DOI: https://doi.org/10.16879/jkca.2023.23.3.015 한국지도학회지 23권 3호 2023(15~32)

탄소 공간지도에 기반한 산림생태계의 이산화탄소흡수량 잠재력 분석

양병윤* · 이모세** · 구경아***

Analysis of the Carbon Sequestration Potential of Forest Ecosystems on Carbon Spatial Map

Byungyun Yang* . Mose Lee** . Kyung Ah Koo***

요약 : 본 연구는 중요한 탄소흡수원의 역할을 하는 산림생태계 탄소흡수 잠재력을 분석하고 이를 통해 탄소 공간지도 제작을 목표로 한다. 연구지역은 대한민국 전역으로, 시도 및 시군구의 공간 단위로 분석을 진행하였으며. 첫째, 침엽수림(Conifers), 활엽수림(Non-Conifers), 혼효림(Mixed), 상록활엽수림(Evergreen broadleaf forests), 죽림(Bamboo)의 면적을 지역별로 산정한 후, 이들 면적에 대한 연간 이산화탄소흡수량 고유계수를 적용하여 지역별 이산화탄소흡수량과 전국 단위의 흡수량을 계산하였다. 분석결과, 전체 산림지의 이산화탄소흡수량은 2010년 56,352,485t CO_2/yr, 2015년 55,391,298t CO_2/yr, 2020년 52,633,417t CO_2/yr로 감소하는 것으로 나타났다. 산림면적의 감소가 주요 감소 원인으로 분석되었고, 부분적으로 기후변화 등에 따른 식생의 종조성 변화도 원인으로 나타났다. 이에 더하여, 상록활엽수림 및 죽림의 면적을 기반으로 탄소흡수량을 분석한 결과 상록활엽수는 55,928t CO_2/yr, 죽림은 591,183.4t CO_2/yr의 이산화탄소흡수량을 얻을 수 있었다. 지자체별 탄소흡수량 분석결과에서는 태백산맥, 소백산맥을 포함하고 있는 시군구가 다른 지역에 비해 산림지역의 이산화탄소흡수량이 많다는 것을 파악되었고, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시 등 대도시 인접 지역은 상대적으로 이산화탄소흡수량이 적음을 확인할 수 있었다. 결론적으로, 우리나라 탄소중립 실현을 위한 탄소흡수원으로써 산림지의 관리에 있어서 산정체계의 고도화가 필요하다. 특히 기후변화에 따라 변화될 식생대의 분포와 식생별 수목의 종조성 변화를 고려한 임목별 연령별 흡수계수 산정 자료 구축이 필요하다. 본 연구에서 제시한 상록활엽수와 죽림의 경우가 중요한 예시가 될 것이다. 또한, 탄소흡수량 감소에 가장 중요한 요인이 산림면적 감소인 것을 고려할 때, 산림지 면적의 회복을 위한 적극적인 복원 정책의 수립과 이행이 요구되며, 죽림 등 탄소흡수량이 높은 식생의 보전, 확대를 위한 지속 가능한 관리 정책 마련이 필요하다. 특히, 산림면적의 회복을 위하여 지자체 단위에서 면적 기반 산림관리와 지역 단위에서 유역기반의 통합된 산림관리 정책과 이행 방안 마련이 시급하다.

주요어 : 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림, 이산화탄소흡수량, 탄소 공간지도

Abstract : This study aimed to analyze the carbon sequestration potential of forest ecosystems, which served as important carbon sinks, and thus to create a carbon spatial map. The research was implemented at national scale and local scales including provinces, cities, counties, and districts. After calculating the areas of coniferous forests, non-coniferous forests, mixed forests, evergreen broad-leaved forests, and bamboo forests, we applied the carbon sink coefficient of each vegetation type and calculated the amount of carbon sink at local and national levels. The results showed that the entire forest land absorbed about 56,352,485t CO_2/yr in 2010, 55,391,298t CO_2/yr in 2015, and 52,633,417t CO_2/yr in 2020, declining over time. The decline in forest area was a major

*동국대학교 사범대학 지리교육과 부교수(Associate professor, Department of Geography Education, Dongguk University, yby94@dgu.ac.kr)
**동국대학교 사범대학 지리학과 석사수료(MS Candidate, Department of Geography Education, Dongguk University, micolas@dgu.ac.kr)
***한국환경연구원 연구위원(Senior research fellow, Korea Environment Institute, kakoo@kei.re.kr)

reason for the decline. The changes in the species composition of each vegetation could partially contribute to the decline. We also obtained the carbon absorptions for evergreen broad-leaved forests (about 55,928 t CO_2/yr) and bamboo forests (about 591,183.4 t CO_2/yr). At the local government scale, we found that cities, counties, and districts including the Taebaek Mountains and Sobaek Mountains had higher carbon sinks than others, and large cities had relatively lower carbon sinks. In conclusion, it is necessary to upgrade the calculation system in the management of the forest ecosystem as a carbon sink to achieve carbon neutrality in Korea. Considering that the most important factor in reducing carbon absorption is the reduction of forest area, the establishment and implementation of active restoration policies to restore forest area are required, and sustainable management for conservation and expansion of vegetation with high carbon absorption such as bamboo forests. In particular, in order to recover the forest ecosystem, it is urgent to develop area-based forest management plans at the local government level and watershed-based integrated forest management policy and implementation plans at the regional level.

Key Words : Coniferous forest, Broad-leaved forests, Mixed forests, Bamboo forests, Carbon sequestration, Carbon spatial map.

I. 서론

전 세계적으로 인간 활동에 의한 탄소 배출량은 지난 10년(2007~2016) 동안 연간 평균 약 10.69PgC이며, 이중 약 5.97PgC(대략 55.84%)가 육상과 해양생태계에 의해 흡수되고 있는 것으로 추정된다(Keenan and Williams, 2018). 이로 인해 유럽연합(EU), 세계자연보전연맹(IUCN), 그리고 기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)를 포함한 여러 국제기구와 사회는 '2050 탄소중립 실현'을 위한 지속 가능한 해결책에 대한 국제적 관심이 대두되고 있다. 특히 자연과 생태계 기반의 탄소흡수원을 관리하고 복원함으로써 탄소배출을 감소시키려는 노력이 점점 늘어나고 있다. 그러나 현재 우리나라는 자연생태계 기반한 탄소흡수원의 지속가능한 관리와 보전에 대한 고려가 기획 및 시작 단계에 있다.

특히, 대한민국 산림면적이 감소하고 있어 탄소흡수 능력이 줄어들고 있으며, 임령(林齡)별 탄소흡수량을 정확하게 파악하지 못해 산림의 특성을 충분히 반영하지 못하고 있다. 또한, 기후변화에 따른 수종 변화가 탄소흡수에 미치는 영향을 연구가 매우 부족하다. 이러한 상황에서 온실가스 흡수원에 대한 상태를 면밀히 검토하고, 자연 기반의 탄소중립 달성을 위한 구체적인 대책 마련이 시급한 상황이다.

따라서 본 연구는 산림생태계 탄소흡수원 데이터를 활용해 산림생태계 탄소흡수 잠재력을 분석하고 이에 기반하여 지역별 탄소 공간지도 제작을 목표로 한다. 연구지역은 대한민국 전역으로, 시도 및 시군구의 공간 단위로 분석을 진행하였다. 분석과정은 다음과 같다. 첫째, 침엽수림(Conifers), 활엽수림(Non-Conifers), 혼효림(Mixed), 상록활엽수림(Evergreen broadleaf forests), 죽림(Bamboo)의 면적을 지역별로 산정한 후, 이들 면적에 대한 연간 이산화탄소흡수량 고유계수를 적용하여 지역별 이산화탄소흡수량을 계산하였다. 다음으로, 지역별 이산화탄소흡수량의 증감을 나타내는 지도를 만들어 분석하였다. 또한, 상록활엽수림과 죽림에 대한 시계열 자료가 부족하여 증감분석에서는 제외되었다. 나머지 수종에 대해서는 지난 10년간의 데이터를 활용하여 전국적인 생태계 면적 현황과 지자체별 이산화탄소흡수량의 변화를 분석하였다. 본 연구 결과는 향후 탄소중립 실현을 위한 정책 결정에 있어 중요한 참고자료로 활용될 것으로 기대한다.

II. 이론적 고찰

대한민국 산림은 연간 배출되는 전체 탄소의 약 7%를 저장함으로써 중대한 탄소저장고의 역할을 수행하고 있다(조현국 등, 2017). 또한, 탄소중립 목표 달성에 있어 핵심적인 위치에 있으며, 그 보전은 필수적인 과제로 자리매김하고 있다(Chen *et al.*, 2021). 그러나 이러한 중요한 위치에도 불구하고 대한민국의 산림면적은 지속적인 감소세와 함께 노령화 추세를 보여왔다. 실제로 2010년 대비 2020년까지의 변화를 살펴본 결과, 산림의 총면적이 약

3.3% 줄어들었다. 또한, 대한민국 산림은 전체적인 면적 감소뿐만 아니라 점진적인 노령화에 따른 불균형한 임령 분포를 보인다(안현진 등, 2017). 산림의 탄소흡수 및 저장 능력은 나무의 생장과 밀접한 관련이 있으며, 산림 노령화는 탄소흡수 능력의 감소를 촉진하는 주된 요인이 될 수 있다. 이러한 맥락에서 국내 산림의 탄소흡수 능력은 산림면적의 감소와 노령화라는 두 가지 요인으로 인해 점차 감소하는 경향을 나타낸다고 평가할 수 있다.

이와 더불어 기후변화는 탄소흡수량 감소와 산림 전체의 생산성 저하를 야기하고 있다. 실제로 지난 109년간 연평균기온은 10년마다 평균 0.20°C씩 상승하여, 최근 10년의 연평균기온은 13.9°C에 달했다(기상청·국립기상과학원, 2021). 1912년부터 1920년에 기록된 연평균기온과 비교했을 때, 2011년부터 2020년까지의 기간에는 2°C에 가까운 상승을 보였다. 이로 인해 우리나라의 기존 기온 조건에 잘 적응하여 성장해 온 침엽수림의 생장 둔화 및 쇠퇴 현상이 뚜렷하고(Byun *et al.*, 2013), 상록활엽수림과 죽림도 기온의 변화 따라 북방한계선 북상으로 인한 서식지가 변화가 보고되고 있다(임종환·신준환, 2005; 허인혜 등 2006; 박종철 등, 2010).

이러한 산림 및 온실가스의 변화를 파악하고자 대한민국은 2012년부터 저탄소 녹색성장 기본법 제45조 및 동법 시행령 제36조에 근거하여 NIR(National Inventory Report)를 매년 작성하고 있으며, 온실가스종합정보센터는'2009년 국가 온실가스 통계 산정·검증·보고지침'을 시작으로 부문별 온실가스 지침을 수정·보완하여 제공하고 있다. 온실가스 인벤토리 보고서 내의 산림지가 포함된'토지이용 변화 및 임업'(Land Use, Land Change and Forestry, LULUCF) 분야의 경우 기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(International Panel on Climate Change Guidlines, IPCC GL)에 근거해 1990년부터 산정 가능한 최신연도까지의 온실가스 배출 및 흡수량을 보고하고 있다(최원준 등, 2022).

2021년에 보고된 국가 온실가스 인벤토리 보고서는 해당 부분의 산림지 입목을 침엽수림, 활엽수림, 혼효림, 죽림으로 구분하고 있다. 탄소흡수량 계수가 제공되지 않는 혼효림의 경우 침엽수와 활엽수가 각각 50:50으로 분포한다고 가정하고 산정하고 있으며, 죽림의 경우 배출 및 흡수계수의 미비와 재적 관련 통계자료 부족으로 산정에서 제외되었다(환경부 온실가스종합정보센터, 2021). 탄소흡수량 산정과정에서 국립산림과학원은'입목 바이오매스 탄소축적변화량' 파악을 위해 목재기본밀도, 지상부 바이오매스 확장계수, 뿌리-지상부 비율을 고려한 배출 및 흡수계를 개발하였지만, 산림의 불균형한 임령분포를 파악할 수 있는 임령별 탄소흡수량 계수를 적용하지 않았다. 죽림을 포함한 상록활엽수림 역시 인벤토리 분석에서 고려되지 않았으며, 이러한 일부 항목의 제외와 가정에 의한 추정값 적용은 국내 산림이 탄소흡수 기능에 기여하는 정도를 정확히 평가하는 데 한계로 작용하고 있다.

이와 더불어 지역주도의 탄소중립을 실현하기 위해서는 지역별 탄소흡수 잠재력을 분석한 결과가 요구된다. 기존의 온실가스 통계는 개별지역에 대한 공간단위로 계획되어 있지 않아 도시 또는 지자체별 정책 수립에 어려움이 있었다. 이러한 점을 극복하기 위하여 최근 국토교통부에서 제작된 탄소공간 지도는 도시 내 활동으로 발생하는 부문별(건물, 수송, 토지이용) 탄소배출량과 흡수량의 현황을 격자 및 행정구역으로 나타낸 탄소 공간지도를 개발하였다. 최근 이러한 도전적인 결과물이 있음에도 불구하고, 국가의 2050 탄소중립 목표 달성을 위해서는 다양하고 정밀한 접근 방법에 기반한 탄소 공간지도 제작이 필요하다. 탄소중립 목표를 달성하기 위해 탄소배출원의 지속적인 감소뿐 아니라 탄소흡수원의 확대가 지속적으로 요구되는 현 상황에서, 탄소흡수원의 핵심적인 역할을 하는 산림에 대한 정확한 흡수량 산정체계 구축이 매우 중요하다. 정확한 흡수량 산정을 위하여 먼저 2021년 국가 온실가스 인벤토리 조사에 포함된 탄소 흡수량 분석에, 그동안 간과되었던 산림 탄소흡수량에 산림 노령화의 영향 즉 임령에 따른 탄소흡수량 변화를 명확히 평가하고 반영해야 할 필요가 있다. 또한, 산정에 제외되고 있으나 기후변화에 따라 분포 확대가 예상되는 죽림과 상록활엽수림 등과 같은 식생에 관한 온실가스 인벤토리 반영이 탄소흡수량의 정확한 평가와 정책 수립을 위해서 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 탄소흡수원인 산림을 대상으로 기존의 평가항목과 제외된 일부 항목을 국내외 자료를 기반으로 추가하여 탄소흡수량을 추정하고 이를 통해 산림의 탄소흡수 잠재력을 분석하기 위하여 탄소 공간지도를 제작하였다. 본 연구의 결과는 탄소중립 실현을 위한 관련 산림정책 결정과 온실가스 인베토리 산정체계 구축 고도화를 위한 귀중한 참고자료를 제공한다.

III. 연구 방법

1. 연구지역

1) 연구지역

본 연구는 지역별 탄소 잠재력 분석을 위해 전국을 대상으로 지자체별 산림분포 현황을 조사하고 이산화탄소흡수량을 계산하기 위하여 임상도 지도를 활용하였다(그림 1).

그림 1의 좌측 지도는 시군구 단위의 행정 경계가 포함된 위성사진이며, 우측 지도는 전국 임상 분포도를 보여준다. 임상도는 국가기관에서 제작하는 주요 주제도 중 하나로, 1:5,000 비율로 제작되었으며 2009년부터 2013년에 걸쳐 조사된 데이터를 토대로 하고 있다. 지도상에서 침엽수림은 초록색, 활엽수림은 주황색, 혼효림은 노란색, 죽림은 갈색으로 표시되었다. 이산화탄소흡수량의 변화를 분석하는 과정에서 세종특별자치시는 2012에 출범하여 2010년 데이터에서 제외되고, 2015년과 2020년 데이터에서는 포함되었다. 창원시와 청주시는 각각 2010년과 2014년에 인근 시와 통합된 새 행정 범위를 반영하여 분석되었다. 또한, 2010년 이후 시로 승격된 당진시와 여주시, 그리고 명칭이 변경된 인천광역시 미추홀구는 각각 변경된 명칭을 적용하였다.

2. 연구 절차 및 방법

산림생태계의 이산화탄소흡수량 잠재력 분석을 위한 탄소 공간지도 제작은 크게 3가지 단계를 가진다. 그림 2에서처럼 임상도로부터 침엽수, 활엽수, 혼효림, 죽림, 상록활엽수림에 대한 개별 자료를 추출하였다. 다음으로 지역별 흡수량 산정을 위하여 임상도 상에서 발생한 불부합 지역에 대해 재편집 과정을 거쳐 모든 GIS 자료의 정밀 편집을 완료하였다. 다음으로 새로운 Geodatabase를 구축한 후 IPCC에서 제공하는 이산화탄소흡수량 공식을 적용하였으며 각 수종에 대한 임령별 이산화탄소흡수량 계수를 적용하였다.

마지막으로 산림에 대한 탄소 공간지도를 제작하여 시도별 또는 시군구별 임상면적 현황 분석, 산림면적 변화 지도, 이산화탄소흡수량의 변화탐지 및 증감지역 분석을 수행하였다.

1) 침엽수림, 활엽수림과 혼효림 이산화탄소흡수량 분석을 위한 자료 수집과 분석 방법

이산화탄소흡수량을 구하기 위해서는 각 지자체의 수종별 산림면적과 각 수종의 임령별 이산화탄소흡수량 계수가 필요하다. 각 지자체의 침엽수림, 활엽수림, 혼효림

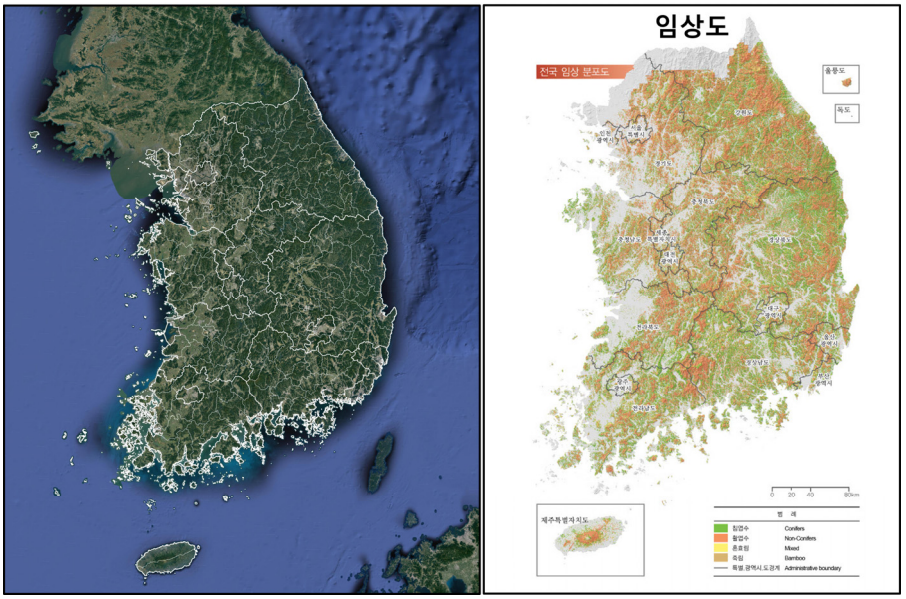

그림 1. 연구지역(좌: 위성사진과 행정구역도, 우: 임상 분포도)

출처 : 국토교통부 국토지리정보원(2020)

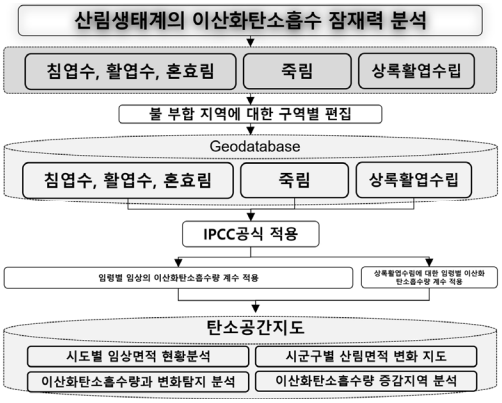

그림 2. 산림생태계의 이산화탄소흡수 잠재력 분석을 위한 탄소 공간지도제작 절차

면적 데이터는 산림청에서 제공하는 2010년, 2015년과 2020년도의 산림기본통계 데이터를 활용하였다(산림청, 2011; 2016; 2021). 구체적으로 2010년도 데이터는 시군구 각 지자체의 자체 행정조사로 자료가 구축되었다. 2015년도와 2020년도 분석에 활용된 데이터는 산림청에서 제공하는 기초 산림면적(행정조사)과 세부 산림면적(임상도 활용) 분석 결과를 통합한 자료가 활용되었다(산림청, 2021). 표 1의 임령별 임상의 이산화탄소흡수량 계수는 국립산림과학원에서 제공하는 산림 이산화탄소흡수량 국가표준을 활용하였다(국립산림과학원, 2013).

일반적으로 국가에서 사용하는 임상별 탄소흡수량 계수는 국제적으로 IPCC에서 권고하는 임목 순생장량, 수피를 제외한 줄기 부피 대비 줄기 건중량의 비율인 목재기본밀도, 줄기 바이오매스 대비 지상부 바이오매스의 비율인 바이오매스 확장계수, 지상부 총 바이오매스 대비 뿌리 바이오매스 비율인 뿌리함량비, 탄소 분자량의 비율인 탄소 전환계수와 이산화탄소 전환계수 등을 고려하는 공식을 사용한다(손영모 등, 2014). 본 연구에서도 이와 마찬가지로 국가표준 임상별 탄소흡수량 계수를 사용했으며, 식은 (1)과 같다. 해당 공식은 IPCC 2003 보고서의 이산화탄소 흡수량 공식이다.

$$tCO_2 = \Delta V \times D \times BEF \times (1+R) \times CF \times 44/12 \quad (1)$$

ΔV = 임목 순생장량(m^2)
D = 목재기본밀도
BEF = 바이오매스 확장계수
R = 뿌리함량비
C = 탄소전환계수
44/12 = 이산화탄소 전환계수

본 연구에서는 시도 및 시군구별 연간 이산화탄소흡수량에 대한 시각화 및 분석을 위하여 표 1과 같이 임령별 이산화탄소흡수량 계수와 면적이 포함된 식 (2)를 이용하여 계산하였다. 지도화하는 과정에서 산림면적은 헥타르(ha) 단위를 사용하였고, 이산화탄소흡수량은 헥타르당 연간 이산화탄소흡수량(t CO_2/yr)을 단위로 사용하였다.

$$\text{연간 탄소흡수량}(tCO2/yr) = \sum_{i=1}^{3} \frac{\sum_{j=1}^{6}(A_{ij}) \times (C_{ij})}{A_i} \times a_i \quad (2)$$

식 (2)에서 i는 침엽수림, 활엽수림과 혼효림을 의미하고 j는 각 수종의 영급(齡級)[1]을 의미한다. C는 이산화탄소흡수량 계수, A는 해당 시도의 산림면적, a는 구하고자 하는 각 지자체의 산림면적을 의미한다. 혼효림은 침엽수림과 활엽수림이 혼합되어 분포하는 산림을 의미한다. 본 연구에서는 혼효림 내의 침엽수림과 활엽수림의 비중이 동일하다는 가정하에 분석을 진행하였다(환경부 온실가스종합정보센터, 2021).

표 1. 임령별 임상의 이산화탄소흡수량 계수(t CO_2/ha/yr)

임상 \ 임령(년)	10	20	30	40	50	60
침엽수	1.4	5.6	8.5	9.2	8.6	7.9
활엽수	3.8	10	10.8	12.7	13.7	14.7
혼효림	2.6	7.8	9.65	10.95	11.15	11.3

출처 : 국립산림과학원(2013)

2) 상록활엽수림과 죽림의 이산화탄소흡수량 분석을 위한 자료 수집과 분석 방법

상록활엽수림과 죽림에 대한 이산화탄소흡수량을 산정하기 위해 상록활엽수림의 임령별 산림면적과 이산화탄소흡수량 계수, 죽림의 면적과 이산화탄소흡수량 계수를 활용하였다. 상록활엽수림과 죽림의 임령별 산림면적은 산림청에서 제공한 수치임상도(1:5,000)를 활용하여 지자체별로 산출하였다. 상록활엽수림 면적은 수치임상도의 수종별 구분을 기준으로 가시나무, 구실잣밤나무, 녹나무, 굴거리나무, 활칠나무, 사스레피나무, 후박나무, 새덕이, 기타상록활엽수에 해당하는 면적을 추출하여 사용하였다. 죽림 면적은 수치임상도에서 죽림으로 분류된 임상의 면적을 추출하여 활용하였다. 상록활엽수림 이산화탄소흡수량 계수는 일본의 선행연구를 통해 나온 값을 활용하였다. 일본은 한반도와 비슷한 위도상에 있는 국가로 두 국가는 유사한 식생분포를 가지고 있다. 특히, 한반도의 상록활엽수림은 일본 남서부의 난온대 상록활엽수림과 유사한 후박나무, 붉가시나무, 구실잣밤나무, 동백나무 위주의 식생분포를 보인다(이은미 등, 2017). 이에 본 연구에서는 Iizuka and Tateishi(2015)의 연구를 통해 도출된 임령별 상록활엽수림 계수의 최솟값과 최댓값에 대한 평균을 상록활엽수림 이산화탄소흡수량 추정에 활용하였다. 죽림의 이산화탄소흡수량 산정에는 국립산림과학원의 보고서에서 제시한 대나무 이산화탄소흡수량 계수(29.34t CO_2/ha/yr)를 활용하였다(유병오 등, 2018).

상록활엽수림 이산화탄소흡수량을 분석하기 위해서 임령별 상록활엽수림 면적을 지자체별로 할당하였다. 국내 산림의 경우 10년 단위로 임령이 구분되기 때문에 표 2에 제시된 5년 단위 임령별 계수 평균값을 활용하여 지자체별 상록활엽수림 이산화탄소흡수량을 산출하였다. 해당 결과를 바탕으로 상록활엽수림의 시도별, 시군구별 이산화탄소흡수량을 지도화하여 분석하였다. 죽림의 경우에는 이산화탄소흡수량을 분석하기 위해 죽림의 면적을 헥타르 단위로 지자체별로 할당하였고, 이후 국립산림과학원의 대나무 이산화탄소흡수량 계수를 활용하여 지자체별 죽림 이산화탄소흡수량을 산출하였다. 해당 결과를 바탕으로 죽림의 시도별, 시군구별 이산화탄소흡수량을 지도화하여 분석하였다.

수치임상도에서 추출한 상록활엽수림과 죽림의 면적을 행정구역에 할당하는 과정에서 불부합 문제를 발견하였고, 이에 대한 수정 작업을 수행하였다. 결론적으로 행정경계에 인접한 지역에서, 등록된 행정구역과 실제 속해있는 행정구역이 일치하지 않는 문제가 상록활엽수림 72개 지역, 죽림 549개 지역에서 확인되었다. 본 연구에서는 이러한 불부합 문제를 해결하고자 최신 행정경계를 기준으로 수치임상도 내 상록활엽수림 및 죽림의 면적을 재할당하여 새롭게 총면적을 계산한 결과를 활용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 전국의 수종별 면적과 변화 분석

1)시도별 임상 면적 현황 분석

이번 장에서는 산림청에서 제공하는 2020년도의 산림기본통계를 활용하여 전국에 대한 식생별 면적을 살펴보

표 2. 상록활엽수림 대한 임령별 이산화탄소흡수량 계수

상록활엽수림 나이(년)	계수 최솟값(t CO_2/ha/yr)	계수 평균값	계수 최댓값
0-5	1.56	2.50	3.44
5-10	3.43	6.86	10.29
10-15	5.14	6.86	8.57
15-20	5.14	6.86	8.57
20-25	5.32	6.46	7.60
25-30	4.18	4.94	5.70
30-35	3.80	4.75	5.70
35-40	2.28	3.61	4.94
40-45	1.90	3.23	4.56
45-50	1.90	2.85	3.80
50 이상	1.50	2.56	3.61

출처 : Iizuka and Tateishi(2015), 표 재편집

았다(그림 3).

2020년도의 산림 기본통계에 보고된 추정치에 의하면 수종의 면적은 각각 침엽수림 2,319,832ha(39%), 활엽수림 2,002,150ha(33%), 혼효림 1,662,541ha(28%)로 나타났으며 3종에 대한 전체 면적은 약 5,984,523ha이다. 이는 남한 총면적 100,413km^2(2020년 통계청 기준)의 약 59.6%에 해당하는 크기이다. 그림 2를 살펴보면 침엽수림(A)과 혼효림은 강원도, 경상북도, 경상남도에 가장 널리 분포하고 있으며 활엽수림(B)은 경기도와 강원도 경상남북도에 가장 널리 분포하고 있다. 상대적으로 국토면적이 작은 광역시, 서울특별시, 세종특별자치시와 제주특별자치도에는 모든 수종이 작게 분포하고 있음을 확인할 수 있었다.

시도별 각 식생의 면적에 대한 지역별 비교 분석 결과(그림 4), 침엽수림의 경우 가장 넓은 면적을 갖는 지역으로는 경상북도 556,885ha, 강원도 435,189ha, 경상남도 313,362ha 순으로 나타났으며 면적이 가장 적은 지역으로는 서울특별시 2,743ha, 세종특별자치시 6,704ha, 광주광역시 7,935ha 순으로 나타났다. 앞서 언급한 바와 같이 대부분의 광역시, 특별시 및 자치 시·도에서의 침엽수림의 면적은 2,743ha~25,000ha 사이로 적은 면적을 차지했다. 활엽수림의 경우, 강원도가 559,418ha, 경북이 365,567ha로 가장 넓은 면적을 차지하였으며 이는 침엽수림의 면적과는 대조적으로 강원도에서의 활엽수림 면적이 가장 높게 나타났다. 광역시, 특별시 및 자치 시·도에서의 활엽수림의 면적은 4,240ha~30,000ha 사이의 면적을 차지하였다. 이중 광주광역시가 가장 낮은 4,240ha의 활엽수림 면

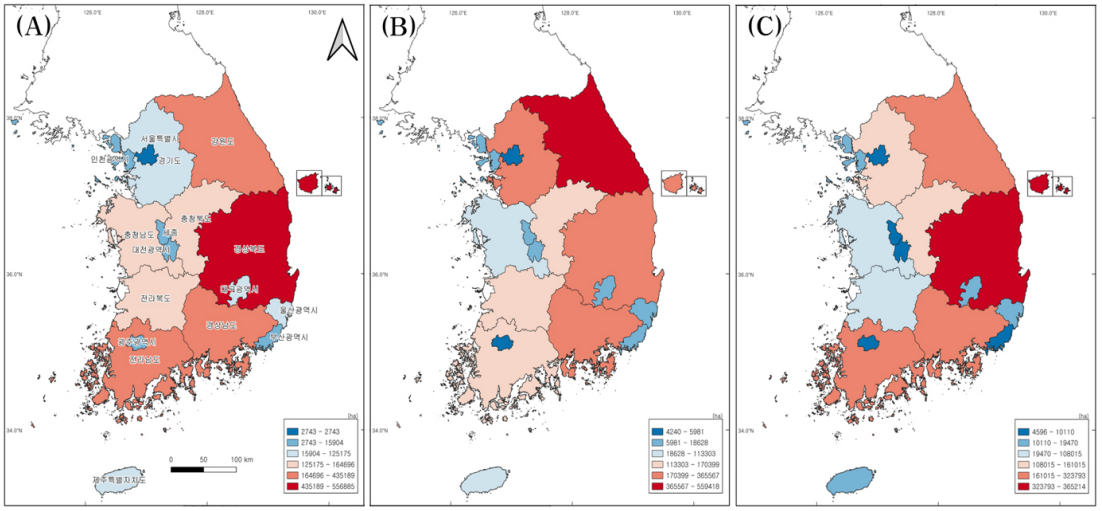

그림 3. 2020년 전국과 시도별 수종별 면적 비율 (A) 침엽수림 면적, (B) 활엽수림 면적, (C) 혼효림 면적

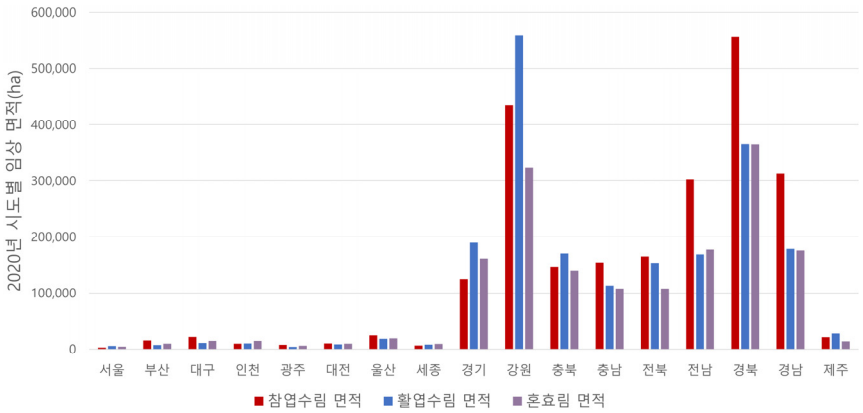

그림 4. 2020년 시도별 각 수종의 면적 비교

적을 가지며 다음으로 서울특별시, 부산광역시, 광주광역시의 순으로 낮은 면적을 차지하고 있다. 혼효림의 경우 경상북도 365,214ha, 강원도 323,793ha로 나타났으며 서울이 가장 낮은 4,596ha를 차지하였다. 광역시, 특별시 및 자치 시·도에서의 혼효림의 면적은 4,596ha~20,000ha 사이의 면적을 차지하였다. 지역별 3종의 면적 비율을 살펴보면 서울특별시는 활엽수림의 면적 비율이 44.9%로 침엽수림의 면적 비율보다 2배 이상 많은 것으로 나타났다. 부산과 대구광역시의 침엽수림 면적 비율은 각각 47.5%와 45.5%로 활엽수림의 면적 비율보다 거의 2배 이상 많은 면적을 차지하고 있었다. 전남, 경북 경남, 충남, 광주의 침엽수림 면적 비율은 활엽수림의 면적 비율보다 상대적으로 높게 나타났으며 제주, 강원, 경기, 충북 등의 지역에서는 활엽수림이 침엽수림보다 더 넓은 면적 비율을 갖는 것으로 나타났다.

상록활엽수림과 죽림의 공간분포를 도출한 결과(그림 5), 국내의 상록활엽수림은 대부분이 남해안(A)과 제주도(B) 지역에 분포하고 있다. 특히, 전라남도의 경우 해안가와 완도에 상록활엽수림이 집중적으로 분포하고 있다. 경상남도의 경우 해안가와 도서 지역에 널리 분포하는 양상을 보인다. 제주도의 경우 북부의 제주시와 남부 서귀포시에 모두 분포하고 있으며, 특히 서귀포시에 우세하게 분포

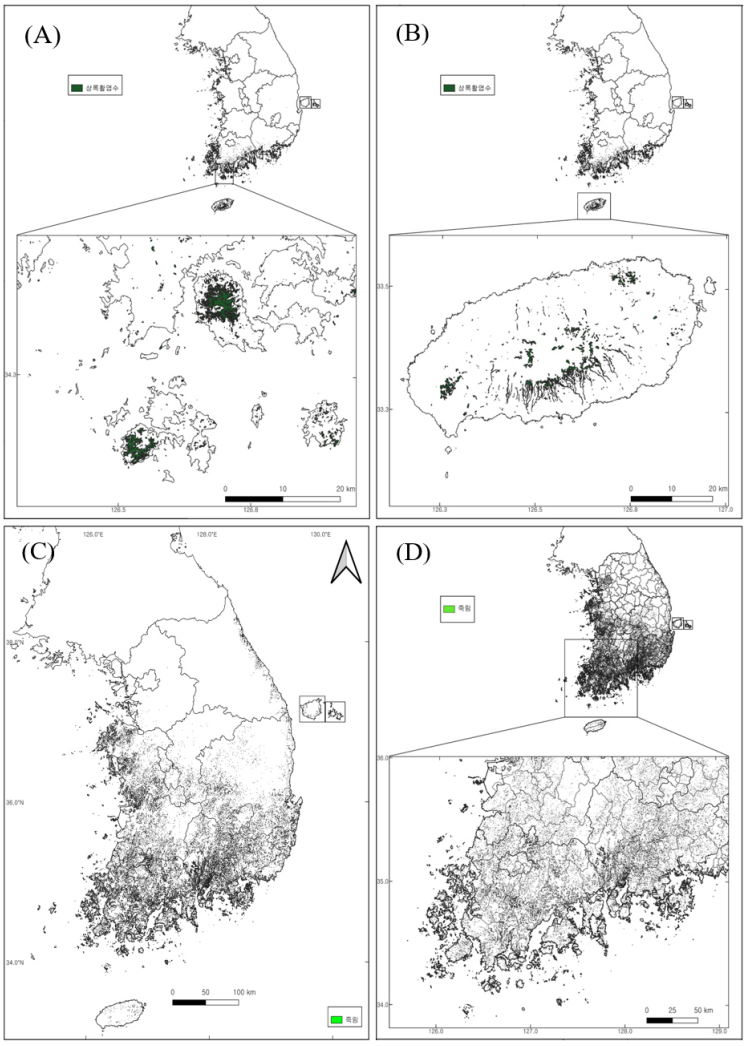

그림 5. 전국 상록활엽수와 죽림 분포현황 (A) 전국 상록활엽수 분포와 전라남도 완도 일대, (B) 제주도 일대의 상록활엽수 분포, (C) 전국 죽림 분포현황 (D) 전라남도와 경상남도 일대 죽림 분포현황

함을 확인할 수 있다.

그림 (C)는 죽림의 전국 분포현황을 보여주는 지도이다. 죽림의 전체적인 분포를 보면 북부보다 남부지역에 죽림이 주로 분포하며 특히 내륙보다는 해안에 가까울수록 더 많은 분포를 보인다. 한반도의 죽림은 전라남도, 전라북도, 경상남도, 충청남도를 중심으로 분포하고 있다. 전라남도와 전라북도의 경우 지역 전체에 널리 분포하고 있다. 경상남도에서는 남해안 지역에, 충청남도의 경우에는 서해안 지역의 집중적인 분포가 확인된다. 위도가 올라감에 따라 전체 면적이 감소하는 패턴을 보여주지만, 상대적으로 따듯한 울릉도 해안가 지역에 죽림이 분포함을 확인할 수 있다. 이와 반대로, 제주도에서는 그 죽림의 분포가 뚜렷하지 않다. 이는 토착종인 조릿대가 제외되었기 때문으로 보인다.

2) 시군구별 산림면적 변화 지도

이번 장에서는 산림면적의 변화를 좀 더 자세히 분석하고자 시·도별 각 수종의 산림면적 변화를 증감률 그래프와 시·군·구 자료를 활용하여 산림면적 변화 지도를 제작하였다(그림 6).

위 그래프(좌측 상단)의 전체 산림면적에 대한 변화를 비율로 살펴보면 전국 모든 지역에서 산림이 감소하였음을 파악할 수 있다. 총 감소 면적은 204,243ha에 달하며, 이는 2010년도 전체 산림면적의 약 3.3%에 해당한다. 특히 충청남도의 경우 약 10.5%로 가장 높은 감소율을 보이며 이는 2020년 자료에서 세종특별자치시의 자료가 개별 분리되어 큰 차이를 보인 것으로 예상된다. 침엽수림(우측 상단)의 경우 서울특별시에서 약 100%로 가장 많이 증가하였고 뒤이어 인천광역시, 부산광역시, 대구광역시 순으로 증가하였다. 이에 반해 광주광역시에서 약 39%로 침엽수림이 가장 많이 감소하였고 뒤이어 대전광역시, 경기도, 전라북도, 전라남도 순으로 감소하였다. 활엽수림(좌측 하단)의 경우 대구광역시에서 약 88.5%로 가장 많이 증가하였고, 뒤이어 경상북도, 광주광역시, 경상남도, 전라남도 순으로 증가하였다. 이에 반해 인천광역시에서 약 37.9%로 가장 많이 감소하였고, 뒤이어 서울특별시, 충청남도, 제주특별자치도, 울산광역시 순으로 감소하였다. 혼효림(우측 하단)의 경우 광주광역시에서 79.8%로 가장 많이 증가하였고, 뒤이어 대전광역시, 제주특별자치도, 전라남도, 전라북도, 경기도 순으로 증가하였다. 이에 반해 대구광역시에서 약 31.8%로 가장 많이 감소하였고, 뒤이어 경상북도, 부산광역시, 경상남도, 강원도 순으로 감소하였다.

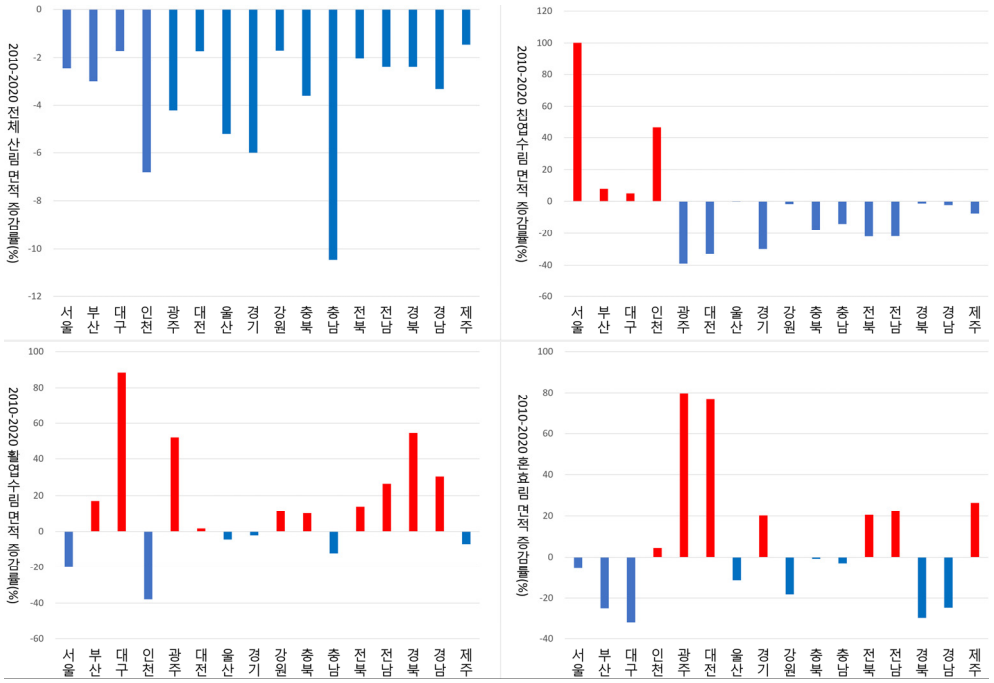

그림 6. 2010년부터 2020년의 시도별 각 수종의 산림면적 증감률

시군구별 각 수종의 산림면적 변화를 분석한 결과(그림 7), (A) 지도에서 나타난 것처럼, 3가지 종류의 수종에 대한 산림 전체 면적은 강원도 양구군, 철원군, 전라남도 담양군, 경상북도 영양군과 울진군을 제외하면 모든 지역에서 감소하였다. 특히 강원도 춘천시는 14,543ha, 충청남도 공주시는 7,422ha, 충청북도 청주시는 4,636ha, 경상북도 안동시는 4,213ha로 이 중 춘천시가 가장 많은 감소를 보였다. 침엽수림의 면적(B)은 대부분 지역에서 감소하였고 특히 전라도와 강원도, 충청북도 일부 지역들에서 감소세가 두드러졌다. 경기도 가평군은 13,700ha, 충청북도 제천시는 13,374ha, 경상남도 포항시는 12,370ha, 경상북도 청송군은 12,290ha, 전라남도 순천시는 11,568ha로 이들 지역에서 두드러진 감소세가 확인되었다. 활엽수림의 면적(C)은 대부분 지역에서 증가하였고 강원도와 경상도 지역에서 두드러지게 증가하였다. 특히 경상북도 안동시는 15,139ha, 강원도 삼척시는 13,129ha, 경상북도 김천시는 11,049ha, 경상북도 영덕군은 8,966ha, 경상북도 울진군은 8,420ha 순으로 크게 증가하였다. 혼효림의 면적(D)은

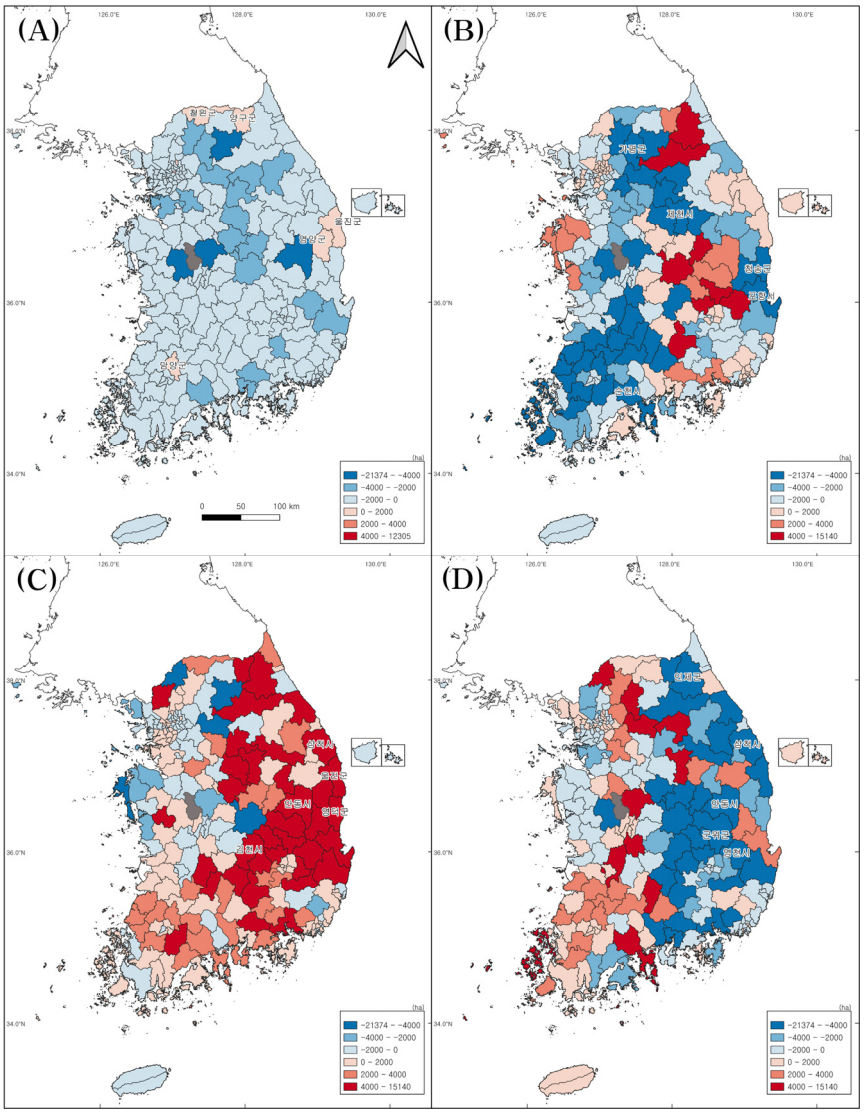

그림 7. 2010년부터 2020년의 시군구별 각 수종의 산림면적 변화, (A) 전체 면적 변화, (B) 침엽수림 면적 변화, (C) 활엽수림 면적 변화, (D) 혼효림 면적 변화

호남지역에서 증가하는 경향을 보였으며 강원도와 영남지방에서는 두드러지게 감소하였다. 특히 경상북도 안동시는 21,373ha, 군위군은 19,454ha, 강원도 인제군은 17,282ha, 경상북도 영천시는 17,042ha, 강원도 삼척시는 14,708ha 순으로 크게 감소하였다.

2. 이산화탄소흡수량 현황 및 분석 결과

1) 침엽수, 활엽수와 혼효림에 대한 이산화탄소흡수량과 변화탐지 분석

이번 장에서는 이산화탄소흡수량의 변화를 좀 더 자세히 분석하고자 시군구 자료를 활용하여 연도별 이산화탄소흡수량을 산정하여 지도로 제작하였다(그림 8).

위 지도를 보면 임상 면적과 시군구 면적이 넓은 강원도 산악지대와 경북, 충북의 일부 지역에서 이산화탄소흡수량이 많음을 알 수 있었다. 2020년(그림 C)를 살펴보면, 강원도 인제군은 연간 1,406,707톤의 이산화탄소를 흡수할 수 있음이 분석되었다. 강원도 홍천군은 연간 1,266,735톤, 강원도 평창군은 연간 1,016,496톤, 강원도 정선군은 연간 846,211톤, 경상북도 안동시는 연간 834,730톤으로 추정되었다. 전체적인 경향을 살펴보면 태백산맥, 소백산맥을 포함하고 있는 시군구가 다른 지역에 비해 산림지역의 이산화탄소흡수량이 많다는 것을 파악할 수 있다. 그리고 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시 등 대도시 인접지역은 상대적으로 이산화탄소흡수량이 적음을 확인할 수 있었다.

2) 상록활엽수와 죽림에 대한 이산화탄소흡수량 결과

상록활엽수림 시군구별 면적 및 이산화탄소흡수량을 분석한 결과(그림 8), 시군구별 면적 지도를 통해 국내의 상록활엽수림(A)은 전라남도 남해안 지역과 제주도 지역을 중심으로 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 남해안 지역뿐만 아니라 정읍시 108.3ha, 군산시 27.6ha 보령시 17.9ha 등에도 상록활엽수림이 일부 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 이는 지구온난화의 영향으로 상록활엽수림 북방한계선이 북상하였기 때문에 나타나는 현상으로 예측된다. 그림 (A)우측 상단의 원형 그래프를 보면, 이산화탄소흡수량이 전라남도에서는 약 58%, 제주특별자치도에서는 약 38% 그리고 그 외 도시에서 약 4%의 비율을 보였다. 시군구별 단위에서 보면 완도군 15,087.4(t CO_2/yr), 서귀포시 14,366.1(t CO_2/ yr), 제주시 7,133.1(t CO_2/yr)로 가장 높은 이산화탄소흡수량을 보였다.

한반도의 죽림(B)은 전라남도(40%), 경상남도(30%), 전라북도(9%), 경상북도와 충청남도 (각 8%)를 중심으로 분포하고 있다. 전라남도와 전라북도의 경우 지역 전체에 널리 분포하고 있다. 경상남도에서는 남해안 지역에, 충청남도의 경우에는 서해안 지역의 집중적인 분포가 확인되었다. 즉, 죽림의 전체적인 분포를 보면 내륙보다 해안가가 뚜렷하며 북부보다 남부지역에 주로 분포함을 확인

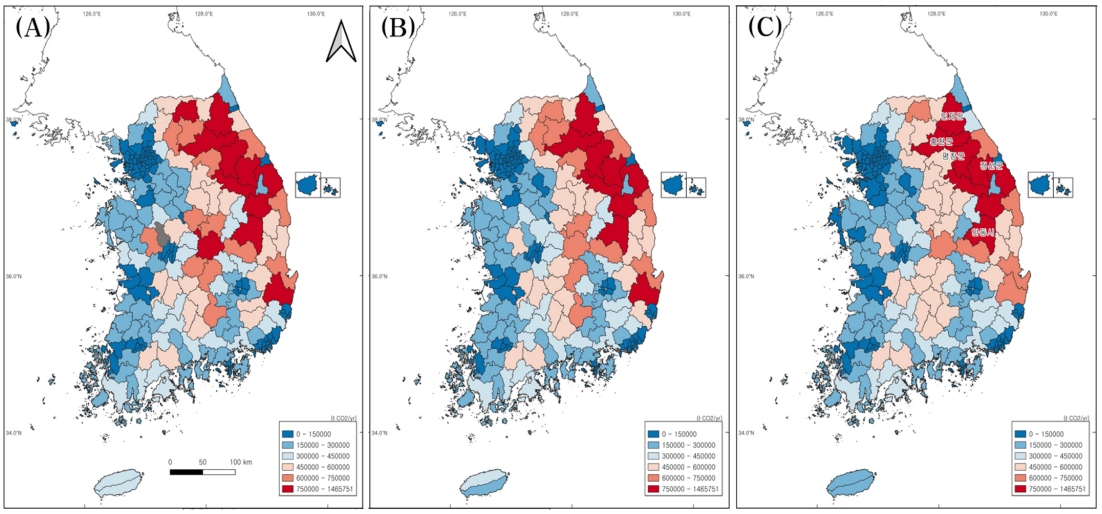

그림 8. 2010, 2015, 2020년의 시군구별 연간 이산화탄소흡수량, (A) 2010년, (B) 2015년, (C) 2020년

할 수 있었다. 특히 위도가 올라감에 따라 전체 면적이 감소하는 패턴을 보여주었다. 고위도 분포 사례의 경우 해양의 영양으로 인해 상대적으로 따듯한 울릉도 해안가 지역에 분포하고 있었다. 이와 반대로 제주도에서는 죽림의 분포가 뚜렷하지 않았다. 이는 토착종인 조릿대가 포함되지 않은 결과로 예상된다. 죽림의 경우 임령 구분 없이 단일 이산화탄소흡수 계수를 사용하므로 면적과 탄소흡수량이 비례한다. 하동군이 1,046.1ha의 가장 넓은 면적과 35,041.1(t CO_2/ yr)의 이산화탄소흡수량을 보인다. 담양군 904ha와 30,310(t CO_2/ yr) 및 창원시 843.5ha와 28,256 (t CO_2/ yr)가 뒤를 잇는다.

그림 (A)는 상록활엽수림의 이산화탄소흡수량 상위 10개 지역을 나타내는 지도이다(그림 10(A)). 시군구별 국내 상록활엽수림은 전라남도 남해안 지역과 제주도 지역을 중심으로 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 하지만 남해안 지역뿐만 아니라 정읍시, 진안군, 무주군, 상주시, 의성군

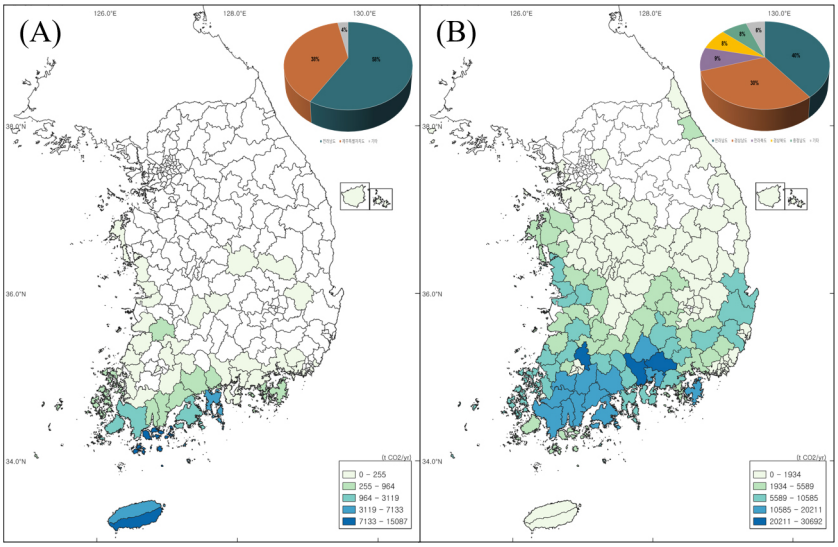

그림 9. 시군구별: (A) 상록활엽수림 이산화탄소흡수량과 시도별 비율, (B) 죽림 이산화탄소흡수량과 시도별 비율

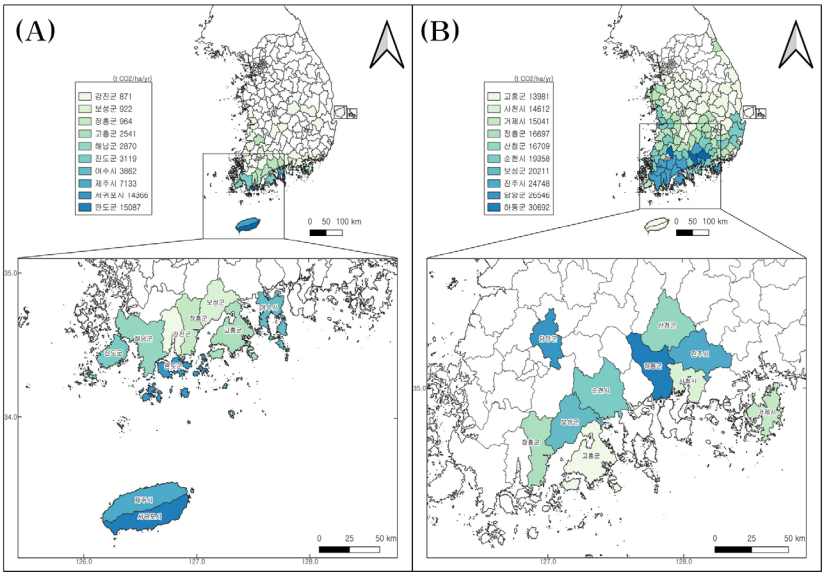

그림 10. 상록활엽수림(A)과 죽림(B)의 이산화탄소흡수량 상위 10개 지역

등 내륙 지역에도 상록활엽수림이 일부 분포하고 있음을 확인할 수 있었다. 이는 지구온난화의 영향으로 상록활엽수림 북방한계선이 북상하였기 때문에 나타나는 현상으로 예측된다. 위 지도(그림 10(B))에 따르면, 죽림이 가장 넓게 분포하는 상위 10개 지역은 전라남도와 경상남도에 집중적으로 위치한다. 전국에서 가장 죽림의 면적이 넓은 지역은 하동군으로, 유일하게 1,000ha가 넘는 죽림이 분포하고 있다.

상록활엽수림 면적의 경우 서귀포시가 가장 넓고, 다음으로 완도군, 제주시, 여수시 순으로 이어진다. 그림 (A)를 살펴보면, 이산화탄소흡수량의 경우 완도군이 가장 많으며, 서귀포시, 제주시, 여수시 순으로 이어졌다(그림 11(A)). 이는 이산화탄소흡수량이 많은 1~3 영급의 상록활엽수림이 서귀포시보다 완도군에 더 많이 분포하고 있기 때문이다. 그림 (B)를 보면 전국에서 가장 죽림의 면적이 넓은 지역은 하동군으로, 유일하게 1,000ha가 넘도록 죽림이 분포하고 있다(그림 10(B)). 다음으로는 담양군, 진주시, 보성군으로 이어진다. 면적 상위 10개 지역 중 담양군을 제외한 9개의 시군구가 모두 남해와 인접한 시군구였다. 이산화탄소흡수량 상위 10개 지역 역시 면적 상위 10개 지역과 동일한 공간적 패턴을 보이고, 순위 역시 동일하였다.

3. 이산화탄소흡수량 증감지역 분석 결과

1) 침엽수, 활엽수와 혼효림에 대한 이산화탄소흡수량 증감분석 결과

2010년부터 2020년까지의 시도별 이산화탄소흡수량의 변화와 증감률을 분석하였으며(그림 12), 그림 11(A) 좌측 상단의 그래프는 2010~2020년 동안의 서울특별시와 6개 광역시의 연간 이산화탄소흡수량 변화를 보여주고 있다. 그래프에서 보이는 것처럼 모든 지역에서의 이산화탄소흡수량은 지난 10년간 감소하는 추세를 보여왔다. 오직 광주광역시만이 2010년에 측정된 이산화탄소흡수량의 143,935톤에서 2020년도에 161,131톤으로 증가하였다. 하단 그래프는 제주특별자치도와 도별 연간 이산화탄소흡수량을 나타낸다. 대부분 지역이 감소추세를 보였으나 전북은 2010년도에서 2015년도까지 228,977톤의 이산화탄소흡수량이 증가하였으며 2015년부터 2020년도까지는 7,807톤이 증가하였다. 전남은 2010년도부터 2015년도까지는 398,989톤이 증가하였으나 2015년도부터 2020년도까지는 다시 감소하는 경향을 보였다. 그림 11(B)는 2010년부터 2020년의 시도별(광역시와 특별시 포함) 연간 이산화탄소흡수량 증감률을 그래프로 나타내었다. 그 결과 2010~2015년간의 기간 동안 광주광역시, 전라남도와 북도에서만 증감율을 보였으며, 2015~2020년도에는 충청남도 지역에서만 이산화탄소흡수량이 증가하였다. 2010~2020년에 대한 지난 10년간의 자료를 살펴보면 오직 광주광역시에서만 이산화탄소흡수량이 증가하였다. 구체적으로 시도별 변화를 살펴보면, 약 6.8% 증가한 호남지역을 제외한 모든 지역에서 이산화탄소흡수량이 감소함을 확인할 수 있다. 2015년부터 2020년까지의 변화를 살펴보면 약 4.1% 증가한 충청남도를 제외한 모든 지역에서 이산화탄소흡수량이 감소하였다. 지난 10년간의 변화를 살펴보면 약 2.1% 증가한 전라북도와 약 11.9% 증가한 광주광역시를 제외한 모든 지역에서 이산화탄소흡수량이 감소하였고 특히 수도권, 충청북도, 대전광역시, 경상남도와 부산광역시에서 크게 감소하였다.

시군구별 연간 이산화탄소흡수량의 증감률을 분석한 결과인 그림 13의 좌측 지도(A)를 통해 2010년도부터 2015년도까지의 변화를 살펴보면 호남지역은 대체로 이산화

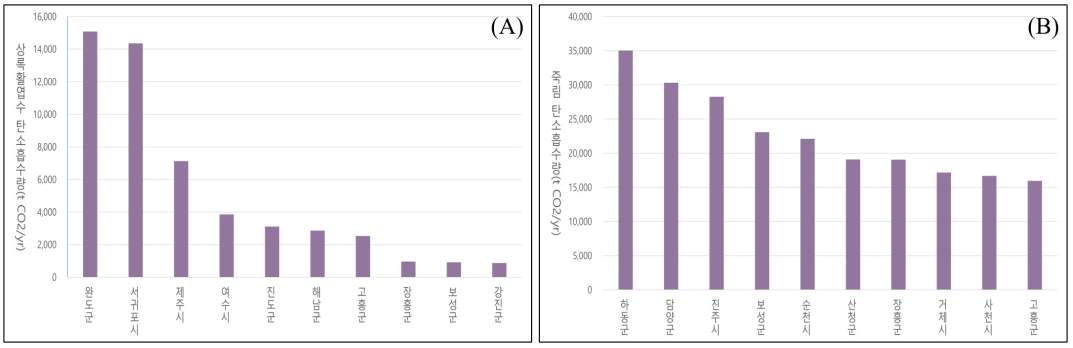

그림 11. 상록활엽수림 및 죽림 이산화탄소흡수량 상위 10개 지역 분석 결과

탄소흡수량이 증가하였고 그 외 지역의 이산화탄소흡수량은 대부분 감소하는 경향을 보였다. 광주광역시는 약 24%, 전라남도 담양군은 약 15%, 전라남도 여수시는 약 13% 증가하였다. 이에 반해 충청남도 태안군은 약 16%, 충청남도 당진시와 서산시는 약 14% 감소하였다. 2015년부터 2020년까지의 변화(B)를 살펴보면 모든 지역에서 이산화탄소흡수량이 감소하였다. 강원도 춘천시는 약 19%, 전라남도 목포시, 경기도 화성시, 경기도 광명시는 약 16%, 전라북도 군산시는 약 14% 감소하였다. 지난 2010년도부터 2020년도까지의 변화(C)를 살펴보면 호남지역을 제외

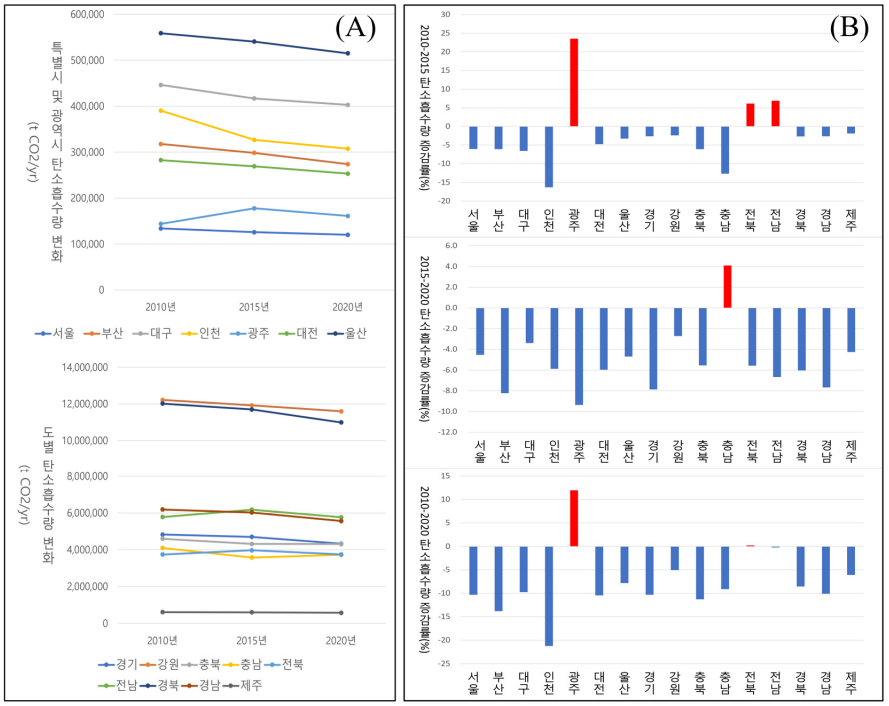

그림 12. (A) 2010~2020년까지의 시도별 이산화탄소흡수량 변화, (B) 2010년부터 2020년의 시도별 연간 이산화탄소흡수량 증감률 그래프

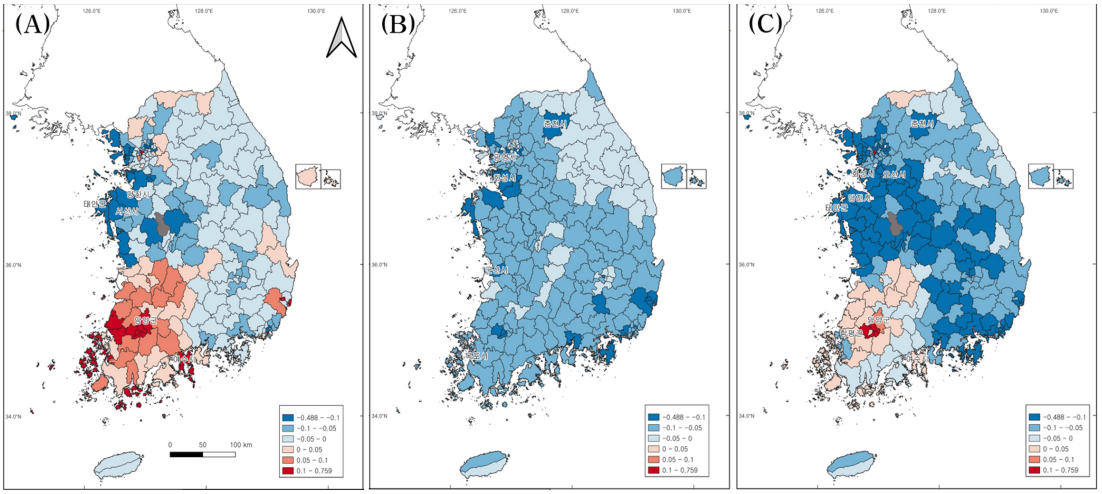

그림 13. 시군구별 연간 이산화탄소흡수량 증감률: (A) 2010~2015, (B) 2015~2020, (C) 2010~2020

한 대부분 지역에서 산림지역의 이산화탄소흡수량이 감소하였다. 전라남도 담양군은 약 8%, 전라남도 여수시는 약 5%, 함평군은 약 4% 증가했지만, 경기도 화성시, 충청남도 태안군은 약 25%, 충청남도 당진시, 경기도 오산시는 약 23%, 강원도 춘천시는 약 21% 감소하였다.

이산화탄소흡수량 감소지역을 도출하기 위하여 분석을 수행한 결과(그림 14), 인천광역시 연수구·옹진군, 충청남도 당진시·서산시·보령시, 부산광역시 중구, 서울특별시 노원구는 이산화탄소흡수량이 각각 약 32.9%, 22.7%, 23.3%, 19.8%, 18.5%, 22%, 18.7% 감소하는 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 침엽수림의 면적이 증가하고 비교적 단위면적당 이산화탄소흡수량이 많은 활엽수림과 혼효림 면적 감소에 기인한다. 울산 남구와 경기도 화성시는 활엽수림의 면적이 증가하였지만, 전체적인 산림면적의 감소로 인해 이산화탄소흡수량이 각각 약 32.1%, 25.4% 감소하였다. 인천광역시 중구, 서울특별시 강동구, 경기도 오산시와 강원도 춘천시는 이산화탄소흡수량이 각각 약 31.8%, 27.1%, 22.9%, 21.1% 감소하였다. 이는 모든 종류의 식생의 면적이 감소한 결과이다. 서울특별시 송파구, 인천광역시 서구·강화군은 이산화탄소흡수량이 각각 약 27.1%, 20.7%, 19.2% 감소하였다. 이러한 결과는 혼효림의 면적이 늘었지만, 활엽수림의 면적이 크게 줄어든 영향으로 보인다. 충청남도 태안군과 인천광역시 미추홀구는 침엽수림과 혼효림의 면적이 증가하였지만, 활엽수림의 면적이 크게 감소한 영향으로 이산화탄소흡수량이 각각 24.5%, 23.5% 감소하였다. 부산광역시 동래구와 서울특별시 마포구는 혼효림이 크게 감소한 영향으로 이산화탄소흡수량이 각각 약 23.1%, 22.6% 감소하였다.

그림 14(B) 그래프를 보면 인천광역시 연수구가 약 32.9%로 이산화탄소흡수량이 전국 모든 시군구 중에서 가장 많이 감소하였다. 뒤이어 울산광역시 남구, 인천광역시 중구, 서울특별시 강동구, 서울특별시 송파구, 경기도 화성시, 충청남도 태안군 순으로 감소하였다. 위의 탄소흡수량 감소 하위 20개 지역 중에서, 울산광역시 남구, 서울특별시 강동구·송파구·마포구·노원구, 부산광역시 동래구·중구, 강원도 춘천시를 제외하면 모든 지역이 서해안 해안에 분포하고 있다.

지난 10년간 이산화탄소흡수량이 증가한 상위 20개 지역을 도출한 결과(그림 15), 그림 15(A)를 살펴보면 여러 지역 중 전라북도 진안군은 침엽수림과 혼효림의 면적이 감소하였지만, 활엽수림의 증가로 인해 이산화탄소흡수량이 약 2.3% 증가하였다. 진안군을 제외한 19개의 지역은 모두 침엽수림이 감소하고 활엽수림과 혼효림의 증가로 인해서 이산화탄소흡수량이 증가하였다. 특히 광주광역시 지역은 이산화탄소흡수량이 약 2.2%가 증가한 서구를 제외하고 동구·남구·북구·광산구에서 10% 넘게 증가하였다. 이에 반해 전라북도의 서쪽에 있는 부안군·정읍시·고창군은 이산화탄소흡수량 증가율이 각각 약 1.3%, 1%, 0.9%로 소폭 증가하였다.

그림 15(B)를 살펴보면 광주광역시 동구가 15.5%로 이산화탄소흡수량이 전국 모든 시군구 중에서 가장 크게 증가하였다. 뒤이어 광주광역시 남구, 서울특별시 영등포구, 광주광역시 북구·광산구, 전라남도 담양군·여수시·함평군, 전라북도 장수군, 전라남도 영광군이 크게 증가하였다. 위의 20개 지역 중 서울특별시 영등포구를 제외한 모든 지역이 호남지역에 위치한다.

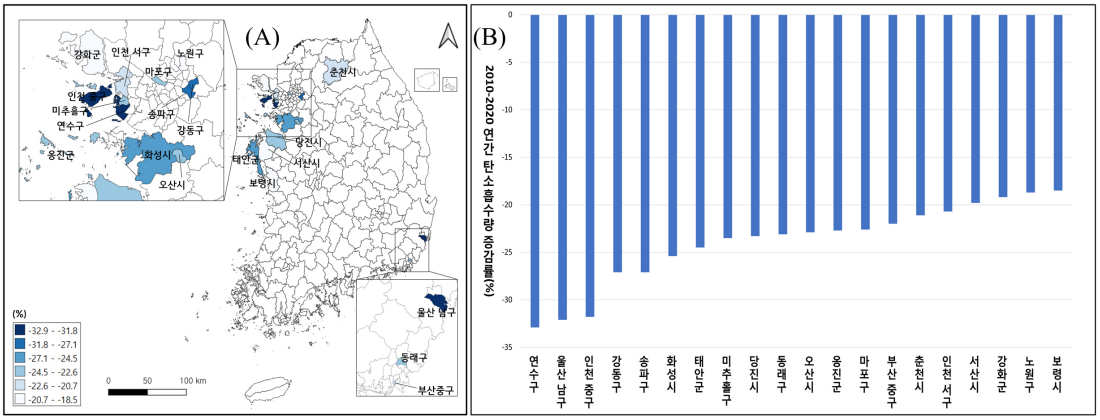

그림 14. (A) 하위 20개 지역에 대한 지도, (B) 연간 이산화탄소흡수량 증감률(%) 하위 20개 지역

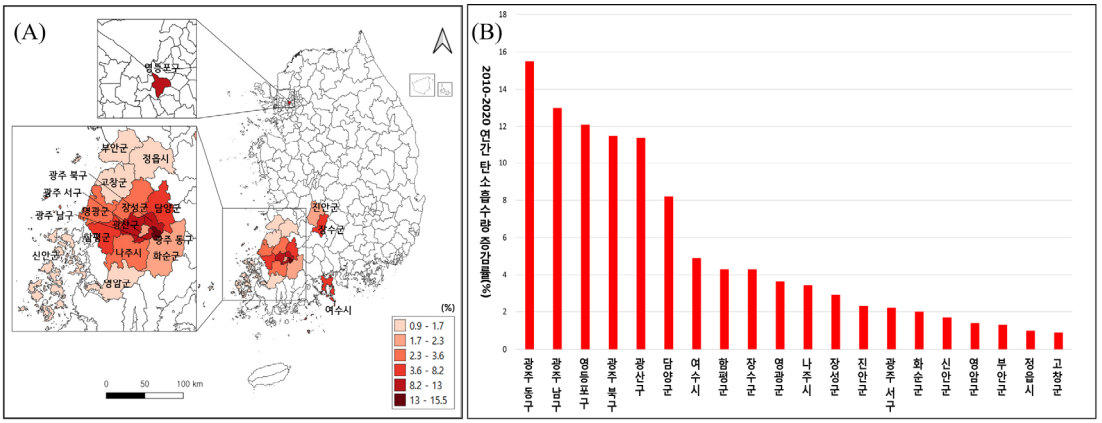

그림 15. (A) 상위 20개 지역에 대한 지도, (B) 연간 이산화탄소흡수량 증감률(%) 상위 20개 지역

V. 결 론

본 연구에서는 산림지역의 탄소흡수량 감소 추이에 대한 분석과 탄소중립 실천을 위한 탄소흡수원 탐색을 목적으로 국내 산림자원에 대한 분석을 진행하였다. 본 연구를 통해 얻은 결과와 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서(환경부 온실가스종합정보센터, 2022)의 결과를 비교해 보면 다음과 같다. 이 연구 결과에 의하면 전체 산림지의 이산화탄소흡수량은 2010년 56,352,485t CO_2/yr, 2015년 55,391,298t CO_2/yr, 2020년 52,633,417t CO_2/yr로 나타났다. 그러나 2021 인벤토리 보고서에 따르면 2010년에는 58,843,000t CO_2/yr, 2015년에는 48,505,000t CO_2/yr, 2020년에는 43,232,000t CO_2/yr의 이산화탄소흡수량이 전체 산림지를 대상으로 계산되었다. 본 보고서와 인벤토리 보고서의 이산화탄소흡수량의 차이를 살펴보면 2010년에는 -2,490,515t CO_2/yr (약 249만 톤)로 인벤토리 보고서의 결과가 본 보고서의 결과보다 크게 나타난다. 하지만 2015년에는 6,886,298t CO_2/yr(약 688만 톤), 2020년에는 9,401,417t CO_2/yr(약 940만 톤)로 본 보고서의 결과가 인벤토리 보고서의 결과보다 커지며 그 차이 역시 점차 벌어지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 차이는 첫째, 이산화탄소흡수량 분석에 서로 다른 산림자료(본 보고서-산림기본통계, 인벤토리 보고서-임업통계연보)를 사용한 것에서 기인한다고 추정된다. 둘째, 두 결과가 큰 차이를 보이는 또 다른 이유는 2021 인벤토리 보고서에서는 혼효림의 면적을 따로 산정하지 않고, 침엽수와 활엽수가 1:1로 분포한다는 가정하에 침엽수림과 활엽수림에 포함하여 이산화탄소흡수량을 계산하였기 때문이다(환경부 온실가스종합정보센터, 2021:280). 세 번째로, 전체적인 임상별 탄소흡수량의 변화를 살펴보면 전국적으로 침엽수림은 2010년부터 2020년까지 4,285,141t CO_2/yr 감소했지만, 활엽수림은 2,865,523t CO_2/yr 증가하였다. 이는 국토의 산림지 일부를 침엽수에서 다목적 활엽수로 전환하는 수종 다양화 정책과 지구온난화에 따른 결과로 추측할 수 있다. 인벤토리 보고서에 따르면 2010년부터 2019년까지 침엽수림의 이산화탄소흡수량이 11,109,000t CO_2/yr 감소하는 동안 활엽수림의 이산화탄소흡수량은 침엽수림의 절반에 가까운 4,502,000t CO_2/yr 감소하였다. 인벤토리 보고서는 혼효림의 이산화탄소흡수량을 개별적으로 산출하지 않아 정확한 비교는 어렵지만, 인벤토리 보고서의 분석 결과 역시 조림정책과 기후변화의 영향이 미친 것으로 추측할 수 있다.

상록활엽수림 및 죽림의 면적과 분포를 분석한 결과 상록활엽수림과 죽림은 남부지역에 널리 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 중부지방까지 주로 분포한 죽림과 달리 상록활엽수는 남해안과 접한 일부 지역에 한해서 그 면적을 확인할 수 있었다. 해당 지역은 난대림의 생육조건인 연평균기온 14°C 이상, 1월 평균기온 0°C 이상, 강수량은 1,300mm에서 1,500mm 사이를 충족하는 지역들로, 이 중에서도 가장 온화하며 일교차가 적고 강수량이 많은 완도와 제주도 남부지역에 상록활엽수가 집중적으로 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 분석결과를 요약하자면, 상록활엽수는 55,928t CO_2/yr, 죽림은 591,183.4t CO_2/yr의 산화탄소흡수량을 얻을 수 있었다.

결론적으로, 우리나라 탄소중립 실현을 위한 탄소흡수원으로써 산림지의 관리에 있어서 산정체계의 고도화가

필요하다. 특히 기후변화에 따라 변화될 식생대의 분포와 식생별 수목의 종조성 변화를 고려한 임목별 연령별 흡수계수 산정 자료 구축이 필요하다. 본 연구에서 제시한 상록활엽수와 죽림의 경우가 중요한 예시가 될 것이다. 이 연구에서는 상록활엽수림 탄소흡수량을 산출하기 위해 하나의 이산화탄소흡수량 계수를 활용하였다. 하지만 상록활엽수림 수종별로 연간 탄소흡수량에 큰 차이를 보이기 때문에 이에 대한 세부적인 수종별 분석이 필요하다. 상록활엽수림 수종별 탄소흡수량을 고려한 분석을 통해 산림 환경의 탄소흡수량을 보다 정밀하게 파악할 수 있을 것이다. 또한, 탄소흡수량 감소에 가장 중요한 요인이 산림면적 감소인 것을 고려할 때, 산림지 면적의 회복을 위한 적극적인 복원 정책의 수립과 이행이 요구되며, 복원 시 생태계서비스 증진 및 생물다양성의 보전과 탄소흡수량 증진의 공동효과를 위한 이행 및 평가 지침 등이 수립되어 적용되어야 할 것이다. 이와 더불어, 죽림 등 탄소흡수량이 높은 식생의 보전, 확대을 위한 지속가능한 관리 정책 마련이 필요하다. 특히, 산림면적의 회복을 위하여 지자체 단위에서 면적 기반 산림관리와 지역 단위에서 유역기반의 통합된 산림관리 정책과 이행 방안 마련이 시급하다.

註

1) 영급(齡級): 산림시업의 필요에 따라 임분 중의 영계의 합반해서 일급을 만든 것인데 보통교목은 20년, 왜림은 5년으로서 일령수를 일령급으로 한다. 하지만 본 연구에서는 10년으로서 일령수를 일령급으로 분석을 진행하였다. 어린것부터 1급으로 시작한다(산림청 산림임업용어사전).

감사의 글

이 연구는 한국환경연구원(KEI)에서 수행한 [생물다양성 보전을 통한 탄소흡수원 확대 방안 (I) (과제번호: GP2022-16]의 연구로부터 지원을 받았으며, 이 연구의 결과로 2022년에 출판된 보고서(구경아 등, 2022)의 내용을 토대로 작성되었습니다. 본 연구의 자료 수집에 도움을 주신 홍석찬, 서준호, 김승호 연구실원에게 감사의 말씀을 전해드립니다.

참고문헌

구경아·오일찬·홍현정·명수정·김준성·권봉오·양병윤, 2022,「생물다양성보전을 통한 탄소흡수원 확대 방안 (I)」, 한국환경연구원.

국립산림과학원, 2013,「주요 산림수종의 표준 탄소흡수량」.

국토교통부 국토지리정보원, 2020,「대한민국 국가지도집 II」.

국토교통부, "'탄소공간지도 시스템", https://carbonmap.kr/space.do(2023.11 검색)

기상청·국립기상과학원, 2021,「우리나라 109년(1912년~2020년) 기후변화 분석 보고서」.

박종철·양금철·장동호, 2010, "기후변화에 따른 난온대 상록활엽수림대의 이동에 관한 연구," 기후연구, 5(1), 29-41.

산림청, 2011,「2010년 산림기본통계」.

산림청, 2016,「2015년 산림기본통계」.

산림청, 2021,「2020년 산림기본통계」.

손영모·김래현·이경학·표정기·김소원·황정순·이선정·박현, 2014,「한국 주요 수종별 탄소배출계수 및 바이오매스 상대생장식」, 국립산림과학원.

안현진·석현덕·최준영·김동훈, 2017,「제9장 신기후체제 대응을 위한 산림관리」, 한국농촌경제연구원.

유병오·정수영·박용배·이광수·박준형, 2018,「대나무 자원의 인벤토리 구축 및 임분관리기술 개발」, 국립산림과학원.

이은미·이상헌·조경남·김용미, 2017, "한반도 기후민감성 상록활엽수 지시종 현생화분의 형태분류학적 특성," 지질학회지, 53(6), 833-844. http://dx.doi.org/10.14770/jgsk.2017.53.6.833

임종환·신준환, 2005, "지구온난화에 따른 산림식생대 이동과 식물계절 변화," 자연보존, 130, 8-17.

조현국·김종찬·정일빈·손영모·임종수·이선정, 2017,「숫자로 보는 우리나라의 산림자원」, 한국임업진흥원.

최원준·한수현·안세진, 2022,「온실가스 인벤토리 구축을 위한 LULUCF 산정체계 현황 및 시사점」, 녹색기술센터.

허인혜·권원태·전영문·이승호, 2006, "우리나라에서 기온 상승이 식생분포에 미치는 영향 -대나무와 마늘을 중심으로," 환경영향평가, 15(1), 67-78.

환경부 온실가스종합정보센터, 2021,「2020년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」.

환경부 온실가스종합정보센터, 2022, 「2021년 국가 온실가스 인벤토리 보고서」.

Byun, J.G., Lee, W.K., Kim, M., Kwak, D.A., Kwak, H., Park, T., and Jung, J.H., 2013, Radial growth response of Pinus densiflora and Quercus spp. to topographic and climatic factors in South Korea, *Journal of Plant Ecology*, 6(5), 380-392. https://doi.org/10.1093/jpe/rtt001

Chen, K., Cai, Q., Zheng, N., Li, Y., Lin, C., and Li, Y., 2021, Forest carbon sink evaluation – An important contribution for carbon neutrality, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 811(1), 012009. https://doi.org/10.1088/1755-1315/811/1/012009

Iizuka, K. and Tateishi, R., 2015, Estimation of CO_2 sequestration by the forests in Japan by discriminating precise tree age category using remote sensing techniques, *Remote Sensing*, 7(11), 15082-15113. https://doi.org/10.3390/rs71115082

Keenan, T.F. and Williams, C.A., 2018, The terrestrial carbon sink, *Annual Review of Environment and Resources*, 43(1), 219-243. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102017-030204

산림청 산림임업용어사전, https://www.forest.go.kr/kfsweb/kfi/kfs/mwd/selectMtstWordDictionaryList.do?mn=NKFS_04_07_01

교신: 구경아, 30147, 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 B동, 한국환경연구원(이메일: kakoo@kei.re.kr)

Correspondence: Kyung Ah Koo, Korea Environment Institute, Sejong National Research Complex Bldg. B 370 Sicheong-daero, Sejong-si, 30147, Repulic of Korea (Email: kakoo@kei.re.kr)

투 고 일: 2023년 11월 16일
심사완료일: 2023년 12월 7일
투고확정일: 2023년 12월 12일