

환경부 다중시기 토지피복도로 탐지한 토지피복 변화 지역의 정확도 평가: 구량천 유역을 사례로*

박종철** · 김장수***

Assessment of Land-cover Change Accuracy with Multi-temporal National Land-cover Maps: A Case Study on the Guryang-cheon Watershed, South Korea*

Jong-chul Park** · Jang-soo Kim***

요약 : 지구 표면의 물리적 형태를 표현한 토지피복도는 다양한 연구에 기초자료로 활용되어져 왔다. 따라서 토지피복도의 정확도는 중요한 이슈 중 하나이다. 본 연구는 환경부에서 배포한 2000년과 2009년의 다중시기 국가 토지피복도를 활용하여 전라북도에 위치한 구량천 유역의 토지피복 변화를 탐지하고, 그 결과의 정확도를 평가하였다. 그 결과 토지피복 변화 지역의 전반적인 정확도는 33.2%로 매우 낮게 나타났으며, 시기별 토지피복도의 전반적인 정확도는 44.2%(2000년)와 84.4%(2009년)이었다. 2000년 토지피복도의 낮은 정확도는 토지피복 변화의 정확도를 떨어뜨리는 원인이었다. 2000년 토지피복도의 정확도가 낮은 원인은 기하보정과 정사보정 같은 원시자료의 전처리 과정에서 발생한 정확도 결여에 있었다. 정확도에 영향을 미친 또 다른 원인으로는 초지와 사력퇴 지역의 오분류가 있었다. 국가토지피복도의 토지피복 변화 정확도를 향상시키기 위해서는 원시자료의 전처리 정확도를 향상시킬 필요가 있으며, 오분류 가능성이 높은 지역에 대한 검증을 강화할 필요가 있을 것이다.

주요어 : 환경부, 토지피복도, 변화 탐지, 정확도 평가, 구량천

Abstract : The land-cover maps, which represent the physical material at the surface of the earth, have been used as a fundamental data in various studies. Therefore, the accuracy of land-cover maps is one of important issues. This study assessed the accuracy of the land-cover change area detected with multi-temporal national land-cover maps(2000 and 2009) produced by Korea Ministry of Environment. The study area is 165.2km² of the Guryang-cheon watershed, which is located in the mountainous area of central South Korea. According to the results, the overall land-cover change accuracy was as low as 33.2%. While the land-cover map 2000 has 44.2% overall accuracy, the land-cover map 2009 has 84.6% overall accuracy. The low accuracy of the land-cover map 2000 affects the low accuracy of land-cover change. The major cause of low accuracy in the land-cover map 2000 was a lack of precision in pre-processing of raw data, such as geometric correction or orthometric correction. Another factor limiting higher accuracy appeared to be difficulty in distinguishing the context of grass and a point bar on the inside of a stream bend. In order to improve land-cover change accuracy of the national land-cover map, accuracy of pre-processing will need to be improved, and it will need to strengthen verification in the area of high probability for possible classification error.

Key Words : Korea Ministry of Environment, Land-cover map, Change detection, Accuracy assessment, Guryang-cheon

*본 논문은 2013년도 정부재원(교육부)으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2013-S1A5B5A02-032023).

**공주대학교 지리정보과학연구소 연구교수(Research Professor, Institute of Geographic Information Science, Kongju National University, jcp@kongju.ac.kr)

***국립환경과학원 자연환경연구과 박사후연구원(Post Doctor, Natural Environment Research Division, National Institute of Environmental Research, matra99@korea.kr)

I. 서론

토지피복은 지구 표면의 물리적 형태를 의미하며 (Fisher and Unwin, 2005), 토지피복도는 그 형태를 일정한 과학적 기준에 따라 분류하여 동질의 특성을 지닌 구역을 지도의 형태로 표현한 것이다(환경부, <http://egis.me.go.kr>). 토지피복도는 체계적이고 종합적인 국토관리를 위해 중요하며(정재준, 2010), 어떤 지역의 공간구조 형성과 확산 과정을 파악할 수 있는 기초 정보이므로(정재준 · 이수현, 2010; 이경주, 2013) 다양한 연구에 활용되고 있다. 장동호 등(2004)은 산사태 발생가능성을 평가하기 위한 기초 정보로 토지피복도를 이용하였으며, 이상일 · 김강영(2007)은 사회경제적 현상을 특정한 공간단위로 지도화하고, 이 때 발생하는 내적 변동성 재현의 제약을 극복하기 위한 보조 정보로 토지피복도를 사용하였다. 또한, 박종철(2009)은 환경변화에 따른 지역물수지 추정 연구에서 캐노피와 토양 매개변수의 결정을 위해 토지피복도를 활용하였다.

다양한 연구에서 기초 정보로 활용되고 있는 토지피복도는 대부분 여러 종류의 원격탐사 자료로부터 생산되고 있다. 지금까지 많은 연구자들이 토지피복도의 신뢰도를 높이기 위해 연구를 수행하였는데, 이를 제작하는데 활용하는 원격탐사가 간접적인 관찰 방법이기 때문이다. 다수의 연구자들이 원격탐사 자료의 분류 알고리즘을 비교하거나 개선하여 토지피복도의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안을 찾고자 노력하였으며(박정재 등, 2007; 구자용, 2011; 김현옥 · 염종민, 2012), 몇몇 연구자들은 토지 통계자료와 같은 보조 자료를 활용하여 토지피복도의 신뢰도를 향상시키고자 하였다(차상인 · 장동호, 2012; 김장수 등, 2013).

근래까지 다양한 분야의 연구자들은 자신들의 연구를 위해 토지피복도를 개별적으로 제작하여 왔다. 하지만 토지피복도의 자가 제작은, 연구대상의 공간적 범위가 증가함에 따라 위성영상의 획득과 처리에 필요한 시간과 비용이 급격하게 상승하는 문제점이 있다. 이런 측면에서 공공기관에서 제작하여 배포하는 토지피복도는 지역단위 혹은 국가단위의 넓은 지역을 대상으로 하는 연구를 용이하게 하는 장점이 있다. 아울러 공공기관에서 배포한 토지피복도는 연구자들이 각기 제작한 토지피복도를 사용함으로써 발생할 수 있는 불확실성을 줄여 연구 결과의 신뢰도 향상에 기여하고, 그 결과의 비교와

토론을 용이하게 하는 장점도 있다(박종철 · 김장수, 2014).

미국의 경우 1960년대 후반부터 미국지질조사국에서 미국 전역의 국가토지피복도(NLCD: National Land-cover Data)를 제작하여 다양한 분야의 연구자들이 활용할 수 있도록 배포하고 있다(UGGS, <http://landcover.usgs.gov>). 최근 Wickham *et al.* (2013)은 Level1(8개 분류로 한국의 대분류 수준에 해당) 수준에서 2001년 NLCD의 정확도가 85%이며, 2006년 NLCD의 정확도가 84%라고 평가하였다. Level2(16개 분류로 한국의 중분류 수준에 해당) 수준에서는 2001년과 2006년에 전반적으로 79%와 78%의 정확도를 보였다고 평가하였다. 나아가 정확도를 떨어뜨리는 요인으로 초지의 분류 오류를 지적하고, 향후 이에 대한 논의가 필요함을 언급한 바 있다.

국내의 경우 환경부에서 2000년과 2009년의 중분류 토지피복도¹⁾를 배포함으로써 여러 분야에서 기초 자료로 활용되고 있다(김만규, 2008; 한승희, 2008; 박종철 · 김만규, 2010; 박종철 등, 2013). 환경부 토지피복도는 남한 전체를 대상으로 구축되어 있기 때문에 학술분야에서 활용도가 증가하고 있으며, 향후에도 지속적으로 제작·배포될 것으로 예상되어 토지피복 변화 관련 연구에서 폭넓게 활용될 것으로 기대되고 있다.

하지만 환경부 토지피복도의 신뢰도에 대해서는 몇몇 연구자들이 문제를 제기한 정도이며, 연구가 매우 부족한 실정이다. 박종철 · 김만규(2010)는 2000년의 환경부 토지피복도에서 예산군 일대의 시가지 · 건조지역이 실제에 비해 과소평가되고 농업지역은 과대평가 되었을 가능성을 언급한 바 있고, 박종철 · 김장수(2014)는 환경부 토지피복도를 토지피복 변화 탐지에 적용했을 때 비현실적인 토지피복 변화 사례들이 탐지되며, 이로 인하여 토지피복 변화 경향이 실제와 다르게 나타날 수 있음을 지적하였다. 이에 따라 그들은 환경부 토지피복도를 토지피복 변화에 활용할 때 비현실적인 토지피복 변화 지역을 선별하고 보정하는 과정의 필요성을 언급한 바 있다.

이와 같이 선행 연구들은 환경부 토지피복도를 토지피복 변화 탐지에 활용할 때 나타나는 오류 유형과 그 영향에 대하여 포괄적으로 제시하였다. 그러나 비현실적인 토지피복 변화의 구체적인 유형과 그 원인을 제시하지 못하였다는 점에서 연구의 한계가 있었다. 아울러 환경부 토지피복도의 정확성을 제시하지 못하였다는 점에서도 한계가 있었다. 따라서 기 제작·배포된 환경부

토지피복도에 대한 정확한 평가가 반드시 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전북 무주군에 위치한 구량천 유역을 대상으로 환경부 다중시기 토지피복도를 활용하여 탐지한 토지피복 변화 지역의 정확도를 정량적으로 평가하고자 하였다. 아울러 그 정확도를 떨어뜨리는 원인을 구체적으로 밝히고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구지역 개관

연구지역인 구량천 유역은 전라북도 무주군 안성면, 진안군 동향면, 장수군 계북면의 경계지역에 위치하며, 용담댐 상류에 위치한 8개 표준유역 중 하나이다(그림 1). 연구지역의 총 면적은 165.2km²이며, 각 행정구역이 차지하는 면적은 무주군 안성면, 진안군 동향면, 장수군 계북면 순으로 넓다. 연구지역은 주로 화강암 분지와 산간곡지, 편마암 산지로 이루어져 있으며, 화강암 분지는 구량천 유역의 상류에 북동-남서 방향으로, 산간곡지는 유역의 중류에서 하류까지 동-서 방향으로 발달해 있다. 화강암 분지를 둘러싸고 있는 편마암 산지는 동쪽이 높고 서쪽이 낮은 형태를 보이고 있는데 이러한 지세는 연

구지역의 수계망 및 토지피복 분포에 직접적인 영향을 미치고 있다.

본 연구지역 북동측의 대부분을 차지하고 있는 안성 분지는 제4기 때 기후변화로 형성된 여러 면의 기후단구가 위치하고 있으며(장호, 1981), 이들 단구면에는 시가화·건조지역과 농업지역이 밀집되어 나타나고 있다. 반면에 산간곡지에서는 공간적인 제약으로 인해 이들 지역이 제한적으로 나타난다. 산간곡지에서 나타나는 시가화·건조지역은 규모가 크지 않은 집촌 형태를 띤다. 편마암 산지는 연구지역의 약 76%를 차지하고 있으며, 이는 연구지역에서 가장 넓은 토지피복에 해당한다. 연구유역의 하류에는 진안군 동향면사무소 소재지가 있으며, 비교적 넓은 충적층이 분포하고 있어 산간곡지에 비해 농업지역이 넓게 나타난다.

연구지역인 구량천 유역은 국가수자원관리종합정보시스템과 유역 내 5개의 자동기상관측시스템으로부터 장기간의 수문 및 기상자료를 획득할 수 있는 지역이다(박종철, 2009). 이 때문에 토지피복 변화가 하천유출 형성과정과 하천 유출 구성성분 등 수문학적 과정에 미치는 영향을 연구할 수 있는 지역으로 주목할 만하다. 따라서 수문학적 연구의 기초 자료로 이용되고 있는 환경부 토지피복도의 정확도를 검증하고 평가하기 위하여 본 지역을 사례지역으로 선정하였다.

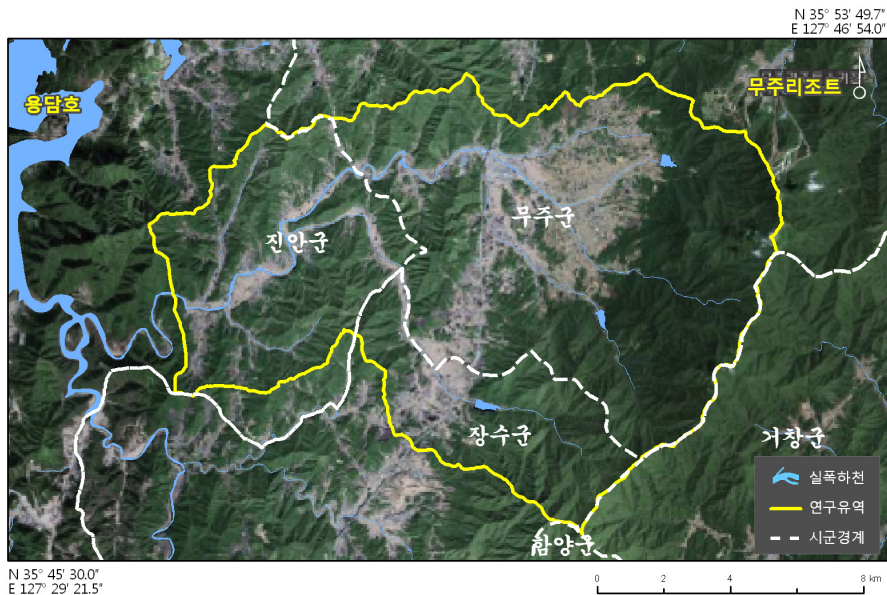


그림 1. 연구 지역 위치

2. 연구절차 및 방법

본 연구에서는 환경부에서 제작·배포한 두 시기(2000년과 2009년)의 토지피복도를 활용하여 구량천 지역의 토지피복 변화 지역을 탐지하고, 탐지된 지역 중 검증지점을 선정하고 검증하여 그 정확도를 평가하였다. 검증은 각 시기의 수치지형도와 항공사진을 활용하여 수행하였으며, 현장 확인을 병행하였다. 그림 2는 본 연구의 상세한 연구 절차 및 방법이다.

연구에 사용한 환경부 토지피복도는 폴리곤(polygon) 벡터(vector) 형태의 지도이다. 본 연구에서는 두 시기의 벡터 형태 토지피복도에서 변화 지역을 탐지하기 위해 두 지도를 교차(intersect) 분석하였다. 교차는 두 지도의 교집합 영역만을 하나의 지도로 병합하는 과정이며, 두 지도에 존재하는 경계와 토지피복 속성이 병합된 지도에 모두 상속되는 특징이 있다. 따라서 교차 분석한 지도에서 2000년과 2009년의 토지피복 속성이 상이한 지역을 토지피복 변화 지역으로 판단하고 변화 지역의 정확도 검증을 위해 이 지역을 추출하였다.

추출된 토지피복 변화 지역은 변화 유형에 따라(예를 들어 농업지역이 시가화·건조지역으로 변화) 분류하였으며, 각 변화 유형에 대한 검증지점을 선정하여 그 정확도를 평가하였다. 본 연구에서 검증지점은 총 500개를 선정하였으며, 각 변화 유형별 검증지점 수는 각각의 변화 유형이 총 면적에서 차지하는 비율에 따라 결정되었

다. 아울러 검증지점은 각 변화 유형에서 면적이 가장 큰 지점부터 순차적으로 선정되었다. 토지피복 변화 유형은 환경부의 7개 대분류(시가화·건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)²⁾를 사용하여 구분하였다.

일반적으로 원격탐사자료로부터 생산된 토지피복도의 정확도 평가에서는 각 분류 개체당 사용된 밴드수의 10배에 해당하는 픽셀을 사용하기를 권고하고 있다(Jensen, 2005). 이에 따르면 200여개의 검증지점을 선정할 필요가 있었다. 하지만 본 연구에서는 좀 더 신뢰할 수 있는 결과를 얻기 위해 변화 지역 총 패치 수의 약 10%에 해당하는 500개 검증지점을 사용하였다. 면적으로 환산하면 변화 지역 총 면적의 약 70%를 평가하였다.

각 검증지점에 대한 실제 변화와의 비교에는 2000년에 국토지리정보원에서 제작한 1:5,000 수치지형도와 Daum 지도 서비스에서 제공하는 항공사진(2010년 촬영³⁾)을 활용하였다. 2000년 토지피복도의 분류 정확도는 수치지형도를 활용하여 평가하였으며, 2009년 토지피복도의 분류 정확도는 Daum 지도의 항공사진을 활용하여 평가하였다. 이를 통해 얻어진 자료를 통해 토지피복 변화 지역의 정확도와 오류 유형 및 오류 원인을 분석하였다. 토지피복도와 Daum 지도의 비교·평가에는 무료 GIS 소프트웨어인 QGIS 2.2를 이용하였다⁴⁾.

한편 2000년 토지피복도 및 수치지형도는 Bessel1841 타원체의 TM 직각좌표계를 사용하여 제작되었으며, 2009년 토지피복도는 GRS80 타원체 TM 직각좌표계를 사용하여 제작되었다. 따라서 본 연구에서는 2000년 자료들을 GRS80 타원체의 TM 직각좌표계로 변환하여 사용하였으며, 좌표변환 후에는 토지피복 변화가 없는 지역(주로 산림지역경계)을 비교하여 좌표변환이 정상적으로 수행되었는지 검증하였다.

3. 토지피복 변화 유형과 검증지점의 선정

환경부 토지피복도를 활용하여 구량천 지역의 토지피복 변화 유형을 분석한 결과 농업지역, 나지, 시가화·건조지역에서 토지피복 변화가 주로 발생하였으며, 특히 농업지역에서의 변화가 두드러졌다. 토지피복 변화 유형으로는 농업지역이 시가화·건조지역으로 변한 경우가 가장 넓은 면적을 차지하고 있었으며, 반대의 경우인 시가화·건조지역에서 농업지역으로 변한 경우가 그 다

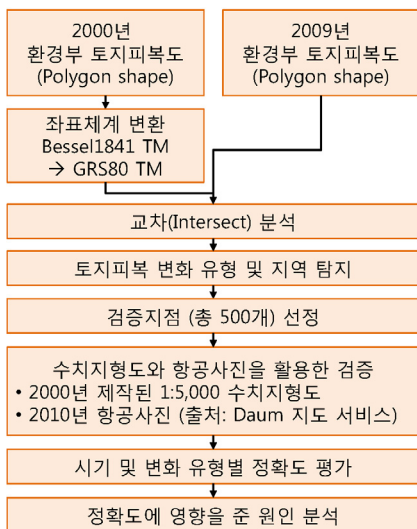


그림 2. 연구 절차 및 방법

음을 차지하고 있었다.

표 1은 2000년 토지피복도와 2009년 토지피복도를 이용하여 분석한 토지피복 변화 매트릭스이다⁵⁾. 이 표를 살펴보면 전체 토지피복 변화 면적의 41.46%는 농업지역이 시가화·건조지역 또는 산림지역 등으로 변한 것으로 나타났다. 농업지역 다음으로 많은 변화는 나지에서 발생하였는데, 전체 토지피복 변화 면적의 23.28%를 차지하고 있었다. 세 번째는 시가화·건조지역이 다른 토지피복(21.31%)으로 바뀐 것으로 분석되었다. 이들 세 유형의 면적은 전체 토지피복 변화 면적의 약 86%를 차지하고 있어, 연구지역에서 일어난 변화가 주로 이 토지피복에서 발생하였음을 알 수 있었다.

토지피복 변화가 주로 발생한 세 유형의 세부 변화 유형을 살펴보면, 농업지역의 경우 시가화·건조지역으로 15.41%가 변화하였으며, 수역(12.14%), 초지(4.76%), 산림지역(4.46%), 나지(3.18%), 습지(1.52%) 순으로 변화가 발생한 것으로 나타났다. 나지의 경우 시가화·건조지역으로 7.57%가 변화하였으며, 농업지역(6.53%), 초지(2.88%), 습지(2.77%), 산림지역(2.40%), 수역(1.13%) 순으로 변화가 발생하였다. 시가화·건조지역의 경우 농업지역으로 15.30%가 변화하였으며, 산림지역(2.96%), 수역(1.36%), 초지(1.30%), 습지(0.25%), 나지(0.14%) 순으로 변화가 발생하였다.

표 2는 각 토지피복 변화 유형별 총 면적과 각 면적을 토대로 결정된 검증지점의 패치(patch) 수를 보여주고 있다. 연구지역에서 토지피복 변화가 발생한 지역의 총 면적은 약 5,395,132m²이었으며, 패치 수는 총 5,485개였다. 벡터 폴리곤을 이용한 변화 지역 분석에서는 폴리곤의 경계지역이 완전히 일치하지 않음으로 인해 많은 수의 패치들이 나타날 수 있다. 표 2에서 산림지역과 관

련된 토지피복 변화 유형에서 면적은 작지만 패치 수가 높게 나타나는 것이 이를 방증하고 있다. 따라서 본 연구에서는 각 유형별 검증지점 수를 결정할 때 패치 수의 비율이 아닌 면적 비율을 사용하였다. 이와 같이 결정된 500개 검증지점의 총 면적은 3,773,525m²로 총 변화 면적의 약 70%를 차지하였다. 검증지점의 패치 수는 총 변화 패치 수의 약 10%이다.

검증지점이 가장 많이 부여된 토지피복은 2000년 토지피복도 기준으로 농업지역으로, 이 지역에는 총 215개의 검증지점이 부여되었다. 다음으로는 나지에 124개의 지점이 부여되었으며, 시가화·건조지역에 107개의 검증지점이 부여되었다. 산림지역과 수역에는 각각 27개 지점과 16개 지점이 부여되었으며 습지에는 10개의 지점이 부여되었다. 변화한 지역이 상대적으로 매우 작았던 초지의 경우 1개 지점을 대상으로 검증을 실시하였다.

세부적으로는 농업지역에서 시가화·건조지역으로 변화된 유형에 대한 검증지점 수가 81개로 가장 많고, 시가화·건조지역이 농업지역으로 변화된 유형에 대한 검증지점 수가 80개였다. 나지에서 시가화·건조지역으로 변화된 유형에는 42개의 검증지점이 부여되었으며, 나지에서 농업지역으로 변화된 유형에는 35개의 검증지점이 부여되었다. 시가화·건조지역이 습지로 변화된 것과 같이 변화는 탐지되었지만 면적이 너무 작은 유형에는 검증지점이 부여되지 않았으며, 그 결과 총 42개의 토지피복 변화 유형 중에 28개 유형에 대하여 검증지점이 부여되었다. 검증지점이 부여되지 않은 유형 중에서 면적이 가장 넓었던 것은 시가화·건조지역이 습지로 변화된 유형이지만 그 면적은 13,225m²에 불과하였다.

표 1. 토지피복 변화 매트릭스

(단위: %)

2000 \ 2009	시가화·건조지역	농업지역	산림지역	초지	습지	나지	수역	합계
시가화·건조지역		15.30	2.96	1.30	0.25	0.14	1.36	21.31
농업지역	15.41		4.46	4.76	1.52	3.18	12.14	41.46
산림지역	1.62	4.26		0.23	0.04	0.21	0.48	6.84
초지	0.15	0.09	0.15		0.02	0.07	0.38	0.86
습지	0.36	1.02	0.10	0.42		0.01	0.52	2.43
나지	7.57	6.53	2.40	2.88	2.77		1.13	23.28
수역	0.39	0.52	0.24	0.92	1.75	0.00		3.82
합계	25.50	27.72	10.31	10.51	6.35	3.61	16.01	100.00

표 2. 토지피복 변화 유형별 검증지점 부여 현황

토지피복 변화 유형		변화 지역		검증지점	
2000년	2009년	패치 수	면적(m ²)	패치 수	면적(m ²)
시가화·건조지역	농업지역	622	825,235	80	507,812
	산림지역	148	159,896	15	90,249
	초지	58	70,186	6	45,846
	습지	19	13,225	0	0
	나지	10	7,634	0	0
	수역	84	73,374	6	36,142
	계	857	1,149,550	107	680,049
농업지역	시가화·건조지역	654	831,159	81	513,228
	산림지역	1,156	240,419	20	120,924
	초지	100	256,698	25	211,723
	습지	48	82,203	7	48,318
	나지	33	171,330	16	161,724
	수역	173	654,954	66	630,464
	계	2,848	2,236,763	215	1,686,381
산림지역	시가화·건조지역	144	87,610	6	24,741
	농업지역	1,155	229,930	20	134,376
	초지	80	12,212	0	0
	습지	4	2,131	0	0
	나지	16	11,217	0	0
	수역	32	25,795	1	6,222
	계	4,247	368,895	27	165,339
초지	시가화·건조지역	12	7,902	0	0
	농업지역	49	4,768	0	0
	산림지역	80	7,994	0	0
	습지	1	824	0	0
	나지	2	3,779	0	0
	수역	5	20,330	1	14,484
	계	4,391	45,597	1	14,484
습지	시가화·건조지역	18	19,597	1	10,822
	농업지역	13	54,857	5	49,878
	산림지역	9	5,175	0	0
	초지	7	22,572	2	10,787
	나지	1	570	0	0
	수역	26	28,296	2	10,537
	계	4,439	131,067	10	82,024
나지	시가화·건조지역	71	408,281	42	393,606
	농업지역	121	352,889	35	274,269
	산림지역	64	129,388	11	87,277
	초지	45	155,839	16	117,889
	습지	40	149,774	15	116,903
	수역	54	60,816	5	29,533
	계	4,780	1,256,987	124	1,019,477
수역	시가화·건조지역	58	21,082	1	2,125
	농업지역	90	28,137	2	7,945
	산림지역	21	12,924	0	0
	초지	26	49,422	4	37,357
	습지	51	94,678	9	78,334
	나지	85	29	0	0
	계	5,026	206,272	16	125,761
합계		5,485	5,395,132	500	3,773,525

III. 연구결과

1. 토지피복 변화 검증 결과 및 정확도

본 연구에서 500개의 검증지점에 대하여 1:5,000 수치 지형도 및 항공사진을 활용하여 검증을 수행한 결과 검증지점의 약 33%만이 실제 변화와 일치하는 것으로 파악되었다. 즉, 검증지점의 약 67%는 실제 변화와 일치하지 않는 것으로 분석되었다. 면적으로 비교했을 때는 검증지점 총 면적(3,773,525m²)의 39%인 1,470,799m²만이 실제 변화와 일치하는 것으로 파악되었다.

표 3은 토지피복 변화 유형별 검증 결과를 보여주고 있다. 이 표를 살펴보면 시가화·건조지역이 농업지역으로 변화된 유형의 80개 검증지점이 모두 실제와 일치하지 않는 것으로 나타났다. 아울러 시가화·건조지역이 산림지역으로 변화된 유형도 모두 실제와 일치하지

않는 것으로 나타났으며, 초지와 수역으로 변화된 유형도 각각 6개 검증지점 중 1지점에서만 실제와 일치하는 결과를 보였다. 따라서 시가화·건조지역이 다른 토지피복으로 변하는 유형은 그 정확도가 1.9%에 불과하였다. 결과적으로 이 유형의 토지피복 변화 중 대부분이 토지피복도의 어떤 오류에 의해 발생한 것이며, 실제로는 일어나지 않은 현상인 것으로 판단된다.

농업지역이 시가화·건조지역으로 변화된 유형의 정확도는 46.9%로 나타났으며, 산림지역으로 변화된 유형의 정확도는 10.0%이었다. 농업지역이 초지, 습지, 나지 등으로 변한 유형의 정확도는 각각 20.0%, 57.1%, 68.8%를 보였으며, 수역으로 변한 유형에서는 37.9%로 나타났다. 결과적으로 농업지역이 산림지역으로 변한 유형은 대부분 오류인 것으로 판단되었으며, 농업지역이 다른 토지피복으로 변한 유형의 평균적인 정확도는 39.5%이었다.

표 3. 토지피복 변화 유형별 검증 결과

토지피복 변화 유형		검증용 패치 수	일치된 패치 수	정확도(%)	
2000년	2009년				
시가화·건조지역	농업지역	80	0	0.0	1.9
	산림지역	15	0	0.0	
	초지	6	1	16.7	
	수역	6	1	16.7	
농업지역	시가화·건조지역	81	38	46.9	39.5
	산림지역	20	2	10.0	
	초지	25	5	20.0	
	습지	7	4	57.1	
	나지	16	11	68.8	
	수역	66	25	37.9	
산림지역	시가화·건조지역	6	3	50.0	22.2
	농업지역	20	3	15.0	
	수역	1	0	0.0	
초지	수역	1	0	0.0	0.0
습지	시가화·건조지역	1	0	0.0	0.0
	농업지역	5	0	0.0	
	초지	2	0	0.0	
	수역	2	0	0.0	
나지	시가화·건조지역	42	29	69.0	54.8
	농업지역	35	19	54.3	
	산림지역	11	9	81.8	
	초지	16	10	62.5	
	습지	15	0	0.0	
	수역	5	1	20.0	
수역	시가화·건조지역	1	0	0.0	31.3
	농업지역	2	0	0.0	
	초지	4	0	0.0	
	습지	9	5	55.6	
합계		500	166	33.2	

나지의 경우 정확도가 평균 54.8%를 나타내 다른 유형의 토지피복 변화에 비해 상대적으로 높은 정확도를 보였다. 다만 나지로부터 습지로 변화된 유형은 모두 실제와 다른 것으로 나타났다.

나지에서 시가화·건조지역, 산림지역, 초지 등으로 변화된 지역의 정확도는 각각 69.0%, 81.8%, 62.5%로 상대적으로 높게 나타났다. 이는 2000년에서 2009년 사이에 연구지역을 관통하는 대전-통영간 고속도로를 건설한 것과 연관되어 있을 것으로 판단된다. 고속도로를 건설 중이던 2000년에는 고속도로와 그 주변부가 나지로 분류되었다가 고속도로 공사가 완료된 후인 2009년에는 고속도로가 시가화·건조지역이 되었으며, 그 주변부는 산림지역과 초지로 관리되고 있기 때문이다.

초지와 습지로부터 다른 토지피복으로 변화된 유형은 모두 실제와 다른 것으로 나타났으며, 수역이 시가화·건조지역 또는 초지 등으로 변한 유형도 모두 실제와 일

치하지 않는 것으로 나타났다. 수역으로부터 습지로 변한 유형은 55.6%의 정확도를 보였다.

종합하여 보면, 시가화·건조지역으로부터 다른 토지피복으로 변한 유형들에서 정확도(0.0~16.7%)가 낮게 나타났으며, 초지와 습지로부터 다른 토지피복으로 변화한 유형에서도 정확도(0.0%)가 현저히 낮게 나타났다. 농업지역으로부터 산림지역으로 변한 유형(10.0%), 또는 초지로 변한 유형(20.0%)에서도 정확도가 낮게 나타나고 있었다. 그 결과 검증지점으로 선택한 500개의 지점 중 실제와 일치한 지점의 수는 167개였으며 그 정확도는 33.2%이었다.

2. 오류 원인 분석

500개 검증지점에 대하여 2000년과 2009년 토지피복도의 정확도를 각각 평가한 결과, 토지피복 변화 지역의

표 4. 검증지점에 대한 각 시기의 토지피복 분류 검증 결과

토지피복 변화 유형		검증지점 수	2000년 정확도		2009년 정확도	
2000년	2009년		일치	정확도(%)	일치	정확도(%)
시가화·건조지역	농업지역	80	4	4.9	75	92.5
	산림지역	15	0	0.0	15	100.0
	초지	6	2	33.3	2	33.3
	수역	6	1	16.7	6	100.0
농업지역	시가화·건조지역	81	41	50.6	78	96.3
	산림지역	20	10	50.0	12	60.0
	초지	25	18	72.0	7	28.0
	습지	7	4	57.1	7	100.0
	나지	16	16	100.0	11	68.8
산림지역	수역	66	27	40.9	64	97.0
	시가화·건조지역	6	3	50.0	6	100.0
	농업지역	20	9	45.0	12	60.0
초지	수역	1	0	0.0	1	100.0
습지	수역	1	1	100.0	0	0.0
	시가화·건조지역	1	0	0.0	1	100.0
	농업지역	5	1	20.0	3	60.0
	초지	2	1	50.0	0	0.0
나지	수역	2	0	0.0	2	100.0
	시가화·건조지역	42	30	71.4	40	95.2
	농업지역	35	24	68.6	28	80.0
	산림지역	11	10	90.9	10	90.9
	초지	16	12	75.0	10	62.5
	습지	15	0	0.0	15	100.0
수역	수역	5	0	0.0	5	100.0
	시가화·건조지역	1	0	0.0	1	100.0
	농업지역	2	0	0.0	2	100.0
	초지	4	2	50.0	1	25.0
합계	습지	9	5	55.6	9	100.0
	합계	500	221	44.2	422	84.4

정확도가 33.2%에 불과하였던 원인은 2000년 토지피복도의 정확도가 2009년에 비해 상대적으로 떨어졌기 때문인 것으로 분석되었다.

표 4는 검증지점에 대한 각 시기의 토지피복 분류를 검증한 결과이다. 이 표를 살펴보면, 2000년 토지피복도의 평균 정확도는 44.2%로 2009년의 84.4%에 비해 크게 떨어지고 있다. 총 500개의 검증지점 중 2009년 토지피복도에서는 422개 지점이 실제 토지피복 변화와 일치하고 있었지만, 2000년 토지피복도에서는 221개 지점만이 일치하고 있었다.

2000년 토지피복도에서 검증지점 수가 상대적으로 많으면서 그 정확도가 평균(44.2%)에 미치지 못하는 토지피복 변화 유형들로는 시가화·건조지역이 농업지역으로 변한 유형(이하 시가화·건조지역to농업지역), 시가화·건조지역이 산림지역으로 변한 유형(이하 시가화·건조지역to산림지역), 농업지역이 수역으로 변한 유형(이하 농업지역to수역), 나지가 습지로 변한 유형(이하 나지to습지) 등이 있었다. 이에 반해 2009년 토지피복도에서 시가화·건조지역to농업지역의 정확도는 92.6%이었으며, 시가화·건조지역to산림지역의 정확도는 100.0%이었다. 농업지역to수역의 정확도는 97.0%, 나지to습지의 정확도는 100.0%였다.

위의 결과는 토지피복도 상에서는 토지피복이 변화한 것으로 분석되었지만 실제로는 해당지역에서 변화가 없었거나 2000년의 토지피복 분류에 오류가 있었다는 것을 의미한다. 특히 시가화·건조지역이 농업지역 또는 산림지역으로 변화하는 사례가 현실에서는 일어나기 힘들다는 점을 고려하면, 2000년에 시가화·건조지역이었다가 2009년에 농업지역 또는 산림지역으로 변화되었다고 탐지된 지역들의 약 95%가 실제로는 2000년에도 농업지역과 산림지역이었을 가능성이 매우 높다. 다만 농업지역to수역의 유형에서는 현재 수역인 지역들이 과거에 농업지역으로 분류된 원인에 대한 분석이 필요하다.

아울러 나지to습지의 사례에서도 현재에는 모두 습지로 분류된 지역들이 왜 과거에는 나지로 분류되었는지에 대한 분석이 필요하다.

2009년 토지피복도에서 그 정확도가 상대적으로 떨어지는 지역은 시가화·건조지역이 초지로 변화된 지역(이하 시가화·건조지역to초지)과 농업지역이 초지로 변화된 지역(이하 농업지역to초지)이었다. 두 토지피복 변화 유형이 모두 2009년에 초지로 분류된 지역과 관련되어 있는 것이 특징이다. 사례연구(Wickham *et al.*, 2013)에도 밝혔듯이 초지에 의한 분류 정확도 저하가 환경부 토지피복도에서도 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 2009년 지도에서 초지로 분류된 지역의 특성과 그 정확도가 떨어지는 원인에 대하여 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 2000년 토지피복도에서 시가화·건조지역to농업지역, 시가화·건조지역to산림지역, 농업지역to수역, 나지to습지의 정확도가 낮게 나온 원인을 분석하기 위해, 2000년 토지피복 분류가 오류로 판단된 지점의 실제 토지피복을 분석하였다. 아울러 2009년에 정확도가 낮았던 시가화·건조지역to초지와 농업지역to초지의 실제 토지피복을 분석하였다.

표 5는 그 결과를 보여주고 있다. 시가화·건조지역to농업지역의 80개 검증지점 중 76개 지점이 2000년 토지피복도에서 오류로 식별되었으며, 그 중 75개가 실제로는 농업지역이었다. 시가화·건조지역to산림지역의 15개 검증지점은 모두 2000년에도 산림지역이었던 것으로 식별되었으며, 농업지역to수역의 39개 오류 지점 중 대부분인 31개 지점이 습지였던 것으로 식별되었다. 나지to습지의 오류 지점은 모두 습지였다.

결론적으로 시가화·건조지역이 농업지역 또는 산림지역으로 변화한 토지피복 변화 유형은 모두 비현실적인 것이었으며, 그 지역은 2000년에도 농업지역 또는 산림지역이었던 것으로 분석되었다. 아울러 이 분석결과

표 5. 2000년 토지피복 분류 오류 지점의 실제 토지피복 현황

토지피복 변화 유형	검증 지점 수	오류 지점 수	2000년의 실제 토지피복				
			농업지역	산림지역	초지	습지	수역
시가화·건조지역to농업지역	80	76	75	-	1	-	-
시가화·건조지역to산림지역	15	15	-	15	-	-	-
농업지역to수역	66	39	-	-	-	31	8
나지to습지	15	15	-	-	-	15	-

를 통해 2000년 토지피복도에서 습지는 농업지역 또는 나지로 오분류되는 사례가 많았다는 것을 알 수 있었다. 이 습지들이 2009년에는 대부분 수역 또는 습지로 분류되었다는 점을 미루어, 이와 같은 오분류 대상 습지가 대부분 하천습지인 것으로 판단된다.

그림 3은 시가화·건조지역to농업지역의 대표적인 사례를 보여주고 있다. 2000년에 시가화·건조지역 중 도로의 위치를 당시의 수치지형도 상에 도로와 비교하여 보면, 그 위치가 일치하지 않고 농경지 위를 지나고 있는 것을 볼 수 있다. 이에 비해 2009년의 토지피복도에서는 도로가 실제의 위치에 잘 표현되어 있다. 이에 따라 토지피복 변화에서 시가화·건조지역이 농업지역으로 변화된 지역들이 나타나고 있었다. 즉, 시가화·건조지역 to농업지역은 2000년 토지피복도에서 분류한 도로의 위치 및 규모 불일치로 인해 나타난 현상임을 알 수 있었다.

시가화·건조지역to산림지역 역시 2000년 토지피복도에 포함된 도로의 위치 오류로부터 발생하였다. 그림 4는 시가화·건조지역to산림지역의 대표적인 사례를 보여주고 있다. 2000년의 도로(환경중분류 상 교통지역)가 수치지형도의 도로와 일치하지 않고 주변의 산림지역을 통과하고 있다. 2009년 토지피복도에서는 이 지역이 산림지역으로 분류되었기 때문에 결과적으로 시가화·건조지역이 산림지역으로 변화된 지역이라는 잘못된 정보를 전달하고 있었다.

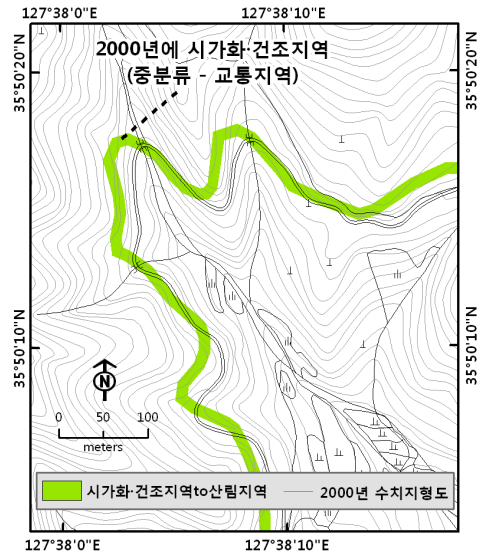


그림 4. 시가화·건조지역이 산림지역으로 변화된 사례

위의 두 사례에서 2000년 토지피복도의 도로가 실제 위치와 일치하는 않는 원인으로서는 2000년 토지피복도의 좌표체계를 Bessel1841 타원체에서 GRS80 타원체로 변경하는 과정에서 발생하였을 오류를 의심할 수도 있다. 하지만 그림 3의 우상단에 위치하는 주거지역의 경계가 2000년과 2009년 변화가 없는 것으로부터 이 현상이 좌표변환상의 오류로 인해 발생한 것이 아님을 알 수 있다.

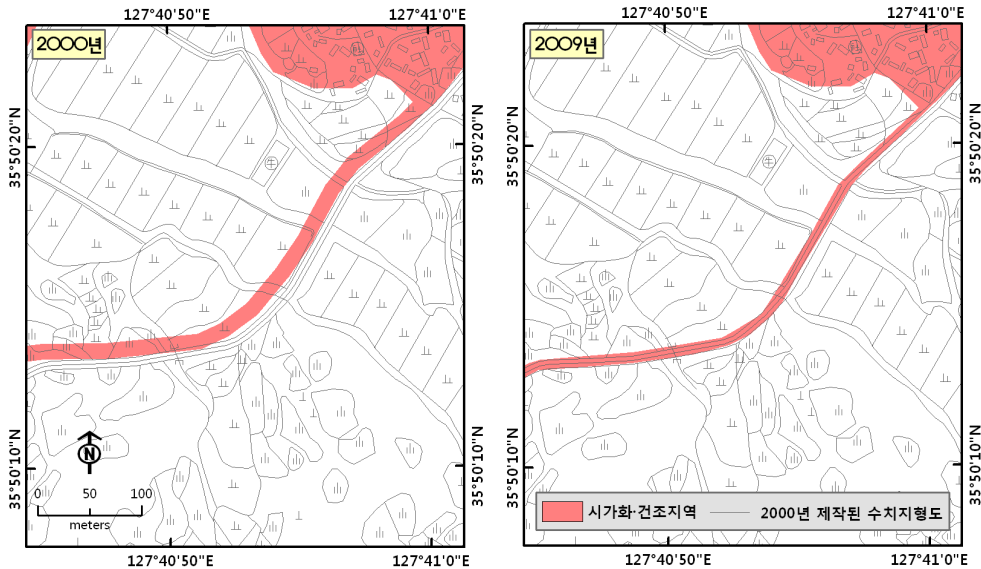


그림 3. 시가화·건조지역이 농업지역으로 변화된 사례

아울러 본 연구에서 2000년 토지피복도를 좌표변환한 후 변화가 거의 없는 산림지역을 대상으로 그 일치 여부를 비교하였기 때문에 이러한 오류 가능성은 매우 낮은 것으로 판단되었다. 따라서 2000년 토지피복도에서 나타난 이와 같은 현상은 당시 토지피복도를 제작하는 과정에서 영상의 전처리 과정인 기하보정이나 정사보정에서 문제가 있었기 때문인 것으로 판단된다.

그림 5는 농업지역이 수역으로 변화된 대표적인 사례를 보여주고 있다. 이 그림을 살펴보면 2000년 수치지형도의 하도와 그 주변의 사력퇴를 당시의 토지피복도에서는 모두 농업지역으로 분류하고 있다. 이에 비해 2009년 토지피복도에서는 해당 지역이 모두 하천으로 분류되고 있다.

이는 두 가지 원인이 복합적으로 작용했을 것으로 추정된다. 첫 번째는 폭이 좁은 하도 내에 분포하는 사력퇴에 대한 오분류로, 사력퇴가 일시적으로 초분류로 덮여있는 시기에 주변의 농업지역과 구분이 어려워 오분류된 것으로 판단된다. 이와 같은 오류는 39개 오류 지점 중 31개 지점에서 확인되었다. 두 번째는 하폭의 변화에 따른 실제 변화이다. 2000년의 수치지형도와 2009년 영상(그림 5의 우측)을 비교해 보면 하천 주변으로 새로운 제방이 축조된 것을 확인할 수 있다. 이 지역 하천들에서 2000년 이후 하폭을 넓히고 제방을 보강하

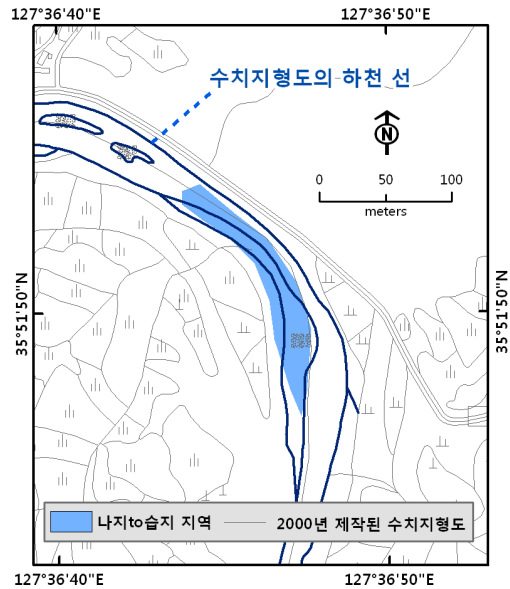


그림 6. 나지가 습지로 변화된 사례

는 공사들이 있었던 것으로 추정된다. 하폭의 변화와 함께 각 시기에 사용한 위성영상의 공간해상도 차이 역시 수역의 분류 차이를 발생시킨 요인일 수 있다. 하도의 폭이 증가하고 2009년 토지피복도 제작에 이용된 위성영상의 공간해상도가 2000년에 비해 향상되면서 2000년

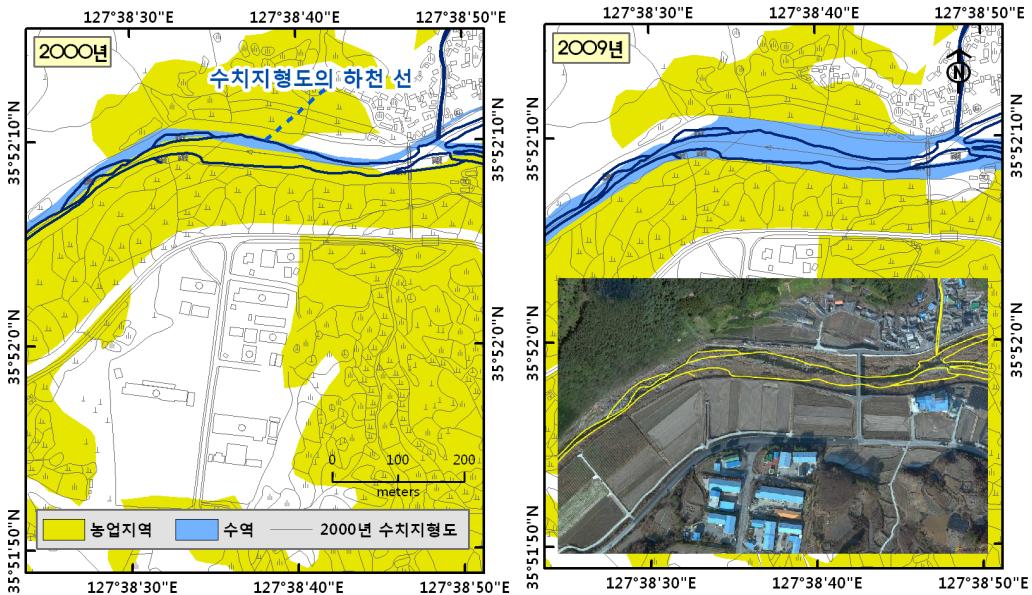


그림 5. 농업지역이 수역으로 변화된 사례

에는 분류가 이루어지지 않았던 수역이 2009년에는 분류되었을 수 있다.

한편 사력퇴 습지 또는 하천변은 과거에 일시적으로 농경지로 활용되는 경우가 많이 있었다. 표 5에서 농업지역이 실제로 수역으로 변화된 27개 지점의 대부분은 과거에 농경지로 활용되었던 사력퇴 습지 또는 하천변이 최근에는 더 이상 농경지로 활용되지 않는 지역이었다.

그림 6은 나지to습지의 대표적인 사례 지역을 보여주고 있다. 연구지역에서 이와 같은 지역은 모두 하도내의 사력퇴 분류와 연관되어 있었다. 사력퇴는 하천 내에서 모래 또는 자갈 등이 퇴적되어 나타나는 지형이다. 한국의 하천에서 이러한 지형은 초분류가 쉽게 피복되기 때문에 지형적으로 사력퇴 습지로 분류할 수 있다. 이 지역은 2000년 토지피복도에서 대부분 나지로 분류되었지만 2009년의 토지피복도에서는 습지로 분류되고 있었다. 이에 따라 이 지역의 분류 정확도는 2009년 토지피복도에서 100%였지만 2000년의 토지피복도에서는 0%였다.

한편 표 6은 시가화·건조지역to초지, 농업지역to초지의 토지피복 변화 유형에서 2009년 토지피복 분류 오류

로 판단된 지점의 실제 토지피복 현황을 분석한 결과이다. 시가화·건조지역to초지의 6개 검증지점 중 4개 지점이 2009년 토지피복도에서 오류로 식별되었으며, 그 중 시가화·건조지역과 산림지역이 1개 지점이었으며, 2개 지점은 습지인 것으로 식별되었다. 농업지역to초지에서는 18개 오류 중 7개 지점이 농업지역이었으며, 2개 지점이 산림지역, 9개 지점이 습지였다.

2009년에 습지임에도 불구하고 초지로 분류된 지역은 하도 내 하천습지에서 나타나고 있었다. 이는 그림 6과 같은 습지가 초분류로 피복되어 있는 경우에 나타났다. 그림 7은 연구지역 내에 위치한 명천의 계절별 사력퇴 습지 사진이다. 2008년 2월에 촬영된 영상을 보면, 사력퇴 습지가 잘 드러나지만, 7월에는 초분류가 피복되어 있다. 따라서 사력퇴 습지가 일시적으로 초분류에 피복되는 지역에서 습지와 초지의 분류 오차가 발생한 것으로 판단된다.

2009년에는 농업지역이 초지로 분류된 사례도 많았다. 김용민 등(2010)은 농업지역과 초지를 분류할 경우 토지피복의 분광학적 유사성과 계절적 요인으로 인해 분류 오차가 크게 발생할 수 있다고 지적한 바 있다.



2008년 2월 모습



2008년 7월 모습

그림 7. 연구지역 내 명천의 사력퇴 습지 모습

표 6. 2009년 토지피복 분류 오류 지점의 실제 토지피복 현황

토지피복 변화 유형	검증지점 수	오류 지점 수	2009년의 실제 토지피복				
			시가화·건조지역	농업지역	산림지역	습지	수역
시가화·건조지역to초지	6	3	-		1	2	-
농업지역to초지	25	18	-	7	2	9	

Wickham *et al.* (2013) 역시 초지, 농경지, 목장의 구분
에 어려움이 있으며, USGS의 NLCD에서 발생한 주요한
분류 오류 중 하나로 지목한바 있다.

환경부 토지피복도에서 농업지역과 초지의 분류에 상
대적으로 많은 오류가 포함된 원인은 이와 같은 토지피
복의 분광학적 유사성과 연관되어 있는 것으로 판단된
다. 초지의 분류 오류를 줄이기 위해서는 하도 내에서
초지로 분류된 지역에 대한 검증을 강화하고, 건조용 사
료식물, 보리와 같이 초지와 분광학적 유사성이 있는 작
물을 재배하는 지역에 대해서도 현장 답사 및 검증을 강
화할 필요가 있을 것이다.

IV. 토의 및 결론

본 연구는 전라북도에 위치한 구량천 유역을 사례 지
역으로 환경부 다중시기 토지피복도를 활용하여 토지피
복 변화 탐지를 수행하고, 그 변화 지역의 정확도를 정량
적으로 평가하였다. 아울러 탐지된 토지피복 변화 유형
중 실제와 크게 다르게 나타난 유형들을 식별하고 그 원
인을 분석하였다.

그 결과 구량천 유역에서 환경부 토지피복도의 전반
적인 정확도는 2000년에 44.2%였으며, 2009년에 84.4%
였다. 2000년 토지피복도의 정확도가 현저히 낮기 때문
에 이를 토대로 한 토지피복 변화 지역 탐지 결과의 전반
적인 정확도 역시 약 33%로 현저히 낮게 나타나고 있었
다. 2000년 토지피복도에서 발생한 대표적인 오류 사례
를 분석한 결과 오류의 유형을 크게 두 가지 즉, 기하보
정 및 정사보정에서의 정확도 결여와 오분류의 영향으
로 나눌 수 있었다.

첫 번째 오류 유형은 위성영상의 전처리 과정에서 발
생한 정확도 결여가 2000년 토지피복도에서 나타난 결
과이며, 특히 시가화·건조지역 중 도로(교통지역)에서
주로 발생하고 있었다. 이는 시가화·건조지역이 농업
지역 또는 산림지역 등으로 변화되는 지역이 발생하는
직접적인 원인을 제공하고 있었다. 본 연구에서 시가
화·건조지역이 농업지역, 산림지역, 초지 등으로 변한
지역의 전반적인 정확도는 1.9%로 매우 낮게 나타났으
며, 이를 통해 그 변화가 실제로는 일어나지 않은 비현실
적인 토지피복 변화라는 것을 알 수 있었다.

두 번째 오류 유형인 오분류는 하도 내에 분포한 사력
퇴의 오분류와 초지의 오분류에서 두드러지게 나타나고

있었다. 2000년 토지피복도에서 사력퇴는 나지 또는 농
업지역으로 오분류되었으며 이는 나지가 습지로 변하거
나 농업지역이 습지로 변한 지역이 있는 것처럼 토지피
복 변화를 왜곡하고 있었다. 아울러 본 연구에서는 농업
지역 또는 하도 내 사력퇴 습지 등이 일시적으로 초지로
오분류되는 사례를 다수 발견하였다. 정확한 분류가 쉽
지 않은 초지의 오분류는 2000년 뿐 아니라 2009년의 토
지피복도에서도 나타나고 있었으며, 두 시기 모두에서
전반적인 정확도를 감소시키는 원인이었다.

따라서 추후 환경부에서 토지피복도를 제작·배포하
고 있어서 그 정확도를 향상시키기 위해서는 원시자료
인 원격탐사자료의 전처리 정확도를 높일 필요가 있다.
아울러 오분류 가능성이 높은 지역, 특히 초지로 분류된
지역에 대한 현장 답사 및 검증을 통해 오분류 가능성을
낮춰야 할 것으로 판단된다.

현재 환경부와 국토해양부는 환경계획과 개발계획의
연동을 통한 조화로운 국토의 이용을 위해 기초 지자체
단위에서의 환경계획 수립을 법제화 하려 하고 있다. 따
라서 공공기관에서 제작·배포하는 토지피복도의 활용도
도 더욱 증가할 것으로 여겨진다. 따라서 대도시, 중소
규모 도시, 시골지역 등과 같이 토지피복의 구성이 이질
적인 지역을 대상으로 토지피복도의 정확도를 평가할
필요도 있을 것으로 판단된다.

註

- 1) 환경부(2004)에 의하면 연구지역의 중분류 토지피
복도는 2002년과 2009년에 제작되었다. 2002년에
제작된 토지피복도는 2000년에 촬영된 IRS-1D(공
간해상도 5m) 영상과 같은 해 촬영된 IKONOS(1m)
영상(부분적으로 사용) 그리고 1999년에 촬영된
Landsat ETM+(30m) 영상을 활용하여 제작되었
다. 환경부 2009년 토지피복도는 2008년부터
2009년에 촬영된 아리랑2호(1m) 영상을 활용하여
제작되었다. 이에 본 연구에서는 두 자료를 각각
2000년과 2009년 토지피복도로 명명하였다.
- 2) 환경부훈령 제1036호(2013. 4. 19. 제정), 토지피복
지도 작성 지침의 제2장 제7조에서는 대분류를 시
가화·건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지,
나지, 수역의 7개 항목으로 한다고 명시하고 있다.
- 3) Daum 지도 서비스에서는 연구지역에 대해 2008년

과 2010년의 항공사진을 제공하고 있다. 본 연구에서 검증지점의 2008년과 2010년 항공사진을 비교한 결과, 그 사이에 대체로 토지피복에 변화가 없었다는 것을 확인하였다. 이에 본 연구는 2009년 토지피복도의 검증자료로 2010년 항공사진을 활용하였다. 다만 몇몇 검증지점에 대해서는 2008년과 2010년 항공사진을 비교·검토하여 검증을 수행하였다.

- 4) QGIS 2.2는 국내의 다양한 포털의 지도서비스를 이용할 수 있는 플러그인을 제공하고 있어 벡터 형태 토지피복도 자료의 검증에 유용하게 활용할 수 있다.
- 5) 변화면적이 10m² 미만인 지역은 폴리곤 벡터 형태의 자료를 비교하는 과정에서 경계지역의 불일치로 인해 발생한 지역으로 간주하고 본 연구에서는 분석대상에서 제외하였다.

참고문헌

구자용, 2011, “해상도별 위성영상을 이용한 체계적 토지 피복 분류에 관한 연구,” 국토지리학회지, 45(3), 375-386.

김만규, 2008, “충청도 병천천 유역에 대한 ‘물리결정 물수지 모델-BROOK90’의 지형, 식생, 토양 parameter 획득 연구와 a priori simulation 결과 해석,” 한국지형학회지, 15(1), 37-52.

김용민·박완용·어양담·김용일, 2010, “다중센서와 GIS 자료를 이용한 접근 불능 지역의 토지피복 분류,” 한국측량학회지, 28(5), 493-504.

김장수·장동호·김찬수, 2013, “해수면 상승에 따른 침수 취약지의 토지피복 변화 예측 - 태안군을 사례로 -,” 한국사진지리학회지, 23(4), 205-222.

김현옥·염종민, 2012, “농촌지역 토지피복분류를 위한 객체기반 영상분석기법 연구,” 한국지리정보학회지, 15(4), 26-41.

박정재·구자용·김병선, 2007, “위성영상을 이용한 중분류 토지피복도의 제작과정 개선,” 한국GIS학회지, 15(1), 67-80.

박종철, 2009, “환경변화가 구랑천 유역의 물수지에 미치는 영향 예측,” 한국지형학회지, 16(3), 113-126.

박종철·김만규, 2010, “시계열 자료를 활용한 야산의 토지 이용 변화 분석,” 한국지리정보학회지, 13(3), 102-118.

박종철·김장수, 2014, “토지피복 변화탐지에서 국가 토지 피복도의 활용과 한계: 충청남도를 사례로,” 한국사진지리학회지, 24(1), 19-34.

박종철·이지수·서애숙·김만규, 2013, “국지적 규모의 도시화율과 극한기후지수와의 상관성,” 기후연구, 8(3), 185-201.

이경주, 2013, “공간통계지수를 이용한 외연적 도시 확장 과정의 시공간 패턴과찰에 관한 연구: 미국 버펄로 지역을 중심으로,” 한국지도학회지, 13(1), 155-165.

이상일·김감영, 2007, “GIS-기반 대시메트릭 매핑(dasymeric mapping) 기법을 이용한 서울시 인구밀도 분포의 재현,” 한국지도학회지, 7(2), 53-67.

장동호·박노욱·지광훈·김만규, Chung, Chang-Jo., 2004, “GIS 기반 베이지안 예측모델을 이용한 보은지역의 산사태 취약성 분석,” 한국지형학회지, 11(3), 13-23.

장호, 1981, “무주군 안성분지의 지형발달,” 사대논문집, 7, 45-54.

정재준, 2010, “국토 모니터링을 위한 지표설정과 방법론 개발에 관한 연구,” 한국지도학회지, 10(1), 65-74.

정재준·이수현, 2010, “서울의 도시 지역 변화 탐지를 위한 식생지수의 활용,” 한국지도학회지, 10(2), 79-90.

차상인·장동호, 2012, “원격탐사자료와 GIS 공간자료를 활용한 서산시 토지피복 변화 예측에 관한 연구,” 한국사진지리학회지, 22(3), 183-198.

한승희, 2008, “행정중심복합도시 재해경감대책을 위한 토지피복분류,” 한국방재학회 논문집, 8(5), 77-83.

Fisher, P. and Unwin, D. eds., 2005, *Re-presenting GIS*, Chichester: Wiley.

Jensen, J.R., 2005, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.

Wickham, J.D., Stehman, S.V., Gass, L., Dewitz, J., Fry, J.A., and Wade, T.G., 2013, Accuracy assessment of NLCD 2006 land cover and impervious surface, *Remote Sensing of Environment*, 130, 294-304.

국가수자원관리종합정보시스템, <http://www.wamis.go.kr>.

환경부, <http://egis.me.go.kr>.

Daum 지도 서비스, <http://map.daum.net>.
USGS, <http://landcover.usgs.gov>.
QGIS, <http://www.qgis.org>.

교신 : 김장수, 404-708, 인천광역시 서구 환경로 42, 국립환경과학원 자연환경연구과(이메일: matra99@korea.kr)

Correspondence : Jangsoo Kim, Natural Environment Research Division, National Institute of Environmental Research, 42 Hwangyong-ro, Seogu, Incheon 404-708, Republic of Korea (Email: matra99@korea.kr)

투 고 일: 2014년 3월 27일

심사완료일: 2014년 4월 8일

투고확정일: 2014년 4월 12일