. 유기질 비료 처리 효과

2016년 조림한 유기질 비료를 처리한 block 들과 무처리 비료 block에 대한 분산분석을 실시하였다. 2016년 조림지 49개 block의 평균 바이오매스 건중량은 5611.8kg(5.6ton)이었으며 block 당 ha 당 년평균 생산량은 유기질 비료처리구는 3.13 ton, 비료 무처리구는 1.95 ton으로 나타났다(그림 7). 이 두 처리간의 차이를 분산분석한 결과 유기질비료처리의 효과가 높게 유의적 차이가 있는 것으로 나타났다.

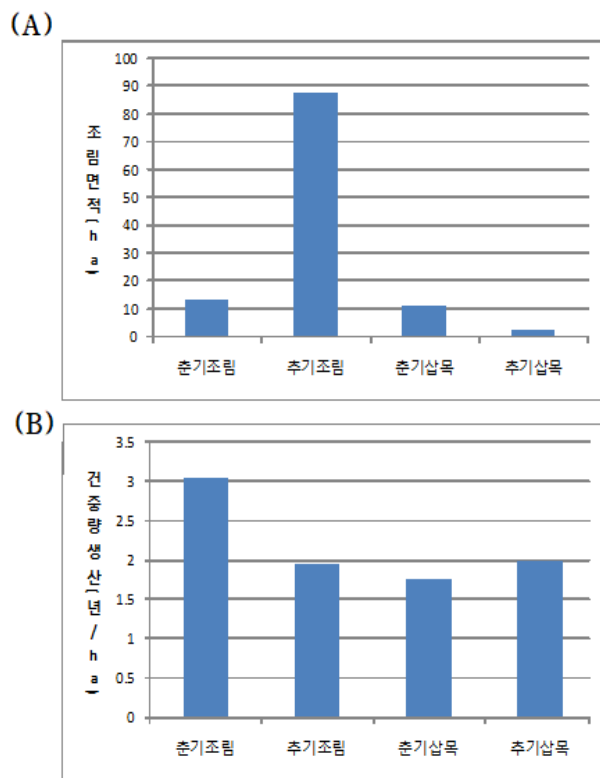


그림 6. (A) 2014~2016년 조림 시기 및 형태별 조성된 면적, (B) 조림시기 및 방식에 따른 건중량생산

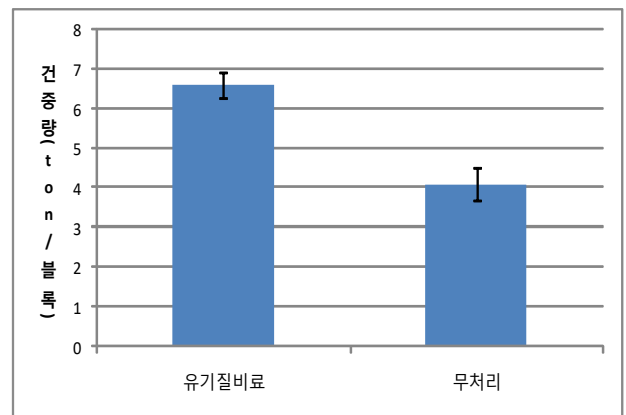


그림 7. 유기질비료 처리구와 무처리구의 바이오매스 건중량 생산

사. Mulching 효과

2015년 조림지를 대상으로 mulching한 조림지 11.7ha와 mulching하지 않은 조림지 41.1ha의 생산량을 비교하였다. Mulching 처리한 필름의 폭은 고려하지 않았다. Mulching 처리를 한 경우 그렇지 않은 일반조림지보다 생산량이 4

배 이상 증가하였다. 생산량 증가의 원인은 고사율의 감소로 여겨지며 이는 초기 경쟁식생인 갈대의 생장을 억제한 효과로 추정된다. 따라서 Mulching 처리한 조림지는 블록의 밀도가 높았기 때문이다.

아. 방형구내 토양양료 함량과 주요 성장적응 지수 간의 상관성

새만금 목재에너지림 포플러의 생육 특성과 토양의 화학적특성간 관계 분석을 위하여 30개 방형구(조사구)의 토양의 화학적 특성을 분석하였다. 새만금 목재에너지림 토양은 pH가 7에서 8의 범위로 높았고 전기전도도 0.32ds/m으로 높은 것으로 나타났다. 반면 유기물함량(8.17g/kg) 및 전질소(0.07%) 함량은 낮았고, 치환성 양이온인 Mg(4.97 cmoleC/kg) 및 Na(2.65cmoleC/kg) 함량은 매우 높았다.

토양분석결과를 토대로 성장과 적응지수(생존율, 활력)의 상관관계를 조사하였다. 분석을 위한 토양시료는 30개 방형구에서 채취하였으므로 정확한 분석을 위해 방형구의 데이터와 토양양료 혹은 토양지수(pH, 이온전도도)와의 상관성을 분석하였다. 바이오매스 생산과 상관성이 높은 인자는 놀랍게도 NaCl이었는데 상관계수 0.53로 정의 상관을 보이고 있는데 고도로 유의성(p<0.01)이 있었다. 그 다음은 치환성 마그네슘으로 r=0.43 (p<0.05)로 유의적 상관성을 보였는데 나머지 치환성 칼슘, 치환성 칼륨 등 산림토양에서 바이오매스 성장과 상관성이 높은 인자들이 여기서 전혀 영향을 끼치지 못하였다. 현존분수율(즉,

생존율)에 끼치는 영향도 같은 양상으로 NaCl이 고도의 유의성(p<0.01)을 가진 상관(r=0.53)을 보였고 전기전도도는 r=0.36 (p<0.05)으로 보통의 상관을 토양산도는 약한 상관(p<0.1)을 보였다. 활력도의 경우도 NaCl이 고도의 유의적인 부의 상관을 그리고 치환성 마그네슘은 보통정도의 정의 상관을 나타내었다. 요약하면 NaCl은 함량이 증가할수록 건중량은 높아지지만 나무의 활력도 좋은 것으로 나타났다.

자. 토양양료와 성장, 활력, 생존율의 상관관계 (방형구내 조사목 평균)

(1) 토양산도, 재적, 생존율, 활력도의 상관

30개 새만금 방형구의 평균 토양 pH는 7.4(범위 7.0~8.0)로 일반적인 산림토양의 평균치 4.8~5.2를 훨씬 웃돌았다. 그러나 이정도 pH는 식물생장에 부정적인 영향을 끼치는 경우가 거의 없다. 조사구 토양산도(pH)와 생존율 간에는 정의 상관(r=0.32)의 경향을 보였으나 유의성은 낮은 수준(p=0.089)이었다. 토양산도는 연간 건중량 생산에 부의 상관을 보였으나 유의성은 없었다. 토양산도와 활력도도 부의 상관(r=-0.33, p=0.07)으로 산도가 높아질수록 활력이 떨어졌다(그림 13). Tufekcioglu 등(2005)도 튀르키예에서 토양의 산도와 포플러의 생장이 유의적인 부의 상관을 보인다고 보고한바 있다.

(2) 유기물함량과의 상관

조사한 30개 새만금 방형구의 유기물함량은 평균 8g/kg으로 일반 농업토양(25~30g/kg) 혹은

표 5. 새만금 목재에너지림 생육 조사구내 토양의 화학적 특성

항목	산도	유기물 (g/kg)	전질소 (%)	유효 인산 (mg/kg)	치환성 양이온 함량(cmolc kg-1)				NaCl (%)	규산 (mg/kg)	전기 전도도 (dS/m)
					K	Na	Ca	Mg			
평균 (최소-최대)	7.4 (7-8)	8.17 (1-22)	0.07 (0.04-0.17)	50.4 (22-172)	1.20 (0.8-1.8)	2.65 (1.3-5.0)	1.83 (1.2-3.7)	4.97 (3.9-6.8)	0.06 (0.05-0.09)	222 (175-298)	0.32 (0.32-0.60)

표 6. 새만금 목재에너지림 토양양료의 함량과 주요 생장적응지수 간의 상관성

	산도	유기물	질소	인산	치환성 양이온				NaCl	규산	전기 전도도
					K	Na	Ca	Mg			
총건중량	-0.25	0.09	0.12	0.05	0.24	0.05	0.07	0.43**	0.53***	0.21	-0.34
생존율	0.32*	0.21	0.12	0.19	-0.09	0.05	0.11	0.14	0.53***	-0.01	0.36*
활력도	-0.33*	0.03	0.05	0.17	0.24	0.03	0.07	0.44**	0.47***	0.28	-0.18

산림토양(>30g/kg)에 훨씬 미치지 못하여 생장에 제한인자로 작용하는 것으로 보인다(정 등, 1998). 유기물함량은 재적생장간, 활력간, 생존율과는 유의적 상관도 보이지 않고 있는데 그 함량이 너무 낮아서 영향을 끼치는 범위를 벗어났기 때문으로 추정된다.

(3) 인산함량과의 상관

조사한 30개 방형구의 인산함량은 50mg/Kg이었다. 이 농도는 산림토양(7mg /kg)에 비해서 현저히 높은 수준으로 나타났다. 인산함량과 생존율, 총건중량, 활력도와의 유의적 상관관계가 나타나고 있지는 않지만 그림 10에서와 같이 이 질적인 데이터를 제외하면 인산과 건중량간에 정의 상관성이 있는 것으로 나타나고 있어 생육에 필요한 함량은 아직 부족한 것으로 나타나고 있다.

(4) 치환성 칼륨과의 상관

새만금 방형구의 평균 치환성 칼륨의 농도는 1.2cmoleC/kg이었는데 이는 평균산림토양의 0.2~ 0.5cmoleC/kg를 초과한 농도이다. 따라서 식재된 포플러가 칼륨부족으로 시달리지는 않을 것으로 판단된다. 토양내 치환성 칼륨의 함량과 생존율, 재적 및 활력도와의 유의적 상관관계가 없었다.

(5) 치환성 칼슘과의 상관

새만금 방형구의 치환성 칼슘의 평균 농도는

1.8 cmolc/kg이었다. 1996년에 나온 보고에 의하면 우리나라 논토양의 평균 치환성 칼슘의 농도는 약 4.0cmolc/kg이었는데(정 등 1998) 최근 조사한 산림의 조립지 농도는 1.2 cmolc/kg이었다. 따라서 이 농도는 생장을 제약할만한 수준은 아닌 것으로 판단된다. 토양내 치환성칼슘의 함량과 생존율, 재적 및 활력도와의 유의적인 상관성이 없었다.

(6) 치환성 마그네슘과의 상관

새만금 방형구의 치환성 마그네슘의 평균 농도는 5.0cmoleC/kg (3.9~6.8)이었는데 우리나라 논토양은 평균 1.2~1.5cmoleC /kg으로 과다한 편에 속한다고 할 수 있다(정 등 1998). 치환성 마그네슘의 함량과 생존율, 건중량 및 활력도와 상관(r)은 각각 $r=0.14(p=0.468)$, $r=0.52(p=0.003)$, $r=0.44(p=0.016)$ 로 건중량 생장과는 고도로 유의적인 상관, 활력도와는 보통 정도의 상관성이 관찰되었으나 생존율과는 상관성이 나타나지 않았다. 즉, 마그네슘함량이 많을수록 건중량과 활력도가 증가하였다.

(7) 전기전도도와 상관

새만금 방형구 토양의 전기전도도 평균은 0.3 ds/m (범위 0.2~0.6ds/m)였는데 이는 전국 밭토양 평균 이온전도도 1.03ds/m 보다 2~3 배 정도 낮은 값이다(Kim 등, 2019). 이온전도도는 토양내 용해되어있는 염의 농도를 나타내므로 전

반적으로 염의 형태로 존재하고 이온형태가 적은 형태로 추정된다. 이는 새만금 토양이 약알칼리 성임으로 예상할 수 있는 결과이다. 새만금 조림 지내 토양내 전기전도도와 생존율과는 $r=0.36$, $p=0.048$ 로 유의적인 정의 상관을 보였으나 재적과, 활력과는 유의적 상관이 약했으나 부의 상관의 경향을 보이고 있다.

(8) 토양내 치환성 Na 함량과의 상관

새만금 방형구의 평균 치환성 Na 함량은 2.6c molC/kg (1.3~5.6cmolC/kg)이었다. 이는 적정농도 0.5 cmolc/kg 이하보다 매우 높아 Na^+ 이 현재 새만금 목재에너지림 포플러의 생육 스트레스의 주요 인자 중 하나로 판단된다. 그러나 토양내 Na^+ 함량과 생존율의 상관은 $r=0.37$, $p=0.045$ 로 유의적인 유의상관을 보이고 있으므로 Na^+ 가 스트레스 요인으로 작용한다는 것을 설명하지 못한다. 총건중량과 활력도는 상관계수가 각각 $r=0.04$ ($p=0.819$), $r=-0.03$ ($p=0.888$)으로 상관이 없는 것으로 나타났다. 너무 높은 농도이므로 유의적인 관계가 나오지 못하는 것으로 추정된다. 최근 폴란드에서는 오염토양에 버드나무를 식재한 결과 Na^+ 농도가 188%에서 35%로 크게 낮아짐을 보고한바 있다(Scriba 등 2021). 앞으로 포플러가 자라면서 Na^+ 를 지속적으로 흡수함으로써 이 농도는 낮아질 것으로 예상된다.

(9) 토양내 NaCl 함량과의 상관

평균 NaCl 함량은 0.06%(범위 0.05~ 0.09%)였다. NaCl과 생존율 간 상관이 없는 반면 총건중과는 $r=0.57$ ($p=0.001$), 활력도와도 $r=0.47$ ($p=0.009$)로 고도로 유의적인 상관을 나타내었다. 포플러의 성장량과 NaCl 함량 간에 정의 상관관계가 나타나고 있는 것은 포플러의 생육량이 증가 할수록 토양 중의 수분의 이동이 용이해지고

포플러의 특성인 많은 수분 증·발산작용으로 토양내의 NaCl 이온이 토양 지표면으로 이동하여 집적되고 있는 현상에 의한 것으로 추정된다. 최근 Hongqiao (2021) 등은 저농도의 NaCl은 탄소와 황의 동화를 개선함으로써 식물의 성장을 촉진시킨다고 보고하였다. 즉, 40mM(즉, 0.24%) 이상의 NaCl은 식물의 줄기 및 뿌리생장을 억제하지만 5~30mM (0.03~ 0.18%)의 농도에서는 뿌리생장은 약간 위축되었으나 줄기생장은 오히려 촉진시켰다고 하였다. 따라서 현재 새만금 조림지의 염분농도는 포플러의 성장을 크게 억제할 수준은 아닌 것으로 생각된다.

(10) 토양내 전질소 함량과의 상관

전질소 평균농도는 0.078%(0.045~0.178%)로 생육 적정 함량인 0.25%보다 매우 낮아 간척지 포플러의 생육 제한 인자로 판단된다. 토양내 질소함량은 농도가 너무 낮은 관계로 생존율, 건중량생산, 활력도와 아무런 상관도 보이지 않았다. 따라서 새만금 목재에너지림 포플러의 생육 증진을 위해서는 질소질 비료(혹은 유기질비료)의 시비가 필요하다.

차. 토양내 양료, 혹은 지표들 간의 상관관계

토양양료 혹은 지표들 간의 상관관계를 조사하였다. 토양산도와 $p<0.01$ 의 고도로 유의성이 있는 인자는 치환성 Na함량이었고 다른 인자들과는 상관관계가 없었다. 결과적으로 Na농도가 새만금 목재에너지림 토양의 pH를 결정하는 주요 인자임을 의미한다.

토양유기물 함량과 상관이 있는 양료는 질소($r=0.71$, $p<0.001$), 치환성칼슘($r=0.55$, $p=0.002$)으로 고도의 유의성을 보였고 보통의 상관을 보이는 양료는 치환성칼륨($r=0.44$, $p=0.015$), 치환성 마그네슘($r=0.38$, $p=0.036$)이며 약한 상

표 8. 2012년 조성 새만금 포플러 목재에너지림 토양의 연도별 화학적 특성

조사 년도	pH	유기물 (%)	전질소 (%)	유효인산 (mg/kg)	EC (ds/m)	치환성 양이온(cmolc/kg)				NaCl (%)
						K	Na	Ca	Mg	
2013	7.1	1.7	0.07	1.7	0.21	1.29	2.00	1.48	3.34	0.06
2022	7.2	1.5	0.08	50	0.23	1.35	2.47	2.27	5.93	0.08
적정 농도	-	3-	0.25-	100-200	-0.2	0.25-0.5	0.1-0.5	2.5-5	1.5-	-0.05

관을 보이는 성분으로 NaCl은 $r=0.31$, $p=0.09$ 3이 있었고 나머지 인자들은 유기물함량과는 상관관이 없었다. 즉, 토양내 유기질비료를 투입함으로써 질소와 토양의 치환성양이온인 칼슘, 칼륨, 마그네슘 함량을 증가시킬 수 있음을 의미한다.

토양내 인산함량과 치환성 칼슘과 고도의 유의성($r=0.5$, $p=0.005$)을 보인 반면 질소함량은 $r=0.37$ ($p=0.043$)으로 보통 수준의 유의성이 Na 이온간에는 $r=-0.32$ ($p=0.089$)로 부의상관을 나타내었다.

토양내 치환성칼륨은 치환성마그네슘($r=0.72$, $p<0.001$), NaCl($r=0.71$, $p<0.001$), 질소함량($r=0.61$, $p<0.001$), 치환성칼슘($r=0.57$, $p=0.001$)과 고도의 유의적인 상관을 보였으며 토양유기물 함량($r=0.44$, $p=0.015$) 및 규산함량과는 보통정도의 상관성($r=0.41$, $p=0.026$)을 보였다.

카. 새만금 목재에너지림 토양의 화학적 특성 변화

새만금 간척지의 포플러 목재에너지림 조성에 따른 토양의 화학적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위하여 2012년도 조림 지역의 2013년도와 2022년도 간의 토양화학성 변화를 비교하였다. pH, 전기전도도, 전질소함량, 토양유기물함량의 수치는 유의적 변화가 없었으나 유효인산이 15 mg/kg에서 50mg/kg으로, 치환성 양이온인 Na, Ca 및 Mg, 함량은 각각 2.0, 1.48, 3.34 c

molc/kg에서 2.47, 2.27, 5.93 cmole/kg으로 함량이 증가하여 토양의 가용성 양분의 함량이 증진되고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 간척지에 포플러 목재에너지림 조성으로 토양의 화학성이 점진적으로 개선되고 있는 것으로 추정되고 있다.

한편, 토양중의 치환성 Na 함량 및 수용성 NaCl 함량이 증가한 경향을 보여 지속적으로 염 농도가 생육제한 인자임을 제시하고 있다. 특히, 새만금 토양 전체적으로는 pH, 전질소 함량 및 유기물함량은 현재까지 유의적인 수치의 변화를 보이고 있지 않고 있다. 이들 인자는 포플러 목재에너지림의 생육 제한인자로 작용함으로 앞으로 유기질 비료 시비 등을 통해 개선되어야 할 것으로 추정된다.

결론 및 제언

새만금 목재에너지림에 식재된 나무의 11월 중순에 측정된 평균함수율은 44.4%였으며 표준목으로 선정된 6~8년생의 20본의 평균 수고는 9.2m이며 흉고직경 2~16.2cm였다. 함수율과 생증량으로 결정한 바이오매스 추정식($r^2=0.983$, $p<0.001$)을 이용하여 흉고측정만으로 2012~2016년 조림지 전체를 통하여 설정된 30곳의 조사구(방형구)내 개체를 모두 측정하고 생존본수(생존율)과 활력도를 조사하였다. 조사된 30개 방형구의 활력도는 1.62로 매우 불량하였으며 생존

율은 23.9%(5~53%)로 역시 매우 불량하였다. 불량한 생존율과 활력도는 양분이 부족하고 건조하면 시멘트처럼 굳는 진흙과 미사질토양의 특성에 기인되며 박쥐나방 등의 피해로 인한 도복도 불량한 활력과 생존율의 원인이라고 추정된다. 목재에너지림은 작업로와 수로를 제외하고 순 조림면적만 2012년부터 2016년까지 각각 2.1, 13.8, 30.6, 52.8 및 32.7ha가 조성되었는데 생장은 년도 별로 달랐다. 30개 방형구 성적을 기준으로 추정한 조림지 전체의 평균재적은 22.5ton/ha로 지상부 수령을 고려할 때 년평균 재적생산량은 ha 당 3.8ton으로 추정되었다. 위성촬영사진을 근거로 각 조림지별로 블록(0.3ha) 간의 상대적 밀도를 비교하고 각 조림년도의 방형구의 추정면적을 적용하여 계산된 전체조림지의 바이오매스 양은 생중량 3310ton이며 건중량으로 1840ton이 추정되었다. 연평균 ha 당 건중량생산은 3.3ton으로 방형구에 의하여 예측된 값 3.8ton에 미치지 못하였다. 조림지의 재적생산이 부진한 이유는 년도마다 차이가 나는 심한 고사율인데 2013년 조림지의 경우 조립된 52개의 블록 중 나무가 아예 없거나 20% 미만을 차지하는 블록이 34개 있었는데 이 조림지는 대절처리 후 태풍 피해 및 각시나방, 흰불나방 피해가 실패한 가장 큰 이유이다. 따라서 이곳은 조림을 할 경우 다시 자라날 가능성이 있다. 2014년 조림지도 100여개의 블록 중 32개가 무입목지이거나 20% 이하의 생존본수를 보이며 2015년 조림지도 175개 블록 중 35개가 그러하였다. 2014~2016년 사이에 후기조림이 초기조림보다 3배 이상 많은 면적에 시행되었지만 생산성은 초기조림이 1.5배 더 나았으므로 후기조림의 비중을 더 높일 필요가 있다. mulching은 특히 생산성을 3~4배 증대시키므로 가능하면 mulching을 실시하는 것이 생존율과 생산성을 올려줄 것으로

판단된다. 유기질비료를 준 곳이 주지 않은 곳보다 1.5배 더 생산이 좋았으므로 유기질비료 시비는 반드시 필요하다.

토양양료분석으로 새만금토양 양료함량과 식재된 포플러의 생장과 적응에 관한 상관관계를 분석한 결과 재적생산에는 마그네슘 함량이 중요하며 유기질비료(질소)의 함량은 기준치 이하로 반드시 시비가 필요하지만 우려와는 다르게 인산, 칼륨, 칼슘은 크게 부족하지는 않으며 염분(NaCl)의 경우 아직 농도는 높지만 생장에 심각한 영향을 주는 정도는 아니라고 판단되었다. 그러나 치환성 Na 함량이 기준치보다 매우 높는데 이 문제는 포플러 조림목의 흡수 활동과 표토에 집적된 Na 이온의 강우나 투수에 의한 유실 등으로 시간이 경과하면서 자연스럽게 개선될 것이다. 폴란드에서는 산업폐기용수로 오염된 토양에 버드나무의 조림으로 토양의 Na⁺ 함량이 188%에서 35%로 낮아졌다고 보고하고 있다(Scriba 등 2021).

새만금 목재에너지림의 생장과 생육상태에 대한 기본적인 데이터가 확보되었다. 조립된 포플러의 성장제약인자는 빈약한 토양양분과 갈대 등 경쟁식생이며 이를 위해 mulching 기술적용, 유기질비료 시비 등 기본적인 무육활동이 요구된다. 불리한 토양인자들은 시비와 식재된 포플러의 흡수나 뿌리배출로 개선될 것으로 전망된다. 벌기령은 10년 이상으로 유지하여 평균생산량을 늘리고 조성, 수확비용을 절감하여 경제성을 맞추도록 노력할 필요가 있다. 동시에 소외되었던 간척지를 숲으로 전환시킴으로써 얻는 휴식 공간의 창출 등 경제적 효과를 강조함으로써 이 사업의 정당성을 증명할 필요가 있다.

본 자료는 산림청 용역과제(2022. 10)로 수행한 연구 결과 임

참고문헌

- 김동진, 강다슬, 안병구, 이진호. 2015. 경작지대 및 재배방법에 따른 논토양의 비옥도 분포. 한국유기농업학회지 23: 595-604
- 김현철, 이솔지, 이위영, 강준원. 2016. 수변지 단벌기 목재에너지림에 적합한 포플러 클론 선발. 한임지 105: 103~107
- 김현철, 신한나, 이현호, 여진기, 강규석. 2014. 저농도 액비 처리에 의한 포플러 단벌기 맹아림의 바이오매스 생산. 한국육종학회지 46: 10-16
- 손재권, 송재도, 신원태, 이수환, 류진희, 조재영. 2016. 간척지 염해토양의 특성과 제염기법. 한국유기농업학회지 24: 273-287
- 여진기 박정현 구영본 김현철 신한나. 2010. 간척지 자생 버드나무의 NaCl 농도별 생육반응. 한국토양비료학회지 43: 24-131
- 이종규, 장지휘, 이양, 김해냄, 곽명자, 이태운, 이현경, 김이레, 장경환, 이위영, 강호덕, 우수영. 2017. 새만금간척지에 식재한 포플러 클론의 생리적 특성. 한국임학회지106: 86-195
- 정병간, 조국현, 윤을수, 윤정희, 김유학. 1998. 우리나라논토양의 화학적 분석. 한국토양비료학회지 31: 246-252
- Alijanpour A, AB Shafiei, R Latify. 2014. Effect of planting interval and soil type on qualitative and quantitative characteristics of poplar (*Populus nigra*) plantations in Diwandareh (Kurdistan province, western Iran). J Forest Science, 60 : 89-95
- Cezar Scriba, A Lunguleasa, E-A Salca, VD Ciobanu. 2021. Properties of biomass obtained from short-rotation inger willow clone grown on a contaminated and non-contaminated land. Maderas. Ciencia y Tecnología 23: 14, 1-12.
- Dillen SY, SN Djomo, NA Afasa, S Van Beveren, R Ceulemans. 2013. Biomass yield and energy balance of a short-rotation poplar coppice with multiple clones on degraded land during 16 years. Biomass and Bioenergy 56: 157-165
- Dimitriou I, C Baum, S Baum, G Busch, U Schulz, J Köhn, N Lamersdorf, P Leinweber, P Aronsson, M Weih, G Berndes, A Bolte. 2011. Quantifying environmental effects of Short Rotation Coppice (SRC) on biodiversity, soil and water. IEA Bioenergy Task 43 - Biomass Feedstock for Energy Markets p44
- Hongqiao L, A Suyama, N Mitani-Ueno, R Hell, A Maruyama-Nakashita. 2021. A Low Level of NaCl Stimulates Plant Growth by Improving Carbon and Sulfur Assimilation in *Arabidopsis thaliana*. Plants (Basel) 10: 2138. doi: 10.3390/plants10102138
- Hytönen J, E Beuker, A Viherä-Aarnio. 2020. Biomass allocation and nutrient content of hybrid aspen clones grown on former agricultural land in Finland. Scandinavian J For Res 35(Online)DOI: 10.1080/02827581.2020.1751269
- Kim Y, M-S Kong, E-J Lee, T-G Lee, G-B Jung. 2019. Status and Changes in Chemical Properties of Upland Soil from 2001 to 2017 in Korea. J Environ Agricul 38: 213-218
- Li W, P Ciais, D Malowski, S Peng. 2018. A global yield dataset for major lignocellulosic bioenergy crops based on field me

asurements. Scientific Data 5: 180169. <https://doi.org/10.1038/sdata>.

Proe MF, J Craig, J Griffiths, A Wilson, E Reid. 1999. Comparison of biomass production in coppice and single stem woodland management systems on an imperfectly drained gley soil in central Scotland. Biomass and Bioenergy 17: 141-151

Rutz D, I Dimitriou. 2015. Sustainable short rotation coppice: A handbook. A technical report. SRC+ project report. IEE/13/574, pp104

Stolarski MJ, S Szczukowski J Tworowski, H Wróblewska, M Krzyżaniak. 2011. Short rotation willow coppice biomass as an industrial and energy feedstock. Industri

al Crops and Products 33: 217-223

Tilley DR, GK Fetton. 2008. Biomass production of hybrid poplar(*Populus sp.*) grown on deep-trenched municipal biosolid. Ecol Engineer 33: 8-14

Tufekcioglu A, L Altun, HZ Kalay, M Yilmaz. 2005. Effects of some soil properties on the growth of hybrid poplar in the teme-gölar region of Turkey. Turk J Agric For 29: 221-226

Zhang J, Q Sun, J Zhou, Q Shan, L Wu. 2009. Biomass Production of Poplar Plantation Ecosystem in Yangtze River Beach Land. Energy & Power Engineering 81-84 doi:10.4236/epe. 2009.12012

2021~2022년 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 실태조사 결과

한국포플러속성수위원회 노은운, 구영본, 장경환
국립산림과학원 이일환, 오창영

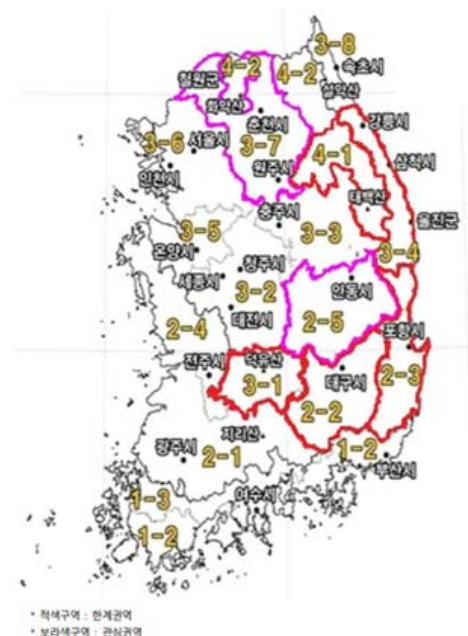
머리말

백합나무는 북미가 원산지인 교목성 낙엽활엽수로 수간은 통직하고 수고가 상당히 높으면서 성장속도가 빠르고 수명도 긴 편이다. 북미 조림지의 성장도 테다소나무에 못지않은 것으로 알려져 있다. 우리나라에서는 1970년대에 시험적으로 도입되어 산발적으로 조림된 바 있는데 현장의 평가는 유보적인 경우도 많다. 그 이유는 시험조림에서 우수한 성적을 보이는 경우도 있었지만 토양 및 지역에 따라서 생육이 부진하거나 실패한 사례도 보고되고 있기 때문이다. 인공조림지의 경우 미국에서도 적절한 입지에 식재된 백합나무 조림지는 드물다고 하였다. 그러나 좋은 성장을 보이는 몇 곳의 결과는 적절한 조건에서는 우수한 생장이 가능하다는 것을 보여주는데 조림된 백합나무의 가장 좋은 생장은 조지아주 산록의 저지대 폐농지에서 17년생일 때 평균 21m의 수고였다고 한다. 따라서 외래수종 백합나무의 정착의 실패사례들이 국내의 지역적 토양 기후적 환경의 이질성 때문인지 그 실패원인을 구명하여 초기에 바로잡는 것이 장기적인 대단위 조림사업에서 가장 중요한 선결과제일 것이다.

우리나라에서는 산림식물대를 기반으로 식물의 분포, 적응 및 생장에 영향이 큰 생태계 조절의 주요 독립 인자인 기온, 습도 등의 인자를 척도로 하여 23개 생육권역으로 세분한 바 있다(최완용 등 1999). 이 생육권역을 기반으로 백합나무

조림지의 활력, 생존상태 등을 척도를 기반으로 백합나무의 '잠정적 조림한계 구역'을 설정하였다(산림청 2017). 그간의 조사에서 위 생육권역과 연계한 총 조사 조림지 65개소에 대하여 생존율, 생육특성, 활력 등의 적응관련 척도로 적합도 검정 결과 6개 권역(2-2, 2-3, 2-5, 3-3, 3-4, 4-1)이 조림 부적합지로 나타났다. 그 동안 이와 유사한 조사결과가 여러 차례 보고되었으나 전국 규모의 실태조사에서 조사대상의 조림지의 수가 적고 수령이 어려서 판단에 어려운 점이 있었다.

본 과제에서는 2012년 이전에 전국에 조성된 55개 조림지를 대상으로 2년에 걸쳐서 지형적,



토양적, 기후적인 요소들과 조림된 백합나무 임분의 생장 및 건전성 등을 등급화하여 상관성을 분석함으로써 이 조림부적합지 설정이 타당한지 확인하고자 하였다.

접근방법

본 연구도 기존에 선행되었던 조사와 같이 조림지의 지형, 토양과 기후의 상관관계를 따져서 관계를 조림지 개체들의 생장과 적응을 판단하고자 하였다. 백합나무가 환경에서 완벽하게 적응하고 성장하는 것을 평가하는 기본적인 잣대로 정량적인 재적생장과 정성적인 자람새, 건강도, 활력의 적응형질의 발현 정도를 지수화하여 이용하였다. 각 조림지에서 우량, 보통, 불량 3개 방형구(10m x 20m)를 떠서 그 안의 5개체씩에 대한 흉고직경, 수고, 자람새, (혹은 활력 및 생존상태), 건강도 등 적응도를 조사하였다. 조림년도, 지위, 환경, 기후 등이 다른 조림지의 성적을 비교하기 위하여 위의 4개 조사항목에 대하여 항목별로 표준화 값(GV; generalized value)을 구하였다. GV값은 아래 수식을 이용하여 산출하였다.

$$GV_i = (X_i - \bar{X}) / SD$$

여기서 GV_i 는 i -번째 조림지의 표준화 값, X_i 는 i -번째 조림지 측정치 평균값(즉, 재적생장, 활력, 생존상태, 건강도), \bar{X} 는 전체 조사 대상 조림지 측정치의 평균이며 SD 는 표준편차이다. 생장, 활력, 생존상태, 건강도 등 개별 척도에 대하여는 거시 환경인자와의 상호관계, 생장·적응 관련 개별 척도간의 상관성 등을 고려하여 가중치를 부여하여 아래 수식으로 조림지별로 가중평균하였다.

$$GV_t = \sum GV_{i,j} \cdot C_j$$

여기서 GV_t 는 개별 척도 GV_i 에 대한 중요도에 따라 결정된 가중평균값이며 C_j 는 j -번째 척

도에 대한 중요도에 따른 가중치이다.

조사대상 조림지는 2012년 이전에 조성된 조림지로 조림지마다 조림년도가 다르고 환경이 다르기 때문에 수확표상 20년이 되는 재적으로 보정하여 생장을 비교하였다.

조사된 기후 요소는 기상청기후데이터센터의 과거 10년간 평균기온, 생장기기온, 춘계기온, 1,2월 최저기온평균, 7,8월 최고기온 평균, 년강수량, 생장기강수량, 춘계강수량, 동계강수량, 년평균습도, 생장기습도, 춘계습도, 동절기습도 등을 추출하여 사용하였고 유효수분, 생장기유효수분 등은 온도, 습도, 강수량, 해발고도, 위도 등의 정보를 이용하여 계산하였다. 기상대 온도와 조림지의 온도 차이는 해발고도 등을 감안하여 보정하였다.

생장 및 적응을 기반으로 한 백합나무 적지 판정의 기본적인 가설은 Holdridge의 life zone system인데 이는 먼저 대기후가 지구의 생태계를 조절하는 주요 독립 인자이며 지형, 토양 특성 등은 부차적 역할을 하는 것으로 가정하였다. Braun은 Holdridge 생활대 지도를 근거로 미국 동부 8개의 산림구역에 대한 기후 평균값을 제시하였으며 백합나무가 속한 참나무·밤나무·백합나무구의 평균값은 온도 12.0°C, 강수량 1,138mm, 증발율(E/P율) 0.622이라고 하였다. 본 조사에서 우리나라의 경우 이 기준이 적용이 되는지 생장 및 적응데이터로 검증하였다. 그 다음 비교적 적응 및 생장 장애가 적었던 생육권역을 중심으로 10년 이상 대상임분 47개소를 선정하여 생장과 입지·환경을 조사하여 대상 조림지의 입지·환경인자(국소지형, 방위 등)와 토양인자(물리적, 이화학적 특성)와 백합나무의 생장 및 적응특성과의 관계를 분석하여 조림적지의 환경인자를 구명하고자 하였다.

조사결과

전반적인 생장

47개 전체 조림지의 전체(우량, 보통, 불량 합친)의 20년생 때 평균 예상재적생장은 0.057m³이며 47개 전체 조림지 중 가장 우량

한 조림지는 충주 수회로 년 재적생장량이 0.162m³ 였고 그 뒤를 이어 보성 장좌, 강진 명주, 춘천 감정, 용인 고매 등이 우수하였다. 가장 불량한 조림지는 가평 목동의 0.014m³로 나타났다. 19개 조림지가 평균보다 잘 자랐고 28개 조림지는 평균에 못 미쳤다. 즉, 일부 우량조림지의 생장이 전체평균값을 크게 끌어올렸다.

권역별 생장과 기후양상

크게 4가지 생육권역으로 비교해보면 가장 높

은 년평균재적생장은 1권역의 0.053m³이며 가장 낮은 값을 보인 것은 0.017m³인 4권역이었다. 2, 3권역은 평균적으로 재적생장에서 큰 차이가 없었으며 1권역과 4권역의 중간 값을 보이고 있다. 즉, 4권역에 조림하면 1권역에 조림한 경우 보다 단 32%, 2권역의 절반의 재적생장이 기대된다.

미국의 백합나무 원산지의 우량한 조건에서 년 재적생산은 0.059m³로 1권역 평균보다 약간 높다(Clatterbuck (2004).

특히 원산지에서 지위지수 50의 경우 수고가 33m에 이르지 못하면 불량임지라고 규정하고 있는데 춘천 감정, 완주 신촌의 우량구에서도 50년생일 때 수고는 28m에 도달하지 못하여 원산지에 비하여 환경이 열악함을 확인할 수 있다.

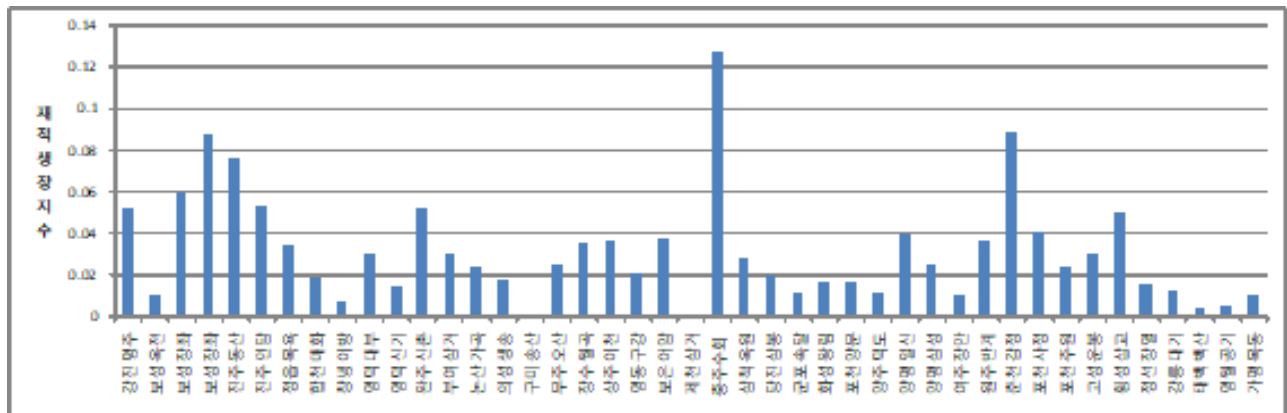


그림 1. 백합나무 조림지별 년평균재적생장(단위 m³)

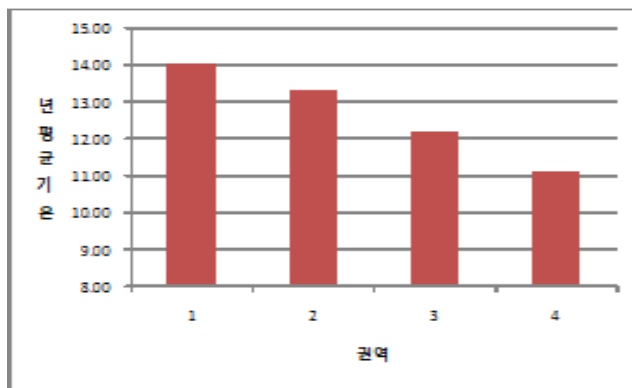


그림 4. 권역별 년 평균기온(°C)

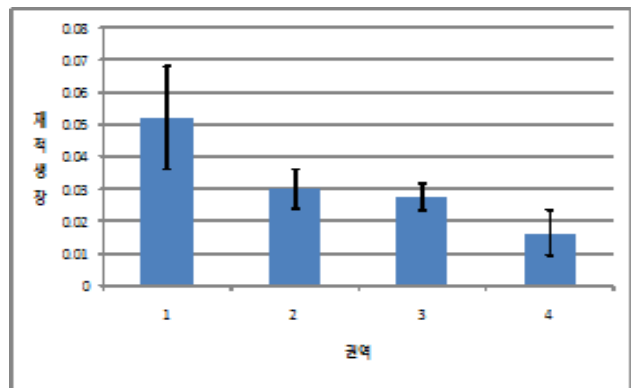


그림 5. 권역별 년평균재적생장(m³)

표 1. 각 소권역의 재적생장 및 적응지수의 통합적 평가가치

소권역	HD ² , _{20y}	GVg(0.4)	활력	GVv(0.3)	생존상태	GVs(0.15)	건강도	GVh(0.15)	GVt
1-2	0.0525	1.0435	4.4	1.6607	4.4	1.4661	4.2	0.5271	1.2146
1-3	0.0530	1.0696	3.6	-0.3036	3.8	0.1765	4.1	0.3624	0.4176
2-1	0.0546	1.1534	4.0	0.7168	4.3	1.3982	4.4	0.9976	1.0358
2-2	0.0137	-0.9880	3.1	-1.5918	3.1	-1.3620	3.1	-2.1200	-1.3950
2-3	0.0228	-0.5115	3.3	-1.0816	3.3	-0.8529	3.4	-1.4141	-0.8692
2-4	0.0358	0.1691	4.3	1.4056	4.3	1.4095	4.6	1.5388	0.9316
2-5	0.0100	-1.1817	3.7	-0.1888	3.7	-0.0045	3.9	-0.1200	-0.5480
3-1	0.0301	-0.1293	4.2	1.0230	4.0	0.5611	4.2	0.5271	0.4184
3-2	0.0320	-0.0298	3.7	-0.0740	3.9	0.3348	4.1	0.2212	0.0493
3-3	0.1055	2.7398	3.9	0.4362	3.2	-1.1131	3.8	-0.5318	0.9801
3-4	0.0286	-0.2079	4.0	0.6403	3.7	0.0452	4.5	1.2329	0.3007
3-5	0.0207	-0.6215	3.6	-0.5077	3.6	-0.2308	3.9	-0.1788	-0.4623
3-6	0.0141	-0.9670	4.0	0.7372	4.0	0.7195	4.3	0.7624	0.0566
3-7	0.0395	0.3628	3.9	0.4592	3.9	0.4480	4.1	0.2918	0.3938
3-8	0.0311	-0.0770	3.7	-0.1250	3.8	0.1086	4.1	0.2918	-0.0082
4-1	0.0193	-0.6948	3.0	-1.8087	2.7	-2.2896	3.2	-1.8729	-1.4449
4-2	0.0110	-1.1293	3.2	-1.4005	3.4	-0.7964	3.8	-0.5318	-1.0711

전체적으로 보면 보성 장좌의 경우를 제외하고 상위에 자리 잡은 우량생장 조림지의 특징은 체계적인 무육관리를 받는 기업림(강진 명주), 국가시험림(충주 수회, 용인 고매), 지방자치단체 관리림(춘천 감정, 완주 신촌, 군포 속달, 임실 두곡, 진주 동산)으로 이들의 년평균 재적생장량은

0.074m³였다. 관리를 받지 않으면서 생장이 우수한 보성 장좌, 진주인담 등은 기후가 우호적인 남부권역(1-3, 2-1)에 조림된 경우이다.

그 간의 보고된 백합나무 성장성적은 이러한 관리림의 결과를 근거한 경우가 대부분이었으므로 심하게 과대치일 가능성이 높다. 그 이유는

표 2. 각조림지별 기후와 생장 및 적응 형질의 Pearson 상관계수와 유의성수준

	년평균 기온	생장기 평균기온	1,2월 최저온도	년 강수량	3,4,5월 강수량	동계 강수량	생장기 유효수분
재적생장	0.36**	0.33**	0.29*	0.43***	0.49***	0.33**	0.40***
활력	0.43***	0.50***	0.37**	0.24	0.11	0.30**	0.09
생존상태	0.53***	0.58***	0.43***	0.36**	0.28*	0.32**	0.23
건강도	0.5***	0.54***	0.43***	0.28*	0.18	0.32**	0.15

*: p<0.1, **: p<0.05, ***: p<0.01

적지에 심겨진 일반사유림조림지의 경우도 년평균재적 성장량은 0.047m^3 에 불과하며 중부 이북의 경우는 그 값도 절반 정도에 그치기 때문이다. 따라서 백합나무조림을 전국사유림으로 확대할 시 특히 경기북부, 강원 지역에서는 조림 후 풀베기, 시비 등 집중관리를 하지 않는다면 현실적으로 좋은 성적을 기대하기 어렵다.

기후인자중 재적생장에 가장 상관이 큰 것은 년평균강수량, 춘계강수량, 성장기유효수분이었으며 년평균기온과 성장기기온, 동계강수량이 보통 정도의 유의적인 상관을 보였으며 1,2월 최저온도는 약한 상관을 보였다. 그 반면 활력, 생존 상태, 건강도는 모두 기온에 강한 상관관계를 보였다. 습도는 상관관계가 거의 나타나지 않았다.

GVt 값에 의하면 백합나무 부적지가 자명해진다. 눈에 띄는 지역은 추운 4-1, 4-2 권역인 중부 고산지대와 그와 인접한 제천, 또 다른 지역은 건조한 합천, 창녕, 영덕이다. 생장이 부진한 의성, 구미 등은 강수량이 적은 지역이다. 적응형질에서 눈에 띄는 소구역들의 특징은 부여에서 보은, 포천, 양평 등에 이르는 중부내륙권은 생장이 우수하지 못하지만 적응형질에서 우수하여 GVt가 평균에 가깝지만 합천, 창녕, 영덕 등 건조지역과 횡성, 태백, 영월, 강릉(삽당령)과 가평같은 추운지역은 성장도 부진하고 적응형질발현도 부진하여 하위로 밀려난 것을 볼 수 있다. 따라서 우리나라에서 백합나무의 정상적인 생장과 적응을 방해하는 기후요소는 강수량(건조)과 온도(추위) 때문인 것으로 추정된다.

극한기후

그 밖에 평균치보다 훨씬 낮거나 높은 극한 환경이 백합나무의 생장과 적응에 심각한 영향을 주고 있는 것으로 보인다. 그러한 범주에 들어가는 권역은 1,2월 최저온도(평균 -13.39°C)에서

4-1 권역(-19.05°C), 3-3 권역(-18.25°C), 4-2 권역(-17.21°C), 7,8월 최고온도(평균 34.66°C)에서 2-2권역(창녕, 합천, 36.56°C), 2-5권역(구미, 의성, 36.02°C), 2-3권역(영덕, 35.94°C)이 가장 높은 것으로 나타났다. 동절기강수량은 전국평균이 147.7mm 인데 2-5권역(구미, 의성)은 90.9mm 에 불과하였고 동절기습도(전국평균 63.9%)의 경우 3-8(고성) 권역은 49.9%, 2-3권역(영덕)은 51.3%에 불과하였다.

백합나무의 한계지역제시

백합나무의 환경인자중 재적성장지수, 자람새, 활력, 건강도에 $p < 0.001$ 이상의 수준으로 유의성을 보이는 인자들만 이용하여 한계인자들의 임계치를 찾아내고자 하였다. 백합나무 전체 조림지의 환경인자들을 GVt 순으로 배열한 후 4분위로 나눈 그룹 중 최하위 그룹(그룹 4)의 환경을 불량환경으로 규정하고 차상위 그룹(그룹3)과의 경계를 임계점으로 계산하였다. 따라서 이 수치는 전국 조림지 141개 조사구의 성적에서 4분위 중 3분위와 4분위의 경계값이다.

대략적으로 위도와 경도는 "OR" 형식으로 각각 단독적으로 해석할 데이터가 아니라 "AND"의 개념으로 해석하여야 한다. 즉, 위도가 37.2° 이면서 동시에 경도가 127.8° 이상인 지역이다. 경도만 놓고 보면 127.8° 동쪽 지역이 비우호적인 지역이다. 평균기온은 11.2°C 이하 지역으로 제천, 횡성, 태백, 정선, 삽당령, 대관령, 무주, 장수가 여기에 속한다. 이 값은 Braun model이 제시하는 12°C 보다는 더 낮은 값이다. 강수량은 Braun model의 1180mm 가 아닌 1220mm 이하인 지역으로 나타났으며 성장기 강수량은 1080mm 이하 지역 등으로 나타났다. 이러한 차이는 원산지와 우리나라의 년중 강우양상이 다르기 때문으로 추정된다. 그러나 이중 한 두 가지의

제한요인이 크게 작용하기 보다는 여러 인자의 상호작용으로 한계지가 결정되므로 어느 지역이 이중 몇 가지에 걸리는지 고려할 필요가 있다.

표 3. 백합나무의 성장 및 적응에 영향을 주는 기후 및 토양인자의 임계점

기후토양인자	제한요인
위도 + 경도	>37.2°+ >127.8°
경도	>127.8°
연평균기온	11.2℃이하
유효수분	-20mm이하
생장기유효수분	-190mm이하
평균습도	68.10% 이하
춘계습도	61% 이하
동절기습도	63% 이하
평균강수량	1220mm 이하
7.8월최고기온	34.3℃이상

적지판정을 위한 성장·적응관련 환경인자

우량구-불량구 차이를 만들어내는 인자들

백합나무의 조림적지를 구명하기 위하여 입지·환경인자 및 토양인자를 중심으로 분석한 결과 백합나무의 입지(우량, 보통, 불량구)별 20년생일 때 연평균 재적생장은 0.0516m³이고, 우량, 보통, 불량구는 각각 0.08918m³, 0.0528m³, 0.0290m³로 나타났으며 우량구는 불량구에 비하여 약 3.1배 가까운 성장을 하고, 보통구는 1.8배 정도 우수한 성장을 하였다. 이 중 양극단인 우량과 불량입지를 비교함으로써 입지·환경인자 중 백합나무 재적생장과 밀접한 관계가 있는 인자를 확인하였다.

표 4. 우량구와 불량구의 재적, 자람새, 건강도의 차이

	우량구	불량구	유의수준
재적(m³)	0.089	0.029	***
자람새	4.3	3.89	***
건강도	4.6	4.12	***

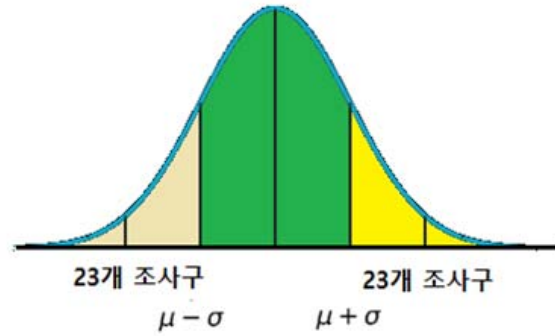


그림 10. 재적성장지수 순위의 표준편차 순으로 나눈 우량집단과 불량집단

표 5. 우량구와 불량구간에 고도로 유의성있는 환경인자들

환경인자	우량구	불량구	유의수준
풍노출	3.3	2.66	***
국소지형	3.14	3.9	***
전토심(cm)	54.11	47.4	***
유효토심(cm)	36.44	31.51	***
치환성칼슘(c mol/kg)	1.678	1.012	***

우량구와 불량구간에 고도로 유의성있게 차이나는 것으로 확인된 5개의 환경인자들은 풍노출, 국소지형, 전토심, 유효토심, 토양내 치환성칼슘 함량였다. 이들은 모두 $p < 0.01$ 의 높은 유의수준을 보이고 있다. 그 반면 경사, 암석노출, 석력함량, 토양건습도, 토양건밀도, 전질소함량, 토양 pH, 치환성마그네슘, 양이온교환용량, 유기물, 오산화인 등은 우량구와 불량구간에 차이가 없었다.

전체조사구의 상위 하위 표준편차 그룹의 차이와 상관인자들

마지막으로 재적성장지수가 우량한 조림지와 불량한 조림지를 구분하여 환경인자들과의 상관을 비교하였다. 47개 조림지의 우량, 보통, 불량구를 망라하여 141개 조사구를 재적순으로 배열하였다. 가장 우수한 조사구 층주 수회의 우량구

로 부터 가장 불량한 조사구 가평 목동의 불량구 까지 정렬한 후 1 표준편차(σ) 이상 23개 조사구와 1표준편차(σ) 이하의 23개 조사구를 비교하였다.

표 6. 상위 23개조사구와 하위 23개 조사구간의 유의성이 확인된 환경인자

환경인자	상위 1σ	하위 1σ	유의수준
재적	0.1313	0.0109	***
자람새	4.3	3.71	***
건강도	4.72	3.94	***
풍노출	3.48	2.17	***
국소지형	3.17	4.02	***
유효토심	36.6	31	***
관리상태	2.78	1.72	***
전토심	53.5	48	**
칼슘 (cmolc/kg)	2.18	1.08	**
마그네슘 (cmolc/kg)	0.65	0.3	**
pH(1:5)	4.81	4.56	*
건습도	4.78	4.33	*

표 6은 우량한 상위 23개 조사구와 불량한 하위 23개 조사구의 환경인자의 차이에 대한 분산분석(ANOVA)을 실시한 결과이다. 분석한 23개의 환경인자들 중 풍노출, 국소지형, 유효토심에서 고도의 유의성($p < 0.01$)이 인정되는 반면 전토심, 치환성칼슘은 치환성마그네슘은 중간정도($p < 0.05$)의 유의성을 보였으며 토양 pH와 토양건

습도는 낮은 수준($P < 0.1$)의 유의성을 보였다.

확인된 생장 및 적응 상관 인자들

3가지 다른 방법으로 확인한 재적생장지수와 고도로 유의성($p < 0.01$)있는 환경인자들 중 공통적인 것들로는 풍노출, 국소지형, 유효토심(전토심 포함), 치환성칼슘이 일관성있게 재적생장과 유의적인 상관인자로 확인되었으며 자람새에는 이 외에도 동절기습도와 임목도가, 건강도에는 경도, 동절기습도, 임목도가 추가적으로 상관이 있는 것으로 밝혀졌다.

그 외에도 $p < 0.05$ 수준의 유의성을 보이는 인자들로 토양건습도, 치환성칼륨, 토양내 전질소 함량, 토양 pH, 년 평균기온, 년 평균최저기온, 평균습도, 생장기 최저습도, 3,4,5월 최저습도, 유기물함량, 년 유효수분이 확인되었다.

백합나무의 분포를 결정하는 인자들의 임계점 확인

임계점 확인을 위하여 GVt를 기반으로 위의 정규분포도의 4구간을 이용하였다. 상·하위 1σ 를 벗어난 23개 최우량 및 불량조사구를 각각 group 1, group 4로 지정하고 평균에서 $1+\sigma$ 까지 47개 조사구를 group 2, $1-\sigma$ 까지를 48개 조사구를 group 3으로 구분하였다. 이 각 그룹의 환경인자중 앞에서 확인된 고도로 유의성있는 인자들을 대상으로 분산분석을 실시하였다.

표 7. 4개 생장 그룹에서 경향을 가지고 차등적인 변화가 발생하는 인자들의 예

	평균 위도	평균 경도	유효 토심	년평균 기온	년 강수량	P205 (mg/kg)	pH (1:5)	전질소 (%)	치환성칼륨 (cmolc/kg)
Group A	36.3	127.33	33.6	11.4	1278.1	13.59	4.46	0.193	0.27
Group B	36.3	127.20	36.3	11.8	1314.3	5.36	4.38	0.102	0.19
Group C	36.7	127.58	33.3	11.3	1273.7	3.91	4.27	0.182	0.16
Group D	37.2	128.03	31.2	11.1	1173.1	2.22	4.25	0.062	0.16

평균기온, 년강수량, 유효토심, 풍노출 등이 한계분포지를 결정하는 중요한 인자로 밝혀졌지만 기후보다 적지판정의 지표로서 오산화인, 토양 pH, 전질소함량 및 치환성칼륨이 경향이 뚜렷하였다. 특히 오산화인과 전질소함량이 불량그룹에서 많이 부족하며 토양도 가장 산성화되어있었다. 따라서 한계지를 피하고 적지범위에서 조림을 할 경우 기본적인 토양양료에 대한 조사가 필요할 것이다.

한계지 및 적지판정에서 예상 외의 결과를 나타낸 조림지

가장 예외적인 조림지는 생장이 가장 우수한 충주수회 및 가장 불량한 곳 중의 하나인 제천 삼거 조림지였다. 제천과 충주는 모두 3-3권역에 속하는데 두 조림지 모두 기후환경은 좋지 않다. 그러나 충주 수회는 채종원 가운데 자리 잡아서 관리가 잘 된 반면 제천 삼거의 경우 조림 당년 겨울 혹한으로 한해를 입어 거의 전멸되다시피한 곳으로 실패한 조림지였다. 적극적인 무육관리의 효과가 불리한 기후환경을 극복하고 가장 우량한 조림지를 만들어낸 결과이다.

표 8. 조림지성공에 필요한 인자들의 환경기준

	추천	보통	비추천
국소지형	평지~산록	산록~산복	능선, 산정
풍노출	보호~보통	보통~노출	노출심
유효토심	35 이상	32~35	32 이하
토양 pH	4.42이상	4.26~4.4 2	4.26이하
유기물	47이상	23~47	23 이상
전질소	0.08 이상		0.08 이하
칼슘	1.8 이상		1.8 이하

다른 예외적인 경우는 보성 장좌의 2개 조림지가 우수한 생장을 하는데 반하여 직선거리로 7k

m 떨어진 보성 옥전 조림지는 생장이 매우 불량하였다. 보성옥전 조림지는 우호적인 기후환경에 유기물, 전질소함량이 풍부하지만 토양 pH4.0으로 전체 조림지중 가장 낮고 치환성칼슘이 조림지 평균 1.28 cmole/kg 보다 훨씬 낮은 0.2cmole/kg을 기록하여 최저함량을 기록하였다. 즉, 조림지의 부진한 생장은 낮은 토양 pH로 양이온의 용탈이 일어난 결과로 추정된다.

가평 목동 조림지의 경우 한해 피해를 입지도 않았으며 특별히 열악한 토양 조건이 아님에도 불구하고 전체조림지 중에서 가장 불량하였는데 그 원인은 알 수 없었다.

결론

백합나무 한계권역 명정을 위하여 생장과 적응특성을 조사하여 기상인자와 생장·적응특성과의 관계를 분석하였다. 그리고 각 조림지의 미시환경인자인 입지·환경과 토양인자를 중심으로 분석하였다.

기온은 생존형태에 영향을 주며 강릉 대기 등 4-1 고산 생육권역, 3-3 충북내륙권이 한계지로 구분되는데 특히 1,2월 최저기온이 이 권역이 한계지인 가장 큰 원인이다. 강수량은 재적생장과 가장 상관이 있으며 의성, 영덕 등이 낮은 강수량 때문에 한계지로 분류되었다. 유효 수분, 특히 생장기유효수분이 재적생장과 밀접하지만 특히 2-3, 2-5지역이 유효수분이 크게 부족하여 강수량과 함께 구미, 의성, 영덕이 한계지에 해당되었다.

Braun model을 적용하여 분포지를 구분하는 것은 몇 가지 문제로 적용이 쉽지 않았는데 첫째는 년 중 균일하게 비가 내리는 원산지와 달리 여름에 집중되는 우리나라의 강수 양상으로 원산지의 강수량과 습도 기준을 적용하는 문제, 그리고 자연림이 아닌 우리나라의 인공림의 적지를

넓은 분포지의 자연림의 데이터 기준에 적용하는데 따른 문제점이다. 마지막으로 인공조림지의 특성상 조림무육의 인위적인 간섭의 역사가 현상을 왜곡하였을 가능성인데 이는 모든 환경지표에서 불리한 충주수회의 성과가 증명한다.

임지·환경인자 중 국소지형(부의 상관), 풍노출, 유효토심 인자는 백합나무 재적생장과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 토양의 화학적 성분 중 토양 pH, 치환성칼슘의 함량도 백합나무의 재적생장과 고도의 유의적인 상관을 가지는 것으로 밝혀졌다. 그러나 이러한 상관들이 고도의 유의성은 있으나 상관계수는 대부분 0.5이하였는데 이는 여러 환경인자가 모여서 생장과 적응특성에 영향을 미치기 때문이다.

4권역을 포함한 모든 권역에서 집중관리를 할 경우 괜찮은 생장을 보이는 사례들이 많이 관찰되고 있었다. 춘천 감정, 정선 장열의 조림지가 그 예이다. 결국 원산지와 마찬가지로 백합나무는 남부권역이 우호적인 환경이지만 우리나라 전역에서 남부권역만큼은 아니더라도 조림초기에 운 좋게 몇 년에 한번 오는 흑한을 피할 수 있다면 정상적인 조림지로 발달할 가능성이 크다고 할 수 있다.

본 조사결과는 이전에 수행되었던 여러 조사들의 결과를 재확인한 것으로 판단된다.

(본 조사는 국립산림과학원 임목육종과의 용역 과제로 수행되었다)

참고문헌

Beck, DE. 1990. "Liriodendro tuplifera L., Yellow-Poplar" In: Silvics of North America Vol. 2. Handwoods. Edited by Burns, R.M. and Honkala, B.H. USDA For. Serv. Agric. Handbook 654. p405-415.

Clatterbuck W. 2004. Growth and Development of Yellow-Poplar Plantations On Three Sites Ranging From 9 to 18 Years. Gen. Tech. Rep. SRS-71. Asheville, NC: U.SDA, Forest Service, Southern Research Station. pp. 184-186

Holdridge, LR. 1947. "Determination of world plant formations from simple climatic data". Science. 105 (2727): 367-8. Bibcode:1947Sci.105.367H.doi:10.1126/science.105.2727.367. PMID 17800882

MvCarthy EF 1933. Yellow poplar characteristics, growth, and management. USDA, Technical Bulletin No. 356

Olson, DF, Jr. 1969. Silvical characteristics of yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). U.S. Dep. Agric. For. Sew. Res. Pap. SE-48, 16 p. Southeast. For. Exp. Stn., Asheville. N. C.

Russell M, BH Honkala, 1990, Silvics of North America: 1. Conifers; 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC. vol.2, 877 p.

USDA, For. Serv. 1965. Yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). In Silvics of forest trees of the United States. H. A. Fowells, compiler. U.S. Dep. Agric., Agric. Handbook. 271, p. 256-265.

USDA Forest Service. 1968. Silvical Characteristics of Yellow-Poplar. USDA Forest Service Research Paper SE-48.

국립산림과학원. 2000. 백합나무조림기술 103 pp

국립산림과학원. 2008. 백합나무 생장 특성과

이용기술. 연구자료 320호.

국립산림과학원. 2008. 백합나무 조림적지 및 타당성 조사. 연구 보고 08-13.

국립산림과학원. 2010. 백합나무의 특징 및 관리. 국립산림과학원 자료집 108pp.

국립산림과학원. 2011. 백합나무 조기선발 기준 41p.

국립산림과학원. 2011. 백합나무 바이오순환림 조성 및 관리 176p.

국립산림과학원. 2014. 임목재적·바이오매스 및 임분수학표 261p.

노의래. 1982. Path analysis에 의한 *Populus alba x Populus glandosa* F₁ clone의 적지 판정에 관한연구. 서울대학교 박사학위 논문

노의래. 1983. 기상인자에 의한 우리나라 삼림수종의 생육범위 및적지적수에 관한 연구

노의래. 1988. 기상인자에 의한 우리나라 주요 산림수종의 생육조건 및 적지적수. 임목육종 연구보고 24:138-191.

노의래, 이성규. 2011. 백합나무 조기선발 기준 설정. 국립산림과학원 위탁과제 보고서, 43p(한국포플러위원회)

다니엘, 헬름스, 베이커. 1986. 조림학원론. 이돈구·홍석각 역. 대한교과서주식회사.

마상규. 1977. 수치적 접근 방법에 의한 산림 토양의 비옥도 평가. 한임지 35: 1- 8.

박은식, 2010. 바이오순환림 조성 및 클론생산 계획. 백합나무 바이오순환림 조성 현장 토론회 자료집.

산림청. 2014. 종묘사업실시요령. 산림청예규집

산림청. 2017. 바이오순환림 조림지 모니터링 보고서. 위탁연구기관 (사)더좋은나무만들기

유근옥, 2003. 백합나무 적응성 검정 및 양묘 기술 개발. 충북대학교 박사학위 논문

유근옥, 한 무석, 노 의래, 김 인식. 2014. 백

합나무의 재적생장에 대한 수령 간 상관. J. Agricultural & Life Sci 48: 13-23,

이재천 등 10인. 2017. 바이오순환림 조림지 모니터링 용역 보고서. 산림청 용역과제 보고서 (더좋은나무만들기) 98pp.

정태현, 이우철. 1965. 한국삼림대와 적지적수론. 성대논문집 10집 :329-435.

최완용, 탁우식, 임경빈. 1999. 기상인자에 의한 우리나라 산림의 산지구분. 한임지. 88(3) ; 379-388.

목본류의 배수체 육종 현황 및 전망 - 포플러류를 중심으로

KTH, Korindo, 인도네시아 문 흥 규

서론

배수체란 한 식물 개체가 세포 핵 당 두 개 이상의 완전한 염색체 세트를 지닌 상태를 말하며 자연상태에서 흔히 발견이 된다. 배수체는 종 분화와 환경 적응의 산물로 인식되고 있으며, 여러 학자들은 현화식물의 약 47~70%가 배수체 기원으로 추정하고 있다.

배수체를 설명할 때 문자 'x'를 사용하여 배수체의 수준(level)을 정의 한다. 2배체는 2조의 기본 염색체가 있기 때문에 2x이고, 4배체는 4조의 염색체를 포함하기 때문에 4x이다. 유전학자들은 흔히 'n' 표기법을 같이 사용하여 배수체를 더 명확하게 설명한다. 정상적인 이배체와 배수체 모두에서 n은 배우자 염색체 수를 나타내고, 2n은 수정 후의 염색체 수이다. 따라서 이배체의 경우 $n=x$ 이고, $2n=2x$ 이다. 그러나 4배체의 경우는 $n=2x$ 및 $2n=4x$ 이고, 6배체의 경우는 $n=3x$ 및 $2n=6x$ 가 된다. 예로서 2배체 포플러는 $2n=2x=38$ 이고, 4배체 자작나무는 $2n=4x=56$ 로 나타낸다.

여러 가지 중요한 다수의 농작물이 배수체이어서, 식물육종가들은 바람직한 특성을 유도하기 위한 작물 개량의 도구로 배수체를 활용하고 있다. 배수체는 흔히 형태적, 생리적 및 생화학적 특성변화를 보이며, 환경적응성이 넓고 이로 인해 장구한 진화 과정의 가혹한 환경에서 생존해온 것으로 보고 있다.

어떤 배수체는 유전자 활성화와 효소 다양성이 증가되며, 광합성능, 생산성, 바이오매스,

괴경, rhizome, 뿌리, 과실, 꽃의 크기, 엽장, 엽 두께, 색깔의 강도, 개화시기 등이 달라질 수 있다. 또한 양료결핍, 병해충, 가뭄, 추위에 대한 내성을 지니며, 약용식물에서는 1차, 2차 대사산물의 증가를 보이는 경우도 있다. 더욱이 이종(異種)간 교잡이나 염색체가 다른 종간의 교잡에서 생기는 불화합성 문제를 극복할 수도 있다.

관습적으로 배수체는 크게 두 가지 그룹으로 나뉜다. 하나는 이질배수체(allopolyploidy)로 자연에서 많이 관찰되며, 두 가지 혹은 그 이상의 서로 다른 종의 교잡으로 생긴다. 다른 하나는 한 종에서 상동성 게놈의 배가로 생기는 동질배수체(autopolyploidy)이다. 예로써, AAA 게놈 그룹은 대부분 동질배수체를 형성하는데, 바나나 *Musa acuminata* (A-게놈)는 상업적인 이용에 중요하다. 바나나 *Musa acuminata* 2배체와 *M. albisiana* (B-게놈)간의 이종간 교잡은 AB, AAB, ABB 및 ABBB 같은 다양한 이질배수체를 만든다.

배수성과 식물 육종

식물에서 배수체의 특성 발현은 개화시기, 바이오매스, 잎의 형태 등으로 다양하게 나타나 여러 작물의 선발이나 순화(domestication)를 가능케 한다. 이러한 특징 때문에 배수체 육성은 식물개량의 믿을 만한 방법이 될 수도 있다. 작물은 물론 다양한 영양번식 식물의 꽃이나 과소에서 배수체가 나타난다.

배수체의 효과는 흔히 표현형적인 활력증가, 혹은 새로운 환경조건에서의 적응성 효과와 관련이 있다.

식물에서 배수체로 인한 가장 큰 변화는 계놈 배가에 따른 세포 크기의 증가이며, 흔히 gigas effect라 부른다. 따라서 배수체는 2배체보다 뿌리, 잎, 결절(tubercles), 과실, 꽃, 종자의 크기가 커질 수 있다. 4배체의 세포는 2배체 보다 거의 두 배의 크기이다. 그러나 이것이 식물 전체나 기관의 크기 증가를 가져오는 것은 아니다. 배수체의 세포분열 수가 흔히 감소되기 때문이다. 이로 인해 배수체는 생장이 저조하며, 개화가 늦고, 오래 피는 경향이 있다. 이러한 특성은 원예식물에서는 좋은 특성이 될 수도 있다.

배수체의 이러한 특성으로 인해 인위적인 배수체 유도가 관심을 끌게 되었다. 따라서 육종 프로그램에서 동질배수체 유도는 3배체 수박이나 바나나와 같은 영양기관을 목적으로 하는 종에서 그리고 영양번식을 하는 식물에서 특히 전망이 좋다. 원예식물의 육종에서 생식력의 감소는 문제가 되지 않는데 그 이유는 좋은 특성을 지닌 배수체는 더 크고 아름다운 꽃을 만들어 꽃수가 적거나 종자생산이 적은 단점을 상쇄할 수 있기 때문이다. 3배체는 종자나 과실의 생산에 소모되는 다량의 양료 및 광합성 에너지를 보존하여 영양생장을 촉진한다. 따라서 바이오매스 증진이나 토양 보존을 위한 나무의 육성에 매우 중요하다.

배수체 육종 사례

배수체 육종은 자연이나 혹은 재배중인 작물에서 발견되는 것을 이용하거나 인위적인 유도를 한다. 목본류의 배수체 육종은 자연에서 발견된 거대한 크기로 자라는 3배체의 사시나무의 발견과 콜키신의 발견으로 촉발된 인위적인 배수체 유도에 기반을 두고 있다. 중국에서는 300만 ha

에 이르는 광범위한 지역에 포플러류 인공조림을 실시하고 있는데, 선발 및 교잡의 전통적인 육종 기술에 배수체 육종기술을 적용하여 새로운 품종을 육성하고 있다. 최근에는 생장과 재질이 우수한 포플러류 3배체 클론을 육성하여 실용화에 적용하고 있다(Kang 2022). 다른 임목의 배수체 육종으로는 뽕나무 등의 약용수종, 벚나무, 진달래 등의 조경 수종, 감, 대추, 사과, 배, 귤 등의 유실수종, 두충나무, 고무나무 등의 특용수종이 있으며, 최근에는 기후변화에 관련된 환경저항성 품종 개발을 위해 여러 수종에서 배수체 육종이 시도 되고 있다.

배수체 육종기술의 적용가능 분야

배수체 육종기술은 다음의 몇 가지 분야에서 계속 유용한 수단으로 적용될 수 있다.

1) 교잡의 장벽 극복

바람직한 특성을 지닌 두 양친이 배수성의 차이로 인해 교배가 어려운 경우가 있다. 이러한 문제는 배수성 차이가 있는 종간의 교잡에서 배유(endosperm)를 구성하는 유전적 구성이 암수 2:1의 비율에서만 정상적으로 종자가 발달하기 때문이다. 이 기준에 미치지 못한 종자는 흔히 미발육되거나 퇴화되고, 이 비율이 크면 클수록 종자의 활력이 감소된다. 이러한 경우 배수체를 만들어 교배종간의 배수성 정도를 일치시키면 교배가 가능해진다. 인위적인 배수체 유도를 통해 포도나무 아속간의 교잡, 즉 *Euvitis*($2n=2x=38$)와 *Muscadinia*($2n=2x=40$)의 교배 문제를 해결하는 수단으로 활용되었다(Owens 2008).

2) 불임 품종 개발

어떤 환경 조건에서는 새로운 종의 도입이 침입종이 되어 생태계를 교란할 수 있다. 중요한

작물에서 불임품종의 개발은 이러한 문제를 해결하는 좋은 방법이 된다. 배수성 불임개체는 조경용으로 식재가 가능하고 종자로 인한 침입종의 문제를 해결할 수 있다. 불임 식물은 생식을 제외하고는 다른 기능은 정상적으로 한다. 한 식물에서 동질배수체를 만들면 다가의 염색체를 지녀 감수분열시 문제로 인해 불임이 될 수 있다. 그러나 동질4배체(auto-tetraploidy)는 일부 생식력을 지닌 종자를 생산할 수 있다. 이 경우는 2배체와 교배하여 3배체를 만들면 된다. 3배체는 감수분열 시 염색체가 불균등하게 분리되어 생식력 장애를 가지게 되어 대개 불임이 된다.

어떤 종에서 3배체의 개발은 배(embryo)의 정상적인 발달을 막는 배수성간의 장애로 인해 어려움이 있을 수 있다. 대부분 피자식물의 종자의 배는 $2n$ 이지만, 배유는 하나는 화분 배우자, 두 개는 난배우자의 결합으로 된 $3n$ 조직이다. 배유는 기내배양이 가능하고 식물체를 유도하여 3배체 식물을 만들 수 있다. 여러 식물종에서 굴, 키위, 비파나무, 시계초, 아카시아, 벼, 파파야 등에서 성공적인 결과가 보고되었다.

3) 생식력 회복

서로 다른 종간 혹은 속간 교잡종은 흔히 불임이다. 이것은 감수분열 시 염색체 짝짓기를 못해서 오는 것으로 '염색체 불임'이라 부른다. 다양한 잡종에서 염색체 배가를 통해 생식력이 복구될 수 있다. 이 방법은 진달래 '*Fragrans Affinity*'와 *x C hitalpa tashkentensis*에서 생식력을 성공적으로 회복할 수 있었다. 그러한 이 방법으로도 생식력을 회복하지 못할 수 있는데, 4배체 잡종 *Alstroemeria aurea x A. caryophyllaea*의 경우이다.

4) 스트레스 내성 증진

배수체는 두꺼운 잎, 밀생 연모의 형성 등 형

태적인 변화와 더불어 낮은 밀도의 큰 기공을 지니 낮은 증산율을 보인다. 또한 액포의 크기 및 도관 직경이 커져 낮은 수분전도도(hydraulic conductivity)로 인해 내건성이 증가될 수 있다. 동질배수체는 양료결핍, 온도, 해충, 병해 스트레스 등의 환경조건에서 더 내성을 보이는 경우도 보고되었다(Levin 2002). 더욱이, 배수체 식물은 핵의 양이 커지며 유전자 발현이 증가되고, 결국 2차 대사산물의 증가를 가져올 수도 있는데, 이러한 대사산물은 식물의 저항성과 내성 기작을 증가시킬뿐만 아니라 약리학에서도 가치가 있을 수 있다(Manzoor 등 2019).

5) 활력증진

배수체로 인해 커진 세포는 좋지 않거나 혹은 좋은 결과를 보일 수 있다. 4배체 사과는 2배체보다 두 배의 크기이지만 수분이 많고 기형으로 나타나는 경향이 있다. 한편 3배체는 크기도 적당하고 품질도 좋아서 상업적으로 종종 재배가 된다. 이런 형태의 배수체는 원예 및 화훼종에서 장점이 있는데 꽃잎이 두껍고 오래 피는 것은 상업적으로 유망하다. 여러 3배체 포플러나 유칼리 종은 2배체보다 활력증진을 보이는 사례가 보고되고 있다.

배수체 유도 방법

일반적으로 식물의 배수체는 두 가지 기작으로 유도된다. 하나는 생식배수체화(sexual polyploidization)이고, 다른 하나는 분열조직 염색체 배가를 통한 체세포 배수체화(somatic polyploidization)이다. 생식배수체화는 감수분열시 항유사분열제나 열처리 등의 스트레스 처리로 $2n$ 배우자를 통해 만들어 진다. $2n$ 배우자는 체세포 염색체 수를 가진다. 방추사형성, 방추사 기능, 세포질분열과 관련된 감수분열적 고장으로 인해

2n 배우자가 만들어 진다 (Ramsey and Schmeske 1998).

2n 배우자 형성 기작은 발달 특이적 단계에 따라 3가지로 분류된다. 감수분열 전후의 계놈 배가와 감수분열 복원(restitution) 이다. 감수분열 전후의 계놈배가는 식물에서는 거의 관찰되지 않으며, 감수분열 복원이 2n 배우자 형성의 주요 기작이 된다. 이 과정에서 감수분열적 세포 분열은 체세포 분열과 유사한 비감소된 형태로 전환이 되어, 감수분열 2단계 말기에 정상적인 4분 염색체 대신에 2분 혹은 3분 염색체를 만든다 (De Storme and Geelen 2013).

감소된 n배우자와 비감소 배우자와의 결합 혹은 두 개의 비감소 배우자의 결합으로 3n과 4n 배(embryo)가 각각 만들어 진다. 2n 화분 혹은 2n 난의 형성이 배수체 형성의 주요 기작으로 여겨지고 있다. 선인장에서 배수체는 대부분 2n 배우자의 결합으로 온다. 3배체는 또한 2배체와 4배체의 교배로 만들 수 있다. 그 예로, 사과에서 2배체 x 4배체의 교배로 2배체 31.8%, 3배체 68%, 4배체 0.1%가 유도되었다. 반면 4배체 x 2배체 교잡으로는 2배체 22.4%, 3배체 54%, 4배체 23.4%가 유도되었다.

다음으로는 체세포의 배수체화이다. 이것은 체세포 조직에 다양한 mutagen의 처리로 유도되며, 1937년 콜키신의 발견이후 활성화 되었다. 콜키신은 *Colchicum autumnale*의 종자와 구근에서 추출한 유독한 알칼로이드로 배수체 유도를 위해 가장 광범위하게 쓰이고 있다. 이밖에도 오리잘린(oryzalin), 트리플루랄린(trifluralin)이 흔하게 쓰이는데, 처리 농도 및 처리 시간은 식물에 따라, 유전자형 및 조직에 따라 다르다. 한편 콜키신은 동물세포의 미세소관에 단단히 결합하기 때문에 인체에 매우 유독하다. 그러나 식물

의 tubulin에는 친연성이 약하여 상대적으로 고농도로 처리해야만 한다.

재료는 종자, 줄기정단, 식물전체에 처리를 한다. 처리방법은 침지, 살포, 혹은 면봉이나 아가(agar)에 넣어 분열조직에 묻혀 주는 방법을 사용한다. 이러한 처리는 기외 혹은 기내에서 가능하며 기외처리는 비용이 절감된다. 그러나 기외 처리는 배수체 유도율이 낮고, 혼수체가 많으며, 시간이 걸리는 단점이 있다. 계면활성제, 습윤제, 기타 DMSO 등을 처리하면 효과를 증진시킬 수 있다. 반면 기내배양은 배양조건의 적정화로 비교적 용이하게 배수체 유도가 가능하고 키메라도 비교적 적다. 식물, 유전자형, 절편, 향유사분열제 종류 및 농도, 처리시간, 배지의 종류 및 생장 조절제 처리 조건에 따라 배수체 유도 효율이 달라진다.

배수성의 확인

배수체는 정상 2배체와 비교할 때 독특한 형태적 특성을 보이는 경우가 많다. 배수성 증가는 세포 크기의 증가로 이어지며, 이로 인해 두껍고 넓은 잎, 큰 꽃, 그리고 과실을 보일 수도 있다. 줄기는 더 두껍고, 절간마디가 짧고, 가지각도가 넓다. 배수성을 선별할 때 이러한 형태적 특성은 잠정적인 배수체 확인에 도움이 된다. 다른 특성으로는 확인에 좀 시간이 걸리지만 화분(pollen), 공변세포 당 엽록체 수, 공변세포 및 기공 조사가 있다. 유동 세포 분석법(flow cytometry analysis)은 DNA 량 측정에 매우 유용하며, 이것은 배수성과 관련하여 정확한 배수성을 판별해 준다. 전통적인 세포학은 염색체수를 통해 배수성을 검정하는 좋은 방법인데 어린 잎, 뿌리정단, 약(anther) 등을 사용한다. 우선 형태적 특성과 기공 특성을 기준으로 1차적으로 잠정 배수체를 분류하고 염색체 조사나 유세포 분석으로

최종 확인을 하는 것이 좋다.

목본류의 배수체 유도

나무의 육종 및 개량을 위한 배수체 연구는 오랜 역사를 가지고 있으며, 일찍이 Wright (1976)는 나무의 배수체 장단점을 리뷰하였다. 포플러류 등 활엽수종은 생장과 재질 개량을 목적으로한 3배체 유도가 중점적인 연구 대상이 되고 있다. 특히 속씨식물 중 임목의 배수체 연구는 자연에서 생장이 뛰어난 3배체 *P. tremula* ($2n=3x=57$)의 발견으로부터 시작되었다. 그 후 Johansson (1940)은 스웨덴의 약 20개 지역에서 자연적인 3배체를 발견하고 특성을 기술하였다. 동일한 나이의 2배체와 비교하여 3배체는 생장이 빠르기 때문에 여러 육종학자들의 관심의 대상이 되어 왔다. 유럽사시나무(*Populus tremula*)의 자연 3배체는 수고, 흉고직경 및 재적 생장이 각각 2배체에 비해 11%, 10%, 36% 더 우수하였고, 미국사시나무(*P. tremuloides*)와 유럽사시나무의 잡종 3배체의 수고생장과 직경생장은 같은 나이의 2배체에 비해 적어도 20% 더 우수하였다. 3배체 *P. tomentosa* B301 단목 재적은 심지어 2배체에 비해 2.5배 더 우수한 것으로 보고되었다 (Zhu 등 1995).

배수체 포플러는 특히 세포 크기가 증가되기 때문에 섬유길이도 커지고, 용적 당 세포수가 증가되며, 세포 표면적은 감소되어 상대적으로 리그닌과 pentose가 감소되어 목재 섬유 길이와 화학적 조성의 입장에서 보면 분명한 장점이 있다. 따라서 성장지수 뿐만 아니라 목재의 질감(texture) 또한 배수체로 개량할 수 있다. *P. tremula*와 *P. tremuloides* 간의 3배체 잡종의 섬유장과 비율(proportion)은 동일한 나이의 2배체보다 18%, 20% 각각 높았다 (Einspahr and Wyckoff 1975, Einspahr 1984). 이것은 3배체

가 우수한 펄프자원이 될 수 있음을 나타낸다. 3배체 *P. tomentosa*의 5년생 평균 섬유장은 2배체보다 52.4% 길고, 리그닌량은 단 16.71% 였는데, 이것은 2배체보다 17.9% 낮은 것이며, 3배체 *P. tomentosa*의 α -셀룰로스량은 53.21%로, 같은 나이의 2배체보다 5.8% 높았다 (Yao and Pu 1998, Fang et al. 2001).

불행하게도 침엽수류를 포함하는 많은 겉씨식물은 배수체 육종의 좋은 결과가 거의 없다. 자연상태에서 redwood(*Sequoia sempervirens*) (6n), Junifer(*Juniperus chinensis pfitzeriana*)(4n), 그리고 golden larch (*Pseudolarix amabilis*)(4n)이 보고되었고, 소나무 등 다수의 인위적 4배체가 침엽수종에서 보고 되었으나, 일반적으로 생장이 느리고, 왜성형이어서 주로 원예적인 관심만을 끌었다(Wright 1976). 최근에 발견된 은행나무(*Ginkgo biloba*)의 3배체는 비교적 좋은 성장을 보이는 것으로 보고되었다(Samarda 등 2018).

1. 포플러류의 3배체 유도

자연상태에서 대부분의 포플러는 2배체($2n=2x=38$)이지만 3배체도 종종 발견되었다. 예를 들면, *P. tremula*, *P. alba*, *P. balsamifera*, *P. tremuloides*, *P. tomentosa* 등이다. 포플러 3배체의 가장 두드러진 형질 변이는 수고 및 직경생장이 커지는 것이다. 이러한 발견은 1960~1970년대의 임목의 배수체 육종을 촉발하는 계기가 되었다. 그러나 실제적으로는 미국과 독일에서 *P. tremula*와 *P. tremuloides*의 4배체와 2배체와의 교잡으로 소수의 이질3배체 (allotriploid)를 얻었다. 그 이후로 유전공학의 발전과 목재 비중이 낮아서 바람에 쉽게 부러지는 3배체 포플러의 문제점으로 인해 포플러의 배수체 연구는 점차 희박하게 되었다 (Kang XY 2016).

한편 1990년대에 들어와 중국에서 생장이 빠르고 재질이 좋은 다수의 *P. tomentosa* 3배체가 개발되면서 포플러류 배수체 연구는 새로운 전기를 맞게 되었다. 그 이후 최근에 이르기까지 포플러 배수체 연구는 계속 증가되어 왔고 배수체 유도 효율이 크게 증진되었다. 중국에서 광범위하게 재배되는 이름 있는 포플러 교잡종 역시 3배체로 나타났다.

- 현재 포플러류 3배체를 유도하는 방법은 크게 4 가지이다. 첫째는 4배체와 2배체와의 교잡이다. 이 방법은 가장 확실하고 효과적인 방법이지만 자연상태에서 배수체의 발견이 어렵기 때문에 주로 인위적인 방법으로 4배체를 유도하여 교배 모수로 사용해야 한다. 따라서 장기간의 육종 전략이 필요하다. 둘째는 2n 배우자(gamete)를 선별하거나 인위적으로 유도하여 정상적인 화분으로 교배하는 방법이다. 이 방법은 당년에 3배체를 유도할 수 있는 장점이 있다. 유도율은 모수의 유전적 요인, 재배환경에 따른 생리적 요인, 고온 스트레스 및 mutagene 처리에 따라 달라진다. 셋째는 수분(pollination) 후에 배낭(embryo sac)의 염색체를 배가하는 방법이다. 마지막으로 조직배양 기술을 이용한 배유 배양(endosperm culture)이다. 이상의 방법은 각각의 장단점이 있으며, 2), 3)의 방법이 현재 보편적으로 사용하는 포플러류의 3배체 유도 방법이고 실용화에 가장 많이 이용되고 있다.

1) 자연 2n 배우자의 이용

이 방법은 전통적으로 사용해온 가장 경제적이고 빠른 3배체 유도 방법이다. Seitz (1954)는 *P. canescens*에서 양성의 꽃 (일부 약을 지닌 암꽃)을 발견하여 감수분열을 거치지 않은 크기가 큰 2n 화분을 얻었다. 이것을 자가수분을 시켜 약 1%의 3배체를 얻었다. 2n 화분의 생산은

주로 유전적으로 조절이 되지만, 환경조건 즉 온도, 빛, 초식성동물 피해, 상처, 물, 양료 스트레스에 크게 영향을 받는다. 특히 온도는 배우자형성기의 감수분열에 교란을 가져와 2n 화분을 만드는 것으로 보고된다. 37 μ m 이상의 크기가 큰 화분은 2n 화분으로 간주된다.

포플러에서 2n 배우자 형성 기작은 연구가 적다. 서로 다른 지역에서 *P. tomentosa* 18개 클론의 화분을 수년간 관찰한 결과 대부분 숫나무는 2n 화분을 만드는 것으로 나타났다. 2n 화분은 환경효과와 더불어 유전적으로 조절되는 것으로 보이며, 여러 클론 간 및 식물의 나이에 따라서 변이가 있었다.

Kang(1996, 2002)은 세포적 관찰을 기초로 *P. tomentosa*의 2n 화분은 두 가지 경로 즉, 하나는 평행 방추사의 형성으로, 다른 하나는 무질서한 세포판 형성에 따른 세포질분열(cytokinesis)에 기인하는 것으로 추론했다. Zhang and Kang (2010)은 세포분열 중기 II 단계에서 방추사의 방향이 평행이면 감수분열의 2단계에서 2배체 및 4배체가 만들어 지는 것을 발견했다. 차후 간접적인 면역형광 (immunofluorescence) 관찰을 통해 2n 화분의 형성은 2차 감수분열시 조기성숙으로 주로 생기거나, 혹은 미소관의 비정상적으로 유도된 일부 세포에서 방추사 축의 결합(fusion)으로 생기는 것으로 추론했다.

또한 자연적인 2n 화분의 출현은 포플러의 *Tacamahaca*와 *Aigeiros* 절에서도 보고되었다. Wang and Kang (2009)은 소포자 형성기의 미소관 세포골격 (microtubular cytoskeletons) 분석을 기초로, 후기 II 단계에서 격막형성체 (phragmoplasts)의 결핍에서 오는 비정상적 세포질 분열이 2n 화분 형성의 주요 세포학적 기작으로 추론하였다.

자연 2n 화분을 이용한 3배체 유도는 *P. bals*

amifera, *P. canescens*, *P. alba*, *P. tremula*, 그리고 *P. tomentosa* x *P. bolleana*, *P. alba* x *P. glandulosa* 등에서 보고되었다. 그러나 자연적인 2n 화분은 생산율이 낮고 수분 시 정상 화분(n 화분)과의 경쟁력이 떨어지기 때문에 활용에 어려운 점이 있다.

2n 화분과는 다르게 대포자 (megaspore) 염색체를 배가하여 3배체 유도가 가능하다. 대포자는 배낭모세포 안에 들어 있어 형태적으로 직접 관찰이 어렵다. 일반적으로 2n 대포자는 교잡종 차대의 염색체 조사로 알아내는데 몇몇 연구자는 자연적인 2n 대포자와의 교배로 배수체 포플러를 얻었다. 그러나 *P. euramericana* 4배체는 자연적인 2n 화분으로 교배시켜 얻었다. SSR 분석으로 암모수(female parent)는 FDR(first division restitution)을 통해 자연적인 2n 대포자를 생산한 것으로 확인되었다 (Xi et al. 2012). 2n 대포자를 만드는 암나무를 알아낼 수 있다면, 연구 및 이용가치가 크다. 일부 자연적인 혹은 인위적인 포플러 3배체가 확인되었다. 이것은 아마도 자연적인 2n 대포자에서 유래한 것으로 보이는데, 불행하게도 대부분 3배체 품종에 대한 암나무 모수 (female parent)를 동정할 수 없었다 (Kang 2016).

2) 인공 2n 화분의 이용

일찍이 Johnsson and Eklundh (1940)은 콜키신 처리로 *P. tremula*, *P. tremuloides*에서 인위적인 2n 화분을 얻어 교배를 통해 3배체를 얻었다. 이 방법으로 *P. deltoides* 등 여러 포플러류에서 2n 화분이 유도되었다.

2n 화분 유도는 콜키신이 가장 효과적이며 그 대응으로 propzamide 처리도 가능하다. 교배수종의 개화특성에 대한 세포학적 정보가 있다면 적기에 처리하여 2n 화분 유도율을 높일 수 있

다. 포플러류는 일반적으로 감수분열 후사기(pachytene)가 2n 화분유도의 최적기로 나타났다. 이 시기에 콜키신을 처리하여 88%까지 2n 화분이 유도되었다 (Kang et al. 1999).

한편 고온처리를 통해서도 효과적인 2n 화분 유도가 가능하다 (Kang 등 2000a). 이 방법은 콜키신 처리보다 간단하고, 비용이 적으며, 한번에 대량으로 처리가 가능하다. 온도범위 38~40°C, 1.5~2시간 처리로 미루나무, *P. balsamifera*, *P. alba*, *P. alba* x *P. tremula* 등에서 2n 화분 유도율을 94.4% 까지 증가시켰다. Kang 등 (2000b)은 이동기(diakinesis) ~ 중기 1단계의 기간이 고온처리 2n 화분유도의 적기로 보았다. 그들은 이동기~중기 1단계가 고온처리 2n 화분 유도의 적기로 보았고, 87.6%까지 2n 화분을 얻었다. 그러나 고온처리로 언제나 높은 빈도의 2n 화분이 유도되지 않아 기술적으로 더 연구가 필요하다. 한편 3배체 포플러 육성에서 2n 화분은 발아가 느려서 사용이 제한적이고, 실제로 2n 화분의 교배를 통한 3배체 유도율은 대개 0.1% 미만이어서 2n 화분을 활용하기 위한 기술적인 연구가 더 필요한 상태이다.

3) 대포자 (megaspore) 염색체 배가

대포자모세포(megasporocytes)의 감수분열기에 물리적 화학적 처리로 2n 대포자의 유도가 가능하다. 그 다음 정상적인 n 화분으로 교배시켜 100% 3배체 잡종을 유도할 수 있다. 대포자 염색체 배가는 암눈(female bud) 모수의 가치를 수경재배하면서 콜키신이나 고온처리를 통해 유도한다. 암 눈의 발달단계를 기초로 볼 때 대포자 염색체 배가는 중기 1단계 혹은 중기 2단계의 세포분열의 억제로부터 온 것으로 추정되었다 (Li Y et al. 2000, 2001).

2n 화분 유도와 비교하여 2n 암배우자(대포

자) 유도의 적정 처리시기 결정이 쉽지 않다. 왜냐하면 화분은 약(anther)을 으깨어 염색으로 즉시 소포자체의 감수분열 단계를 결정할 수 있지만, 대포자모세포의 감수분열 단계는 파라핀 매물 검경을 통해 이루어지기 때문이다. 작업에 적어도 며칠이 소요된다.

결국 2n 대포자 유도와 그것의 육종으로의 적용은 아직도 제한이 있다(Kang 2016).

한편 이러한 문제의 해결을 위해 Li 등 (2005, 2007)은 현사시의 암꽃과 수꽃의 발달 단계의 연관성을 밀접하게 조사하였다. 화분모세포(microsporocytes)의 감수분열 단계가 4분자로 발달했을 때, 대포자모세포(megasporocytes)의 감수분열 단계는 막 세사기(leptotene)를 시작하는 단계였다. 그리고 화분모세포의 감수분열 단계가 세포벽에 인접한 단일 핵을 가진 화분으로 발전했을 때, 대포자모세포의 감수분열 단계는 막 태사기(pachytene)를 시작하는 단계였다. 결국 대포자모세포에서 감수분열 과정을 즉시 결정하는 문제는 화분의 발달과정을 참조하여 해결 될 수 있었다. 이 결과 화분모세포가 4분자로 발달하는 단계에 콜키신(5%)을 암눈에 처리하여 16.7%의 3배체를 얻었다. 이 방법은 대포자 염색체 배개로 3배체 포플러를 육성하는 실제적인 방법으로 활성화 되었다 (Li 등 2019; Xu 등 2019). Wang 등(2009)은 암눈의 형태적 특성과 세포학적 분석을 연관시켜 화학적, 물리적 처리로 159본의 3배체를 얻었다.

결국 대포자모세포의 감수분열 과정을 정확히 파악하여 적정 염색체 배가시기를 정하는 것이 효율적인 포플러 3배체 유도의 핵심이다. Li 등 (2005, 2007)은 2n 대포자 유도의 적정 시기는 태사기~복사기로, 이 때 콜키신을 처리하여 13.04%의 3배체를 얻었다. 한편 고온처리하는 태사기~복사기에 처리하여 60%의 3배체를 얻었다.

한편 암눈의 형태적 특성에 기반한 적정처리 시기는 화분처럼 정확하게 결정되지 못하고 있다. 그러나 2n 대포자 유도는 비교적 적은 노력으로 포플러류 3배체의 유도 효율을 증진시킬 수 있다 (Li YH. 2007; Kang 등 2015; Xu 등 2019).

4) 배낭 (embryo sac) 염색체 배가

포플러의 배낭 발달은 다각형(Poly-gonum) 유형으로 배낭(embryo sac) 발달의 가장 흔한 형태이다. 이 형태의 배낭 발달은 조사된 식물에서 70%에 달했다 (Maheshwari 1950). 배낭 발달은 두 단계가 있는데, 1) 대포자형성(megasporogenesis)과, 2) 암배우자 형성(female gametogenesis)이다. 성숙한 배낭형성은 기능성 대포자(megaspore)가 세 번의 유사분열(mitotic division)을 통해 시작되며, 그 각각은 2n 난을 만들 수 있는 가능성을 제공한다. 예를 들어, Kang 등 (2004)은 암나무로 현사시를 사용하고, 수나무로 *P. tomentosum*를 사용하여 수분 시킨 후에 암눈에 콜키신을 처리하여 57.1%의 3배체를 얻었다. 최적 조건은 수분 후 24~36 시간에 처리한 경우였다. 적정 처리 시간은 배낭의 발달단계에 달려 있는데, 이것은 현사시의 배발생학 선행 연구를 기초로 수행되었다. 두 개의 정자세포(sperm cell)가 수분(pollination)전 24 시간에 형성되었다. 그래서 수분 후 콜키신 처리로 유도된 3배체는 배낭의 염색체 배개로 생긴 2n 암배우자에서 온 것으로 결론지을 수 있었다 (Kang 2016).

한편 Wang 등(2009, 2010, 2012)은 인공교배 시기를 배낭의 발달 과정을 통해 추정된 다음 배낭 염색체 배가를 통해 *Tacamahaca* 포플러에서 68개의 3배체를 얻었다. *P. pseudo-simoni* x *P. nigra* 'Zheyin #3'에서는 4핵의 배낭 단계가 염색체 배가의 적정시기로 나타났다. 콜

키신 처리 3배체 유도율은 66.7% 까지이며, 적정 처리 시기는 수분 후 54~66 시간이었다. 반면 고온처리를 통해서 40%의 3배체가 유도되었고, 적정처리 시기는 수분(pollination) 후 66~72 시간이었다. 특히 *P. adenopoda*, *P. tomentosa*에서는 고온처리 배낭 염색체 배가로 80% 까지 3배체가 유도 되었다(Kang 등, 2015). 이것은 수분(pollination) 후에 적정 처리 시기가 배낭 염색체 배가의 열쇠임을 알 수 있다. 현재 이상적이고 현실적인 선택은 적정 수분기에 처리하는 것이다. 그러나 이 방법은 환경적인 요인에 따라 모수의 생리적 조건이 크게 영향을 받는다. 따라서 기술적인 측면에서 배낭의 발달단계를 결정하는 보다 효율적인 기술개발이 필요하다.

2. 포플러류의 4배체 유도

체세포 염색체 배가는 배수체 식물을 만드는 가장 손쉬운 방법중 하나이다. 4배체를 만드는 재료는 주로 종자, 정단조직(shoot tip), 접합자, 미숙배, 캘러스 등에 물리적 혹은 화학적 처리를 사용한다. 그러나 유도단계에서 세포분열의 비동시성 문제로 한 기관의 모든 세포에서 염색체 배가를 이루기가 어렵다. 이 때문에 혼수체나 키메라가 흔히 유도된다. 이러한 키메라를 피하기 위해서 *P. pseudo-simonii*에서는 잎 절편의 부정아 유도시에 콜키신 처리로 4배체를 유도했다. 6일간 전배양(preculture)이 중요하였으며, 최고 14.6%의 4배체를 유도했다. 36개의 4배체를 얻었는데 이것은 5회의 계대배양 후에도 안정적으로 4배체로 유지되었다. 이와 비슷한 방법으로 *L. eucae* 절 3배체 포플러의 잎 절편에 콜키신 처리 부정아 유도 방법으로 3.57%의 6배체를 얻었다(Wang 2014).

4배체 유도는 특히 접합자 배의 염색체 배가를 통해 직접 유도가 가능하다. 은백양 (*P. alba*)에

서 접합자의 분열기에 콜키신을 처리하여 처음으로 4배체를 유도했다. 그러나 피자식물에서는 식물에 따라 접합자 형성 후에 체세포 분열에 앞서 휴면기간이 있어 염색체 배가를 위한 적정처리 시기는 잘 모르는 상태이다. 이와 관련된 연구가 많이 수행되었으나 유도율이 낮고 재현성도 낮다. 때문에 성공적인 4배체 유도를 위해서는 우선 접합자 분열이 처음 일어나는 시간을 빠르고 정확하게 결정할 필요가 있다(Kang 2016). 한편 Wang 등(2013)은 씨방(난소)에 있는 솜털 섬유 관찰로 접합자의 발달 정도를 즉시 알아내는 방법을 제안했다. 솜털이 배주의 기부와 중간부를 둘러싸고 배주 전체를 덮지 않았을 때, 대부분의 접합자는 휴면기간을 끝내고 첫 번째 유사분열을 시작했으며, 이 시기에 콜키신을 처리하여 잡종 포플러에서 6개의 이질 4배체를 얻었고, 고온처리로는 25개의 이질 4배체를 얻었다.

Lu 등(2014)은 또한 *P. adenopoda*에서 접합자 분열 단계와 배주의 발달에 따른 솜털의 변화 관계를 분석하여 고온처리로 32분의 4배체를 얻었다. 4배체 유도율은 최고 14.12%로, 포플러에서 1차 접합자 분열기에 고온처리로 4배체를 유도하는 이상적인 방법을 보여 주었다. 요약하면 4배체 유도의 많은 연구가 있었지만 체세포 염색체 배가의 대부분은 정단조직이나 종자여서 비동시적 세포분열에 의한 혼수체나 키메라가 흔히 생긴다는 것이다. 이런 문제의 해결을 위해 접합자의 첫 번째 분열기에 물리적 혹은 화학적 스트레스 처리로 단일 세포의 염색체 배가를 실시하거나 잎 절편에서 부정아유도를 통해 유도할 수 있다.

목본류 배수체 육종의 한계

일반작물에서 보여준 배수체의 여러가지 장점에도 불구하고 목본류 특히 산림수종의 배수체

육종은 실용화에 이르기 까지 여전히 제약이 많다. 그 몇 가지 문제점 및 가능한 해결방법을 제시하면 다음과 같다.

1) 교잡 및 배수체 유도를 위해서는 모수 암수 배우자의 정확한 생식생리 및 발달 특성의 이해가 필요하지만 이에 대한 기초 정보가 부족하다. 화분은 약의 발달에 따라 아세토카민 염색으로 화분의 발달 주기를 쉽게 관찰 할 수 있으나, 배낭은 파라핀 매몰 검경을 필요로 하여 복잡하고 시간이 걸린다. 몇 가지 포플러류 외에는 암수 배우자의 개화생리에 대한 이해가 여전히 부족하다. 현사시, *P. adenopoda*, *P. pseudo-simonii* x *P. nigra* 'Zheyin 3#', *P. x euramericana*, *P. nigra*, *P. simonii* 등에서 수행된 암수 배우자의 개화생리 연구는 타 수종에서도 계속될 필요가 있다. 최근에는 *Eucalyptus pellita*의 개화생리에 대한 연구결과가 발표되었다.

2) 우수한 모수 선발 및 다양한 교배 조합이 부족하다. 우수한 모본을 선발하여 보다 많은 교배 조합을 가지는 것은 이형접합성의 증가 및 잡종강세 유발을 위해 반드시 필요한 과정이지만 현실적으로 다양한 교배조합으로 시험하기에 여러 가지 제약이 있다. 수십년간 포플러류의 배수체 육종을 시도해온 중국의 과학자들은 보다 많은 교배조합을 통한 선발과 교잡이 목본류 배수체 육종의 열쇠가 됨을 강조하고 있다.

3) 산림수종의 배수체 유도는 목적 형질이 주로 생산성 증가나 재질개량, 침입종의 억제, 내병충성의 증가 등이다. 꽃의 크기 증대, 향기 및 색의 변화, 절화의 지속성을 요하는 화훼류 그리고 열매를 이용하는 과수류, 기타 2차 대사산물을 이용하는 약용식물과는 그 목적이 다르다. 따라서 과실이나 2차 대사산물의 이용 등 시장성이 있고 비교적 단기적으로 성취 가능한 유실수 분야에서 배수체 육종을 우선적으로 수행하고, 이

와 더불어 생산성 제고 및 재질개량을 목적으로 한 장기적인 목본류 배수체 연구를 병행할 필요가 있다.

4) 임목의 특성상 장기간의 생장 모니터링을 요하고 지속적인 연구지원이 필요하나 국가 주도의 일부 연구소를 제외하면 이러한 연구기반이 매우 취약한 상태이다. 열대지역에서 유칼리를 상업적으로 재배하는 사기업(예를들어 브라질 세니브라 등)에서는 대학 등 유관기관과의 공동연구를 통해 생산성 증가, 재질개량 등 배수체 연구를 수행하고 있다.

5) 포플러류나 열대아카시아 등 몇 가지 수종을 제외하고는 효율적인 영양번식이 곤란하여 유망한 배수체가 유도되어도 실용화를 위한 클론 대량증식이 제한적이다. 이러한 문제 해결을 위해 삽목 등 무성번식기술의 개발, 특히 조직배양 기술이 보다 많이 개발될 필요가 있다.

6) 수십년간 수행된 연구에도 불구하고 포플러류의 배수체 유도 효율은 여전히 낮다. 따라서 앞으로 포플러류의 배수체 유도는 교배가 가능한 화분을 다량으로 미리 확보하여 저장하면서 적기에 교배를 시키거나, 고온처리로 배낭 염색체를 배가하여 직접 3배체를 유도하는 방법이 효과적일 수 있다. 2n 화분을 사용할 수 있으나 유도빈도가 낮고 교배

시 발아가 늦어 배수체 유도효율이 낮은 단점이 있다.

7) 모델수종인 포플러류에서도 모수의 선발, 화아지 채취, 수경재배, 교배, mutagen 처리, 종자생산, 묘목 생산, 포지 생장 및 특성 검정에 비용과 시간이 많이 소요된다. 나무의 생산성이나 재질 특성을 비교하기 위해서는 포플러류도 최소 10년 이상의 검증 기간이 필요하여 장기적인 투자가 필요하다. 유칼리나무는 실용화에 가능한 우수한 하나의 클론 육성에 적어도 15년

이상이 필요하여 장기적인 관점으로 배수체 육종을 추진해야 한다.

8) 포플러에서 개발된 기술을 타 수종에 직접 적용하기에 어렵다. 특히 수경재배를 통한 인공교배가 포플러류나 버드나무류를 제외하면 타 수종에서 적용하기 어려운 문제가 따른다. 야외에서 직접 인공교배를 수행하면서 배수체 유도 처리가 쉽지 않다. 최근 유칼리나무, 대추나무, 단풍나무 등에서 성공적인 사례가 있으나 여러 가지 단점이 있다. 따라서 접목묘 육성이 가능한 목본류는 온실에서 접목묘를 육성하여 양료관리 적정화 및 paclobutrazol 처리를 통해 개화를 촉진시키고, 이를 재료로 배수체를 유도하는 것이 현실적인 대안이 될 수 있다.

9) 3배체 포플러는 생장이 우수하고 재질 등 장점이 많으나 비중이 낮아서 바람에 쉽게 부러지거나 휘어지는 단점이 있다. 이것은 3배체 클론 선발 등 좀 더 시험이 필요한 내용이지만 바이오매스용 포플러는 2~3년의 단별기로 수확이 가능하므로 용재 생산의 목적이 아니라면 생장이 우수한 3배체를 적극 이용할 필요가 있다.

10) 체세포 조직을 이용한 염색체 배가는 조직 배양 기술로 쉽게 적용할 수 있으나 재분화 시스템이 선행적으로 개발되어야 한다.

캘러스배양, 부정아 유도, 배발생을 통한 식물체 재생이 가능한 수종이라면 배수체 유도는 비교적 단기간에 수행이 가능하다. 배유(endosperm) 조직을 배양하여 직접 3배체 유도가 가능하지만 아직까지 실용화에 적용한 사례가 적어 이에 대한 연구는 더욱 필요한 상태이다.

11) 소수의 모수나 클론 혹은 종자를 이용하여 배수체를 만들면 유전적 다양성이 제한되어 생물적 혹은 비생물적 스트레스에 취약할 수 있다. 브라질 세니브라의 유칼리 상업조림지는 최소 10클론을 조림지에 적용하고 매년 2~3개의 신규

클론이 현장에 적용되고 있음을 참고할 필요가 있다.

12) 침엽수종에서 배수체를 이용한 선행연구의 사례가 매우 적다. 인위적으로 유도한 침엽수 배수체는 대부분 생장이 저조하고 기형을 보여 원예나 관상적인 목적이 아니라면 임목개량에 이용하기 어렵다. 한편 최근에는 생장이 빠른 3배체 은행나무가 개발되어 이용 가능성에 관심이 커지고 있다.

13) 염색체 배가제는 일반적으로 콜키신을 사용하고 있으나 맹독성이어서 취급에 특히 주의가 필요하고, 빛에 민감하여 암소처리 및 저장에 유의해야 한다. Oryzalin 이나 trifluralin은 저농도로 처리 효과가 있고 취급이 용이하여 장미, 진달래, 모과나무, 물푸레나무류, 단풍나무, 유칼리나무에서 성공적인 배수체 유도 사례가 있다. 아울러 배수체 유도효율 증진을 위한 보다 좋은 mutagen의 개발이 필요하고 일반 제초제를 이용한 염색체 배가 시험도 필요하다.

결론

일반적인 작물이나 원예식물, 화훼식물, 약용식물과는 다르게 산림수종이 지닌 특수성 때문에 목본류의 배수체 육종은 적용이 어렵고 실용화가 느리다. 그러나 다양한 조경수종, 약용수, 과수 및 포플러속 수종에서 보여준 배수체 육종의 성과물은 산림수종에서도 배수체 육종의 가능성을 밝게 해준다. 기존에 잘 확립되어 있는 기내 재분화 시스템을 이용한 배수체 육종 기술은 더 빠르게 육종기술로 지원될 수 있다. 보다 많은 유전자형을 재료로 다양한 배수체 집단을 조성하여 육종재료로 활용할 필요가 있다. 국내의 목본류 배수체 연구는 고 김정석박사에 의해 1960년~1970년대에 수행된 연구에 기반을 두고 있다. 당시에 육성된 무궁화, 현사시, 상수리나무, 아까시

등 여러 배수체 자원이 계속해서 후속 연구되지 못한 안타까움이 있다. 국립산림과학원에서는 2010년 4배체 현사시나 무를 화분수로 2배체와 교잡시켜 수분의 3배체 현사시를 유도하여 생장 특성을 조사하고 있다. 인위적으로 유도한 배수체는 최근 눈부시게 발달하는 분자적 분석 기술을 통해 보다 정확하고 깊이 있는 유전양상을 이해할 수 있는 좋은 연구재료를 제공한다. 기후변화로 인한 전 지구적인 생태계 변화 속에서 생장이나 재질개량은 물론 생물적 및 비생물적 환경 스트레스 내성 품종 육성을 위한 배수체 육종 연구의 관심과 더불어 지속적이고 장기적인 투자가 필요한 시점이다.

참고문헌

De Storme N, D Geelen. 2013. Sexual polyploidization in plants -cytological mechanisms and molecular regulation. *New Phytologist* 198(3): 670-684.

Einspahr DW, GW Wyckoff. 1975. Aspen hybrids promise future source of Lake States fiber. *Pulp and paper* 49:118-119.

Einspahr DW. 1984. Production and utilization of triploid hybrid aspen. *Iowa State J Res* 58:401-409.

Fang GG, YJ Deng, P Li. 2001. Evaluation of pulping properties of triploid *Populus tomentosa*. *For Sci Tech Manag* 87-90.

Johnsson H, C Eklundh. 1940. Colchicine treatment as a method in breeding hardwood species. *Svensk Papp Tidn.* 43:373-377.

Kang XY. 1996. Cytogenesis and triploid breeding of Chinese white poplar. Ph.D. Thesis, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese)

Kang XY et al. 1999. Study on the effective treating period for pollen chromosome doubling of *Populus tomentosa* × *P. bolleana*. *Scientia Silvae Sinicae* 35:21-24. (in Chinese)

Kang XY et al. 2000a. Suitable period of high temperature treatment for 2n pollen of *P. tomentosa* × *P. bolleana*. *J Beijing For Univ* 22:1-4. (in Chinese)

Kang XY et al. 2000b. Radio sensitivity of different ploidy pollen in poplar and its application. *Acta Genetica Sinica* 27:78-82. (in Chinese)

Kang X. 2002. Mechanism of 2n pollen occurring in Chinese white poplar. *Journal of Beijing Forestry University* 24:61-67

Kang XY et al. 2004. Discovery of a new way of poplar triploids induced with colchicine after pollination. *J Beijing For Univ* 26:1-4. (in Chinese)

Kang XY et al. 2015. Introducing chromosome doubling of embryo sac in *Populus tomentosa* with high temperature exposure for hybrid triploids. *J Beijing For Univ* 37:79-86.

Kang XY. 2016. Polyploid induction techniques and breeding strategies in poplar. In: Mason AS (ed) *Polyploidy and hybridization for crop improvement*. CRC Press, Boca Raton, pp 76-96

Kang XY and Wei H. 2022. Breeding polyploid *Populus*: progress and perspective. *Forestry and Reserch* 202

2:1-4

Levin DA. 2002. The role of chromosomal change in plant evolution. Oxford University Press, Oxford, UK.

Li D et al. 2019. Triploid production via heat-induced diploidisation of megaspores in *Populus pseudo-simonii*. *Euphytica* 215:10.

Li YH, J Ma J, XY Kang. 2005. Stages of MMC meiosis and its timely discrimination of white poplars. *J Beijing For Univ* 27:70-74. (in Chinese)

Li YH. 2007. Chromosome doubling of female gametes in white poplars. Ph.D. Thesis, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese)

Li Y et al. 2000. Obtaining triploids by high and low temperature treating female flower buds of white poplar. *J Beijing For Univ* 22:7-12. (in Chinese)

Li Y et al. 2001. Studies on obtaining triploids by colchicine treating female flower buds of white poplar. *Scientia Silvae Sinicae* 37:68-74. (in Chinese)

Li Y et al. 2017. Embryo sac chromosome doubling in *Populus alba* x *P. glandulosa* induced by high temperature exposure to produce triploids. *Breeding Sci* 67:233-238.

Lu M et al. 2014. Induction of tetraploidy using high temperature exposure during the first zygote division in *Populus adenopoda* Maxim. *Plant Growth Regul* 72:279-287.

Maheshwari P. 1950. An Introduction to

the Embryology of Angiosperms. McGraw-Hill, New York.

Manzoor, A, T Ahmad, MA Bashir, IA Hafiz, C Silvestri. 2019. Studies on colchicine induced chromosome doubling for enhancement of quality traits in

ornamental plants. *Plants*, 8:194. <https://doi.org/10.3390/plants8070194>

Owens CL. 2008. Grapes. In Hancock JF (Ed.). *Temperate Fruit Crop Breeding*. Pp. 197-233. Springer.

Ramsey J, D Schmeske. 1998. Pathways, mechanisms and rate of polyploid formation in flowering plants. *Annl Rev Eco Syst* 29:467-501.

Šmarda P et al. 2018. Multiple haploids, triploids, and tetraploids found in modern-day "living fossil" *Ginkgo biloba*. *Horticulture Research*. 2018 5:55

Wang J, XY Kang. 2009. Distribution of microtubular cytoskeletons and organelle nucleoids during microsporogenesis in a 2n pollen producer of hybrid *Populus*. *Silvae Genet*. 58: 220-226.

Wang J et al. 2010. Induction of diploid eggs with colchicine during embryo sac development in *Populus*. *Silvae Genet* 59:40-48.

Wang J et al. 2012a. Induction of unreduced megaspores with high temperature during megasporogenesis in *Populus*. *Ann For Sci* 69:59-67.

Wang J et al. 2012b. High temperature-induced triploid production during embryo

sac development in *Populus*. *Silvae Genet* 61:85-93.

Wang J et al. 2013. Tetraploid production through zygotic chromosome doubling in *Populus*. *Silva Fenn* 47:9 no.2 article id 932.

Wang PQ. 2014. Studies on hexaploid induction of poplar. M.S. Thesis, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese)

Wright AE. 1976. Review of the Origin and Evolution of the Benue Trough in Nigeria. Department of Earth Sciences, Open University, Milton Keynes.

Xi XJ et al. 2012. 2n egg formation in *Populus × euramericana* (Dode) Guinier. *Tree Genet Genomes* 8:1237-1245.

Xu W et al. 2019. High frequency 2n pollen formation in black Poplar (*Populus nigra* L.) induced by colchine. *Notulae Bot Horti Agrobi* 47(3):939-946.

Yao CL, JW Pu. 1998. Timber characteristics and pulp properties of the triploid of *Populus tomentosa*. *J Beijing For Univ* 20:18-21. (in Chinese)

Zhang ZH, XY Kang. 2010. Cytological characteristics of numerically unreduced pollen production in *P. tomentosa* Carr. *Eu phytica* 173:151-159.

Zhu ZT, HB Lin. XY Kang. 1995. Studies on allotriploid breeding of *Populus tomentosa* B301 clones. *Scientia Silvae Sinicae* 31:499-505. (in Chinese)

포플러류 생육증진 후보미생물의 분리 및 동정

경북대학교 산림과학·조경학부 강준원, 전수홍

서론

탄소중립이란 대기 중 이산화탄소 농도 증가를 막기 위해 인간 활동에 의한 배출량은 최대한 감소시키고, 흡수량은 증대하여 순 배출량은 '0'이 된 상태를 말한다. '2050 탄소중립 산림부문 추진전략'은 나무를 심고, 가꾸고, 이용하는 산림의 순환 경영과 보전·복원을 통해 탄소중립에 이바지하는 것을 목표로 한다. 그 중, 탄소흡수 능력과 생태계 영향 등을 종합적으로 고려한 종자·묘목 생산으로 산림의 탄소흡수 기능을 강화한다는 과제를 발표하였다. 이를 달성하기 위하여 탄소흡수 능력과 기후변화 적응력이 우수한 수종 개발 및 식재 필요성을 제시하였다.

포플러류는 다른 수종에 비해 성장속도가 빠르고 척박지에서 잘 자라(Doty et al., 2009) 이산화탄소를 흡수·저장하는 능력이 우수하여 전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위한 탄소흡수원 및 바이오에너지 발전을 위한 바이오매스 생산원으로 조성되고 있다. 또한, 수변지에서 잘 자라고 근계 형성 능력이 뛰어나 수분 증발산량이 성숙목 한 그루당 하루 50~100 리터로 다른 수종에 비해 오염물질 흡수량이 높아 수질 개선에 탁월한 효과가 있다고 알려져 있으며(Laureysens et al., 2003), 옆면적이 넓어 미세먼지 등 대기

오염물질 흡수능도 우수하여 도시지역 환경정화 수종으로도 적합한 수종이다.

이 중, 사시나무(*Populus davidiana* Dode)는 우리나라 자생 포플러류 중 가장 많이 분포하

는 한대성 수종이며, 남한 지역이 자연 분포의 가장자리에 위치하고 있다. 사시나무는 대부분 근맹아에 의하여 번식하고 있으며, 삽목 발근이 어려운 수종이지만 근삽 방법과 조직배양 방법에 의한 증식기술이 개발되어 대량 증식이 가능하게 되었다(구영본 & 여진기, 2003). 다른 포플러류보다 산 중복 이상의 건조하고 척박한 지역에서도 잘 자라며 다른 수종에 비하여 생장이 빨라 대표적인 속성수로 알려져 있다. 또한, 사시나무는 바이오매스 생산이 우수하여 탄소흡수원으로서 높은 가능성을 가진 수종이지만, 최근 급격한 기후변화로 인해 사시나무 자생지가 감소될 것으로 예측하고 있다.

식물내생미생물(endophytes)은 식물체 내 세포간극 사이에 서식하고 있으면서 식물체에 아무런 해를 끼치지 않고 공생하는 미생물을 말한다(Hallmann et al., 1997). 이 중 식물의 성장을 촉진하고 병해충으로부터 식물을 보호할 수 있는 식물근권미생물을 식물 성장 촉진 근권 미생물(PGPR, Plant Growth-Promoting Rhizobacterium)이라고 한다(Kloepper & Schroth, 1978). PGPR은 다양한 메커니즘을 통해 식물의 생장에 영향을 주는 가뭄이나 고온과 같은 비생물적 스트레스에 대한 내성과 생물학적 질소 고정, 인산 가용화, phytohormone 생성 등과 같은 식물 성장 촉진 특성을 가진다고 알려져 있다(de Souza et al., 2015). 최근 농업 분야에서 PGPR을 활용하여 작물 재배나 병해충 방지에 성공한 사례가 보고됨에 따라 산림 분야 또한 PGPR



그림 1. 오대산 사시나무 자생지의 모습

에 관심을 가지기 시작하였다.

포플러류의 연구는 증금속 흡수, 바이오에탄올 등 환경과 목적에 적합한 수종 육종 연구(Guerra et al., 2011)와 유해물질(증금속, 축산폐수 등)에 대한 포플러의 흡수, 분해능 관련 검증 연구가 활발히 이루어지고 있다

(여진기 et al., 2003). 또한, 대표적인 속성수로 바이오매스 생산이 우수하여 바이오 연료 생산에 관한 연구가 진행되고 있다(Dowell et al., 2009). 포플러류 생육 증진에 관한 연구도 진행 중이지만 중간 교잡종이나 유전자 변형에 관한 연구는 활발하지만 PGPR을 활용한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 사시나무 자생지 5개 지역에서 시료를 채취하고 근권 토양과 뿌리 내부에 서식하는 식물내생미생물 중 식물의 생육 증진에 도움을 주는 기능성 미생물을 배양 및 분리하고 동정하고자 하였다. 또한, 분리된 미생물의 phytohormone 생산 기능을 평가하고 활용할 가능성을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

사시나무 자생지 근권 토양미생물 및 뿌리 내생미생물 분리 및 동정

사시나무 자생지 5개 지역(가리왕산, 오대산, 동대산, 용인 아람산, 울진 소광리)에서 생육상태가 양호한 사시나무를 택해 근권 토양과 식물 뿌리 시료를 채취하였다(그림 1). 채취한 시료를 대상으로 연속희석법을 적용하였다. 네 종류의 배지(LB Agar, NA, R2A, TSA)에 평판도말한 뒤 순수 분리를 진행하였다(그림 2). 그 결과, 근권 토양미생물 153개 뿌리 내생미생물 37개의 균주를 분리하여 총 190개의 균주를 확보하였다. 그 후 190개의 균주를 동정하기 위하여 16S rRNA 염기서열 분석을 시행하였다.

분리 미생물 동정

가리왕산에서 채취한 근권 토양과 뿌리 시료에서는 근권 토양미생물 41개, 뿌리 내생미생물 10개의 균주를 분리하였다. 동정 결과, 가리왕산 근권 토양에서는 *Bacillus* 속이 21개, 뿌리 내생미생물에서는 *Pseudomonas* 속이 6개로 우점

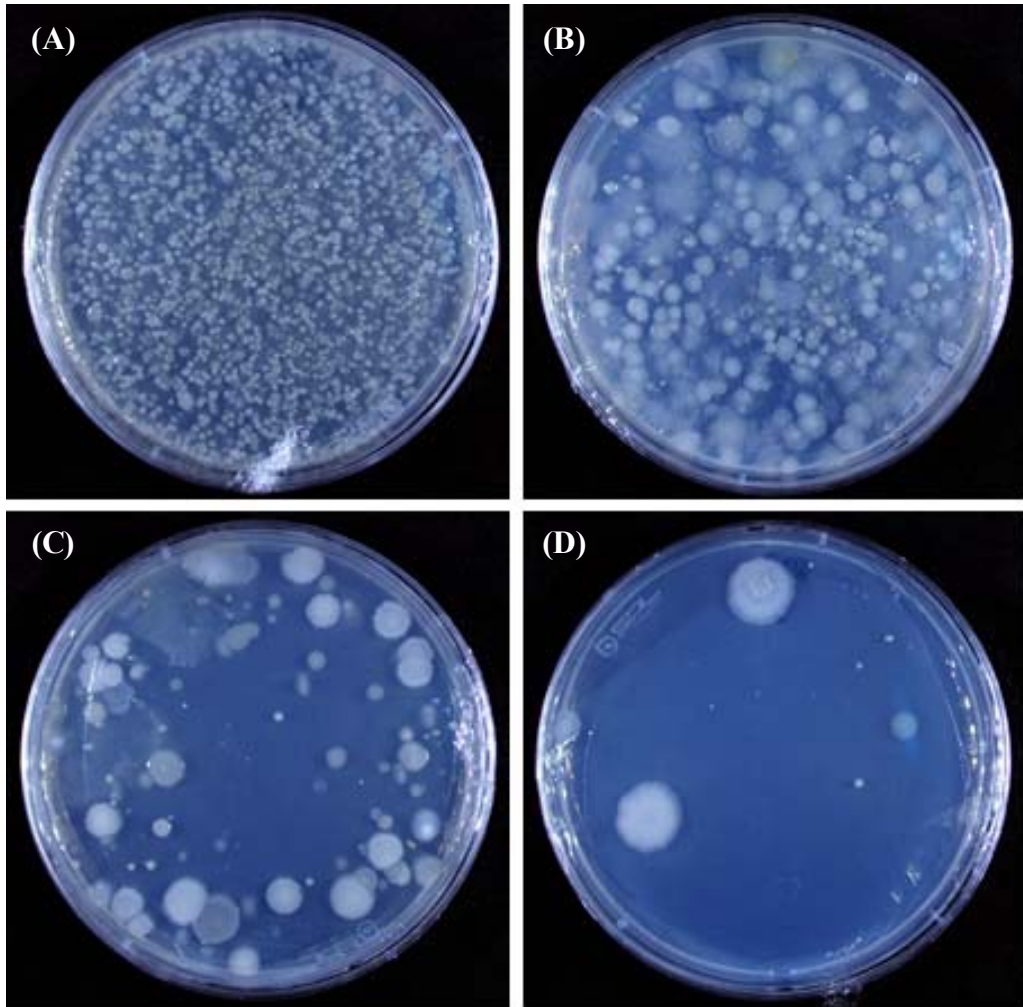


그림 2. 연속 희석(A, 10^{-1} ; B, 10^{-2} ; C, 10^{-3} ; D, 10^{-4})법에 의해 근권 토양 및 뿌리 시료로부터 순수 분리한 균주

하였다. 오대산에서 채취한 시료에서는 근권 토양미생물 25개, 뿌리 내생미생물 15개의 균주를 분리하였다. 이 중, 근권 토양에서 *Bacillus* 속이 12개로 우점하였고 뿌리 내생미생물은 *Agrobacterium* 속이 5개로 우점하였다. 동대산 근권 토양에서는 23개의 미생물을 분리하였고 그 중 *Peribacillus* 속이 9개, *Bacillus* 속이 6개로 우점하였다. 용인 아람산 근권 토양과 뿌리 시료에서 각각 30개, 8개의 균주를 분리하였고 근권토양에서 *Bacillus*와 *Lysinibacillus* 속이 각각 9개와 8개로 우점하였다. 울진 소광리 사시나무 자생지의 근권 토양에서는 34개의 균주, 뿌리에서

4개의 균주를 분리하였다.

표 1. 사시나무 자생지 5개 지역의 근권 토양미생물 및 뿌리 내생미생물 균주 분리 결과

채집 지역	근권토양 미생물 수	뿌리 내생미생물 수	총 분리 균주 수
가리왕산	42	10	51
오대산	25	15	40
동대산	23	-	23
아람산	30	8	38
울진 소광리	34	4	35
Total	153	37	190

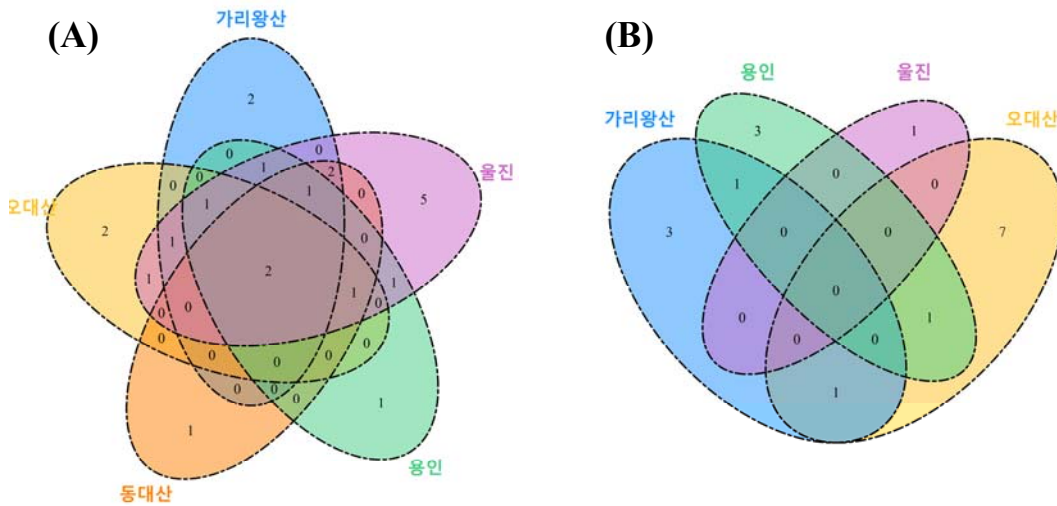


그림3. 지역별 분리한 근권 토양미생물(A)과 뿌리 내생미생물(B)의 속(genus)간 분포 벤다이어그램

이 중 근권 토양에서는 *Paenibacillus*, *Bacillus* 속에 각각 6개, 5개로 우점하였으며 뿌리 내생미생물은 4개의 균주 모두 *Paraburkholderia* 속과 가장 유사하였다(표 1).

또한, 153개의 근권 토양미생물에서는 *Bacillus* 속이 총 53개 균주로 우점하였고 그 다음으로 *Lysinibacillus*, *Paenibacillus*, *Peribacillus* 속이 차지하였다. 그 중, *Bacillus*, *Peribacillus* 속은 사시나무 자생지 5개 지역에서 공통적으로 분리되었다

또한, 37개의 뿌리 내생미생물에서는 공통된 속은 발견되지 않았으나, *Pseudomonas*, *Agrobacterium* 속이 각각 7개, 5개로 우점하고 있는 것으로 나타났다(그림 3). 금후 연구에서는 지금까지 분리 및 동정된 미생물 균주들의 phytohormone 생산 및 재접종을 통해 기주식물의 생장을 제고 할 수 있는 선발 미생물 균주들의 활용 가능성을 평가할 계획이다.

참고문헌

de Souza R, A Ambrosini, LMP Passaglia. 2015. Plant growth-promoting bacteria as

inoculants in agricultural soils. Genet & Mol Biol Brazil J of Genet 38: 401-419.

Doty SL, B Oakley, G Xin, JW Kang, G Singleton, Z Khan, A Vajzovic, JT Staley. 2009. Diazotrophic endophytes of native black cottonwood and willow. Symbiosis 47: 23-33.

Dowell RC, D Gibbins, JL Rhoads, SG Pallardy. 2009. Biomass production physiology and soil carbon dynamics in short-rotation-grown *Populus deltoides* and *P. deltoides*×*P. nigra* hybrids. For Ecol Manag 257: 134-142.

Guerra F, F Gainza-Cortés, R Pérez-Castro, F Zamudio. 2011. Phytoremediation of heavy metals using poplars (*Populus* Sp.): A glimpse of the plant responses to Copper, Cadmium and Zinc stress. Handbook of Phytoremediation pp. 387-414.

Hallmann J, A Quadt-Hallmann, WF Mahaffee, JW Kloepper, A Quadt-Hallmann, JW Kloepper. 1997. Downloaded from www.nrcresearchpress.com by Univ of calg

ary NRC Canada Can. J. Microbiol.

Klepper WJ, MN Schroth. 1978. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. Proc. of the 4th Internat. Conf. on Plant Pathogenic Bacter, Station de Pathologie Vegetale et Phytobacteriologie, INRA, Angers, France, 1978, 2: 879-882.

Laureysens I, W Deraedt, T Indeherberghe, R Ceulemans. 2003. Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. Biomass & Bioenergy 24: 81-95.

구영본 & 여진기. (2003). The Status and Prospect of Poplar Research in Korea. 임산에너지, 22: 1-17.

여진기, 김인식, 구영본, 김영중, & 주성현. (2003). 시험림에서 축산폐수 처리에 따른 포플러의 생장과 축산폐수 흡수. 한국폐기물자원순환학회지, 20: 742-749.

04

우리 생활속의 포플러

기독교에서 속성수인 버드나무는 또 다른 의미

서울시립대학교 교수 우 수 영

기독교 성서에는 나무와 식물이 여러 종류가 나온다. 참나무, 무화과나무, 뽕나무 등 등..... 이러한 나무들을 보면 그 당시 예수께서 활동하던 팔레스타인 지역의 기후, 날씨를 대충 추정할 수 있다. 나무 가운데 버드나무는 성서 여러 군데에서 언급된다. 버드나무는 물가에서 자라는 속성수이며 물에 절대적으로 의지하는 수종이다. 물이 풍부하게 있는 지역에서는 뿌리 깊은 나무가 되어서 바람에 넘어지지 않는 상징이 되었다.

우리가 익숙하듯 이스라엘민족의 역사는 포로, 노예의 역사였다. 1948년 건국하기 이전에는 이집트, 앗수르, 바빌론, 로마의 식민시대를 거친 고난의 시대였다. 이러한 시대를 배경으로 만들어진 가곡, 노래에는 그 시대의 암울한 어둠을 표현하지만 또한 메시아가 올 것이라는 희망을 안고 있었다. 그 예술의 소재 가운데에는 버드나무 등의 속성수가 등장한다. 물가에 심겨진 나무는 노예생활을 하는 민족에게 그늘을 제공하고 피곤으로 목마름에 지친 사람들을 위로하는 환경이 되었다. 바빌론포로가 되었을 때를 배경으로 쓴 시편은 다음과 같이 표현한다.

시편 137편 1절, 우리가 바빌론의 여러 강변 거기에 앉아서 시온을 기억하며 울었도다

시편 137편 2절, 그 중의 버드나무에 우리가 우리의 수금을 걸었나니

시편 137절 3절, 이는 우리를 사로잡은 자가

거기서 우리에게 노래를 청하며 우리를 황폐하게 한 자가 기쁨을 청하고 자기들을 위하여 시온의 노래 중 하나를 노래하라 함이로다

시편 137편 4절, 우리가 이방 땅에서 어찌 여호와의 노래를 부를까

바빌론에 포로로 잡혀간 BC 586~538년경에 쓴 구절이다. 그 때 이스라엘 백성들이 당하고 있는 인간이하의 생활 이야기인 것이다. 시편 기자는 이스라엘 백성들이 이방인들에 의해 당한 고난에 대해 탄식하고 있다.

아마도 이스라엘민족은 아무 희망도 없던 시기에 바빌론 강가의 버드나무를 바라보면서 휴식과 위로를 얻었을 것이다. 고향에 있는 나무를 생각하면서 버드나무에 수금을 걸고 노래한 모습을 보면서 포로생활이지만 초록색의 버드나무 잎은 마음에 큰 위로를 주었을 것이다.

“우리가 바빌론의 여러 강변 거기에 앉아서 시온을 기억하며 울었도다.” 왜 시온을 기억하며 우는가? 현실이 어렵기 때문이다. 과거 시온에 있을 때 좀 더 잘 살았어야 했다. 포로로 잡혀올 상황에 이르기 전에 나라를 강하게 하고 이방인의 침입을 막았어야 했다. 그러나 그들의 조국은 멸망했고 자신들은 포로로 잡혀와 있다. 그리고 시온을 생각하면서 그리움의 눈물, 아픔의 눈물, 회한의 눈물을 흘리고 있다. 여기 ‘울었도다’라는 말은 히브리어로 그냥 울었다는 의미가 아니고

‘방성대곡하다’ ‘죽음으로 인하여 애곡하다’ ‘큰 소리로 울다’라는 의미이다. 사랑하는 사람이 죽었을 때와 같이 억제 할 수 없는 큰 슬픔으로 인하여 주위를 돌아보지 않고 큰 소리로 울고 있는 것이다.

그래서 바빌론 강변의 버드나무에 수금을 걸었다는 것이다. “버드나무(2절)에 해당하는 원어 ‘아라브’는 잎이 흔들리며 서로 부딪혀 처량한 소리를 내기 때문에 슬픔의 감정을 비유할 때 사용되기도 한다. 이 나무는 바빌론에만 서식하는 이국적인 나무가 아니라 이스라엘의 축제 때 사용될 정도로 팔레스타인에도 매우 흔한 것이었다. 그들의 고향에서 많이 대하고 보던 나무인 것이다.

성서 시편뿐 만이 아니고 현대 음악 가운데 바빌론 포로시대를 배경으로 만들어진 두 가지를 소개한다.

첫째는 주세페 베르디(1813~1901)가 작곡한 “나부코”이다. 바빌론 포로시대, 노예생활을 배경으로 만들어진 오페라이다. 1842년 오페라 ‘나부코’를 공연했는데 그 내용이 애국적이어서 당시 오스트리아의 압제 하에 있던 이탈리아인들에게 크게 감동을 주어 성공을 거두고 베르디는 오페라의 샛별로 자리하게 된다. 베르디를 세상에 알린 히트곡이 된 것이다. “나부코”는 유대인을 강제로 바빌론으로 끌고 갔던 바빌로니아 왕, “네부카드네자르”의 이름을 이탈리아식으로 줄여 부른 것이다. 가톨릭 성경에는 네부카드네자르라고 하고, 기독교 성경에서는 느부갓네살이라고 쓴다. 첫 번째 침입은 BC 601년 신바빌로니아 왕 네부카드네자르 2세는 유다왕국의 수도 예루살렘을 무너뜨렸다. 그리고 5년 뒤 BC 597년 유대인을 포로로 잡아 바빌론으로 끌고 가 노예살이를 시켰다. 두 번째 침입은 BC 586년으로 기록돼 있다. 당시 예루살렘의 왕 시드기야는 여

리고에서 붙잡혀 강제로 눈이 뽑혀 맹인이 되었고 주민들은 바빌론으로 끌려가거나 흩어졌다. 세 번째 침입은 BC 582년 유다의 모든 고대도시가 파괴되었고 유대인들은 노예의 신분이 되었다. 잡혀간 유대인은 건설, 건축에 동원되었다. 포로 수가 부녀자를 더하면 45,000명이 넘을 것이라고 추정한다.

버드나무는 바빌론 강가에서 비참한 포로생활에 인간이하의 생활을 하는 히브리인에게 희망을 제공하는 오로지 한 가지 소망과 같은 뜨거운 여름 햇볕에서 그들이 되었을 것이다.

둘째는 우리가 잘 아는 가수 보니엠의 “Rivers of Babylon (바빌론의 강)” 이다. 여기서도 인간이하의 노예생활을 배경으로 바빌론 강가에서 휴식을 하면서 그리운 나라, 가족을 생각하면서 우는 히브리인들을 위로하는 강가의 나무가 있었을 것이다.

By the rivers of babylon, there we sat d
own

Ye-eah we wept, when we remembered
zion

When the wicked

Carried us away in captivity

Required from us a song

Now how shall we sing the lord's song i
n a strange land

.....

바빌론 강가에 앉아서 우리는 울었어,

오, 오, 시온을 기억하면서

그들이 우리를 붙잡아 쫓아내면서 우리에게 노
래를 시켰지

이국의 땅에서 어떻게 노래를 부를 수 있겠는
가?

.....

나라 잃은 슬픔에서 그들과 안식을 준 버드나무처럼 사람들도 서로에게 위로와 그늘을 제공하는 나무와 같은 의미가 되면 이 세상이 더 의미 있을 것이다.

05

추모의 글

박광서(朴光緒)회장을 추모하며

1. 한국포플러위원회와의 연관계기

박광서회장이 생애(生涯) 최초로 한국포플러위원회와 연관을 갖게 된 계기는 다음과 같습니다. 1972년 6월1일에 주식회사 천우사(天友社) 사장이었던 고(故) 전택보(全澤瑠)사장 (1901~1980)의 요청을 받아 입사하였습니다. 사장님께서는 당시 한국 무역업계의 개척자로서 재계는 물론, 정계, 교육계, 언론계에도 널리 알려져 있었습니다.

“한국포플러위원회”는 UN산하 국제식량농업기구(FAO)산하기관인 국제포플러위원회의 한국 지부와 같은 단체로서 ‘포플러’ 나무의 식재, 보급, 이동 등에 관하여 연구하는 전문기관이었으며, 그 구성원들은, 전택보 회장을 위시하여 당시 입학계의 거목(巨木)인 서울대학교 현신규(玄信圭)교수, 경제기획원장과 농림부장관을 역임한 원용석(元容奭)교수, 전경련부회장, 재건국민운동본부장과 서울대학교 농과대학 원예학과 류달영(柳達永)교수, 최 호(崔 溟) 보르네오통상화장, 국민은행 초대 행장을 역임한 동산사업 오선환(吳善煥) 회장 등을 비롯하여 재계, 학계, 임업계의 거물급 인사들이 주축을 이루고 있는 놀랄만 한 기관이었습니다.

박광서회장은 1957~1963년 고려대학교 정경대학 경제학과를 졸업하였으며 1963~ 1968년 경제학과 석사과정을 수료하였습니다. 그는 예산 농업고등학교 토목학과(1954~ 1957)를 졸업했다는 이유로 천우사 경리부 업무보다는 “한국포플러위원회의 업무를 전담하다시피 하였습니다.

그는 천우사에서 1972~1982년 까지 한국포플러위원회 사무국장 겸 상무이사직으로 근무하

였습니다.

2. CEO연구

박광서 한국포플러회장은 그 일생을 통하여 순천향대학교 교수로서, 한국경영사상연구원장으로서, 한국전문경영인(CEO)학회장으로서는 세가지 큰 직능별로 활동했다고 추정됩니다

박광서교수는 1985년부터 한국경영사학회에서 개최하는 학술대회에 참석하여 발표자와 토론자로서 열심히 활약하였으며 유일한(柳一韓, 1895~1971)의 사회적 책임과 역할에 관한 논문, 동산산업 오선환 회장, 대원강업의 허주열 회장, 한국유리 최태섭 회장을 연구함으로써 우리나라 CEO연구의 선구적 연구를 수행하였습니다.

단국대학교 박사학위 논문으로는 유한양행 유일한 창업자 연구로 ILHANISM을 강조하였습니다. 그 후로 공동연구로서, 현대그룹의 정주영(鄭周永) 회장, 구인회(具仁會) 회장, 박승직(朴承稷) 회장, 김성곤(金成坤) 회장, 김향수(金向洙) 회장 등의 연구를 꾸준히 하였습니다.

초당(草堂)대학교 김기운(金基運) 이사장님을 무척 존경하면서 ”인간, 자연, 그리고 사랑“이라는 인성교본을 편저 하고 인성교육의 중요성을 강조 하였습니다.

도덕적 위기는 비단 한국만의 문제가 아니라 전 세계적인 현상으로, 근대 이후의 문명이 기술적 발전이 무한궤도를 질주하는 가운데 개인과 사회를 규율하던 가치질서는 현저하게 악화되면서 자본주의 또한 그물질적 풍요에도 불구하고 세계 도처의 갖가지 모순과 갈등을 빚어 냄으로써 미

래사회의 세계는 더욱 불행한 시대가 될 것으로 우려하고 있습니다.

강진군의 초당림은 백제약품 설립자인 김기운 회장이 1968년부터 조성한 960ha의 규모의 인공 숲으로 백합, 참나무, 편백나무 등이 울창하게 우거져 있습니다.

박광서회장님은 CEO들과의 교류에 남달리 특유한 친화력과 유대감, 그리고 지속적인 친목을 이어 왔습니다. 그리고 CEO들과의 약속 시에는 만날 시간을 절대로 준수해야 함을 철칙으로 삼았습니다. 금쪽같은 CEO의 시간에 차질을 가져와서는 안 된다는 명제를 지켜 왔습니다. 그리고 한번 인연을 맺은 CEO는 절대로 끊임이 없이 지속적으로 교류하는 기회를 삼았습니다.

3. 박광서회장과의 학회활동

개인적으로는 한국경영사학회, 한국전문경영인(CEO)학회, 해외학술탐사, 교보생명보험 신용호(愼鏞虎) 회장의 보험정책과 인재교육에 대한 순회강연을 하였습니다.

박광서 교수님은 예산농고 졸업 시에 지산(芝山) 이종건(李鐘乾) 교장선생님의 훈화와 더불어 살구나무 세 그루를 받으며 "평생 나무를 사랑하라"는 가르침을 몸소 실천하였습니다.

그중에도 특히 보령그룹 회장이신 중보(中甫) 김승호(金昇浩) 회장님과도 많은 교류를 하였으며 중국 북경 연변에 까지 함께 찾아가서 중국의 CEO와도 교류를 하였습니다.

박광서 회장님은 필생의 소망을 평소에 간직하고 있었습니다. 그 하나는 김기운 회장님이 "임업전당"을 현액받는 일이었습니다. 산림청의 지속적인 관심과 지원이 따라야 가능한 일이라고 믿고 있습니다. 그리고 다른 하나는 한국포플러 위원회가 명실상부한 UN산하 FAO기구의 온당한 지위를 누리는 일입니다.

박광서회장님은 1938년 8월 15일(양)에 충남 예산에서 태어났으며, 2021년 9월10일에 일생(一生)을 마쳤습니다. 슬하에는 박한성 아드님과 박진 따님을 두셨습니다.

06

부 록

CONVENTION ON THE INTERNATIONAL COMMISSION
ON POPLARS AND OTHER FAST-GROWING TREES
SUSTAINING PEOPLE AND THE ENVIRONMENT

as amended by the Special Session of the Commission (6 February 2019), and approved by the Forty-first Session of the FAO Conference (22 June - 29 June 2019)

인간과 환경이 지속가능한 포플러 및 기타 속성수 국제위원회 정관
2019년 2월 6일 특별회기에서 개정되고, 제41차 FAO 총회(2019. 6. 22-29)에서 승인

Article I – Status(지위, 명칭)

The International Commission on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment (hereinafter referred to as “the Commission”) which is placed within the framework of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (hereinafter referred to as “the Organization”) shall be governed by the provisions of Article XIV of the Constitution of the Organization and by the present Convention.

인간과 환경이 지속가능한 포플러 및 기타 속성수 국제위원회(이하 위원회)는 UN 세계농업식량기구(이하 기구) 내에 두고 그 기관의 조직 정관 제14조 조항들과 현재의 정관의 적용을 받는다.

Article II – Membership(회원)

1. Member Nations of the Commission shall be such Member Nations or Associate Members of the Organization as accept this Convention in accordance with the provisions of Article XIII of this Convention.

본 위원회 회원국은 정관 제13조 규정(조항)에 따라 이 정관을 수락하는 FAO 회원국 또는 준회원국으로 한다.

2. The Commission may, by a two-third majority of its membership, admit to membership such other States that are Members of the United Nations, any of its Specialized Agencies or the International Atomic Energy Agency as have submitted an application for membership and a declaration made in a formal instrument that they accept this Convention as in force at the time of admission.

본 위원회는 가입 당시 시행중인 본 위원회 정관에 동의하고, 수락을 공식적인 수단에 의하여 공포하고, 회원 가입 신청서를 제출한 UN, UN 전문기구 또는 원자력기구 회원국 같은 2/3 이상의 다수결로 회원국으로 받아들일 수 있다.

3. Member Nations and Associate Members of the Organization that are not Members of the Commission may, upon request, be represented as observers at sessions

of the Commission. Non-member States of the Organization that are Members of the United Nations, any of its Specialized Agencies or the International Atomic Energy Agency may, upon request, be represented as observers at sessions of the Commission, subject to the provisions relating to the granting of observer status to Nations adopted by the Conference of the Organization.

본 위원회 회원국이 아닌 FAO 회원국 또는 준회원국들이 요청이 있을 경우 본 위원회 회의에 옵서버로 참여할 수 있다. FAO의 회원국이 아닌 UN 회원국들, UN 전문기구 혹은 국제원자력기구 회원국들은 FAO 총회에서 채택된 국가들에 옵서버의 지위를 부여하는 관련된 조항에 의거하여 본위원회 회의에 옵서버로 참여할 수 있다.

Article III – Functions(기능, 임무)

The functions of the Commission shall be:

본 위원회의 기능은 다음과 같다.

a) to study and engage on scientific, technical, social, economic, and environmental aspects of Populus and other fast-growing trees. In addition to the Commission's work on the genus Populus, the Commission's subgroups may work on other genera that sustain people and the environment. Priorities of the Commission's work are forest resources production, protection, conservation and utilization, with a view to sustaining livelihoods, land uses, rural deve-

lopment and the environment. This work includes food security issues, climate change and carbon sinks, biodiversity conservation and resilience against biotic and abiotic threats, and combating deforestation;

포플러 속과 다른 속성수에 관한 과학적, 기술적, 사회적, 환경적 측면에 연구하고 관여한다. 본 위원회는 임무는 포플러 속 외에 인간과 환경을 지속하게 하는 다른 속의 소위원회(subgroup)을 두어 다룰 수 있다. 본 위원회의 업무 우선 순위는 지속 가능한 생계수단, 토지이용, 농촌개발 및 환경을 위한 산림자원의 생산, 보호, 보전 및 이용이다. 이 일(작업)에는 식량안보문제, 기후변화 및 탄소흡수원(저장), 생물다양성 보전과 생물학적 및 비 생물 위협에 대한 탄력성과 산림 파괴 방지가 포함된다.

b) to promote the exchange of sustainable management practices, knowledge, technology, and material, on mutually agreed terms, between researchers, developers, producers, and users;

연구자, 개발자, 생산자, 이용자들 간의 상호 동의하에 지속 가능한 관리경험, 즉 지식, 기술 그리고 재료 교환을 촉진하다.

c) to arrange joint research programs;

공동연구 프로그램을 주선한다.

d) to stimulate the organization of congress combined with study tours;

현장 견학을 포함한 학술대회 구성을 장려한다.

e) to report and make recommendations to the Conference of the Organization, through the Director General of the Organization; and

FAO 사무총장을 통해 FAO 총회에 보고하고 건의 한다. 그리고

f) to make recommendations to the National Commissions or other national bodies provided for in Article IV of this Convention, through the Director-General of the Organization and the governments concerned.

FAO 사무총장과 관련 국가들을 통하여 국가위원회 또는 이 정관 제4조 규정에 의하여 정해진 다른 국내 단체들에 건의한다.

Article IV – Establishment of National Commissions(국가위원회 설립)

Each contracting Nation shall make provision as soon as possible and to the best of its ability, either for the establishment of a National Commission dealing with poplars and other fast-growing trees, or, if not possible, for the designation of some other suitable national body, and shall transmit a description of the competence and scope of the National Commission or other body and of any changes thereto, to the Director-General of the Organization who shall circulate this information to the other Member Nations of the Commission.

n. Each contracting Nation shall communicate to the Director-General the publications of its National Commission or other body.

각 협정체결 국가(가입국)는 가능한한 빨리 그리고 최선을 다하여 포플러 및 다른 속성수를 다루는 위원회나 그것이 불가능하다면 적절한 다른 국가기구를 지명하는 규정을 마련하고, 국가위원회 혹은 다른 기구의 권한과 범위 그리고 그에 따른 변화에 대한 기술서를 이 위원회의 다른 회원국에게 이 정보를 회람시킬 FAO 사무총장에게 전달해야 한다. 각 협정체결 국가들은 각 국가위원회와 다른 기구의 발간물을 IPC 사무국장에게 전달해야 한다.

Article V – Seat of the Commission(위원회의 위치)

The seat of the Commission shall be in Rome at the Headquarters of the Organization.

본 위원회의 위치는 이 기구의 본부가 있는 로마에 둔다.

Article VI – Sessions(총회, 회기)

1. Each Member Nation of the Commission shall be represented at sessions of the Commission by a single delegate who may be accompanied by an alternate and by experts and advisers. Alternates, experts and advisers may take part in the proceedings of the Commission but not vote, except in the case of an alternate who is duly authorized to substitute for the delegate. E

ach Member Nation of the Commission shall have one vote. Decisions of the Commission shall be taken by a majority of the votes cast except as otherwise provided in this Convention. A majority of the Member Nations of the Commission shall constitute a quorum.

본 위원회의 각 회원국은 위원회의 회의에 한 명의 대리인(교체대표)과 전문가들 및 고문들을 동반할 수 있는 단일 대표로 대표된다. 교체위원, 전문가들 및 고문들은 공식적인 절차에 의한 대표를 대리하는 것으로 승인된 대리인의 경우를 제외 하고는 투표를 할 수는 없다. 위원회의 각 회원국은 하나의 투표권을 갖는다. 위원회의 결정은 이 정관에 규정된 경우를 제외하고는 다수표의 투표로 이루어진다. 의결 정족수는 위원회 회원국의 다수결로 이루어진다.

2. The Director-General of the Organization, in consultation with the Chairperson of the Executive Committee of the Commission, shall convene a regular session of the Commission once every four years. Special sessions of the Commission may be convened by the Director-General in consultation with the Chairperson of the Executive Committee, or if requested by the Commission, or by at least one-third of the Member Nations of the Commission.

FAO 사무총장은 본 위원회의 집행위원회위원장과 협의하여 4년마다 1회 정기총회를 소집한다. 본 위원회의 특별 회의는 집행위원회위원장과 협의하여 사무총장이 소집하거나 혹은 위원회에서 요구하거나 혹은 회원국 중 최소한 1/3 이

상이 요구할 경우 개최 될 수 있다.

(여기서 chairman을 chairperson으로 개정함)

3. The sessions of the Commission shall be held at the place determined by the Commission within the territories of its Member Nations or at the seat of the Commission.

본 위원회의 총회는 위원회의 결정으로 회원국 영토 내에서 또는 위원회 본부가 있는 장소에서 개최된다.

4. The Commission shall elect, at the beginning of each session, from amongst the delegates, a Chairperson and two Vice-Chairpersons.

본 행위위원회는 각 회기가 시작될 때 대표들 중에서 한 명의 의장과 부의장 2인을 선출한다.

(여기서 chairman을 chairperson으로, vice-chairman은 vice-chairperson 개정함)

5. Recommendations of the Commission should be given due consideration by the National Commissions and other national bodies provided for in Article IV of this Convention.

본 위원회의 권고사항들은 이 정관 제4조에 규정에 따라 각 국가의 위원회 또는 다른 국가 기구들에 의하여 충분히 고려되어야 한다.

Article VII – Executive Committee(집행위원)

1. There shall be an Executive Committ

ee of the Commission consisting of 12 members and up to 5co-opted members.

본 위원회 12명의 집행위원과 최대 5명의 선임위원으로 구성된 집행위원회를 둘 수 있다.

2. Twelve members of the Executive Committee shall be elected by the Commission from among individuals nominated by Member Nations of the Commission upon the suggestion of their respective National Commissions or other national bodies provided for in Article IV of this Convention. Members of the Executive Committee shall be appointed in their personal capacity because of their special competence, and shall serve for a period of four years. Members of the Executive Committee shall be eligible for re-election.

집행위원회 위원 12명은 이 정관 제4조에 규정된 각 국가위원회 또는 기타 국가 기구의 추천을 받고 회원국들에 의하여 지명된 개인 중에서 위원회에서 선출된다. 집행위원회의 위원은 특별한 역량으로 인한 개인 능력으로 임명되며 4년 임기를 봉사한다. 집행위원회 위원은 재선 될 수 있다.

3. The Executive Committee may, in order to ensure the co-operation of the necessary specialists, coopt one to five additional members under the same conditions as are provided for in paragraph 2 above. The term of office of the additional members shall expire with the term of the elec

ted members.

집행위원회는 필요한 전문가의 협력을 확보하기 위하여 상기 제2항에 규정된 것과 동일한 조건하에 1명 내지 5명의 추가 위원을 선출 할 수 있다. 추가된 집행위원의 임기는 선출된 위원의 임기와 같이 종료된다.

4. The Executive Committee shall, between sessions of the Commission, act on behalf of the Commission as its executive organ. The Executive Committee shall in particular make proposals to the Commission regarding the general orientation and the program of work of the Commission, study technical questions and implement the program as approved by the Commission.

집행위원회는 집행 기관으로서 총회가 열리지 않는 기간에 본 위원회를 대신하여 활동한다. 집행위원회는 특히 본 위원회의 일반적인 지향방향 및 작업 프로그램을 본 위원회에 제안하고, 기술 문제를 연구하고 본 위원회가 승인 한대로 프로그램을 시행한다.

5. The Executive Committee shall elect from amongst its members a Chairperson and a Vice Chairperson.

집행위원회는 위원 중에서 의장(Chairperson)과 부의장(Vice- chairperson)을 선출한다.

6. Sessions of the Executive Committee may be convened as often as necessary by the Director General of the Organization in consultation with its Chairperson. The

Committee shall meet in connection with each regular session of the Commission. It shall also meet at least once between two regular sessions of the Commission.

집행위원회 회의는 FAO 사무총장이 본 위원회 의장(Chairperson)과 협의하여 필요한 만큼 자주 소집 할 수 있다. 집행위원회는 각 정기 회의와 연계하여 회합한다. 집행위원회는 2회 정기 회의 사이에 적어도 한 번은 회합한다.

7. The Executive Committee shall report to the Commission.

집행위원회는 위원회에 보고한다.

Article VIII - Secretary(간사, 서기)

A Secretary of the Commission shall be appointed by the Director-General of the Organization from amongst the senior staff of the Organization and shall be responsible to the Director-General. The Secretary shall perform such duties as the work of the Commission may require.

본 위원회의 간사는 FAO의 수석직원(senior staff)들 중에서 FAO 사무총장이 임명하며, 사무총장의 감독을 받는다. 간사는 본 위원회가 요구하는 임무를 수행한다.

Article IX - Subsidiary Bodies(부속기구)

1. The Commission may, if necessary, establish sub-commissions, committees or working parties, subject to the availability of the necessary funds in the relevant chapter of the approved budget of the Organization. Sessions of such sub-commissions, committees or working parties shall be

convened by the Director-General of the Organization in consultation with the Chairperson of such body.

본 위원회는 필요한 경우 FAO의 승인된 예산의 관련 항목 내에 필요한 기금의 가용성을 조건으로 소위원회(sub-commission), 위원회(committee) 또는 작업반(working party)을 설치할 수 있다. 그러한 부속소위원회, 위원회 또는 작업반의 회의는 그 기구의 의장(Chairperson)과 협의하여 FAO 사무총장이 소집한다.

2. Membership in subsidiary bodies shall be open to all Member Nations of the Commission, or shall consist of selected Member Nations of the Commission, or of individuals appointed in their personal capacity, as determined by the Commission.

부속기구의 회원국은 위원회의 모든 회원국에게 개방되거나 위원회의 선출된 회원국 또는 위원회가 결정한 개인 능력으로 임명된 개인으로 구성된다.

Article X - Expenses(비용)

1. Expenses incurred by delegates of Member Nations of the Commission and of their alternates and advisers, when attending sessions of the Commission, or subsidiary bodies, as well as the expenses incurred by observers, shall be borne by the respective governments or organizations.

본 위원회의 회원국 대표들과 그들의 대리인 및 고문단, 옵서버가 위원회 혹은 부속기구의 회의에 참석할 때의 비용은 각 정부 또는 각 단체가 부담한다.

2. Expenses of all the members of the Executive Committee when attending sessions

ns of the Executive Committee shall be borne by the countries of which they are nationals.

본 위원회 집행위원이 집행위원회에 참석할 때 집행위원회 위원 전원의 비용은 국적을 가진 각 위원의 해당 국가가 부담한다.

3. Expenses incurred by individuals invited in their personal capacity to attend sessions or participate in the work of the Commission or its subsidiary bodies shall be borne by such individuals except when they have been requested to perform a specific task on behalf of the Commission or its subsidiary bodies.

개인적으로 회의에 참석하거나 위원회 또는 그 보조기구의 업무에 참여하도록 초청된 때 개인이 부담하는 비용은 위원회 또는 그 보조 기관을 대표하여 특정 임무를 수행하도록 요청받은 경우를 제외하고는 개인이 부담한다.

4. The expenses of the Secretariat shall be borne by the Organization.

간사의 경비는 FAO가 부담한다.

5. When the Commission or Executive Committee hold sessions elsewhere than at the seat of the Commission, all additional expenses related to such sessions shall be borne by the host government. The expenses for publications relating to sessions of the Commission other than the reports of such sessions, of the Executive Committee and subsidiary bodies shall be borne by the host government.

본 위원회 또는 집행위원회가 소재지 이외의 곳에서 회의를 개최하는 경우, 그러한 회의와 관련된 모든 추가 경비는 개최국 정부가 부담한다.

위원회의 회의와 관련된 보고서와 같은 간행물, 집행위원회 및 보조기구의 간행물 경비는 주최국 정부가 부담한다.

6. The Commission may accept voluntary contributions generally or in connection with specific projects or activities of the Commission. Such contributions shall be paid into a Trust Fund to be established by the Organization. The acceptance of such voluntary contributions and the administration of the Trust Fund shall be in accordance with the Financial Regulations of the Organization.

본 위원회는 일반(통상)적으로 또는 위원회의 특정 과제나 활동과 관련하여 자발적인 기부를 받을 수 있다. 그러한 기부금은 FAO에서 개설한 신탁기금(Trust Fund)으로 지불되어야 한다. 그러한 자발적인 기부 및 신탁기금의 관리는 FAO의 재정 규칙에 따라야 한다.

Article XI – Rules of Procedure(의사진행 규칙)

The Commission may, by a majority of two-thirds of its membership, adopt and amend its own rules of procedures, which shall be consistent with the General Rules of the Organization. The Rules of the Commission and any amendment thereto shall come into force upon approval by the Director-General of the Organization, and as from the date of such approval.

본 위원회는 회원국의 3분의 2 이상의 다수결에 의하여 자체의 의사진행 규칙을 채택하고 개정할 수 있으며, 이 규칙은 FAO의 일반 규칙과 부합해야 한다. 위원회 규칙 및 이에 대한 개정안

은 FAO 사무총장의 승인을 얻은 후, 그 승인일로부터 발효한다.

Article XII - Amendments(정관 개정)

1. This Convention may be amended by the Commission by a two-thirds majority of the membership of the Commission.

이 정관은 위원회의 3분의 2 이상의 다수결로 위원회에 의해 개정 될 수 있다.

2. Proposals for amendments may be made by any Member Nation of the Commission in a communication addressed to the Director-General of the Organization not later than 120 days before the session at which the proposal is to be considered. The Director-General shall immediately inform all Member Nations of the Commission of all proposals for amendment.

개정안에 대한 제안은 위원회의 어느 회원국이 라도 제안서를 심의 할 회의의 120일 전까지 FAO 사무총장에게 통보함으로써 할 수 있다. FAO 사무총장은 즉시 모든 제안(수정안)을 모든 회원 구에게 통보하여야 한다.

3. Amendments shall become effective only with the concurrence of the Conference of the Organization and as from the date of such concurrence. The Director-General of the Organization shall inform all Member Nations of the Commission, all Member Nations and Associate Members of the Organization and the Secretary-General of the United Nations of such amendments.

개정은 FAO 총회의 동의가 있는 경우에만 그리고 그러한 동의가 있는 날부터 효력을 발생한다.

다. FAO 사무총장은 위원회의 모든 회원국, 준 회원국 및 국제 연합 사무총장에게 그러한 개정안을 통보한다.

4. Amendments involving new obligations for Member Nations of the Commission shall come into force in respect of each Member Nation only upon acceptance by it. The instruments of acceptance of amendments involving new obligations shall be deposited with the Director-General of the Organization. The Director-General of the Organization shall inform all Member Nations of the Commission, all Member Nations and Associate Members of the Organization and the Secretary-General of the United Nations of such acceptance. The rights and obligations of any Member Nation of the Commission that has not accepted an amendment involving additional obligations shall continue to be governed by the provisions of the Convention in force prior to the amendment.

본 위원회의 회원국에 대한 새로운 의무사항들에 관련된 개정안은 그 개정안에 대한 각 국가들의 수락서가 FAO 사무총장에게 기탁 될 때에 효력을 발효한다. FAO 사무총장은 그 위원회의 모든 회원국, FAO의 모든 회원국과 준 회원국 그리고 국제 연합 사무총장에게 그러한 수락 사실을 통보한다. 추가적인 의무사항들과 관련된 개정안을 수락하지 않은 위원회의 어떤 회원국의 권리와 의무는 개정 전에 발효된 정관 규정에 의해 계속 지배를 받는다.

Article XIII - Acceptance(수락)

1. Acceptance of this Convention by any Member Nation or Associate Member of the Organization shall be effected by the deposit of an instrument of acceptance with the Director-General of the Organization and shall take effect on receipt of such notification by the Director-General.

FAO의 회원국 또는 준회원국에 의한 이 정관의 수락은 FAO 사무총장에게 수락서를 기탁함으로써 발효되고, 사무총장이 그러한 통고를 접수하면 효력을 발생한다.

2. Acceptance of this Convention by Non-Member Nations of the Organization shall become effective on the date on which the Commission approves the application for membership in conformity with the provisions of Article II of this Convention.

FAO의 비회원국에 의한 이 정관의 수락은 위원회가 이 정관 제2조의 규정에 따라 가입신청을 승인한 날부터 효력을 발생한다.

3. The Director-General of the Organization shall inform all Member Nations of the Commission, all Member Nations and Associate Members of the Organization and the Secretary-General of the United Nations of all acceptances that have become effective.

FAO 사무총장은 본 위원회 모든 회원국과 FAO 회원국, 준 회원국 및 국제 연합 사무총장에게 효력을 발생한 모든 수락사항들을 통보해야 한다.

4. Acceptance of this Convention may be made subject to reservations which shall become operative only upon unanimous concurrence by the Member Nations of the

Commission. The Director-General of the Organization shall notify forthwith all Member Nations of the Commission of any reservations. Members of the Commission not having replied within three months from the date of the notification shall be deemed to have accepted the reservation.

이 정관의 수락은 유보될 수 있으며, 이러한 유보는 본 위원회의 회원국이 만장일치로 동의한 경우에만 효력을 발생한다. FAO 사무총장은 위원회의 모든 회원국에 어떠한 유보사항도 즉시 통보한다. 통보 일로부터 3개월 이내에 회신하지 않은 위원회의 회원국은 유보를 수락한 것으로 본다.

Article XIV - Territorial Application(적용 영토)

Member Nations of the Commission shall, when accepting this Convention, state explicitly to which territories their participation shall extend. In the absence of such a declaration, participation shall be deemed to apply to all the territories for the international relations of which the Member Nation of the Commission is responsible. Subject to the provisions of Article XVI, paragraph 2 below, the scope of the territorial application may be modified by a subsequent declaration.

본 위원회의 회원국들은 이 정관을 수락할 때 그 국가의 participation이 미치는 영토를 명시해야 한다. 그러한 선언이 없는 경우, 위원회의 회원국이 책임지는 국제 관계에 대한 모든 영토에 참여로 간주된다. 아래 정관 제16조 제2항의 규정에 따라, 영토 적용범위는 후속 선언에 의해

변경 될 수 있다.

Article XV - Interpretation and Settlement of Disputes(분쟁의 해석 및 해결)

Any dispute regarding the interpretation or application of this Convention, if not settled by the Commission, shall be referred to a committee composed of one member appointed by each of the parties to the dispute, and in addition an independent chairperson chosen by the members of the committee. The recommendations of such a committee, while not binding in character, shall become the basis for renewed consideration by the parties concerned of the matter out of which the disagreement arose. If as the result of this procedure the dispute is not settled, it shall be referred to the International Court of Justice in accordance with the Statute of the Court, unless the parties to the dispute agree to another method of settlement.

이 정관의 해석 또는 적용에 관한 어떠한 분쟁도 만약 그 위원회가 해결하지 못하면 분쟁 당사자들 각각이 지명한 1명씩의 위원으로 위원회가 구성되고 그 위원들에 의하여 선정된 한 독립적인 의장(Chairperson)으로 구성되는 위원회에 회부된다. 그러한 위원회의 권고는 문서로서 구속력을 가지지는 않지만, 의견의 불일치가 발생한 문제에 대한 관계 당사자의 재검토의 기초가 된다. 이 절차의 결과로 분쟁이 해결되지 않는 경우, 분쟁 당사국들이 다른 해결 방법에 합의하지 않는 한 분쟁은 재판소 법령에 따라 국제 사법 재판소에 회부되어야 한다.

Article XVI - Withdrawal(탈퇴)

1. Any Member Nation of the Commission may give notice of withdrawal from the Commission at anytime after the expiry of one year from the date of its acceptance of this Convention. Such notice of withdrawal shall take effect six months after the date of its receipt by the Director-General of the Organization, who shall inform all Member Nations of the Commission, all Member Nations and Associate Members of the Organization and the Secretary-General of the United Nations of such receipt.

위원회의 어떤 회원국이 정관의 수락 일부터 1년이 경과 한 후에 언제든지 위원회에 탈퇴 통고를 할 수 있다. 그러한 탈퇴 통보는 FAO 사무총장이 수령 한 날로부터 6개월 후에 발효되며, FAO 사무총장은 위원회의 모든 회원국, 준 회원국 및 UN 사무총장에게 통보한다.

2. A Member Nation of the Commission that is responsible for the international relations of more than one territory shall, giving notice of its own withdrawal from the Commission, state to which territory or territories the withdrawal is to apply. In the absence of such a declaration, the withdrawal shall be deemed to apply to all the territories for the international relations of which the Member Nation of the Commission is responsible. A Member Nation of the Commission may give notice of withdrawal with respect to one or more of the territories for the international relations of which it is responsible. Any Member Nation of the Commission that gives n

notice of withdrawal from the Organization shall be deemed to have simultaneously withdrawn from the Commission, and this withdrawal shall be deemed to apply to all the territories for the international relations of which the Nation concerned is responsible, with the exception of Associate Members.

둘 이상의 영토의 국제 관계를 담당하는 한 회원국은 본 위원회 탈퇴를 통보할 때, 어느 지역 영토에 탈퇴가 적용되는지를 명시해야한다. 그러한 진술이 없는 경우, 탈퇴를 통보할 때, 위원회의 회원국이 책임지고 있는 국제 관계에 대한 모든 영토에 적용되는 것으로 간주된다. 위원회 회원국은 자신이 책임지고 있는 국제 관계를 위해 하나 또는 그 이상의 영토에 대한 탈퇴를 통고할 수 있다. 준회원국은 예외로 하고 FAO의 탈퇴 통보를 하는 위원회 회원국은 위원회도 동시에 탈퇴된 것으로 간주되며, 이 탈퇴는 당해 국가가 책임지고 있는 국제 관계를 위하여 모든 영토에 적용되는 것으로 본다.

Article XVII - Termination(해산)

This Convention shall be considered terminated if and when the number of Member Nations of the Commission falls below 6 unless the remaining Member Nations of the Commission unanimously decide otherwise, subject to the approval of the Conference of the Organization. The Director-General of the Organization shall inform all Member Nations of the Commission, all Member Nations and Associate Members of the Organization and the Secretary-General of the United Nations of such termi-

nation.

이 정관은 위원회의 회원국 수가 6개국 이하로 떨어지는 경우, 나머지 회원국이 만장일치로 그러지 않기로 결정하지 않는 한 FAO의 총회의 승인에 따라 해산될 수 있다. FAO 사무총장은 위원회의 모든 회원국, FAO의 모든 회원국, 준회원국 및 국제 연합 사무총장에게 그러한 해산을 통보한다.

Article XVIII - Entry into force(효력발생)

1. This Convention shall enter into force as soon as twelve Member Nations or Associate Members of the Organization have become parties to it by the deposit of an instrument of acceptance in accordance with the provisions of Article XIII, paragraph 1 of this Convention.

이 정관은 제13조 제1항의 규정에 따라 12개 회원국 또는 FAO의 준 회원국이 동의서를 기탁함으로써 당사국이 되는 즉시 효력을 발생한다.

2. With respect to such Nations as are already Members of the Commission and who become parties to the present Convention, the provisions of this Convention shall replace the provisions of the Statutes of the International Poplar Commission adopted at the Second Session of the Commission held from 20 to 28 April 1948 in Italy.

이미 위원회의 회원국이며 이 정관의 당사자가 된 국가와 관련하여, 이 정관 규정은 1948년 4월 20일 ~ 28일 이탈리아에서 개최된 제2차 총회에서 채택된 국제포플러위원회 정관의 규정들을 대체할 것이다.

Article XIX - Authentic Languages(공식

언어)

The English, French and Spanish texts of this Convention shall be equally authentic.

이 협약의 언어는 영어, 불어 및 스페인어 본은 동등한 정본이다.

사단법인 한국포플러속성수위원회 정관

제정 : 1972년 07월 29일
 개정 : 1999년 04월 24일
 개정 : 2001년 02월 28일
 개정 : 2006년 02월 28일
 개정 : 2012년 07월 26일
 개정 : 2020년 11월 25일
 개정 : 2022년 07월 13일

제1장 총 칙

제1조(명칭) 본회는 사단법인 한국포플러속성수위원회(Korea National Commission on Poplars and Other Fast-Growing Trees)라 칭한다.

제2조(목적) 본회는 국제식량농업기구(FAO) 국제포플러속성수위원회에 우리나라를 대표하여 가입하고 그 연락업무를 담당하는 동시,

1. 국내의 포플러, 버드나무, 백합나무, 아카시아, 오리나무 등 속성수의 증식과 이용 등에 관한기본적 문제를 연구 검토하여 그 증식재배 관리 및 기술훈련을 담당함으로써 그 정상적인 발전에 기여함과,

2. 속성수와 관련된 해외 조림 기술자문(컨설팅)을 목적으로 한다.

제3조(사업) 본회는 그 목적을 달성하기 위하여 다음의 사업을 한다.

1. 국제포플러속성수위원회에 가입하고, 우리나라의 대표를 파견하여 기술과 의견 및 상호 자료·재료의 교환

2. 포플러류와 백합나무 등 속성수의 증식 및 이용 등에 관한 기본적 문제를 연구 검토하여

기술지도 보급과 기술훈련의 실시

3. 포플러류와 백합나무 등 속성수의 식재와 이용에 따른 과학적, 기술적, 사회적, 경제적 사항 등을 연구하여 당국의 임정시책에 협조 및 건의

4. 포플러류와 백합나무 등 속성수의 재배와 이용에 관한 강연회, 연구발표회 및 좌담회 등의 개최, 연구시험 및 조사 등의 소개와 인쇄물의 간행 및 보급

5. 연구자, 생산자 및 이용자간의 의견과 연구 자료의 교환

6. 속성수 및 해외 조림수종과 관련된 기술 지원 및 자문

7. 포플러류와 백합나무 등 속성수의 재배와 이용에 관한 연구 또는 사업 면에서 현저한 공로가 있는 자에 대한 포상

8. 기타 본회 목적 달성에 필요한 사업 및 부대사업의 일체

제4조(사무소의 소재지) 본회의 사무소는 서울특별시 혹은 경기도에 둔다.

제5조(법인체의 공고) 본회의 공고는 서울특별시 또는 경기도 내에서 발간되는 일간신문에 게재한다.

제6조(정관의 개정) 본회의 정관개정은 이사회
의 제청으로 총회에서 의결한다.

제2장 회 원

제7조(회원의 자격) 본회의 회원은 포플러류와
백합나무 등 속성수 등에 관한 연구, 재배, 생산,
이용, 행정 등에 관련되는 사업에 종사하였거나
또는 종사하고 있는 자로서

본회의 취지에 찬동하는 자를 이사회에서 인정
한 자로 한다.

제8조(회원가입 및 탈퇴) 본회 회원은 정식으
로 등록해야 한다. 만일에 본회에서 탈퇴하고자
할 때에는 사유서를 본회에 제출하고 임의로 탈
퇴할 수 있다. 다만, 납부된 회비와 기부금 및 찬
조금은 반환하지 않는다.

제9조(회원자격상실) 본회의 회원으로서 다음
각호1에 해당할 때에는 회원의 자격을 상실한다.

1. 사망(법인인 경구에는 해산)하였을 때
2. 본인의 신청에 의하여 탈퇴하였을 때
3. 이사회의 의결에 의하여 제명하였을 때

제10조(회원의 제명) 본회의 회원으로서 다음
의 각호1에 해당할 때에는 이사회의 의결에 의하
여 제명한다.

1. 본회의 명예를 훼손하였을 때
2. 제12조의 회원의 의무를 준수하지 않을 때

제11조(회원의 권리) 본회의 회원은 본회에 대
하여 다음의 권리가 있다.

1. 임원선거권 및 피선거권
2. 총회에 출석하여 발언할 권리
3. 본회의 업무 및 재산에 관한 제반서류를
열람할 권리

제12조(회원의 의무) 본회의 회원은 본회에 대
하여 다음의 의무가 있다.

1. 정관 또는 총회에서 의결된 사항을 준수
할 의무
2. 회비를 납부할 의무

제3장 임 원

제13조(임원의 종류의 수) 본회에 다음의 임원
을 둔다.

1. 고 문 : 약간 명
2. 회 장 : 1명(이사로 한다.)
3. 부 회 장 : 약간 명(이사로 한다.)
4. 이 사 : 15명(회장, 부회장, 상무이

사 포함)이내

5. 상무이사 : 이사 중에서 1명
6. 감 사 : 2명

제14조(임원의 선임) 본회의 임원은 총회에서
선임한다. 이 경우 선임된 회장은 산림청장에게
보고하여야 한다.

제15조(임원의 직무) ① 회장은 본회를 대표하
고, 회무를 통괄하며 총회 및 이사회의 의장이
된다.

② 부회장은 회장을 보좌하며 회장이 유고시
에는 그 직무를 대행한다.

③ 이사는 회장 및 부회장과 같이 이사회를
조직하여 본회의 중요사항을 의결한다.

④ 상무이사는 회장·부회장의 명에 의하여
회무를 집행하며 회장·부회장 유고시에는 그
직무를 대행한다.

⑤ 감사는 본회의 사무를 감사하여 총회에
보고하며 부정사실이 발견되었을 때에는 이를 총
회에 보고하여야 한다. 다만, 감사는 이사회에
출석하여 의견을 진술할 수 있다.

제16조(임원의 임기) ① 본회의 임원의 임기는
2년으로 하고, 연임할 수 있으며 임기만료가 되

어도 후임자의 취임 시까지 그 직무를 집행한다.

② 임원의 결원이 있을 때에는 이사회에서 호선하여 보충하되 임원의 임기는 전임자의 잔임 기간으로 한다.

제17조(임원의 보수) 본회의 임원은 명예직으로 한다. 다만, 이사회의 의결에 의하여 실비의 보수(수당, 상여금 등)를 지급할 수 있다.

제18조(임원의 보선) 본회의 임원 결원이 있을 때에는 다음 경우에 임시총회를 개최하고 보결 선거를 한다.

1. 회장의 결원
2. 이사의 현원 3인 미만(회장, 부회장, 상무 이사 포함)
3. 감사의 전원결원

제4장 회 의

제19조(회의) ① 본회의 회의는 총회와 이사회의 2가지로 한다.

② 총회는 정기총회와 임시총회의 2가지로 하고 정기총회는 매년 2월 이전에 소집하며 임시총회는 회장이 필요하다고 인정할 때 또는 이사회의 의결에 의하여 소집한다.

③ 이사회는 회장, 부회장, 이사(상무이사 포함)로 구성하고 회장이 필요하다고 인정할 때 수시로 이를 소집할 수 있다.

제20조(회의의 소집절차) 회장이 회의를 소집코자 할 때에는 10일전에 회의의 목적사항과 일시 및 장소 등을 서면으로 회의구성 회원에게 통지하여야 한다.

제21조(회의의 성립) 회의는 재적인원의 과반수이상의 출석으로 성립이 된다.

제22조(회의의 의결) ① 총회 및 이사회의 의결은 출석인원의 과반수로서 의결하고 가부동수일 때에는 의장의 결정하는 바에 의한다.

② 정관개정은 재적회원의 3분의2이상의 찬성으로 의결 한다.

제23조(총회의 대리권) ① 회원은 다른 회원을 대리인으로 하여 총회의 의결을 행사할 수 있다.

② 전항의 경우에는 이를 출석으로 간주한다.

③ 제1항의 경우에는 대리권을 증명하는 위임장을 회의 개시 전에 본회에 제출하여야 한다.

제24조(총회의 부의사항) 총회는 다음사항을 의결한다.

1. 정관의 개정 다만, 정관개정은 이사회의 제청에 의한다.
2. 세입세출예산의 심의 및 결산의 승인
3. 사업계획 및 사업보고의 승인
4. 경비부담에 관한 사항
5. 임원선출
6. 청산에 관한 사항
7. 이사회의 의결에 의하여 총회에 부의된 사항
8. 기타 중요한 사항

제25조(이사회의 부의사항) 이사회는 다음 사항을 의결한다.

1. 정관개정의 제청
2. 총회에 부의할 사항
3. 총회에서 위임받은 사항
4. 본회운영에 관한 사항
5. 회무 집행 상 긴급을 요하는 사항
6. 회원의 자격심의 및 제명의 의결
7. 임원의 보수(수당 및 상여금)의 결정
8. 경비예산에 관한 사항
9. 자산관리 및 차입에 관한 사항
10. 기타 중요한 사항

제26조(회의록 작성) 총회 및 이사회의 각급 회의록은 회장이 작성하되 출석이사 2인 이상이

서명 날인하여야 한다.

제27조(산림청장의 보고사항) 제25조1-2항의 의결사항에 대하여서는 산림청장에게 보고해야 한다.

제5장 직 원

제28조(직원의 구성) 본회에 다음의 직원을 둘 수 있다.

1. 사무계 : 약간 명
2. 기술계 : 약간 명
3. 고 원 : 약간 명

제29조(직원의 임면, 복무 및 급여) 직원은 회장이 임면하고 상사의 명을 받아 회무에 종사 한다. 다만, 직원의 복무와 급여 기타에 관한 사항은 이사회에서 결정한다.

제6장 자산 및 회계

제30조(사업 년도) 본회의 사업 년도는 매년 1월 1일부터 동년 12월 31일까지로 한다.

제31조(경비 및 자산) ① 본회의 경비는 다음 자산의 수입으로 충당하고 다음의 자산은 이를 기본자산으로 한다.

1. 회원의 회비
2. 찬조금
3. 기부금
4. 업무수입
5. 연구비 및 사업비 수주 시 관리비(전체 사업비의 10%를 관리비로 공제)
6. 기타 이사회에서 기본자산으로 편입하기로 의결된 자산

② 본 회는 전항 제3호에 의한 기부금을 수입금으로 충당하였을 경우 연간 기부금 모금액 및 활용실적을 홈페이지에 공개하여야 한다.

제32조(사업계획 및 예산편성) 회장은 사업 년도 초에 사업계획서를 작성하고 수지예산을 편성하여 이사회의 의결을 거쳐 총회의 승인을 받아야 한다.

제33조(사업보고 및 결산서의 작성) 회장은 매 년도말에 다음의 서류를 작성하여 감사를 받은 후 정기총회에 제출하여 승인을 받아야 한다.

1. 사업보고서
2. 재산목록
3. 수지결산서

제34조(감사) 감사는 전조의 서류를 감사하고 지체 없이 의견서를 첨부하여 회장에게 제출하여야 한다.

제7장 설립과 해산

제35조(설립) 본회의 설립은 사단법인 한국포플리위원회 설립 발기인회가 정관을 작성하여 창립총회의 승인의결로써 설립되며 산림청장의 설립허가를 얻어 관할 법원에 등기하고 이를 공고하여야 한다.

제36조(해산) 본회의 해산은 다음 경우에 한한다.

1. 산림청장의 해산명령이 있을 때
2. 법인의 목적달성이 불능일 때
3. 회원 4분의 3이상이 해산을 의결하였을 때

제37조(청산) ① 본회가 해산하였을 때에는 임원전원이 청산인이 되며 청산보고서는 산림청장에게 해산신고를 하여야 한다.

② 청산잔여 재산을 본회의 목적과 유사한 단체에 기증하여야 한다.

부 칙

2001년 2월 28일 개정 시행한다.

제1조 이 정관은 1971년 7월 29일 제정 시행하고 1999년 4월 24일 개정 시행한다.

제3조 이 정관 제14조 및 제27조를 청장규제 완화 조치로 승인에서 보고사항으로 2006년 2월 28일 개정 시행한다.

제2조 이 정관 제37조를 청장규제 완화조치로

(社團法人 韓國포플러委員會 許可公文)

산 립 청

임정 1151~1770호 71. 7. 29

수신 : 사단법인 한국포플러위원회

신청자 현 신 규(玄信圭)

제목 : 사단법인 설립인가

1. 귀하가 1971년 7월 7일자로 신청한 사단법인 설립에 대하여는 민법 제32조의 규정에 의거 별안과 같이 인가하니 입엽시책에 적극 협조하여 주시기 바라며,
2. 위의 정관 제14조 규정에 의거 “현신규”의 회장 취임을 승인하는 동시 별첨한 정관을 승인하니 업무에 착오 없도록 하여 주시기 바랍니다.

첨부 : 1) 사단법인 설립인가서 1부.

2) 정관 1부 끝.

산 립 청 장

한국포플러·속성수위원회 연혁

1960. 2. 14	韓國포플러協會 創立
1960~1962,	1968 ~ 1969, 元容奭 會長
1961. 6. 29	社團法人 韓國포플러協會 農林部 許可(농산제1258호)
1962~1967,	1973 ~ 1979 全澤珣 會長
1970~1972	玄信圭 會長(초대, 한국포플러위원회)
1971. 7. 29	社團法人 韓國포플러委員會 山林廳認可(임정제1152-1770호) FAO國際포플러委員會 加入申請(第96次 國務會議 議決)
1973. 1. 16	FAO國際포플러委員會 加入承認(條約469號)
1973. 2.	全澤珣 會長(2 ~ 5대)
1975. 12. 1	FAO國際포플러委員會 第15次 總會에서 社團法人 韓國포플러委員會 玄信圭 박사 執行委員으로 被選(1975 ~ 1980)
1980. 5	元容奭 會長(5 ~ 8대)
1980. 11. 4	第16次 總會에서 玄信圭 박사 執行委員으로 被選(1980 ~ 1984)
1984. 10. 1	第17次 總會에서 玄信圭 박사 執行委員으로 被選(1980 ~ 1984)
1987~2010	沈鍾燮 會長(8~20대)
1988. 8. 5	FAO國際포플러委員會 第18次 總會에서 社團法人 韓國포플러委員會 沈鍾燮 會長 執行委員으로 被選(1988 ~ 1992)
1992. 9. 22	FAO國際포플러委員會 第19次 總會에서 社團法人 韓國포플러委員會 沈鍾燮 會長 執行委員으로 被選(1993 ~ 1996)
1996. 10. 2	國際포플러委員會 第20次 總會에서 本會 盧義來理事를 執行委員으로 被選(1997~2000), 2000. 9. 23(2001-2004)
2004. 11. 28	FAO國際포플러委員會 第22次 定期總會에서 社團法人 韓國포플러委員會 具永本 理事을 執行委員으로 被選(2004 ~ 2008)
2008. 10. 25	FAO國際포플러委員會 第23次 定期總會에서 社團法人 韓國포플러委員會 具永本 理事을 執行委員으로 被選(2008 ~ 2011)
2011~2017	盧義來 會長(21~24대)
2018~2019. 02	朴光緒 會長(24대)
2019. 03~현재	具永本 會長(25대~)

국제포플러·속성수위원회 활동실적

1. 委員會 目的

- 포플러類(버드나무 包含) 栽培의 科學的, 技術的, 經濟的, 社會的인 面을 研究하여 世界 各國의 速成 用材資源 造成 支援
- 會員國間의 포플러新品種에 관한 情報과 資料의 交換
- 共同研究計劃設定
- FAO에 대한 建議 및 各國家 포플러委員會에 대한 助言 및 諮問
- 每 4年마다 總會와 研究發表會를 開催하며, 各國의 포플러育種, 栽培技術 等を 見學하여, 포플러의 育種, 栽培技術의 向上과 國際親善을 圖謀

2. 現 況

- 1947年 프랑스에서 世界的인 木材資源枯渴에 對備하여 速成樹인 포플러 增殖運動으로 結成
- 現在 委員國(38個國)

아르헨티나	이란	폴투갈	스웨덴	오스트리아	이라크
루마니아	크로아티아	벨지움	아일랜드	스페인	불가리아
이태리	스위스	캐나다	일 본	씨리아	중 국
한 국	투니지아	이집트	레바논	터 키	프랑스
모로코	영 국	서 독	화 란	미 국	헝가리
뉴질랜드	유 고	인 도	파키스탄	멕시코	핀란드
칠 레	우즈베키스탄(2008신규가입)				

3. 우리나라 代表 參席

- 1975. 12. 1~6
第15次 國際포플러委員會 總會(이태리 로마)에서 FAO 주재 강인희 농무관이 우리나라 대표로 참석
- 1980. 11.4~12
第16次 國際포플러委員會 總會(터키 이즈미르), 본 委員會 현신규 박사 참석
- 1984. 10. 1~11
第17次 國際포플러委員會 總會(캐나다 오타와), 본 委員會 현신규 박사 참석
- 1988. 8. 5
第18次 國際포플러委員會 總會(中國 北京) 參席者 9名, 委員會 沈鍾燮 會長 等 6名, 政府側 山林廳次 長 等 3名
- 1989. 9. 26 ~ 10. 9
제1차 국제포플러위원회 심포지움에 구영본 박사 참석
- 1991. 3. 19~23

- Argentinian의 首都 Buenos Aires에서 第36次 國際포플러委員會(IPC) 執行委員會議에 沈鍾燮 會長 參席
- 1992. 9. 22~10. 3
Spain Zaragoza에서 第19次 國際포플러委員會 總會에 沈鍾燮 會長, 盧義來 理事 參席
- 1994. 10. 2~10. 9
터키 이스탄불에서 第37次 I.P.C. 執行委員會에 沈鍾燮 會長, 盧義來 理事 參席
- 1996. 10. 2~10. 5
헝가리 부다페스트 第20次 I.P.C. 定期總會에 沈鍾燮 會長, 盧義來 理事 參席
- 1997. 10. 17
터키 안탈라 第50周年 國際포플러委員會 記念行事 및 第11次 世界 林業大會에 盧義來 理事 參席
- 1999. 9. 11 ~ 19(9일간)
제2차 국제포플러위원회 심포지움에 구영본 박사 논문발표
- 2000. 9. 23~10. 2(10일간)
美國(Portland, Oregon) 第21次I.P.C.定期總會에 沈鍾燮 會長, 具永本 박사 參席
- 2002. 8. 24~31(8일간)
제3차 국제포플러위원회 심포지움에 구영본 이사 논문발표(스웨덴 읍살라)
- 2003. 9. 21~28(8일간)
캐나다 퀘벡시 컨벤션 센타에서 제12차 世界山林大會에 학계에서 심중섭회장 참석
- 2004. 11. 28~12. 2(5일간)
칠레 산티아고(Chile Santiago) 제22차 I.P.C 정기총회에 구영본이사 참석
- 2006. 6. 5~9(5일간)
중국 난징, 제4차 국제포플러심포지움에 구영본 이사 논문 발표 및 현지견학
- 2008. 10. 25~31(5일간)
중국 북경, 제23차 국제포플러위원회 정기총회에 구영본이사, 여진기박사 참석
- 2010. 9. 20~9. 26(7) 이태리 , 제5차 국제포플러심포지움 및 집행위원회 참석, 구영본 이사 , 여진기 박사 참석
- 2012. 10. 25~11.1(8일간) 인도 데라둔(Dehradun, India), 제24차 국제포플러위원회 정기총회에 노의래회장, 이성규회원, 신한나박사 참석
- 2016. 9. 12~9. 16(5일간) 독일 베르린(Berlin, Germany), 제25차 국제포플러위원회 정기총회 노의래회장, 강준원박사 참석
- 2019. 2. 6IPC 정관개정 특별 회의(이태리 로마 FAO 본부, 구영본, 이위영 박사참석)
- 참가국 : 한국 등 28개국에서 60~70명 참석
- 28개국 중 26개국 찬성으로 정관개정안에 대한 투표결과를 통과되었음을 선포
- 2021. 10. 5 ~ 8. IPC 정기총회(이태리 로마 FAO 본부, 강규석 부회장, 이일환 회원 비대면 회의 참석)
- 우리위원회 강규석 부회장 IPC 집행위원으로 피선

한국포플러·속성수위원회 주요업무실적

1. 刊行物

- 韓國포플러委員會 創立22周年史(1984)
- 各種 調査研究 및 用役事業報告書(1988 ~ 2007)
- 나무와 숲과 삶 發刊(1997)
- 포플러會誌 1 ~ 26號(年報) 發刊(1974 ~ 2009)
- 백합나무 리플렛(경제적으로도 좋은 저탄소 녹색성자시대 백합나무를 많이 심자) 發刊(2009. 3)
- 한국포플러위원회 創立50周年史(2010)
- 포플러會誌 27~28號(年報) 發刊(2012~2014)
- 포플러會誌 29號(年報) 發刊(2015~2016)
- 포플러會誌 30號(年報) 發刊(2017~2018)
- 포플러會誌 31號(年報) 發刊(2019~2020)
- 포플러속성수會誌 32號(年報) 發刊(2021~2022)

2. 研究事業

- 양황철나무 材質에 關한 研究(1988)
姜善求, 李起泳, 朴相珍, 趙在明, 沈鍾燮
- 形態的 特性과 同位酵素分析에 依한 新品種 포플러類의 樹種 및 克隆識別(1988)
盧義來, 鄭慶鎬, 沈鍾燮
- 우리나라 사시나무의 遺傳子保護 및 無性大量增殖에 關한 研究(1989)
盧義來, 具永本, 李成圭, 沈相榮, 沈鍾燮
- 우리나라 사시나무의 수형변이(1995)
노의래, 이성규, 심종섭
- 난지도 폐기물 매립지의 포플러 생장 및 오염물질흡수 가능성(1996)
구영본, 이성규, 김찬기, 변광옥, 우수영
- 포플러를 이용한 쓰레기 매립지의 녹화 및 침출수처리(1997)
구영본, 노의래, 우수영, 이성규, 변병채
- 속성수를 이용한 쓰레기 매립지 침출수 및 오염토양의 정화(1998)
구영본, 김인식, 여진기, 이상현, 주창한
- 사시나무 선발 클론의 인공교배 차대묘 생장특성 구명연구(1999)
구영본, 김인식, 여진기
- 미류나무절 교잡종 포플러 삼목묘의 생장특성(2000)
구영본, 김인식, 여진기, 이재천
- 쓰레기매립지에서 포플러류의 생육특성(2001)

- 구영본, 여진기, 여인선, 탁우식, 권오웅
- 양버들 및 당버들 우량개체 선발(2016),
노의래, 이성규
 - 산지 사시나무의 생장특성 분석 및 선발(2018), 구영본, 노은운
 - 사시나무 우량개체 및 우수 클론 선발(2019), 구영본, 노은운, 이성규
 - 백합나무 조기선발 기준 설정(2011)
노의래, 이성규
 - 국내 자생 포플러류 우량 후보목 선발 및 증식(2012)
노의래, 이성규
 - 황철나무류 우량개체의 선발 및 도입을 통한 육종자원 확보(2013)
노의래, 이정주, 김문규
 - 황철나무류 우량개체 추가선발 및 외국 내건·내염성 포플러 수집(2014)
노의래, 이성규
 - 황철나무류 교배 및 신품종육성(2015)
노의래, 이성규
 - 버드나무류 신품종 육성을 위한 선발 및 클론증식(2016), 노의래, 이성규
 - 속성수 개량보급 등과 관련된 향산 연구 자료의 사료(史料)화 용역(2019),
구영본, 현정호, 최완용, 노은운
 - 사시나무 클론 보존원 조성을 위한 선발개체 증식재료 채취(2020),
구영본, 노은운, 장경환
 - 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·남부 지역 실태조사(2021), 구영본, 최완용, 노은운, 한상익, 장석성
 - 향산 현신규 박사 연구자료 DB구축(2021), 구영본, 최완용, 노은운, 장경환
 - 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·북부 지역 실태조사(2022), 구영본, 장경환, 노은운, 한상익, 문홍규
 - 새만금목재에너지림 생육특성 및 바이오매스 생산량 모니터링(2022), 장경환, 구영본, 노은운

3. 山林廳 用役事業

- 포플러材 利用構造 實態調查研究(1990)
金甲成(邊炳彩)
- 木割箸 品質 및 規格調查研究(1991)
朴相珍, 孫斗植(李元熙, 邊炳彩)
- 포플러類의 生産構造에 關한 研究(1992)
孫斗植, 黃在禹(崔章玉, 邊炳彩)
- 國內 및 國外的 포플러造林과 利用實態調查研究(1993)

孫斗植, 徐在德(邊炳彩)

- 포플러類의 環境林 造成과 管理方案에 關한 研究(1994)
玄正悟, 李敦求(金萬祚, 邊炳彩)
- 포플러類 造林可能適地調査 및 展示林造成(2002)
- 土壤汚染地 포플러展示林 造成 및 浸出水 低減分析(2003~2006)
孫斗植, 許泰鐵, 邊炳彩
- 쓰레기 埋立地 등 速成樹類 造林擴大政策開發(2007~2008)
孫斗植, 許泰鐵, 邊炳彩

4. 財産還收

- 1次 88. 10. 19~91. 3. 27 堂亭洞 102-2외 2필지 土地所有權
移轉登記抹消請求訴訟 勝訴還收(漢江開發水沒地域 政府補償金)
- 2次 88. 11. 1~92. 9. 7 堂亭洞 19외 1 필지 不當利得金 請求訴訟 勝訴 回收

5. 포플러 심포지움開催(포플러 造林現況과 展望)

- 日 時 : 93. 2. 9 14:00~16:00
- 場 所 : 林業研究院 大會議室
- 開 催 : 韓國포플러委員會
- 課題發表
 - 1) 포플러類의 生産構造에 關한 研究
慶北大 農大 林學科 教授 孫斗植
 - 2) 第19次 F.A.O., I.P.C. 스페인總會 參加報告
林木育種研究所 林業研究官 盧義來
 - 3) 木材資源으로서의 포플러
林業研究院 林業經濟科長 李鎮珪

6. 速成樹(포플러, 오동나무, 아까시나무) 再評價討論會(심포지움) 開催

- 日 時 : 96. 7. 11(木) 14:00~18:00
- 場 所 : 慶北大學校 中央會議室
- 開 催 : 社團法人 韓國포플러委員會
- 後 援 : 山林廳, 韓國日報
- 主 題 : 速成樹 再評價

수종	좌장	주제 발표자	지정 토론자
포플러	손두식	구영본	이경제, 주린원
오동나무	이창근	이정석	김외정, 여운홍
아까시나무	김종원	박용구	안원영, 김은식

7. 第4回 서울 環境賞(환경보존부분) 獎勵賞 受賞

- 日時 : 2000. 6. 2(金) 10:00~12:00
- 場所 : 世宗文化會館 小劇場
- 主催(수여자) : 고건 서울特別市長, 山林廳長 推薦
- 수상자(대상) : 한국포플러위원회
- 施賞 : ① 賞牌 ② 賞金 2百萬元
- 功績內容 : 서울特別市 마포구 상암동 소재 난지도 쓰레기 매립지(平和公園 또는 밀레니엄公園)에 포플러 造林을 하여 環境林 造成

8. 韓國포플러委員會에서 功勞牌 授與

- 日時 : 2003. 9. 16(火) 11:00
- 場所 : 韓國포플러委員會 事務室
- 수여자 : 한국포플러위원회 회장(심종섭)
- 受賞者 : 國立樹木園長 尹英均
- 參席者 : 本委員會 任員, 韓國山林科學技術團體聯合會 任員
- 功績內容 : 山林廳 山林資源課長 在職時 速成樹 포플러 및 백합나무 造林增殖에 크게 寄與

사단법인 한국포플러속성수위원회 2021-2022년도 연보

년 월 일	내 용
2022, 2, 02 2. 17 2. 28	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년도 예산 결산 감사 • 회장단 회의 : 2022년도 총회준비 관련 토의 • 2020년도 정기총회 안 건 : 2021년도 사업보고 및 수지결산 2022년도 사업계획 및 예산안 기타 : 포플러속성수지(32호) 발간, 용역과제 추진, 유관기관업무협의, 이사 추가 (황효태, 문홍규) 인선, 식목행사 등 행사추진 협의 장 소 : 코로나19로 인한 비대면 회의(카카오톡 회의)
4. 05 4. 15 4. 28	<ul style="list-style-type: none"> • 산림생면자원연구부 식목해사 참석(구영본 회장 외5명) • 용역 착수보고 : 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·북 부 지역 실태조사(구영본, 노은운, 장경환) • 산림청 산림자원과 방문 : 신규사업 관련 업무협의(구영본, 장경환)
5. 25	<ul style="list-style-type: none"> • 포플러 임원회의 : 사업추진 점검 등 현안사항 논의(구영본 외 5인)
6. 24	<ul style="list-style-type: none"> • 산림생면자원연구부 현장토론회 참석 : 포플러류 생육증진 후보 미 생물조사 동정 및 배양 (구영본, 장경환)
7. 13 7. 25	<ul style="list-style-type: none"> • 산림청 산림자원과 간담회 참석 : 산림자원분야 애로 및 건의사항(산림청장님 주관, 구영본, 장경환) • 현장토론회 장소협의 방문 : 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·북부 지역 실태조사(구영본, 노은운, 장경환)
9. 14	<ul style="list-style-type: none"> • 정관개정(등기 완료) - 위원회 명칭 변경 : 사단법인 한국포플러 속성수위원회 → 사단법인 한국포플러속성수위원회 - 지정기부금 단체 등록 요건 신설 : 제31조(경비 및 자산) ②항 신설 : 본회는 전항 제3호에 의한 기본금을 수입금으로 충당하였을 경우 연간 기부금 모금액 및 활용실적을 홈페이지에 등록하여야 한다.
11. 17 11. 21 11. 23 11. 30	<ul style="list-style-type: none"> • 용역 중간점검회의 : 새만금 목재에너지림 생육환경 변화 모니터링 • 용역 최종보고회 : 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·북부 지역 실태조사(구영본, 장경환, 노은운) • 용역 중간보고 : 새만금 목재에너지림 생육환경 변화 모니터링 • 최종보고서 제출 : 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·북부 지역 실태조사
12. 16 12. 21	<ul style="list-style-type: none"> • 최종보고회 : 새만금 목재에너지림 생육환경 변화 모니터링(노은운) • 산림생명자원연구부 성과보고 및 육종상 시상식 참석(노의래, 장경환, 황석인)

년 월 일	내 용
12. 29 12. 30	<ul style="list-style-type: none"> • 임원회의(구영본 회장 외 14명) : 안건 <ul style="list-style-type: none"> . 2022년도 사업보고 및 예산지출 내역 보고 . 2023년도 용역사업 계획 논의 . 기타사항 : 차기 회장선출, 정기총회 준비의 건 • 포플러속성수지 발간(32호)
2021. 2. 18	<ul style="list-style-type: none"> • 임원개선 재임기간 : 2021. 2. 28 - 2022. 2. 27(2년간) 제27대 회장 : 구영본(연임) 부회장 : 김태수(유입), 강호덕(유입), 강규석(유입) 감 사 : 우수영(유입), 정은주(유입) 이 사 : 장경환(유입), 권오웅(유입), 김경환(유입), 노은운(유입), 최명석(유입), 한상익(유입), 황석인(유입), 문홍규(신규), 황효태(신규) 장 소 : 경기도 수원시 권선구 온정로 39(오목천동) 한국포플러속성수위원회 사무국
2. 28	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년도 정기총회 안건. 2020년도 사업 및 수지결산 보고 . 2021년도 사업계획 및 예산안 . 기타사항
7. 05	<ul style="list-style-type: none"> • 국제포플러속성수위원회(IPC)에서 요청한 자료 협조 - 2021년에 우리나라 속성수 식재 및 이용에 대한 혁신사례 자료 제출
	<ul style="list-style-type: none"> • 유관기관 방문 업무협약 : 국립산림과학원장(5.7), 산림생명자원연구부장(8.3), 산림품종관리센터 방문(10.25)
10. 29	<ul style="list-style-type: none"> • 2021년도 위탁연구과제 최종보고 제목 : 백합나무 조림적지 및 한계권역 설정을 위한 중·남부 지역 실태조사
11. 30	<ul style="list-style-type: none"> • 포플러속성수위원회 회장단 간담회 안건 : 임원회의 개최 및 2022년도 사업계획 토의
12. 21	<ul style="list-style-type: none"> • 임시 임원회의 개최 안건 : 2021년도 사업 및 결산 심의 및 2022년도 사업계획 • 산림생명자원연구부 성과보고회 참석(구영본, 장경환, 한상익, 황석인)

한국포플러 속성수위원회 회원명부

구분	회원명	소 속	전화번호	주 소	우편번호
고 문	손두식	경북대학교 명예교수	사 010-3805-0244	대구시 북구 호암로20 (칠성2) (성광우방아파트 101-807)	41586
"	노의래	전 한국포플러위원회 전 임업연구원장	사 010-3761-2512 enohkfri@hanmail .net	경기도 수원시 팔달구 권광로 243, 202동 503호(레미안노블레스2단지아파트)	16487
자문위 원	이경준	전 서울대 산림과학부 교수	사 010-8280-4752 fraxinus@snu.ac.k r	서울 강남구 선릉로 153길14 (신사동)	06091
"	이건희	이화여자대학교 명예교수	사 010-5221-2842	군포시 산본로432번 길 25(산본) (한양목련아파트) 1224-301	15804
"	최완용	전 국립산림과학원장	사 010-3073-1138 wychoi1338@nave r.com	서울시 송파구 잠실동 22 리센츠아파트 240-1204	05502
회장	구영본	전 국립산림과학원 육종과장	사 010-8983-1171 ybkoo1242@naver .com	경기 화성시 동탄순환대로 21길 53(롯데캐슬) 1310-2202	18482
부회장	김태수	전 국립산림과학원 연구위원	사 010-8980-1181 kts413@hanmail.n et	경기도 화성시 동탄대로4길 동탄2아이파크 3422동 1503호	18504
"	강규석	서울대 산림과학부 교수	사 010-2924-9614 kangks84@snu.ac. kr	서울 관악구 관학로1(신림동) 서울대 농업생명과학대	08826
"	강호덕	동국대학교수	사 010-3307-3316 hdk0225@donggu k.eud	경기도 고양시 일산동구 동국로 32 동국대학교 바이오환경과학과	26461
감사	우수영	서울시립대교수	사 010-3802-5242 wsy@uos.ac.kr	서울시 동대문구 서울시립대로 163 서울시립대학교 환경원예학과	32599
"	정은주	강원대학교수	사 010-9195-5668 ejcheong@kangwo n.ac.kr	강원도 춘천시 강원대학길 1 강원대학교 산림과학부	25473
이사	장경환	전 국립산림과학원 육종과장	사 010-5407-6030 jkh67360@naver.c om	경기 화성시 봉담읍 와우로 34번길 11, 107동1605호(봉담아이파크)	18322
"	권오웅	전 국립품종관리센터장	사 010-6260-1560 owkwon5@hanmai l.net	경기도 수원시 영통구 도청로17번길23 자연엔자이 5301동703호	16509
"	김판기	경북대학교 교수	사 010-3725-4083	경북 상주시 경상대로 2559	41586

구분	회원명	소 속	전화번호	주 소	우편번호
				경북대학교 농업생명과학대학	
"	노은은	전 생물공학과장	010-9254-6138 사 ewnoh1@naver.com	충북 영동군 양산면 봉곡1길 197	29162
"	여진기	임업진흥원 본부장	010-5032-7938 사 phyyeo@kofpi.or.kr	서울 강서구 공항대로 475 한국임업진흥원 목재산업.글로벌본부	07570
"	최명석	경상대학 교수	010-3228-5057 사 mschoi@gnu.ac.kr	경남 진주시 진주대로 501 경상대학교 산림환경자원학과	36663
"	한상억	전 국립산림과학원 육종과장	010-3426-6281 사 sanguhan1@naver.com	경기도 하남시 위례순환로 270 학암동위례파크푸르지오 6508동 501호	55710
"	김경환	전 경기도산림환경연구소 시험과장	010-6357-0148 사 kwh518@naver.com	경기도 화성시 병점동로23 구봉마을 104동 1406호	18415
"	황석인	전 특용자원연구과장	010-8822-3360 사 hwangsi2618@naver.com	경기도 수원시 권선구 세권로 304번길 47, 상록5단지아파트 512동 1501호	16553
이사	황효태	전 한국임업진흥원 총괄이사	010-8728-0631 사 bdstiger9988@naver.com	세종시 달빛1로 201, 범지기마을 3단지 313동 502호	30100
"	문흥규	전 산림생명공학 과장	010-3533-4909 사 mhk5701@naver.com	경기도 수원시 권선구 권중로 31, 308동 1102호(신안풍림)	16563
회원	이석우	국립산림과학원 산림환경보전연구부장	010-8544-9699 사	서울시 동대문구 회기로 57 국립산림과학원 산림보전부	02455
"	김인식	국립산림과학원 임목자원연구과장	010-8872-2338 사	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631
"	우관수	국립산림과학원 산림미생물연구과장	010-2770-9987 사	경기 수원시 권선구 온정로39 산림유전자원부	16631
"	이성규	전 국립산림과학원 임업연구관	010-7279-9996 사 sk11698462@hanmail.net	경기 수원시 영통구 매영로366 (영통3, 현대아파트) 723-1703	16701
"	이위영	국립산림과학원 임업연구관	010-3689-1862 사	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631
"	오창영	국립산림과학원 임업연구관	010-4101-9140 사	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631
"	정세경	국립산림과학원 임업연구관	010-3591-6194 사	서울 영등포구 국회대로 62길 9, 산림비전센터 8층(사, 한국임우회)	07236

구분	회원명	소 속	전화번호		주 소	우편번호
"	이일환	국립산림과학원 임업연구사	사	010-8631-0618	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631
"	신한나	국립산림과학원 임업연구사	사	010-7431-4586	경기도 수원시 권선구 오목천동 44-3 산림자원육성부	16631
"	임혜민	국립산림과학원 임업연구사	사	010-4910-6843	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631
"	심동환	충남대학교 교수	사	010-3906-4810	세종특별자치시 고운동 마음로 152, 1103동 702호(가락마을 11단지)	30063
"	강준원	경북대학교 교수	사	010-4537-2344	경북 대구시 북구 대학로80, 경북대학교 산림과학조경학부 1호관 413호	41566
"	이현석	안동대학교 교수	사	010-7743-7625	경북 안동시 경동로 1375, 안동대학교 자연생명과학대학 1호관 2401호	36729
"	이도형	영남대 산림자원학과 교수	사	053-810-2921	경북 경산시 대동 214-1	38533
"	나성준	국립산림과학원 임업연구사	사	010-2625-7459	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631
"	임효인	국립산림과학원 임업연구사	사	010-5122-2869	경기 수원시 권선구 온정로39 산림생명자원연구부	16631

포플러속성수 Poplars and Other Fast Growing Trees 제32호2021

발행인 : 구 영 본

편집인 : 노은운, 장경환

발행소 : 사단 **한국포플러속성수위원회**
법인 Korea National Commission on Poplars and
Other Fast Growing Trees

1 6 6 3 1

경기도 수원시 권선구 온정로 39

국립산림과학원 산림생명자원연구부 구내

전 화 : (031) 291-0689

홈페이지 : www.kcftg.org

E-mail : poplar2015@hanmail.net

인 쇄 : 디디씨앤피