

지적도를 이용한 토지피복도의 불확실성 평가

유철상* · 송성욱**

*고려대학교 건축사회환경공학과

Uncertainty assessment of land cover map using cadastral map

Chulsang Yoo* · Sunguk Song**

**School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea*

(Received : 08 June 2024, Revised : 12 August 2024, Accepted : 23 January 2025)

요약

본 연구에서는 토지피복도를 이용하여 토지이용의 변화를 파악하는 경우의 불확실성 또는 변동성을 지적도를 가지고 비교/평가해 보았다. 본 연구는 1980년대 이후 자료가 가용한 소양강댐 및 충주댐 유역을 대상으로 수행되었다. 토지피복도는 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공되는 것을 이용하였고, 지적통계 자료는 통계청 국가통계포털에서 제공되는 것을 이용하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 먼저, 토지피복도에 나타난 토지이용의 변화는 두 유역에서 유사한 점과 상이한 점이 모두 있는 것으로 나타났다. 먼저, 산림의 경우, 두 유역 모두에서 감소세가 확인되었다. 지난 40년간 소양강댐유역에서 8.9%, 충주댐 유역에서 7.0% 정도 감소하였다. 이에 반해 시가지 및 건조지역의 경우에도 두 유역에서 유사한 증가세가 확인되었다. 소양강댐 유역의 경우 0.39%에서 1.12%로 2.85배 증가, 충주댐 유역의 경우에는 0.26%에서 2.16%로 8.28배 증가하였다. 농경지 면적 비율의 뚜렷한 변화는 찾기 어려웠으나, 수역 면적의 경우에는 두 유역에서 차이가 큰 것으로 나타났다. 소양강댐 유역의 경우, 2.08%에서 7.97%로 약 4배 가까이 증가한 것으로 나타났으나, 충주댐 유역에서는 1.02%에서 1.46%로 소폭의 변화 정도만 나타났다. 그러나 이러한 변화는 지적도를 가지고 파악한 통계와는 상당히 다른 것으로 확인되었다. 먼저, 산림면적의 경우, 소양강댐 유역에서 토지피복도의 산림면적이 지적통계에 비해 10% 정도 작게 나타났으며, 충주댐 유역에서도 차이가 작긴하지만 유사한 추세를 보였다. 수역의 경우, 두 자료에서 가장 크게 차이를 보인 항목이다. 실제 토지피복도상의 수역이 지적통계상 수역의 절반에 그치기 때문이다. 이러한 차이의 원인으로는 산림의 농경지화 및 수역이 건기시 초지나 나지로 판단되는 문제를 들 수 있다. 그 결과로 토지피복도상의 농경지 비율은 지적통계상의 농경지 비율에 비해 50% 정도 높은 것으로 나타났다.

핵심용어 : 토지피복도, 지적통계, 불확실성 분석

Abstract

In this study, the uncertainty or variability in identifying changes in land use using land cover maps were compared and evaluated using cadastral maps. This study was conducted targeting the Soyang river dam and Chungju dam basins for which data has been available since the 1980s. The land cover maps used were collected from the Water Resources Management Information System, and the cadastral statistics data used were collected from the National Statistics Portal of the National Statistical Office. The results of this study are summarized as follow. First, the changes in land use shown in the land cover map were found to have both similarities and differences in the two basins. First, in the case of forest area, a decreasing trend was confirmed in both basins. Over the past 40 years, forest area has decreased by 8.9% in the Soyang river dam basin and 7.0% in the Chungju dam basin. On the other hand, similar increases were confirmed in both basins in urban/dry areas. In the case of the Soyang river dam basin, the ratio of urban/dry areas increased 2.85 times from 0.39% to 1.12%, and in the Chungju dam basin, it increased 8.28 times from 0.26% to 2.16%. It was difficult to find a clear change in the ratio of cropland area, but there was a large difference in water area between the two basins. In the case of the Soyang river dam basin, there was a nearly four-fold increase from 2.08% to 7.97%, but in the Chungju dam basin, there was only a slight change from 1.02% to 1.46%. However, these changes were confirmed to be quite different

*All authors equally contributed

**To whom correspondence should be addressed.

Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea

E-mail : ssu0103@korea.ac.kr

• Chulsang Yoo School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea/Professor(envchul@korea.ac.kr)
• Sunguk Song School of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University, Seoul, Korea/Ph.D Candidate(ssu0103@korea.ac.kr)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

from the statistics identified using cadastral maps. First, in the case of forest area, the forest area of the land cover map in the Soyang river dam basin was about 10% smaller than the cadastral statistics, and a similar trend was shown in the Chungju dam basin, although the difference was small. In the case of water body area, the greatest difference was found between the two data. The water body area on the actual land cover map was only half of the water body area on the cadastral statistics. The reasons for this difference include the conversion of forests into cropland and the problem of water body areas being identified as grasslands or barren areas during the dry season. As a result, the proportion of cropland on the land cover map was found to be about 50% higher than the proportion of cropland on cadastral statistics.

Key words : Land cover map, Catastral statistics, Uncertainty analysis

1. 서론

토지이용은 강우-유출 과정에 직접적인 영향을 미친다(Teuling et al., 2019). 통상 불투수층의 증가로 대변되는 도시화도 토지이용의 변화이다. 농경지의 증가 또는 감소, 논에서 밭으로의 변환, 산림의 훼손 등도 토지이용의 변화에 포함된다. 댐의 건설로 인한 수역의 증가도 중요한 토지이용의 변화이다. 토지이용은 당연히 고정된 것이 아니며, 시시각각으로 변하는 것이다. 장기간에 걸쳐 토지이용 자체가 서서히 변화하는 것이기도 하며, 년 중 뚜렷한 계절성을 반영하여 큰 폭으로 변동하기도 한다.

토지이용의 변화로 인한 강우-유출 과정의 변화 연구는 매우 다양하다. 도시화로 인한 유출특성의 변화는 잘 알려진 사실이다(Li et al., 2018). 침투유량의 증가 및 침투간의 감소는 도시홍수 위험의 증가로 이어진다. 침투량의 감소로 인한 지하수위 감소, 하천건천화 등의 문제도 발생한다(Tam and Nga, 2018; Nath et al., 2021). 농경 방식이나 농작물의 종류에 따라라도 침투 특성이나 증발산에 차이가 발생한다(Saugier and Katerji, 1991; de Almeida et al., 2018; Basche and DeLonge, 2019). 상대적으로 직접유출이 적은 산림이 훼손되는 경우 유출이 증가될 수 있다(Sahin and Hall, 1996; Costa et al., 2003). 반대로 산림면적의 증가는 증발산의 증가를 가져오고 이에 따라 유출의 감소 및 하천건천화가 나타날 수 있다는 것도 사실이다(Hu et al., 2021). 토지이용의 변화는 마치 인과관계의 분석에서처럼 어떤 결과를 가져오게 될지가 상대적으로 자명하다.

토지이용의 상태를 파악하는데 토지피복도가 이용된다. 토지 피복도는 그 이용이 많아 국가기관에서 매년 갱신하여 제시하는 것이 일반적이다. 국내의 경우 환경부에서 이 일을 담당하고 있으며, 관련 홈페이지에서 내려받아 사용할 수 있다(<https://egis.me.go.kr/>). 토지피복도는 다양한 목적으로 사용되므로 그 해상도가 높고 정밀하게 제작된다. 광역의 지역을 대상으로 하게 되므로 인공위성 영상 정보의 활용이 필수적이며, 지도(supervised) 및 비지도(unsupervised) 학습을 병행하여 토지이용 상태를 판단하게 된다(박정재 등, 2007). 인공위성 영상 정보를 토지이용으로 변환하는 과정에 상당한 오차가 개입될 여지도 있지만, 장기간의 경향을 분석하는 데에는 가장 중요한 정보로 이용하고 있다. 약간의 비정상적인 증감은 변동성 정도로 이해되며, 전체적인 경향을 왜곡할 정도의 문제는 없을 것으로 가정한다.

그러나 토지피복도에 나타난 토지이용의 변화가 비상식적으로 클 수 있는 문제가 상존한다(Lambin et al., 2003; Poyatos et al., 2003). 인공위성 영상에서 우기와 건기의 차이가 크므로,

어떤 영상이 사용되었느냐에 따라 특히 수역의 면적이 크게 달라질 수 있다(Halounova and Holubec, 2014). 토지피복 유형에 따라서는 계절적 변화 또한 무시할 수 없는 요인이 되기도 한다(Park et al., 2022; Hong et al., 2023). 농경지의 경우에는 계절에 따라 나지로 또는 초지로 파악될 가능성도 크다(Lark et al., 2017). 아시아에서 논은 경우는 수역과 혼동될 여지도 있다(Sato et al., 2024; 이근상과 최연웅, 2014; 이성혁과 김진수, 2019). 이러한 문제는 우리나라에서 뿐만 아니라 세계적으로 보고되고 있는 문제이다.

토지피복도의 문제는 지적도를 가지고 평가해 볼 수 있다. 지적도는 토지의 이용을 공적으로 기록한 문서이다. 실제 토지 이용과 상이할 가능성도 있으나 공부상의 토지이용으로 이용되지 않을 경우 일종의 벌칙이 부과되므로 상대적으로 정확성을 갖는다고 할 수 있다(홍성언 등, 2007). 계절적인 변화도 없으며, 우기와 건기의 차이도 없다. 그러나 토지이용의 변화를 즉각적으로 반영한다고 보기는 어렵다는 문제가 있다(홍성언 등, 2011; 유승동, 2017). 그럼에도 불구하고 토지이용 변화의 장기적인 변화는 잘 반영하고 있을 것이라는 장점도 있어 보인다. 도시, 농경지 및 수역의 경우에는 상대적으로 정확한 통계치를 제공할 것이라고 추정해 볼 수 있다.

본 연구에서는 토지이용의 변화를 토지피복도를 이용하여 파악하는 경우의 불확실성 또는 변동성을 판단해 보는 것을 목적으로 한다. 즉, 토지이용의 상태를 즉각 반영할 것으로 판단되는 토지피복도를 상대적으로 느리지만 장기적인 관점에서 정확하다고 판단되는 지적도를 가지고 비교/평가해 보는 것이다. 토지피복도가 가지는 불확실성 또는 변동성 정도는 실제 강우-유출 해석에 큰 영향을 미치게 된다. 유역의 현 상황을 대표하지 못하는 토지피복도는 그 자체로 유역의 수문상황을 왜곡할 수 있다. 본 연구에서는 그 가능성이 어느 정도인지를 파악해 보는데 필요한 기초 정보를 제공할 수 있을 것이다.

2. 토지피복도와 지적통계

2.1 토지피복도의 제작과정과 불확실성

유역의 토지이용 및 식생 변화를 파악하기 위해 보편적으로 사용되는 자료로 토지피복도를 들 수 있다. 토지피복도는 지구 표면 지형지물의 형태를 과학적 기준에 따라 분류하고, 동질의 특성을 지닌 구역을 지도형태로 표현한 환경기초지도를 말한다(환경부, 2022). 토지피복도는 다시 대분류 토지피복도, 중분류

토지피복도, 세분류 토지피복도로 구분된다. 본 연구에서는 이 중 대분류 토지피복도를 활용하여 구역의 변화를 파악하였다.

대분류 토지피복도는 30 m × 30 m 보다 높은 해상도의 영상 자료(Landsat 30 m, Arirang 2, 4 m)를 기초자료로 활용하여 작성된다(환경부, 2022). 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS; <http://wamis.go.kr/>) 에서 제공되는 토지피복 정보 또한 대분류 토지피복도를 바탕으로 제시된다. 대분류 토지피복도는 1975년부터 2000년까지 5년 단위로 작성되었으며, 이후 2006년, 2010년, 2020년의 자료가 가용한 상황이다. 대분류 토지피복도는 총 7개의 항목으로 구분되어 있으며, WAMIS에서는 이 중 농경지를 다시 한 번 논과 밭으로 구분하여 제공하고 있다. 이들을 구분하는 기준은 「토지피복지도 작성지침」의 제3장 제10조 및 제4장 제13조에 따라 아래 Table 1과 같이 제시된다.

대분류 토지피복도의 경우, 영상분류 알고리즘을 이용한 자동

분류 방법을 이용하여 7가지 항목으로 분류하고 있다(환경부, 2022). 영상분류 알고리즘에 따라 자동 분류된 결과는 아리랑 2호 위성영상 자료와 대조하여 검증된다. 토지피복분류 결과를 표본 추출한 후 영상자료와 비교·검증하여 분류 정확도를 평가한다(Fig. 1). 분류 정확도 75% 이상을 유지하고 있는 것으로 파악된다.

이렇게 만들어지는 토지피복도는 당연히 완벽하지 않으며 많은 오차를 내포하고 있다. 기준으로 삼고 있는 분류정확도가 75% 정도이므로 토지피복도의 오차도 최대 25%까지 가능하다. 대상 지역 또는 구역의 평균적인 특성을 도출하는 경우 그 오차의 규모가 그 정도까지 크지는 않겠지만 수% 정도의 오차는 충분히 가능한 것이다. 또 다른 문제는 토지피복도가 사용되는 영상정보의 촬영시점을 반영한다는 점이다. 이러한 문제를 극복하고자 다양한 시점을 고려하지만 여전히 오차의 도입 가능성이 크다. 예를 들어,

Table 1. Land cover map classification system (Ministry of Environment, 2022)

Class	Code	Description	
Urban/dry area	100	Urban/dry area (100) includes buildings such as residential facilities, commercial and industrial facilities, and transportation facilities	
Cropland	Cropland	200	Cropland (200) includes agricultural areas where rice paddies and fields are plowed for farming, areas where fruit trees and street trees are grown, and facilities used for livestock and dairy farming
	Rice paddy	210	Rice paddy (210) is farmland where water is stored and crops that can live in water, such as rice, water parsley, and lotus root, are grown
	Field	220	Field 220 is land where crops other than rice are grown without irrigation
Forest	300	Forest (300) includes land where trees grow collectively	
Grassland	400	Grassland (400) refers to land covered with herbaceous plants and includes both naturally occurring natural grassland and artificially formed artificial grassland	
Wetland	500	Wetlands 500 include wet and humid land that is always kept moist by the natural environment	
Barren	600	Barren (600) includes bare land without vegetation cover	
Water body	700	Water bodies (700) include low-lying areas with standing water, such as lakes, reservoirs, and swamps.	

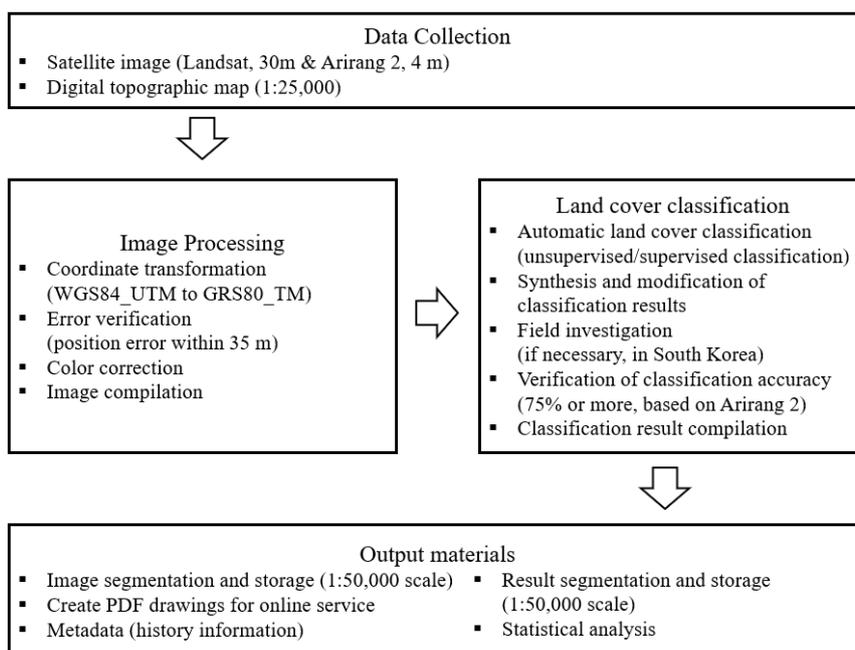


Fig. 1. Flow chart for land cover classification

다우해와 과우해의 차이가 큼을 쉽게 이해할 수 있다. 수역의 크기가 다르고 농경지의 판단도 크게 달라진다. 이러한 문제는, 특히 토지이용의 변화를 분석하는 경우에 큰 문제가 아닐 수 없다.

2.2 지적통계를 활용한 검토

토지피복도가 갖는 한계는 지적도를 활용하여 검토해 볼 수 있다. 지적은 국가기관이 국토를 필지 단위로 구획하여 토지의 물리적 현황과 권리관계 등의 변동사항을 관리하는 제도를 의미한다. 즉, 토지피복도가 지형지물의 성질에 따라 구분된 지도라면, 지적통계도는 토지의 고시된 '사용 목적'을 우선순위로 구분한 자료이다. 토지피복도가 그때그때의 상황을 즉각적으로 반영할 수 있다는 장점이 있다면, 지적은 토지이용의 변화를 완만하게 반영하여 극단적인 변동을 피할 수 있다는 장점이 있다. 예를 들어, 수역의 판단은 위성영상을 이용하는 경우 실제 물이 있느냐 없느냐의 문제가 된다. 건기와 풍수기의 차이를 확인하는 데에도 유리하다. 댐 저수지의 상황을 파악할 수도 있다. 그러나 지적도의 경우에는 이러한 상황의 변화를 고려하지 않는다. 하천구역 내의 지역은 하천이고, 이는 현재 물로 채워져 있느냐와 무관하다. 임야의 구분도 마찬가지이다. 대규모 별채로 인해

인공위성에서는 초지로 구분될 수도 있으나 지적도 상에서는 여전히 임야이다. 형질변경을 통해 다른 용도로 확정되기 전에는 현재의 지목이 유지된다.

지적통계는 지적도상의 지목을 조사한 자료이다. 간단히 각 지목이 몇 %를 차지하고 있는지를 보여주는 통계자료이다. 지적통계는 국토교통부에서 제공하고 있는데, 2000년 이전에는 5년 주기로 2000년 이후에는 1년 주기로 가용하다. 이러한 지적통계도 현황을 완벽하게 반영한다고 말할 수는 없으나 활용가치는 상당히 크다. 지적통계의 지목은 논, 밭, 임야 등 28개로 분류되며, 이는 Table 2와 같이 정리된다.

3. 대상 유역 및 자료

본 연구의 대상 유역은 소양강댐 유역과 충주댐 유역이다. 소양강댐 유역은 북한강 유역의 상류 유역, 충주댐 유역은 남한강 유역의 상류 유역에 해당한다. 상류의 인북천 유역을 포함한 소양강댐 유역의 면적은 2,703 km²이며, 이는 강원도의 인제군, 홍천군 및 춘천시 일부를 포함하는 면적으로 위도 37.9°~38.1° 사이에 위치하고 있다. 유역의 평균 표고는 638.5 m이며,

Table 2. Detailed land cadastral classification by land cover

Land cover	Cadastral classification
Cropland	Field, rice field (paddy field), orchard, ranch land
Forest	Forest
Urban/dry area	Land, factory site, school site, parking lot, gas station site, warehouse site, road, railroad site, embankment
Water body	river, stream, reservoir
Etc.	Fish farms, water supply sites, parks, sports sites, amusement parks, religious sites, historical sites, cemeteries, miscellaneous sites, mineral sites, salt farms

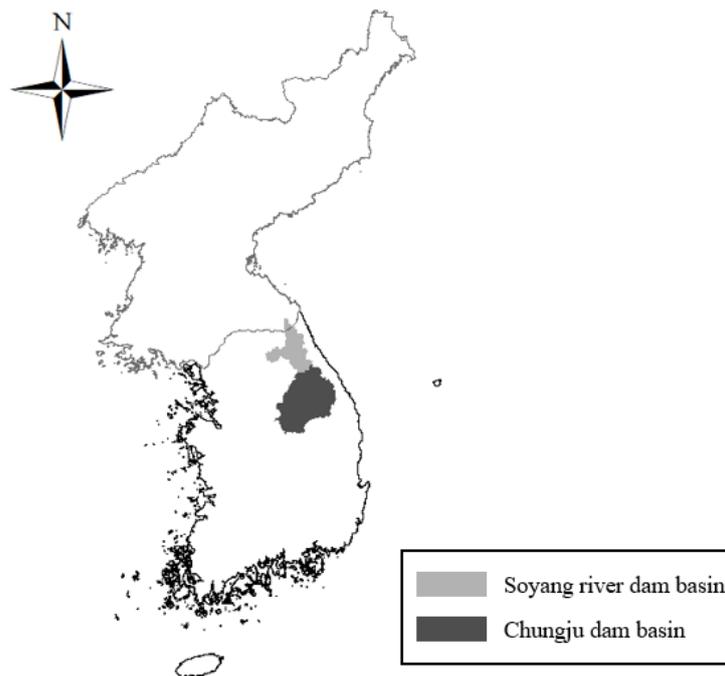


Fig. 2. Location of study basins

1981년부터 2020년 사이의 연 평균 강수량은 1,242 mm, 평균 기온은 11.8 °C이다. 소양강댐의 총 저수량은 2,900 백만 m³에 이른다.

평창강 유역과 남한강 상류 유역을 포함한 충주댐 유역의 면적은

6,648 km²로, 강원도의 평창군, 정선군, 영월군과 충청북도의 단양군, 제천시를 포함한다. 충주댐 유역은 위도 37.1°~37.4° 사이에 위치하여 유역의 평균 표고는 608.3 m이다. 연 평균 강수량은 1,105 mm, 평균 기온은 12.2 °C이다. 두 유역 모두

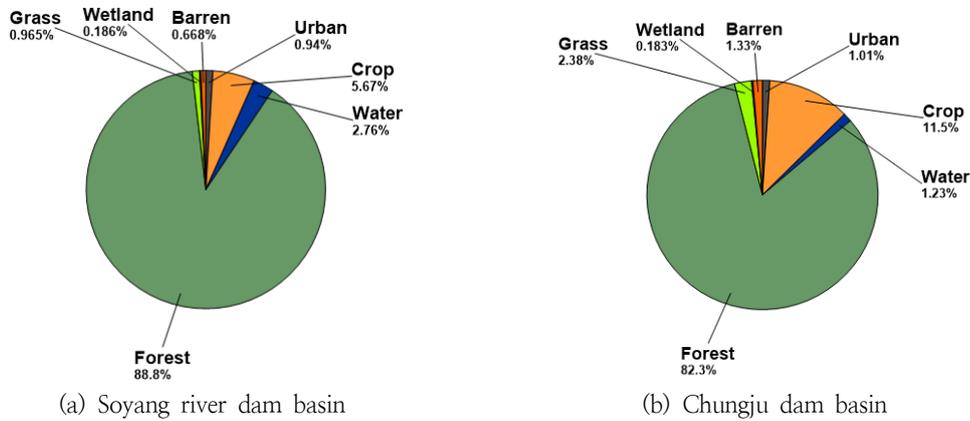


Fig. 3. Comparison of land cover composition in two dam basins based on the land cover map (average over last 40 years)

Table 3. Change of land cover composition in both dam basins based on the land cover map (bare land is included in urban/dry area, and grassland and wetlands in cropland)

Year		Water body	Urban/dry area	Cropland	Forest
Soyang river dam basin	1980	21.4 km ²	183.8 km ²	56.3 km ²	2,442.0 km ²
		2.08%	0.79%	6.80%	90.35%
	1985	19.2 km ²	166.8 km ²	61.2 km ²	2,456.2 km ²
		2.26%	0.71%	6.17%	90.87%
	1990	29.5 km ²	177.0 km ²	32.9 km ²	2,463.7 km ²
		1.22%	1.09%	6.55%	91.15%
	1995	34.6 km ²	176.0 km ²	36.0 km ²	2,456.4 km ²
		1.33%	1.28%	6.51%	90.88%
	2000	33.2 km ²	165.2 km ²	44.7 km ²	2,459.7 km ²
		1.65%	1.23%	6.11%	91.00%
2006	69.5 km ²	215.7 km ²	87.4 km ²	2,330.4 km ²	
	3.23%	2.57%	7.98%	86.21%	
2010	56.5 km ²	188.9 km ²	63.9 km ²	2,393.9 km ²	
	2.36%	2.09%	6.99%	88.57%	
2020	84.1 km ²	202.5 km ²	215.3 km ²	2,201.4 km ²	
	7.97%	3.11%	7.49%	81.44%	
Chungju dam basin	1980	68.5 km ²	888.8 km ²	68.1 km ²	5,622.2 km ²
		1.02%	1.03%	13.37%	84.57%
	1985	88.4 km ²	925.4 km ²	68.6 km ²	5,566.5 km ²
		1.03%	1.33%	13.92%	83.73%
	1990	103.0 km ²	929.4 km ²	68.7 km ²	5,546.8 km ²
		1.03%	1.55%	13.98%	83.44%
	1995	108.4 km ²	948.0 km ²	68.7 km ²	5,523.1 km ²
		1.03%	1.63%	14.26%	83.08%
	2000	131.0 km ²	985.9 km ²	68.6 km ²	5,462.4 km ²
		1.03%	1.97%	14.83%	82.17%
	2006	183.5 km ²	822.4 km ²	105.2 km ²	5,536.4 km ²
		1.58%	2.76%	12.37%	83.28%
	2010	212.1 km ²	962.6 km ²	107.4 km ²	5,363.2 km ²
		1.62%	3.19%	14.48%	80.67%
2020	347.7 km ²	1,041.1 km ²	97.0 km ²	5,161.8 km ²	
	1.46%	5.23%	15.66%	77.64%	

남한의 동북쪽에 위치한 유역으로, Fig. 2는 대상 유역의 위치를 지도상에 표출한 것이다.

본 연구에서는 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS; <http://wamis.go.kr>)를 통해 제공되는 토지피복도 자료를 수집하였다. 자료는 1980년부터 2010년까지 5년 단위로, 이후 2020년의 자료까지 총 8개 년도의 자료가 가용하며(2015년 자료는 가용하지 않음), 자료의 해상도는 30 m × 30 m이다. 본 연구에서는 가용한 8개년도 자료를 모두 분석에 사용하였다.

본 연구에서 사용한 지적통계 자료는 통계청 국가통계포털(KOSIS; <https://kosis.kr/index/index.do>)에서 수집하였다. 자료는 1980년부터 2020년까지 매년 가용하다. 자료의 작성 단위는 1필지 기준이나, 본 연구에서는 시·군 및 읍·면 단위로 지적통계 자료를 수집하였다. 토지피복도의 자료 주기와 동일한 5년 단위의 자료를 수집하여 분석에 사용하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 토지피복도를 이용한 토지이용 변화 평가

토지피복도는 본 연구의 대상 유역인 소양강댐 유역, 충주댐 유역에 맞추어 추출하였다. 이는 GIS 소프트웨어에서 지정된 영역에 맞추어 대분류 토지피복도 래스터(raster) 자료를 잘라내는 (clip) 과정을 의미한다. 잘라낸 토지피복도 자료는 유역의 경계에 맞추어 자동으로 산출된 통계치와 함께 수치정보 형태로 저장된다. 즉, 토지피복도의 각각의 항목 속성에 맞는 셀의 수를 지정된

범위에 맞춰 자동으로 계산, 저장하는 것이다.

두 유역의 토지피복도에서 확인되는 정보를 간략히 살펴보면 Fig. 3과 같다. 두 유역 모두 산림의 비율이 가장 높고, 농경지의 면적이 그 뒤를 잇는다. 수역과 시가화, 초지의 면적은 5% 이내로 나타나 유역 전체 면적에서 차지하고 있는 비중은 상대적으로 낮음을 알 수 있다.

두 유역의 시기별 토지피복 변화를 표로 나타내어 비교한 결과는 Table 3과 같다. 이 표는 상대적으로 비율이 낮은 습지와 나지를 유사한 형태의 항목인 농경지, 시가화/건조지역에 포함시킨 것이다. 초지의 경우도 습지와 나지에 비해서는 높은 비율이지만 비교를 원활히 하기 위해 농경지에 포함시켜 비교하였다. 이 표를 시계열 그림의 형태로 나타낸 것이 Fig. 4이다.

Fig. 4에서 속이 채워진 원은 소양강댐 유역의 수치를, 속이 빈 원은 충주댐 유역의 수치를 가리킨다. 먼저, 산림의 경우, 두 유역 모두에서 감소세가 확인된다. 소양강댐 유역의 산림면적의 비율은 1980년대 90% 이상이며, 1990년 초까지 미세한 증가가 나타나지만, 2000년대에 접어들면서 산림 면적의 비율이 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있다. 40년간 총 8.9%의 면적이 감소하였다(즉, 산림면적 감소율은 9.9%). 충주댐 유역도 이와 크게 다르지 않다. 충주댐 유역은 40년간 꾸준히 산림면적이 감소함을 확인할 수 있다. 40년간 감소한 총 면적은 7.0%였으며, 산림면적만을 고려한 감소율은 8.2%이다.

농경지 면적의 변화는 두 유역에서 상반된 형태로 나타난다. 소양강댐 유역의 경우, 2000년을 전후로 농경지 면적 변화의

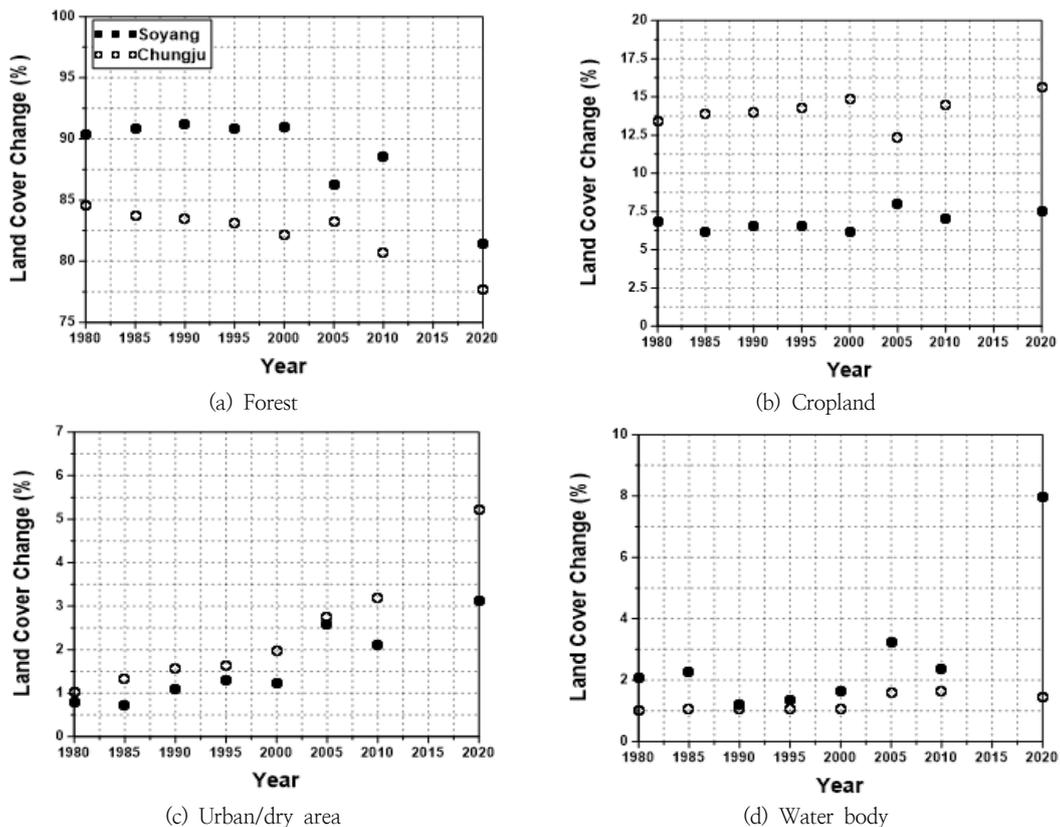


Fig. 4. Comparison of temporal changes in the areal ratio of each land cover type based on the land cover map

양상이 다르게 나타난다. 2000년대 이전에는 뚜렷한 변화가 없다. 2000년 이후, 일시적으로 농경지 면적이 증가한 후 빠르게 감소하는 추세를 보인다. 충주댐 유역의 경우, 2010년까지 농경지 면적의 뚜렷한 변화는 나타나지 않는다. 다만 2010년~2020년 사이 급격한 농경지 면적의 감소가 확인된다.

시가화 및 건조지역의 경우, 두 유역에서 유사한 증가세가 확인된다. 두 유역 모두 2020년의 시가화 및 건조지역 면적은 1980년도에 비해 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다. 소양강댐 유역의 경우 0.39%에서 1.12%로 2.85배 증가, 충주댐 유역의 경우에는 0.26%에서 2.16%로 8.28배 증가하였다. 이러한 변화가 두 유역에서 모두 동일한 형태로 나타난 것은 아니다. 충주댐 유역의 경우, 40년간 거의 선형에 가까운 형태로 시가화 및 건조지역의 증가가 나타난다. 반면 소양강댐 유역의 경우 2005년까지 급격한 증가를 보이나, 이후로는 소폭 감소세를 보인다.

수역 면적의 경우, 두 유역의 변화 양상이 상반된다. 소양강댐 유역의 경우, 2.08%에서 7.97%로 약 4배 가까이 증가한 것으로 나타난다. 반면 충주댐 유역의 경우, 1.02%에서 1.46%로 소폭의 변화는 있으나, 소양강댐 유역과 같은 급격한 변화가 나타나지는 않는다. 기본적으로 수역은 유역 내 댐 저수지의 면적과 하천의 면적으로 볼 수 있기에 소양강댐 유역에서와 같은 급격한 변화는 다소 의외의 결과이기도 하다. 국외의 사례에서도 수역의 변화는 장기간 가뭄의 영향으로 인한 감소는 확인되나(Zou et al., 2017; Tulbure and Broich, 2013) 4배의 급격한 증가와 같은 변동성은 이례적이다.

이상과 같이, 토지피복도를 사용하는 경우, 몇 가지의 문제가 발생함을 알 수 있다. 먼저 다소 극단적인 토지피복의 변화가 나타나는 문제를 꼽을 수 있다. 댐 유역 내 수역의 면적이 절반 정도로 감소하였다가, 감소 이전 면적의 세 배 이상으로 다시 급격히 증가하는 것은 일반적으로 받아들이기 어려운 변화에 해당한다. 물론 여러 가지 이유로 특정 용도의 토지 면적이 감소하다 다시 증가하는 현상은 가능할 수 있으나, 그 변화가 실제 예상되는 것보다 급격한 형태로 나타나는 것이 문제가 된다.

4.2 지적도를 이용한 토지이용 변화 평가

기본적으로 모든 지면에 대한 정보가 가용하지만, 이를 직접

활용하여 대상 지역 또는 유역에 대한 토지이용 구분은 하는 것은 매우 비효율적이다. 대신 행정구역단위의 지적통계를 이용하면 이 작업이 쉽게 수행될 수 있다. 지적에 대한 통계가 토지피복도와는 달리 행정구역 단위로 가용하기 때문이다. 그러나 대상 지역이나 유역의 경계와 행정구역의 경계가 서로 다를 수 있다는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 지적통계로 제공되는 정보를 대상 유역에 맞추는 과정이 필요하다. 다행히 행정구역은 하천이나 산의 능선을 따라 구분되어 있어, 유역을 대상으로 할 경우 행정구역으로 주어지는 지적 통계를 이용하는 것이 아주 어려운 문제는 아니다. 예를 들어 본 연구의 대상 유역인 소양강댐 유역과 충주댐 유역 내에 위치하는 행정구역을 표시하면 다음 Fig. 5와 같다.

이 그림을 보면 유역 경계를 살짝 넘는 행정구역 영역도 있고, 추가로 행정구역을 고려할 경우 유역 외부의 면적이 너무 커 배제한 부분도 보인다. 그러나 현재의 상태로도 유역의 상당부분이 행정구역으로 포괄된다고 판단할 수 있다. 즉, 시, 군, 구 단위 이하인 면 단위까지의 행정구역을 고려하면 유역 면적의 상당부분을 포괄하게 하는 것이 가능하다. 소양강댐 유역의 경우 인제군의 면적이 유역 전체 면적의 59.6%를 차지하며, 홍천군 내면이 16.6%, 춘천시의 북산면이 8.0%, 춘천시 동면이 5.0%를 차지한다. 유역의 최북단에 위치한 휴전선 이북의 인제군 면적 301.4 km² 에 대한 정보가 제공되지 않아, 지적통계로 파악 가능한 면적은 소양강댐 유역 면적의 89.1% 정도가 된다. 충주댐 유역의 경우에는 강원도 평창군의 면적이 유역 전체 면적의 22.0%를 차지하며, 강원도 정선군이 18.3%, 영월군이 17.0%, 제천시 13.3%, 단양군이 11.7%를 차지하고 있다. 합산 면적은 충주댐 유역 전체의 82.4%에 이른다.

주어진 행정구역의 지목별 면적은 지적통계를 통해 쉽게 확인할 수 있다. 따라서 주어진 유역의 지목별 면적은 1차적으로 이들 지적통계를 가지고 구한다. 그러나 유역 전체가 이들 행정구역으로 포괄되는 것은 아니므로 포함되지 않는 지역에 대한 추가의 보완이 필요하다. 이러한 보완에는 다음과 같은 사항을 고려하였다. 먼저, 유역 내 행정구역으로 포괄되지 못하는 부분은 대부분 유역의 경계에서 산림지역일 가능성이 크다. 두 번째는, 시가화 지역은 행정구역의 중심지역으로 유역의 경계부분에는 존재할 가능성이

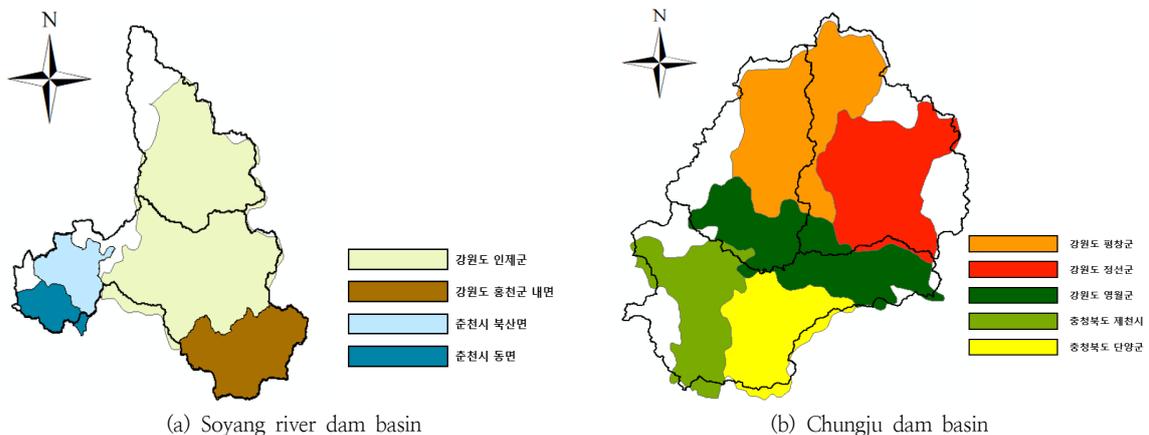


Fig. 5. Representation of two study basins by administrative districts

낮다는 점이다. 세 번째는 수역과 농경지로 이 역시 유역의 경계부분에 위치하기 어렵다는 점 등이다.

본 연구에서는 이러한 특성을 반영하여 수역, 시가화, 농경지 등 특성이 뚜렷하여 구분이 용이한 면적을 먼저 산정하고, 나머지 면적을 임야(산림)로 가정하였다. 이는 유역의 경계면이 대체로

분수계임을 고려한 가정이다. 지목별로 비교에 참고할 수 있는 자료가 있다면, 추정된 수치가 적절한 수준에 있는지 검토하는 과정도 병행하였다. 구체적으로 살펴보면, 먼저, 수역은 토지지목 중 하천, 구거, 유지의 면적을 합산한 수치로 결정하였다. 다음으로, 시가화/건조지의 경우, 대, 공장용지, 학교용지, 주차장, 주유소

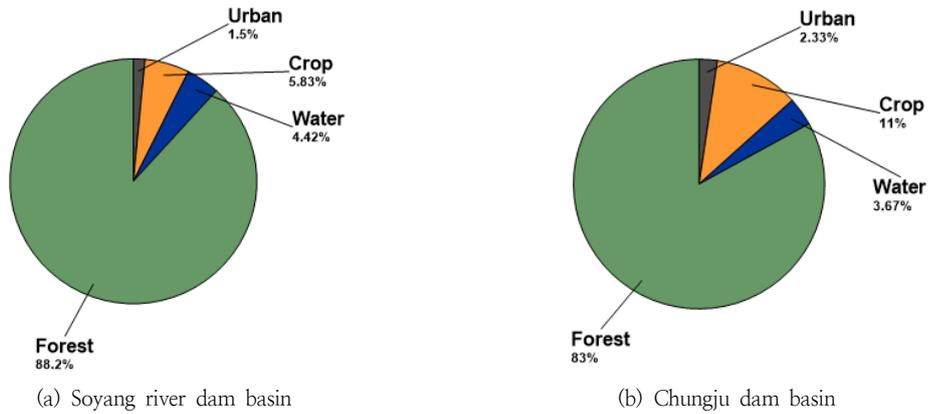


Fig. 6. Same as Fig. 3, but based on the cadastral map

Table 4. Same as Table 3, but based on the cadastral map

Year		Water body	Urban/dry area	Cropland	Forest
Soyang river dam basin	1980	22.9 km ²	129.7 km ²	108.1 km ²	2,448.9 km ²
		4.0%	0.6%	4.8%	90.6%
	1985	25.7 km ²	127.0 km ²	110.8 km ²	2,446.2 km ²
		4.1%	0.7%	4.7%	90.5%
	1990	29.3 km ²	127.0 km ²	110.8 km ²	2,443.5 km ²
		4.1%	0.8%	4.7%	90.4%
	1995	36.5 km ²	135.2 km ²	108.1 km ²	2,432.7 km ²
		4.0%	1.0%	5.0%	90.0%
	2000	41.0 km ²	132.4 km ²	108.1 km ²	2,430.0 km ²
		4.0%	1.2%	4.9%	89.9%
	2006	47.4 km ²	129.7 km ²	108.1 km ²	2,427.3 km ²
		4.0%	1.4%	4.8%	89.8%
2010	53.9 km ²	127.0 km ²	110.8 km ²	2,424.6 km ²	
	4.1%	1.5%	4.7%	89.7%	
2020	63.8 km ²	116.2 km ²	110.8 km ²	2,427.3 km ²	
	4.1%	1.8%	4.3%	89.8%	
Chungju dam basin	1980	73.1 km ²	651.5 km ²	179.5 km ²	5,743.9 km ²
		2.7%	1.1%	9.8%	86.4%
	1985	106.4 km ²	631.6 km ²	172.8 km ²	5,737.2 km ²
		2.6%	1.6%	9.5%	86.3%
	1990	126.3 km ²	624.9 km ²	192.8 km ²	5,704.0 km ²
		2.9%	1.9%	9.4%	85.8%
	1995	106.4 km ²	591.7 km ²	212.7 km ²	5,737.2 km ²
		3.2%	1.6%	8.9%	86.3%
	2000	126.3 km ²	585.0 km ²	212.7 km ²	5,723.9 km ²
		3.2%	1.9%	8.8%	86.1%
	2006	139.6 km ²	578.4 km ²	212.7 km ²	5,717.3 km ²
		3.2%	2.1%	8.7%	86.0%
	2010	159.6 km ²	565.1 km ²	212.7 km ²	5,710.6 km ²
		3.2%	2.4%	8.5%	85.9%
	2020	179.5 km ²	551.8 km ²	212.7 km ²	5,704.0 km ²
		3.2%	2.7%	8.3%	85.8%

용지, 창고용지, 도로, 철도용지, 제방 등 9개 지목의 면적을 고려하였다. 이들은 공통적으로 인공적인 구조물로 채워진 면적을 나타내며, 동시에 투수가 잘 이뤄지지 않는 곳이다. 제방의 경우가 모호한 측면이 있으나, 농경지, 임야 등에 포함되는 것은 더욱 적절하지 못한 측면이 있어 시가화/건조지에 포함시켰다.

농경지의 경우, 전, 답, 과수원, 목장용지 등 4개 지목의 면적을 고려하였다. 참고로 통계청 경지면적 자료를 참고하였다. 이 자료는 행정구역별로 논 면적과 밭 면적을 각각 조사한 자료로 연 단위로 갱신된다. 본 연구에서는 1995년부터 2020년 사이의 경지면적 자료를 참고하여 비교하였으며, 전, 답, 과수원, 목장용지 등 4개 지목의 면적을 고려하는 것이 적절함을 확인하였다. 마지막으로, 앞서 고려된 세 가지 면적을 제외한 나머지를 모두 임야(산림)로 가정하였다. 유역의 경계면이 분수계(혹은 분수령)임을 고려하면 산림으로 판단하는 것이 큰 무리는 아니다. 다만, 이러한 가정에 따라서 산림으로 가정하는 면적의 비율이 과대추정될 여지가 큰 것은 사실이다. 두 유역 모두 토지피복이나 지적도에서 가장 많은 면적을 차지하는 유형이 산림이기는 하나, 여전히 이러한 가정이 불확실성을 일정부분 내포한다는 사실 또한 감안할 필요가 있다.

이렇게 추정한 유역별 토지이용 분포는 Fig. 6과 같다. 먼저 소양강댐 유역의 경우, 90% 가량의 면적이 산림으로 분류된다. 나머지 면적 중 가장 큰 비율을 차지하는 것은 농경지의 면적으로 4~5% 정도로 나타난다. 수역의 면적은 4% 정도로 큰 변화는 없는 것으로 나타난다.

충주댐 유역의 경우 역시 산림의 면적이 86% 정도로 가장 넓은 것으로 나타난다. 다음으로 넓은 면적을 차지하는 것은 농경지로 시기별로 차이는 있으나 8~10% 내외인 것으로 나타난다. 이 정도의 농경지 면적은 소양강댐 유역의 두 배에 이르는 것으로 두 유역의 중요한 차이이기도 하다. 수역의 면적은 3% 정도로 소양강댐 유역의 수역 면적 비율에 비해 약간 작은 수준이다.

두 유역의 시기별 토지이용 변화를 표로 나타내어 비교한 결과는 Table 4와 같다. 소양강댐 유역의 경우, 농경지와 산림의 면적은 각각 4.8%에서 4.3%, 90.6%에서 89.8%로 소폭 감소하였다. 시가화/건조지역은 과거 0.6%에서 최근 1.8%로 증가했는데, 농경지와 산림의 감소분의 합과 유사하다.

충주댐 유역의 경우 마찬가지로 농경지와 산림의 감소가 확인된다. 농경지는 9.8%에서 8.3%로, 산림은 86.4%에서 85.8%로 각각 1.5%, 0.6% 정도 감소하였으며, 이는 수역과 시가화 면적의 증가로 이어진다. 1990년 이후 수역의 비율이 약간 증가한 것은 도암댐과 광동댐 건설의 영향이다. 시가화 면적의 경우 지난 40년 동안 약 2.6배(1.1%에서 2.7%로) 가량 증가한 것으로 나타나는데 농경지와 산림 면적의 감소분과 유사하다.

주요 토지이용별로 40년간 나타나는 변화를 살펴보면 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 속이 채워진 원은 소양강댐 유역의 수치를, 속이 빈 원은 충주댐 유역의 수치를 가리킨다. 먼저, 산림의 경우, 두 유역 모두 미미한 감소가 확인된다. 소양강댐 유역의 산림 면적 비율은 1980년대 90.6%에서 2020년에 이르러서는 89.8%로 감소가 나타난다. 충주댐 유역의 경우에도 1980년대 86.4%에서

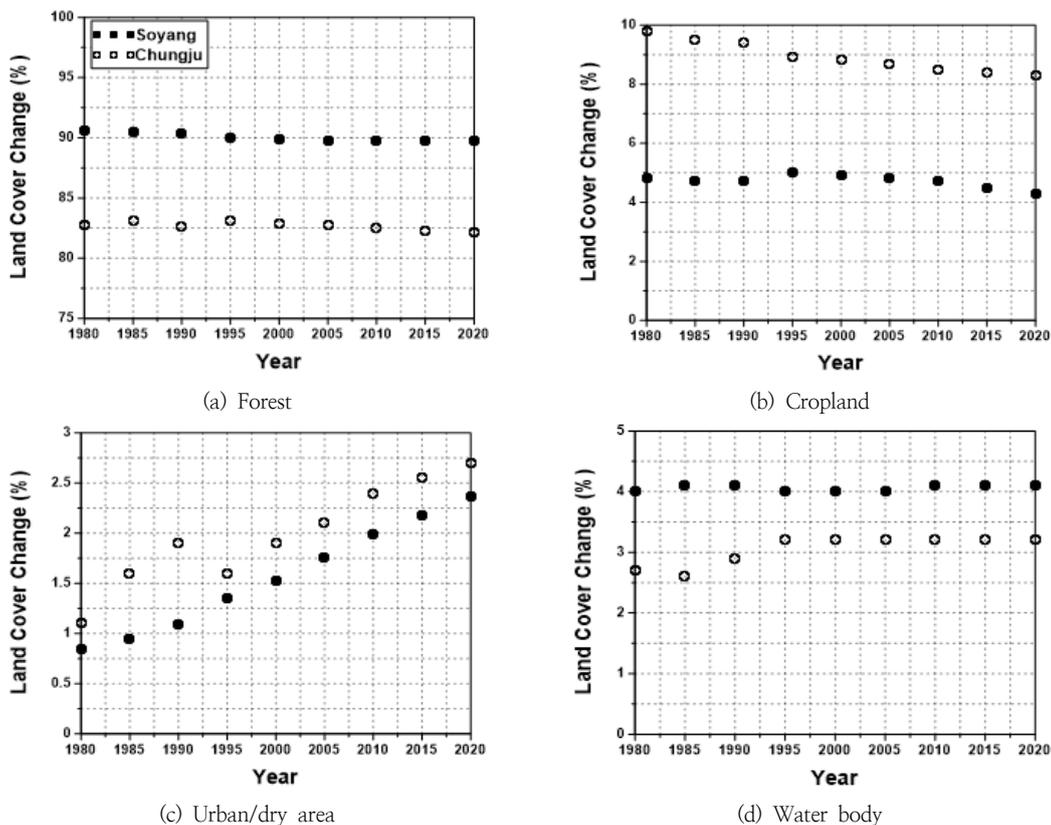


Fig. 7. Same as Fig. 4, but based on the cadastral map

2020년 85.8%로 40여 년간 0.6% 정도의 산림면적이 감소했을 뿐이다. 사실 이 정도의 변화는 감소라고 판단하기도 어려울 정도의 미미한 변화이다.

농경지 면적의 변화 또한 두 유역에서 미약한 수준으로 나타난다. 소양강댐 유역의 경우 1980년대 4.8%에서 2020년 4.3%로 0.5%의 감소가 나타난다. 그러나 충주댐 유역에서는 1980년대 9.8%에서 2020년 8.3%로 1.5%의 감소의 폭이 크다.

시가화 및 건조지역의 경우에는 두 유역 모두 비교적 뚜렷한 증가세가 확인된다. 1980년대에 비해 2020년의 시가화 및 건조지역 면적은 두 배 이상 증가한 것이다. 소양강댐 유역의 경우, 0.6%에서 1.8%로 약 3배 증가, 충주댐 유역의 경우에는 1.1%에서 2.7%로 약 2.5배 증가하였다. 이러한 변화가 두 유역에서 동일하게 나타난 것은 아니다. 충주댐 유역의 경우 1990년대 한차례 시가화 및 건조지역의 감소가 확인되나, 소양강댐 유역의 경우에는 꾸준한 증가세를 보인다.

수역 면적의 변화는 두 유역에서 변화 양상이 상반된다. 소양강댐 유역의 경우, 4% 전후로 거의 변화가 없는 것으로 확인된다. 충주댐 유역의 경우, 1980년대 2.7%에서 1995년까지 3.2%로 증가하였으며, 이후로는 거의 일정하게 유지된다. 이러한 변화는 1990년대 도암댐과 광동댐 건설의 영향으로 볼 수 있다. 즉, 충주댐 유역 상류에 위치한 두 댐의 저수지 면적이 수역으로 고려되는 것이다.

지적통계 자료 또한 문제가 없는 것은 아니다. 대표적으로 산림이나 농경지의 문제를 들 수 있다. 지적통계상 '임야'는 기본적으로 인간이 사용 목적에 따라 지정한 기준을 따른 것에 불과하기 때문이다. 즉, 실제 임목이 얼마나 자라고 있으며, 어떤 종류의 수목이 자라고 있는지는 지적통계로 알 수 없다. 벌목이나 질병 등의 이유로 훼손되는 산림의 면적 또한 특별히 고려되지 않는 문제도 있다. 훼손된 산림이라도 신고된 토지의 사용 목적이 바뀌지 않는다면 지적통계 역시 동일하기 때문이다. 농경지의 경우에도 이와 유사하게 경지가 훼손되더라도 사용 목적이 바뀌지 않는다면 다른 분류로 바뀌지는 않는 문제가 나타난다. 토지 피복도에 비해 지적통계의 변화가 완만한 이유가 여기에 있다.

4.3 토지피복도와 지적통계에 나타난 토지이용 변화 비교

앞선 과정에서 토지피복도와 지적통계를 토지이용 항목별로 검토하였다(Fig. 8). 이 그림은 기본적으로 토지피복도와 지적도 상의 토지이용 비율이 얼마나 다른지를 보여주며, 아울러 문제점이 무엇일지를 생각할 수 있게 해준다. 실제 수문해석을 할 때 발생할 수 있는 문제점도 파악할 수 있게 해준다.

먼저 산림의 경우, 두 자료의 양상은 상당히 다른 형태로 나타난다. 토지피복도의 경우 두 유역 모두에서 2000년대 이후 산림면적이 10% 이상 급격히 하락하는 반면, 지적통계에서는 거의 일정한 값이 유지되고 있기 때문이다. 이러한 차이의 원인은 먼저, 훼손된 산림이 농경지로 잡혔을 가능성이 있다. 이만큼이 산림에서 빠진 것이다. 물론 토지피복도의 작성과정에서 분류의 오류 가능성도 있으나, 그럼에도 불구하고 지난 10년간 5% 이상의 산림지역이 감소했다는 결과는 오류의 차원을 넘어서는 규모로 판단된다. 두 자료의 비율 차이의 원인은 두

가지를 고려해볼 수 있다. 첫 번째는 유역의 경계면을 임야로 가정하는 부분에서 발생한 문제이다. 이는 유역의 경계면이 대체로 분수령(혹은 분수계) 형태를 보이며, 지적통계에서 가장 높은 비율을 차지하는 항목이 산림(임야)임을 고려한 가정이나, 실제 유역 경계면에서의 피복과는 차이가 있다. 본 연구에서 사용한 읍/면 단위보다도 더 상세한 지적도를 사용함으로써 이러한 문제를 상당 부분 해소할 여지도 있다. 자료 확보의 문제에 따라 본 연구에서는 가용한 자료 내에서 불확실성을 감안하여 이와 같은 가정을 수립하였다. 두 번째로 '임야'라는 사용 목적에 따른 분류 자체의 문제를 들 수 있다. 사용 목적에 따라 임야로 분류된 토지는, 수목이 생육하지 않는 무림목지의 상태라도 여전히 임야로 분류될 것이기 때문이다. 즉, '임야'라는 분류가 '산림'이라는 분류보다 폭넓은 분류임을 의미한다.

소양강댐 유역의 최근 토지피복도는 너무 극단적이다. 지적도와 비교하면 10%에 육박하는 차이가 나타난다. 이러한 큰 차이의 원인은 기본적으로 분류의 오류를 포함하여 다양할 수 있다. 그러나 현실적으로 지적도상 임야이나 과수원, 농지로 전용되는 면적이 상당히 클 수 있음도 고려할 필요가 있다. 최근 소양강댐에서 발생한 녹조도 이러한 가능성을 강하게 의심하게 한다. 충주댐 유역의 경우도 소양강댐 유역의 변화보다는 작으나 역시 유사한 추세를 보인다. 농경지나 산림이냐의 차이가 강우-유출 특성에 미치는 차이가 매우 크을 고려하면 실제 산림의 비율, 농경지의 비율이 무엇인지를 신뢰도 있게 파악할 수 있는 추가의 방안이 필요해 보인다.

농경지에서 나타난 차이도 흥미롭다. 토지피복도 상의 농지 비율은 지적도상의 농지 비율에 비해 50% 정도 크게 나타난다. 실제 지적도상의 농경지는 줄어드는 추세를 명확히 보이는데 반해 토지피복도상의 농경지 비율이 오히려 커지는 것으로 나타나는 차이도 있다. 이러한 반대 경향의 원인으로서는 훼손된 산림이 농경지로(초지로) 잡혔거나 또는 산림이 실제 농경지로 사용되고 있을 가능성에 1차적으로 기인한다고 판단할 수 있다. 건기에 장기간 노출된 수역이 식생으로 덮여 일시적으로 초지로 잡혔을 가능성도 있으며, 하천건천화로 인해 아예 영구적으로 초지로 판단되었을 가능성도 있다.

시가화/건조지역은 두 자료에서 모두 증가하는 경향을 확실히 보여주고 있다. 그러나 토지피복도 상에서의 증가 경향은 지적도에 비해 과도하게 큰 것이 사실이다. 시가화의 경우 지목의 변경없이 급격히 확대되는 것은 거의 불가능하므로, 건기의 농경지가 나지로 잡히거나, 수역의 일부(모래사장)가 역시 나지로 잡혔을 가능성도 생각해 볼 수 있다. 훼손된 산림은 초지 또는 농경지로 잡힐 수는 있으나 나지로 잡히기는 어려우므로 산림훼손과 직접 연결 짓기는 어려워 보인다.

마지막으로, 토지피복도 상의 수역과 지적도 상의 수역에도 상당한 차이를 보인다. 실제 수역과 지적도 상의 수역이 당연히 차이를 보일 것이라는 것은 건기와 우기의 차이가 명확하므로 추측 가능한 부분이다. 실제 토지피복도 상의 수역은 지적도상 수역의 절반에 불과하다. 앞서 언급한 것과 같이, 수역 중 수역으로 판단되지 못한 부분은 나지 또는 초지로 잡혀 도시/건조화 또는 농경지로 잡혔을 가능성이 크다. 그럼에도 불구하고 토지피복도에

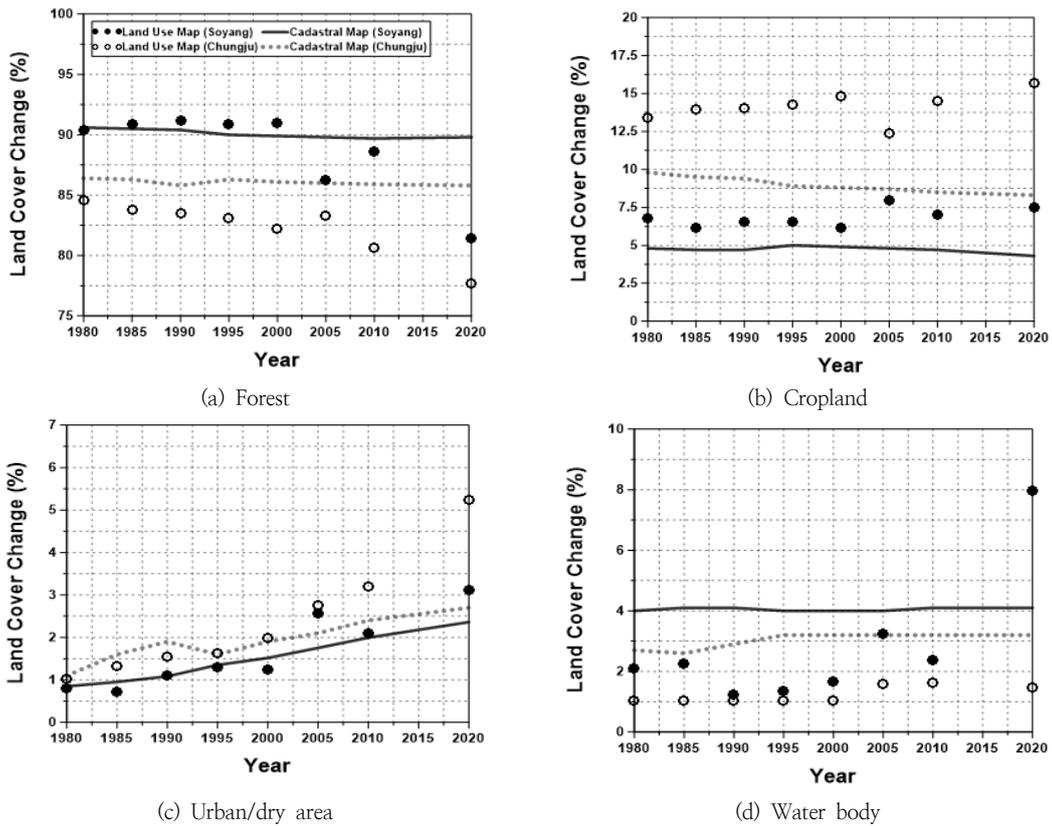


Fig. 8. Comparison of land cover map and cadastral map with the temporal changes of each land cover type in both dam basins

나타난 실제 수역의 변동성은 너무 크다는 점에는 유의할 필요가 있다. 특히 소양강댐의 변동이 굉장히 커며 최근 자료에는 지적도상의 수역에 비해 거의 두 배 정도의 수역 규모를 보여주고 있다. 이러한 규모의 수역 면적 변화는 현실적인 수준을 넘어서는 변화로 보인다. 그 원인이 무엇인지에 대한 신중한 검토가 반드시 수행되어야 한다.

이러한 차이의 원인을 토지피복도와 지적도의 제작 방식의 차이에서 찾아볼 수 있다. 위성영상 자료를 재분류한 자료를 바탕으로 제작하는 토지피복도와, 사용 목적에 따라 지번별로 토지이용 항목이 지정되는 지적도의 특성상, 본래의 사용목적에 맞지 않게 사용되는 토지 면적은 두 자료에서 서로 상이하게 나타나기 때문이다. 물론 앞서 지적한 바와 같이 토지피복도의 제작과정에서 발생 가능한 오분류의 가능성도 있으나, 오분류의 영향으로 판단하기에는 두 자료의 차이는 적지 않다는 것이 문제가 된다.

5. 결론

본 연구에서는 토지피복도를 이용하여 토지이용의 변화를 파악 하는 경우의 불확실성 또는 변동성을 지적도를 가지고 비교/평가해 보았다. 본 연구는 1980년대 이후 가용한 소양강댐 및 충주댐 유역을 대상으로 수행되었다. 토지피복도는 국가수자원관리종합 정보시스템(WAMIS)에서 제공되는 것을 이용하였고, 지적통계 자료는 통계청 국가통계포털(KOSIS)에서 제공되는 것을 이용

하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

토지피복도에 나타난 토지이용의 변화는 두 유역에서 유사한 점과 상이한 점이 모두 있는 것으로 나타난다. 먼저, 산림의 경우, 두 유역 모두에서 감소세가 확인되었다. 소양강댐 유역의 산림 면적의 비율은 지난 40년간 총 8.9%가 감소하였으며, 충주댐 유역은 7.0% 정도 감소하였다. 시가지 및 건조지역의 경우에도 두 유역에서 유사한 증가세가 확인되었다. 1980년도를 기준으로 2020년의 시가지 및 건조지역 면적비율은 소양강댐 유역의 경우 0.39%에서 1.12%로 2.85배 증가, 충주댐 유역의 경우에는 0.26%에서 2.16%로 8.28배 증가하였다.

토지피복도에 나타난 농경지 면적의 변화는 두 유역에서 상반된 형태로 나타났다. 소양강댐 유역의 경우, 2000년대 이전에는 뚜렷한 변화가 없으나 이후 일시적으로 농경지 면적이 증가한 후 빠르게 감소하는 추세를 보인다. 이에 반해, 충주댐 유역의 경우, 2010년까지 농경지 면적의 뚜렷한 변화는 나타나지 않으나 2010년~2020년 사이 급격한 농경지 면적의 감소가 확인된다. 수역 면적의 경우에도 두 유역의 변화 양상이 상반되게 나타났다. 소양강댐 유역의 경우, 2.08%에서 7.97%로 약 4배 가까이 증가한 것으로 나타났으나, 충주댐 유역에서는 1.02%에서 1.46%로 소폭의 변화 정도만 나타났다.

그러나 이러한 토지피복도 상의 토지이용 변화는 지적통계와는 상당히 다른 것으로 나타났다. 먼저, 산림면적의 경우, 소양강댐 유역에서 토지피복도와 지적통계의 차이가 10%에 육박하여 단순 분류 오류의 범위를 넘어서는 것으로 보인다. 충주댐 유역의 경우

역시 규모는 비교적 작으나, 역시 지적통계상 임야로 분류된 면적에 비해 산림으로 추정된 면적이 작았다. 지적도상 임야로 구분된 면적이 농지, 특히 과수원이나 고랭지 농업의 형태로 전용되고 있을 여지가 있다. 토지피복도상의 농경지 비율이 지적통계상의 농경지 비율에 비해 50% 정도 높은 것도 이러한 가정에 힘을 실는 부분이다.

수역의 경우, 두 자료에서 가장 크게 차이를 보인 항목이다. 실제 토지피복도상의 수역이 지적통계상 수역의 절반에 그치기 때문이다. 농경지나 시가지 및 건조지역의 변화와 연관지으면, 역시 각각 초지와 나지의 형태로 추정되었을 여지가 있다. 다만, 소양강댐 유역의 경우, 이러한 변화를 가정하여도 수역의 변화는 지나치게 큰 측면이 있다. 최근에 들어서는 지적통계상의 수역 면적보다 오히려 크게 추정되기도 하였다. 이러한 수역 규모나 수역의 급격한 변화는 정상적인 변화로 보기 어려우며, 그 원인에 대한 신중한 검토의 필요성을 시사하는 바이다.

이상과 같은 결과는 강우-유출 해석에 있어 토지피복도 상의 토지이용을 그대로 적용하는 것이 적절한가의 의문을 갖게 한다. 단순히 최근의 자료가 현재 상황을 가장 잘 대변하고 있을 것이라는 믿음도 잘못된 것임이 확인되었다. 특히, 산림과 농경지, 수역과 초지(농경지) 사이의 혼동이 상대적으로 매우 클 수 있음을 확인할 수 있었다. 설계목적의 강우-유출 해석은 기본적으로 홍수기를 대상으로 하므로 과소 추정된 토지피복도 상의 수역 면적은 유출의 규모를 줄이는 역할을 할 것이다. 반대로 산림 면적 중 상당 부분이 농경지 또는 초지로 활용되고 있을 가능성은 유출의 규모를 키우는 반대의 효과가 있을 것이다. 그러나 본 연구의 결과는 이러한 문제점을 지적할 뿐 해결책을 제시하지는 못한다는 한계가 있다. 원론적인 제안이지만, 강우-유출 해석의 목적에 맞는 적절한 판단이 필요해 보인다.

References

- Basche, AD and DeLonge, MS (2019). Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. *PLoS One*, 14(9), e0215702.
- Costa, MH, Botta, A and Cardille, JA (2003). Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia. *J. of hydrology*, 283(1-4), pp. 206-217.
- de Almeida, WS, Panachuki, E, de Oliveira, PTS, da Silva Menezes, R, Sobrinho, TA and de Carvalho, DF (2018). Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. *Soil and Tillage Research*, 175, pp. 130-138. Environmental Geographic Information Service[Website]. (2024, Jun 03). <https://egis.me.go.kr/>
- Halounova, L and Holubec, V (2014). Assessment of flood with regards to land cover changes. *Procedia Economics and Finance*, 18, pp. 940-947.
- Hong, SE, Kim, DH and Park, KH (2011). Several Problems and Suggestions of Cadastral Statistical Annual Report. *J. of the Korean Society of Cadastre*, 27(2), pp. 49-63.
- Hong, SE, Lee, HJ and Kang, TS (2007). A Method for Surveying Cadastral Non-coincidence Using GIS and Building Boundary. *J. of the Korean Society of Cadastre*, 23(1), pp. 45-54.
- Hong, SW, Park, MO and Koo, BH (2023). An Analysis of Hydrological and Ecological Characteristics of River Wetlands-Case Study of Wangjin District in Geumgang River. *J. of Wetlands Research*, 25(4), pp. 315-325.
- Hu, J, Wu, Y, Wang, L, Sun, P, Zhao, F, Jin, Z, Wang, Y, Qiu, L and Lian, Y (2021). Impacts of land-use conversions on the water cycle in a typical watershed in the southern Chinese Loess Plateau. *J. of Hydrology*, 593, 125741.
- Lambin, EF, Geist, HJ and Lepers, E (2003). Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1), pp. 205-241.
- Lark, TJ, Mueller, RM, Johnson, DM and Gibbs, HK (2017). Measuring land-use and land-cover change using the US department of agriculture's cropland data layer: Cautions and recommendations. *International J. of applied earth observation and geoinformation*, 62, pp. 224-235.
- Lee, G and Choi, Y (2014). Land cover classification of Nakdong River Basin using object-based image analysis methods. *J. of The Korean Cadastre Information Association*, 16(3), pp. 3-18.
- Lee, S and Kim, J (2019). Land cover classification using sematic image segmentation with deep learning. *Korean J. of Remote Sensing*, 35(2), pp. 279-288.
- Li, C, Liu, M, Hu, Y, Shi, T, Qu, X and Walter, MT (2018). Effects of urbanization on direct runoff characteristics in urban functional zones. *Science of the Total Environment*, 643, pp. 301-311.
- Nath, B, Ni-Meister, W and Choudhury, R (2021). Impact of urbanization on land use and land cover change in Guwahati city, India and its implication on declining groundwater level. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100500.
- Park, JJ, Ku, CY and Kim, BS (2007). Improvement of the Level-2 Lnad Cover Map with Satellite Image. The *J. of GIS Association of Korea*, 15(1), pp. 67-80.
- Park, MO, Kwon, SH, Back, SJ, Seo, JY and Koo, BH (2022). An Analysis of Environmental Factors of Abandoned Paddy Wetlands as References and Changes in Land Cover Types in the Influence Area. *J. of Wetlands Research*, 24(4), pp. 331-344.

- Poyatos, R, Latron, J and Llorens, P (2003). Land use and land cover change after agricultural abandonment. *Mountain research and development*, 23(4), pp. 362-368.
- Sahin, V and Hall, MJ (1996). The effects of afforestation and deforestation on water yields. *J. of hydrology*, 178 1-4), pp. 293-309.
- Sato, Y, Tsuji, T and Matsuoka, M (2024). Estimation of Rice Plant Coverage Using Sentinel-2 Based on UAV-Observed Data. *Remote Sensing*, 16(9), 1628.
- Saugier, B and Katerji, N (1991). Some plant factors controlling evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 54(2-4), pp. 263-277.
- Tam, VT and Nga, TTV (2018). Assessment of urbanization impact on groundwater resources in Hanoi, Vietnam. *J. of environmental management*, 227, pp. 107-116.
- Teuling, AJ, De Badts, EA, Jansen, FA, Fuchs, R, Buitink, J, Hoek van Dijke, AJ and Sterling, SM (2019). Climate change, reforestation/afforestation, and urbanization impacts on evapotranspiration and streamflow in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(9), pp. 3631-3652.
- Tulbure, MG and Broich, M (2013). Spatiotemporal dynamic of surface water bodies using Landsat time-series data from 1999 to 2011. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 79, pp. 44-52.
- Yoo, SD (2017). A Improvement Strategy for Land Statistics: Cadastral Statistics. *J. of the Korean Society of Cadastre*, 33(2), pp. 23-32.
- Zou, Z, Dong, J, Menarguez, MA, Xiao, X, Qin, Y, Doughty, RB, Hooker, KV and Hambright, KD (2017). Continued decrease of open surface water body area in Oklahoma during 1984-2015. *Science of the Total Environment*, 595, pp. 451-460.