

고지도의 왜곡 양상에 대한 GIS-기반 연구: 대동여지도를 사례로 한 시론적 분석

이상일* · 조대현**

A GIS-based Analysis on Geometric Distortions in Historical Maps: A Preliminary Case Study of *Daedongyeojido* ('The Great Map of Korea')

Sang-Il Lee* · Daeheon Cho**

요약 : 본 논문의 연구 목적은 대동여지도의 평면기하 정확성에 대한 GIS적 접근을 통해 대동여지도의 도법과 축척에 대한 하나의 해답을 제시하는 것이다. MapAnalyst를 활용한 분석은 크게 전역적 분석과 국지적 분석으로 나뉘어 수행되었다. 전역적 분석의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 대동여지도의 전역적 축척은 대략 1:158,000~1:162,000 정도인 것으로 분석되었다. 둘째, 회전각은 2~3° 정도인 것으로 드러났는데, 정거원통도법이 가장 작은 회전 왜곡도를 보여주었다. 셋째, 위치 정확도의 측면에서 대동여지도의 도법은 정형원통도법에 가장 근접한 것으로 드러났다. 정형원통도법과 정거방위도법에 대해 국지적 분석이 실시되었는데, 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 전위 벡터와 왜곡 그리드 지도를 살펴본 결과, 가장 왜곡이 심한 곳은 북부 국경 지역으로 나타났다. 둘째, 축척 등치선을 살펴본 결과, 서울을 중심으로 한 중부 지역에서 1:170,000~1:175,000 정도의 축척이 나타나고, 그것으로부터 남북 방향으로 멀어질수록 보다 대축적으로 표현되며, 동서 말단부에서는 보다 소축적으로 표현되어 있다. 셋째, 회전 등치선을 살펴본 결과, 중강진을 중심으로 서부는 서쪽으로 심대하게 회전해 있고, 동부는 동쪽으로 심대하게 회전해 있는 것으로 드러났다. 시론적 연구의 한계를 벗어나기 위해서는 통제 지점 수의 증대, 투영법에 대한 보다 정확한 추정, 국지적 분석을 위한 방법론적 진보 등이 요구된다.

주요어 : 평면기하 정확성, 대동여지도, MapAnalyst, 전위 벡터, 왜곡 그리드, 축척 등치선, 회전 등치선

Abstract : This study aims at providing a set of viable answers regarding the projection and cartographic scale of *Daedongyeojido* through a GIS-based planimetric accuracy analysis. Both global and local analyses were undertaken in the use of an analytical tool, MapAnalyst. The main results from the global analysis are threefold. First, the overall cartographic scale turned out to be between 1:158,000 and 1:162,000. Second, the rotation angles were between 2° and 3°, and the equidistant cylindrical projection reported the smallest value. Third, in terms of position accuracy, the conformal cylindrical projection showed a best fit to the map. A local analysis was undertaken for the conformal cylindrical and equidistant azimuthal projections and its main results are threefold. First, the largest distortions in terms of the displacement vectors and distortion grid were found in the northern borderlands. Second, from the isoline maps of scales, it was acknowledged that local scales between 1:170,000 and 1:175,000 were found around the middle part of the Korean peninsula centered on Seoul. As away from the region to the north-south

이 논문은 2013년 서울대학교 교육종합연구원 지원금에 의하여 연구되었음. 내용의 일부는 2013년 지리학회에서 발표되었음.

* 서울대학교 지리교육과 교수(Professor, Department of Geography Education, Seoul National University), si_lee@snu.ac.kr

** 서울대학교 박사후연구원, 서울대학교 BK21플러스 4-Zero 지향 국토공간창조 사업단(Post Doctoral Fellow, BK21 Plus for Geography department(4-Zero Land Space Creation group), Seoul National University), dhcho@gmail.com

direction, increasingly larger scales were distributed, while the smallest ones were found in the western and eastern edges of the peninsula. Third, from the isoline maps of rotation, it was known that areas west of a northernmost city (*Junggangjin*) were substantially rotated to the west, while ones east of it to the east. For a more sophisticated analysis, some need to be done to have a larger set of control points, a better way of postulating the map projection, and a more advanced set of techniques for a local analysis.

Key Words : planimetric accuracy, *Daedongyeojido* ('The Great Map of Korea'), MapAnalyst, displacement vectors, distortion grid, isolines of scale, isolines of rotation

1. 서론

현행의 학문 구획에서 보면 고지도 연구는 매우 흥미로운 위치를 점하고 있다. 고지도 역시 지도라는 사실을 감안하면 고지도 연구에 많은 현대 지도학자들이 가담하고 있을 것으로 생각하기 쉽지만, 실질적으로 고지도 연구는 문화역사지리학과 지도역사학(cartographic history)의 전유물로, 현대 지도학과 연계성은 미약하기 그지없다(Lloyd and Lilley, 2009). 즉, 고지도 연구자는 지도학자들이라기 보다는 주로 문화역사지리학자이거나 역사학자들인 것이다. 그런데 최근 GIS(geographic information science, 지리정보과학)의 성장으로 현대 지도학의 성격과 인적 구성이 변화함에 따라 고지도를 둘러싼 연구자 그룹 간의 구도에 변화가 발생하고 있다. 즉, 현대 지도학과 고지도 연구 간의 소통은 매우 미약했지만, 최근 GIS와 고지도 연구 간의 접목은 제법 활발하게 이루어지고 있는 것이다.

GIS와 고지도 연구 간의 접목에서 가장 중요한 것은 최근 각광을 받고 있는 '역사 GIS(historical GIS)' 분야일 것이다(Plewe, 2002; Gregory and Healey, 2007; Gregory and Ell, 2007). 역사 GIS의 이점은 크게 세 가지로 요약되는데(Gregory *et al.*, 2002; Gregory and Healey, 2007), 데이터베이스화, 시각화, 공간 분석이 그것들이다. 이들 중 데이터베이스의 구축과 보급에서는 최근 많은 진전이 있었다. 영국의 GBHGIS(Great Britain Historical GIS)를 필두로, 미국, 벨기에, 네덜란드, 독일, 러시아, 캐나다, 한국 등이 2000년대 초중반에 국가 차원의 역사 GIS 데이터베이스를 구축하기 시작했다(Kim, 2005; Knowles,

2005; Gregory and Healey, 2007). 고지도를 포함한 역사 유물 혹은 사료의 디지털화 및 데이터베이스화는 그 자체로 매우 의미 있는 일일겠지만, GIS의 시각화 및 공간 분석 능력을 사용해 구축된 데이터에 새로운 가치를 부가하지 못한다면 역사 GIS의 보다 본질적인 가치는 실현되지 않은 것으로 간주되어야 할 것이다.

그런데 최근 고지도의 왜곡 양상에 대한 GIS-기반 공간 분석이 북미와 유럽을 중심으로 이루어지기 시작했다. 이러한 연구는 고지도의 '평면기하 정확성(planimetric accuracy)'을 분석하고 시각화하는 것인데, 여기서 평면기하 정확성이란 "지도 상의 확인 가능한 사상들 간의 거리와 방위가 실제 값과 일치하는 정도"를 의미한다(Jenny *et al.*, 2007; Jenny and Hurni, 2011). 다시 말해, 고지도의 기하학적 왜곡 양상에 대한 체계적인 접근이라고 말할 수 있는 것이다. 이러한 연구의 효시는 이미 1960년대 Tobler의 선구자적인 연구(1965; 1966)로 거슬러 올라가며 이후 간헐적으로 연구가 이루어지기는 했지만(Boutoura and Livieratos, 1986; Tobler, 1994), 하나의 연구 경향으로 등장한 것은 최근 10년도 되지 않는 기간 동안이다. 세계 지도사적으로 중요한 지도들에 대한 것으로 톨레미의 세계 지도(Livieratos, 2006), 마르틴 발트제뮐러(Martin Waldseemüller)의 1507년 세계 지도(Hessler, 2006), 고프 지도(Gough Map)(Lloyd and Lilley, 2009), 크리스토퍼 색스턴의 잉글랜드와 웨일스 지도(Bower, 2011) 등이 있다. 그런데 이러한 연구의 목적은 고지도가 틀렸음을 입증하려는 것이 아니라 고지도 제작의 맥락성을 보다 더 잘 이해하려는 것이라는 점은 되새길 필요가 있다(Lloyd and Lilley, 2009).

외국의 경우와 마찬가지로 우리나라의 고지도 연구 역시 지도학자가 아니라 문화역사지리학자나 역사학자들에 의해 주로 진행되어 왔다. 이러한 경향은 우리나라의 대표적인 고지도로 꼽히는 김정호의 대동여지도(1861년 목판본)에 대해서도 마찬가지이다. 예를 들어, 2011년에 개최된 대동여지도 150주년 기념 종합학술대회에는 현대 지도학이나 GIS를 전공한 학자의 발표는 찾을 수가 없다(대동여지도 150주년 기념 학술사업 준비위원회, 2011). 또한 우리나라의 역사 GIS 연구는 특히 데이터베이스 구축에 집중되어 있는 경향이 강하다. 현재 다양한 기관에서 다양한 역사 관련 데이터베이스 구축 사업을 진행하고 있고(김종혁, 2013; 유애령·정부매, 2013; 윤병남, 2013; 허태구·임한수, 2013), 이러한 사업의 일부분으로서 고지도에 대한 디지털화가 진행되고 있다. 그러므로 GIS를 이용한 고지도의 시각화나 공간 분석은 상대적으로 매우 빈약한 수준에 있다고 할 수 있다. 따라서 본 연구의 기본적인 의도는 고지도의 왜곡 양상에 대한 GIS-기반 공간 분석을 행함으로써 우리나라 고지도 연구에 새로운 통찰력을 제공하고 고지도 연구의 영역을 확대하는 데 도움을 주고자 하는 것이다. 고지도 연구에 GIS의 시각화 및 공간 분석 능력을 적용함으로써 고지도 연구의 질문들에 대한 새로운 해답을 제시하거나, 고지도를 바라보는 새로운 시각을 소개하거나, 고지도 연구의 새로운 질문을 제시할 수 있을 것이다.

배우성(2006)은 대동여지도와 관련된 연구 쟁점과 과제를 다섯 가지로 정리한 바 있는데, 그것들 각각은 지리지와 지도의 관계, 대동여지도의 계보, 실측 여부를 둘러싼 논란, 도법과 작도과정, 축척이다. 본 연구는 이들 중 도법과 축척에 대해 GIS적 관점의 해답을 제시하고자 한다. 투영법에 대해서는 특정한 투영법이 적용되지 않았다는 입장(이우형, 1990; 원경렬, 1991a; 원경렬, 1991b; 한균형, 1994; 이기봉, 2003)과 특정한 투영법이 적용되었다는 주장(이찬, 1968; 박관섭, 1978; 김상수, 1989; 김두일, 1994a)이 갈린다. 투영법이 적용되었다는 주장도 등장방향 도법, 심사 도법, 메르카토르 도법, 횡축 메르카토르 도법 등 다양한 투영법이 후보로 제안되고 있다. 축척에 대

해서는, 크게 보면 1:160,000~1:170,000 정도라는 주장(이찬, 1968; 김상수, 1989; 원경렬, 1991a; 원경렬, 1991b; 한균형, 1994; 전상운, 1995)과 1:200,000 보다 소축척이라는 주장(성남해, 1985; 2000; 2001; 이우형, 1990)으로 갈린다. 이러한 대동여지도의 도법과 축척에 대한 연구는 크게 두 부류로 나뉘어진다. 하나는 사료 분석적 접근이고 또 다른 하나는 지도학적 혹은 측지학적 접근인데, 후자는 본 연구가 추구하는 접근법과 유사한 것이다(김상수, 1988; 1989; 김두일, 1994a; 1994b). 특히 김두일의 연구는 앞에서 언급한 평면기하 정확성 연구의 효시에 해당하는 Tobler의 방법을 적용한 것으로 본 연구를 위한 많은 시사점을 제공하고 있다.

따라서 본 논문의 연구 목적은 대동여지도의 평면기하 정확성에 대한 GIS적 접근을 통해 대동여지도의 도법과 축척과 관련된 쟁점에서 하나의 해답을 제시하는 것이다. 이를 위해 우선 대동여지도의 도법과 축척과 관련된 논란에 대해 정리하고, 평면기하 정확성 평가 방법론을 좌표 변환을 중심으로 정리하고자 한다. 그리고 나서 MapAnalyst 분석 도구(Jenny, 2006; Jenny *et al.*, 2007; Jenny and Hurni, 2011)를 이용하여 대동여지도에 대한 공간 분석을 실시하고 그 결과를 제시하고자 한다.

2. 대동여지도의 도법과 축척에 관한 논란

1) 도법에 관한 논란

대동여지도의 도법에 대한 최초의 언급은 이찬의 연구에 나타나 있는데, 북쪽으로 갈수록 지도의 동서 길이가 실제보다 넓어지는 일종의 등장방향 도법(rectangular projection 혹은 Plate Carrée)이라는 주장이다(이찬, 1968; 배우성, 2006에서 재인용). 이러한 주장의 근거는 대동여지도에 10리 단위의 방안이 그려져 있기 때문인 것으로 보인다. 두 번째는 박관섭(1978)의 연구이다. 박관섭은 대동여지도가 심사 도

법과 방안 도법을 결합한 독창적인 도법을 통해 제작되었다고 주장하고 있다. 심사 도법이라고 판단한 것은 청구도 범례에 보이는 지도식(地圖式)에 고을을 중심으로 여러 개의 동심원이 그려져 있는 것에서 추정할 것으로 보이며, 방안 도법이라고 판단한 것은 이찬의 경우와 마찬가지로 10리 단위의 경위선망이 표시된 것에 근거한 것으로 보인다. 그러나 이 두 연구는 현대의 지도학적 지식에 기초하면 오류가 있는 것으로 판단된다. 경위선 방안은 현대적인 의미의 경위선망과는 아무런 관련이 없으며 단지 거리의 정확성 혹은 거리 환산의 편의를 위한 눈금선에 불과하다는 주장(오상학, 2001, 53; 이기봉, 2011, 30)이 훨씬 더 설득력이 있다. 현대적인 의미에서 보자면 대동여지도 상의 방안은 투영된 경위선망을 의미하는 그라티쿨(graticule)이 아니라 평면직각좌표계의 눈금망을 의미하는 그리드(grid)의 의미를 가지는 것으로 보아야 한다. 심사 도법의 근거가 된 지도식 역시 지도 제작을 위해 그려진 것이 아니라 지도 교정을 도와주기 위해 그려진 것으로 해석하는 것(이기봉, 2011, 116)이 훨씬 더 설득력이 있어 보인다.

위의 두 연구가 주로 사료 분석적 접근에 의한 것이라면, 김상수(1988; 1989)와 김두일(1994a; 1994b)의 연구는 지도학적 혹은 측지학적 접근이다. 우선 김상수는 현대 지도와 대동여지도를 비교한 결과를 바탕으로 메르카토르 도법이 대동여지도의 도법인 것으로 판단하였다. 김두일의 연구는 한 차원 더 진일보한 것인데, Tobler의 '이차원 회귀분석(Bidimensional Regression, BDR)'을 이용하였다. 분석 결과 횡축 메르카토르 도법과의 일치도가 매우 높은 것으로 결론지었다. 이 두 연구는 앞 선 두 연구에 비해 훨씬 더 과학적인 접근 방법을 취했음에도 불구하고 여전히 많은 한계를 가지고 있다. 우선 다양한 후보 도법이 고려되지 못했다. 김상수의 경우는 메르카토르 도법과 북위 38° 부근을 투영 원점으로 하는 일종의 사측 메르카토르 도법 두 개만을 비교하여 전자의 일치도가 더 높다고 주장하였다. 김두일 역시 메르카토르 도법과 횡축 메르카토르 도법 두 개만을 비교하였다. 둘째, 두 연구의 결과는 역으로 특정한 도법이 일면적으로 적용된 것이 아니라는 점을 보여주고 있기도 하다.

김상수는 부합도의 지역적 편차가 상당함을 보고하였다. 또한 김두일의 잔차 벡터 지도에도 도법이 보여주는 체계적인 왜곡의 패턴이 전혀 나타나 있지 않다.

도법에 대한 네 가지 연구를 검토한 결과 다음과 같은 결론에 도달했다. 첫째, 김정호가 대동여지도를 제작한 방법은 분명히 존재했겠지만(예를 들어 이우형(1990)의 설명 참조), 그것이 현대적인 의미에서의 특정한 도법의 적용과 같은 방식으로 이루어진 것은 아니라고 보는 것이 타당할 것으로 판단된다(원경렬, 1991; 한균형, 1994; 이기봉, 2003). 따라서 김정호가 어떤 투영법을 염두에 두고 대동여지도를 제작했는가와 같은 질문은 성립하기 어렵다. 둘째, 그럼에도 불구하고, 대동여지도가 결과적으로 어떤 투영법과 가장 유사한가 라는 질문은 여전히 의미 있는 것이다. 왜냐하면 그것이 대동여지도의 전반적인 왜곡 양상을 요약적으로 나타내 주기 때문이다. 그리고 더 나아가 대동여지도 제작의 맥락성을 해석하는 데도 도움을 줄 수 있을 것이다.

2) 축척에 관한 논란

대동여지도의 축척에 대한 연구 역시 사료 분석적 접근과 지도학적 혹은 측지학적 접근으로 나뉜다. 사료 분석적 접근을 통해 대동여지도의 축척에 대한 표준적인 견해를 제시한 사람은 이찬이다. 그에 의하면 대동여지도의 축척은 1:160,000이다(이찬, 1968; 배우성, 2006에서 재인용). 대동여지도의 한 첩은 가로가 20cm, 세로가 30cm인데, 김정호는 그것이 각각 80리, 120리를 나타낸다고 밝히고 있다(이기봉, 2011, 224). 널리 알려져 있는 10리가 4km라는 공식을 대입하면, 가로는 32km가 20cm로, 세로는 48km가 30cm로 축소된 것이니 축척은 1:160,000이라는 것이다. 문헌 연구를 통해 이와는 다른 견해를 보인 연구가 뒤를 잇는다. 우선 전상운(1995)은 대동지지에 나타난 '3,600보=10리'라는 것에 기반하여 10리는 4km가 아니라 약 4.47~4.58km이며, 따라서 대동여지도의 축척은 1:166,000~1:168,000이라는 견해를 제시하였다(배우성, 2006에서 재인용). 성남해(1985; 2000; 2001)는 대동지지에 나타난 '1도=200리'설을 근거

로 10리는 5.5km이며, 따라서 대동여지도의 축척은 1:216,000이라고 주장했다. 이상태(1999; 2009)도 10리=4km 개념은 일제의 토지 측량 사업의 거리 개념임을 들어 성남해의 주장에 동조하는 입장을 피력하였다.

위의 주장들이 주로 10리가 현재의 길이로 환산하면 얼마가 되느냐에 기반을 두고 있다면, 다음의 연구들은 실 계산을 통해 대동여지도의 축척을 파악하고자 했다. 김상수(1988; 1989)는 현대 지도와 대동여지도의 면적 비교를 통해 대동여지도의 축척이 1:166,000~1:168,000이라고 보고하였다. 원경렬은 정확히 만나는 두 지점(동해안의 고성군 현내면 장평리와 서해안의 인천부 신현 남쪽의 해안선)에 대해 실제 거리와 대동여지도 상의 거리를 비교하여 1:165,589.1이라는 축척을 얻었다. 한균형은 남북과 동서 방향으로 여러 개의 구간을 설정하여 실 거리와 대동여지도 상의 거리를 비교한 결과 전체적으로는 1:164,000, 동서 방향으로는 1:156,944, 남북 방향으로는 1:169,620이 축척인 것으로 제시하였다.

앞의 연구들을 살펴보면 두 가지 질문이 혼재해 있음을 알 수 있다. 하나의 질문은 “김정호가 어떤 축척으로 대동여지도를 제작하려고 했는가?”이고 또 다른 질문은 “대동여지도의 실질적인 축척은 얼마인가?”이다. 전자의 질문에 대해서라면 사료 분석적 접근에서 논란이 되고 있는 10리가 현재의 몇 km를 의미하는가라는 질문이 의미를 가지며 그것에 근거한 축척이 중요할 수 있다. 그러나 두 번째 질문에 대해서라면 GIS의 관점에서 보면 논란의 여지는 별로 없다. 왜냐하면 축척은 단순히 축소율을 의미하기 때문에 실제 거리와 지도상의 거리를 비교하면 간단히 해결되기 때문이다. 목판본 대동여지도를 모두 붙이면 남북이 약 6.6m로 나타난다고 하는데(이기봉, 2011), 한반도의 남북 길이를 약 10°, 즉 1,100km로 간주하면 축척은 1:168,182로 간단히 계산된다. 이렇게 보면 축척은 1:160,000~1:170,000의 값을 가질 것으로 보이며, 1:216,000이라는 주장은 근거가 희박하다(원경렬, 1991; 오상학, 2001).

축척에 대한 기존 연구는 축척 개념의 중요한 측면을 망각하고 있다. 현대의 과학적인 지도라 하더라도

모든 지점에서 모든 방향으로 동일한 축척을 갖는 지도는 존재하지 않는다. 실질적으로 축척은 지도상에서 ‘분포’한다. 표준 축척은 투영의 표준점이나 표준선 상에서 특정한 방향으로만 적용될 수 있는 것으로 표준점이나 표준선에서 멀어지면 축척은 변화한다. 이러한 ‘국지적 축척’ 개념의 중요성은 고지도 연구에서 훨씬 더 중요하다. 왜냐하면 대동여지도처럼 많은 고지도가 편찬도이고, 따라서 원천에 따라 서로 다른 축척을 가진 지도들이 결합되었을 것이기 때문이다. 축척을 맞추기 위한 노력이 있었겠지만 모든 부분이 동일한 축척 정확도로 제작되었을 것인지에 대해서는 여전히 의문이다. 따라서 고지도 연구에서 축척의 문제는 표준 축척을 도출하는 것보다 축척의 지역적 분포를 탐색하는 것이 훨씬 더 중요한 과업일 수 있다.

3. 연구 방법

1) 고지도 평면기하 정확성 평가

고지도에 대한 지도학적 분석의 주요 목적 중의 하나는 고지도의 평면기하 정확성을 평가하는 것이다(Jenny, 2006). 따라서, 여기서는 고지도의 평면기하 정확성을 분석하고 시각화하는 디지털적 방법에 집중한다. 평면기하 정확성을 ‘측지 정확성(geodetic accuracy)’과 구별하는 것은 매우 중요하다. 측지 정확성은 지구타원체, 투영법, 중앙 경선과 같은 지도의 수학적 토대 상에서의 정확성을 의미한다(Jenny and Hurni, 2011). 이에 반해 평면기하 정확성은 “지도 상의 확인 가능한 사상들 간의 거리와 방위가 실제 값과 일치하는 정도”로 정의된다(Jenny, 2006; Jenny *et al.*, 2007; Jenny and Hurni, 2011). 따라서 평면기하 정확성은 “사상들 간의 위치, 거리, 면적, 각도에 대해 실제와 지도를 비교함으로써 결정된다.”(Jenny and Hurni, 2011). 이를 고지도의 평면기하 정확성을 평가하는 상황과 연결 지어 설명하면 다음과 같다. 우선 현대 지도와 고지도 모두에서 확인 가능한 공동의 통

제 지점(control points)을 선정한다. 그리고 나서 현대 지도와 고지도가 동일한 평면직각좌표계를 가지도록 변환한다. 주로 현대 지도의 좌표계를 고지도의 좌표계로 전환한다. 그리고 나서 현대 지도와 고지도를 통제 지점의 일치도라는 관점에서 비교한다. 만일 통제 지점이 정확히 일치한다면 고지도의 평면기하 정확도는 완벽하다고 할 수 있다. 일반적으로 통제 지점 사이에 불일치가 발생할 것이고, 이 불일치에 대한 다양한 측도를 계산하고, 그것을 시각화할 수 있다.

앞에서 서술한 고지도의 평면기하 정확성의 평가 과정에서 핵심적인 부분은 준거가 되는 현대 지도와 고지도의 좌표계를 일치시키는 것이다. 보다 정확히 말하면 현대 지도의 좌표계를 고지도의 좌표계로 전환하는 것인데, 이러한 좌표계의 전환은 일련의 ‘기하 변환(geometric transformation)’을 통해 이루어진다(Jenny and Hurni, 2011). 주로 상사 변환(similarity transformation)과 아핀 변환(affine transformation)이 사용되는데, 뒤에서 보다 자세히 다루도록 한다. 기하 변환의 결과로 도출되는 파라미터를 이용하면 고지도의 다양한 왜곡 양상을 보여줄 수 있는 시각화의 원천 정보를 획득할 수 있다. 평면기하 정확성의 시각화는 ‘회전(rotation), 전단(shearing), 축소(shrinkage), 확대(stretching)와 같은 왜곡 양상이 지도 상에서 다양하게 드러나는 것을 표현하는 것이다.’(Jenny et al., 2007). 이러한 시각화는 고지도의 왜곡 양상에 대한 연구 결과를 제시하는 뛰어난 수단일 뿐만 아니라 고지도에 대한 새로운 사실을 발견하거나 이해하는 것을 돕는다(Jenny and Hurni, 2011). 우선 기하 변환에 대해 살펴보고 다음에 시각화 기법에 대해 살펴보도록 한다.

좌표 변환(coordinate transformation)은 하나의 좌표계에 의거한 좌표 값을 다른 좌표계에 의거한 좌표 값으로 전환하는 것이다. 좌표 변환은 ‘기하 변환(geometric transformation)’이라고 하는데, 이 경우 기하 변환은 “한 세트의 통제 지점들과 변환 방정식을 이용하여 디지털이징된 지도, 인공위성 영상, 혹은 항공사진을 투영된 좌표계로 등록하는 과정을 의미한다”(Chang, 2012). 그러나 이것은 협의의 정의로, 좌표 변환은 모두 지오레퍼런싱(georeferencing)이라

고 하는 보다 넓은 개념과 연결되어 있다. 지오레퍼런싱은 “정보에 (지표상의) 위치를 할당하는 작업”(이상 일 등 역, 2009, 130) 혹은 “사상을 2차원 혹은 3차원 공간 상에 위치시키는 것”(Bernhardsen, 2002, 112)이라고 정의할 수 있다. 지오레퍼런싱은 데이터, 지도 투영법, 좌표계와 관련되어 있는데(Bernhardsen, 2002, 6), 여기서는 바로 좌표계에 보다 초점을 맞춘다. 서로 다른 지리정보들 간의 지오레퍼런싱에서 가장 흔하게 벌어지는 과제가 바로 좌표 변환이고, 주로 다음의 세 가지 상황과 연관된다. 첫째, 종이 지도를 디지털이징 하는 경우로, 디지털이저에 의거한 좌표 값을 지도 상의 좌표 값으로 변환할 필요가 있다. 인공위성 영상이나 스캐닝된 지도의 이미지 좌표를 실 지도 상의 좌표로 전환하는 경우이다. 특히 이것을 영상 보정(image rectification) 혹은 영상 등록(image registration)이라고 한다(Lo and Yeung, 2007). 마지막은 데이터나 투영법의 차이 등에 의해 좌표계를 달리하는 두 지도 간에 좌표계를 일치시키는 경우이다. 이것은 데이터 간의 전환을 의미하는 데이터 변환(datum transformation)과는 다른 것으로, 두 평면 좌표계간의 호환성(compatibility) 문제를 다룬다(Iliffe, 2000, 95).

이 중 세 번째 과제가 본 연구와 관련되어 있다. 통상적으로 지도의 좌표계는 평면직각좌표계이므로, 이 때의 좌표 변환은 ‘평면 변환(plane transformation)’이 된다(Iliffe, 2000, 98). 평면 변환은 다시 선형 변환(linear transformation)과 비선형 변환(non-linear transformation)으로 나누어지는데, 여기서는 선형 변환에 집중하고자 한다. 선형 변환의 종류는 통상적으로 등적 변환(equiarea transformation), 상사 변환(similarity transformation), 아핀 변환(affine transformation), 사형 변환(projective transformation), 위상 변환(topological transformation)이 있다(Chang, 2012). 다양한 변환 방식은 네 가지 변환의 속성이 발생하는지의 여부에 달려있다. 네 가지 변환의 속성은 위치 변동을 의미하는 ‘전위(translation)’, 방향의 변화를 의미하는 ‘회전(rotation)’, 축척의 변화를 의미하는 ‘스케일링(scaling)’, 형태의 변화를 의미하는 ‘왜상(skew)’이 있다. 이 중에서 상사 변환과 아핀 변환이

가장 널리 사용되므로 여기에 초점을 맞추고자 한다.

상사 변환은 등형 변환(conformal transformation) 혹은 헬머트 변환(Helmert transformation) 혹은 유클리드 변환(Euclidian transformation)이라고 한다(Lo and Yeung, 2007, 28). 상사 변환은 앞에서 언급한 네 가지 변환 속성 중 앞의 세 가지, 즉 전위, 회전, 스케일링이 발생한다. 상사 변환은 다음의 수식을 통해 제시된다(Iliffe, 2000, 99).

$$X=ax-by+c$$

$$Y=bx+ay+d$$

여기서 x 와 y 는 변환 이전의 좌표 값을 의미하고, X 와 Y 는 변환 이후의 좌표 값을 의미한다. 본 연구의 맥락에서 보면, 전자는 현대 준거 지도 상의 좌표 값이고, 후자는 고지도 상의 좌표 값이다. $a\sim d$ 는 변환 파라미터인데, 이 값을 추정하기 위해서는 최소한 두 개의 통제점이 양 좌표계에 대해 필요하지만, 가능한 많은 수의 통제 지점이 요구된다(Lo and Yeung, 2007, 28). 상사 변환이 이루어지면, 전위, 회전, 스케일링이 발생하지만 왜상은 발생하지 않는다. 이러한 특성 때문에 ‘정사 변환(orthogonal transformation)’이라고 불리기도 한다(Lo and Yeung, 2007, 28). 추정된 파라미터를 이용하면 변형의 속성에 대한 정량적 값을 구할 수 있다(Iliffe, 2008, 114-115).

$$\text{전위: } D_x=c, D_y=d$$

$$\text{회전: } \alpha=\arctan(b/a)$$

$$\text{스케일링: } m=\sqrt{a^2+b^2}$$

아핀 변환은 상사 변환보다 좀 더 복잡하며, 축척 변화가 양 방향 모두에서 구분되어 나타날 뿐만 아니라 형태 변화와 관련된 왜상도 나타나게 된다. 아핀 변환은 다음의 공식에 의거한다(Iliffe and Lott, 2008, 116).

$$X=a_0+a_1x+a_2y$$

$$Y=b_0+b_1x+b_2y$$

상사 변환의 파라미터가 4개인데 반해, 아핀 변환의 파라미터는 6개이다. 따라서 최소한 3쌍의 좌표 값이 필요하다. 아핀 변환의 전위, 회전, 두 방향으로의 스케일링 외에 형태 혹은 각의 왜곡을 의미하는 왜상 속성도 변화시킨다. 그러나 선들의 평행성은 그대로 유지된다(Chang, 2012). 이런 특성으로 인해 아핀 변환은 ‘부등각 변환(不等角變換)’이라고 번역되기도 한다(조규전·Konecny, 2005, 181). 그런데 보다 중요하게는 이 변환은 물리적 왜곡뿐만 아니라 데이터이나 투영법의 차이에 의한 에러를 의미하는 비물리적 왜곡도 보정할 수 있다.

상사 변환과 마찬가지로 추정된 파라미터를 이용하면 변형의 속성에 대한 정량적 값을 구할 수 있다(Iliffe, 2000, 100).

$$\text{전위: } D_x=a_0, D_y=b_0$$

$$\text{회전: } \alpha=\arctan(b_1/a_1)$$

$$\text{스케일링: } m_x=\sqrt{a_1^2+b_1^2}, m_y=\sqrt{a_2^2+b_2^2}$$

$$\text{왜상: } k=\frac{a_2\cos\alpha+b_2\sin\alpha}{b_2\cos\alpha-a_2\sin\alpha}$$

여기서 D_x 는 x -축 방향의 전위, D_y 는 y -축 방향의 전위, m_x 는 x -축 방향의 축척 계수, m_y 는 y -축 방향의 축척 계수, α 는 회전각, k 는 왜상도 계수이다.

2) 분석 도구: MapAnalyst

고지도에 대한 지도학적 분석이 매우 흥미로울 뿐만 아니라 GIS의 공간 데이터 조작 능력이 빠르게 발전해 왔지만 사실 고지도를 효과적으로 다룰 수 있는 분석 도구는 매우 드물다. 이런 면에서 고지도의 평면기하 정확도를 평가하기 위해 본 연구에서 사용한 MapAnalyst(Jenny, 2006; Jenny *et al.*, 2007; Raymond, 2007; Jenny, 2010; Jenny and Hurni, 2011)는 매우 유용한 분석 도구가 된다. MapAnalyst는 사용자 친화적인 고지도 전문 분석 소프트웨어의 필요성이 커짐에 따라 ETH Zurich 대학에서 Bernhard Jenny와 Adrian Weber 등의 주도로 개발되었다(Jenny, 2006). 프로그래밍 언어로 자바(Java)를 선택함으

로써 특정 운영체제에 종속되지 않고 소프트웨어를 실행할 수 있으며, 별도의 GIS 패키지가 없어도 누구나 사용할 수 있어 MapAnalyst는 고지도에 대한 GIS 적 분석에서 가장 널리 사용되고 있는 툴로 자리잡아 가고 있다(Pearson and Heffernan, 2009; Bower, 2009; 2011; Bayer *et al.*, 2010; Tucci *et al.*, 2010; Heere, 2011).

MapAnalyst는 2005년 처음 소개된 이후 지속적으로 업그레이드 되고 있는데(Jenny, 2010), 그림 1은 MapAnalyst의 전체 화면 구성을 보여주고 있다. 화면의 중앙부에 고지도와 준거 지도를 디스플레이하는 창이 위치하는데, 각 지도 상에는 두 지도에서 동일한 지점 간에 상호 연계할 수 있는 통제 지점의 위치 또한 디스플레이 된다. 도구 톨바에서는 지도 상에서의 통제 지점 신규 입력이나 이동, 삭제 등을 위한 통제 지점 관리와 지도의 이동 및 확대, 축소, 거리 계산 등이 지원된다. 위치 정보 패널에서는 지도 상에서 마우

스 포인터의 위치가 나타내는 좌표(고지도 혹은 준거 지도)나 거리 및 각도, 국지적 축척이나 회전각의 정보가 디스플레이된다. 하단에는 분석 결과를 디스플레이하는데 사용되는 옵션을 설정하는 창과 개별 통제 지점에 대한 정보 및 분석 결과에 대한 통계 요약 을 제시하는 창이 위치하고 있다.

MapAnalyst를 통한 고지도 분석의 절차는 다음과 같다(Jenny *et al.*, 2007). 첫째, 준거가 되는 현대 지도와 고지도의 이미지가 투입된다. 둘째, 동일한 사상에 대한 두 세트의 통제 지점을 선정한다. 한 세트는 준거가 되는 현대 지도에서 추출된 것으로 정확한 것으로 간주되며, 또 다른 세트는 고지도에서 획득된 것으로 부정확한 것으로 간주된다. 셋째, 좌표 변환을 실행한다. 넷째, 고지도의 축척, 회전 등과 관련된 왜곡값에 대한 추정치가 산출되고 그것을 이용한 왜곡의 시각화가 이루어진다. 그런데 여기서 중요한 것은 일반적으로 고지도의 투영법이 알려져 있지 않기

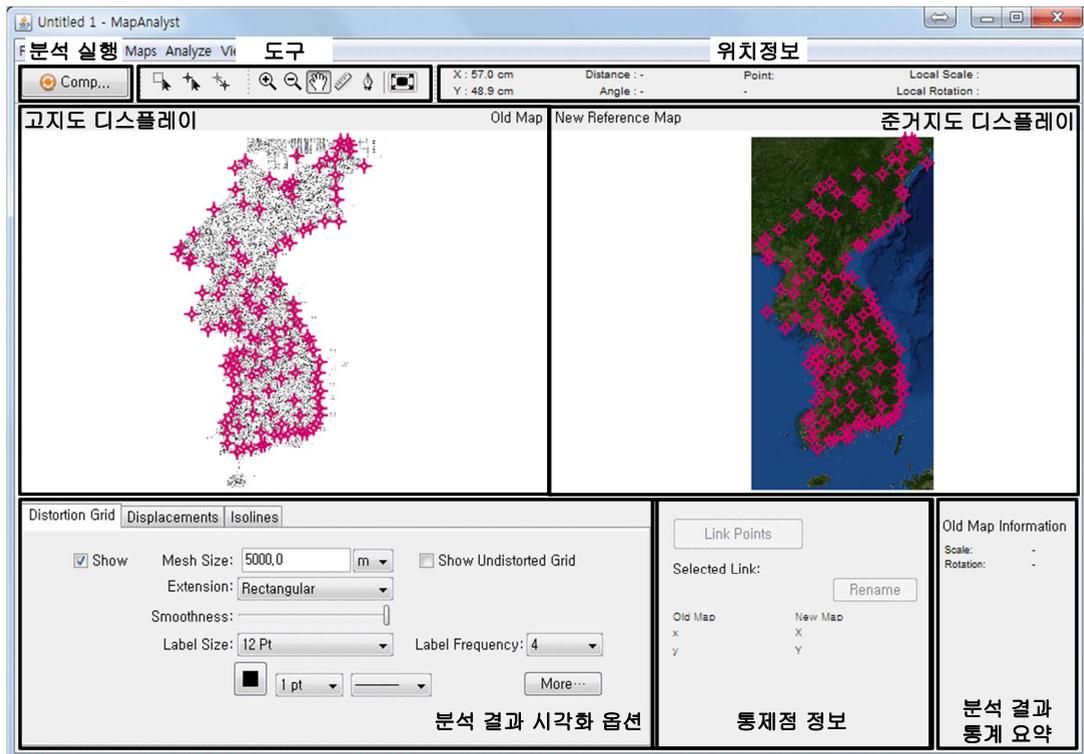


그림 1. 분석 툴인 MapAnalyst의 화면 구성

때문에 준거가 되는 현대 지도의 투영법이 우선적으로 ‘선정’되어야 한다는 것이다. 여기에는 두 가지 옵션이 있을 수 있다. 하나는 다양한 근거를 통해 특정한 투영법을 선택하여 투입하는 것이고, 또 다른 하나는 여러 후보 투영법을 투입한 결과를 비교하여 투영법을 사후에 선택하는 것이다.

MapAnalyst에서 가능한 시각화 기법은 모두 세 가지인데, 각각 ‘전위 벡터(displacement vectors)’, ‘왜곡 그리드(distortion grid)’, ‘축척과 회전에 대한 등치선(isolines of scale and rotation)’이다. 우선 전위 벡터의 “각 벡터 라인은 고지도 상의 특정한 사상의 위치(시작점)와, 고지도가 현대 준거 지도만큼 정확하다고 상정한 경우의 그 사상의 고지도 상의 위치(끝점)를 연결한다”(Jenny *et al.*, 2007). 즉, 좌표 변화된 현대 지도의 통제점과 고지도 상의 해당 통제점을 연결함으로써 얻어진다. 벡터의 길이가 길다는 것은 위치 오류가 크다는 것을 의미한다. 왜곡 그리드는 격자망에 회전, 압착, 확대와 같은 양상을 표현해 주는데, 이것은 고지도의 국지적인 형태 오류(deformation)와 회전(rotation)을 반영한다(Jenny *et al.*, 2007; Jenny & Hurni, 2011, 405). MapAnalyst는 Dieter Beineke (2001)에 의해 개발된 방법을 사용하는데, 이것은 R. L. Hardy(1971)에 의해 개발된 다중-이차 인터폴레이션(multi-quadratic interpolation) 기법에 기반하고 있다. Tobler(1966; 1994)는 다른 방식을 제안했으며, 앞의 김두일의 연구에서 사용되었다. Livieratos (2006)는 이것과 다른 독자적인 방법을 고안하기도 했다.

첫 번째 단계에서는 전위 벡터가 계산되고, 그것이 다중-이차 인터폴레이션의 파라미터로 사용된다. 그리고 다중-이차 인터폴레이션은 지도 상의 임의의 지점들에 대한 전위 벡터를 추정하는 데 사용된다. 두 번째 단계에서는 준거 지도 상에 규칙적 그리드가 생성된다. 이것에 아핀 변형을 적용하면 고지도의 좌표계에 기반한 왜곡된 그리드가 생성된다. 세 번째 단계에서는 다중-이차 인터폴레이션을 이용하여 두 번째 단계에서 생성된 그리드를 한번 더 왜곡한다. 마지막으로 축척과 회전에 대한 등치선은 다음의 3단계를 통해 계산된다. 1단계에서는 스케일과 회전 값을 가

질 빈 래스터 그리드가 생성된다. 2단계에서는 각 그리드 셀에 대해, 스케일 값과 회전 값을 계산한다. 3단계에서는 래스터 그리드로부터 등치선을 생성한다. 이것은 모든 통제점의 쌍에 대해 전역적인 스케일과 회전 각도를 계산함과 동시에 각 그리드 셀에 대한 국지적 스케일과 각도를 계산하는 것으로 일종의 커널링(kerneling)을 행하는 것이다. 우선 각 셀에 대해 특정한 반경 내에 포함되는 포인트 쌍을 선정하여, 아핀 변화를 수행한 후 가우스 종형 곡선(Gaussian bell curve)를 이용한 가중치를 적용한다. 이는 반경 내에 든 포인트에 대해 가중 OLS나 일종의 GWR(geographically weighted regression)을 시행하는 것과 동일하다. 즉, 아핀 변환에 맞춘 독립변수를 설정하고 GWR을 실행하는 것과 동일한 것이다. 반경(radius)이 작으면 국지적 변동을 잘 보여주지만, 크면 평활화된 패턴이 생성될 것이다.

4. 연구 절차 및 결과

1) 연구 절차

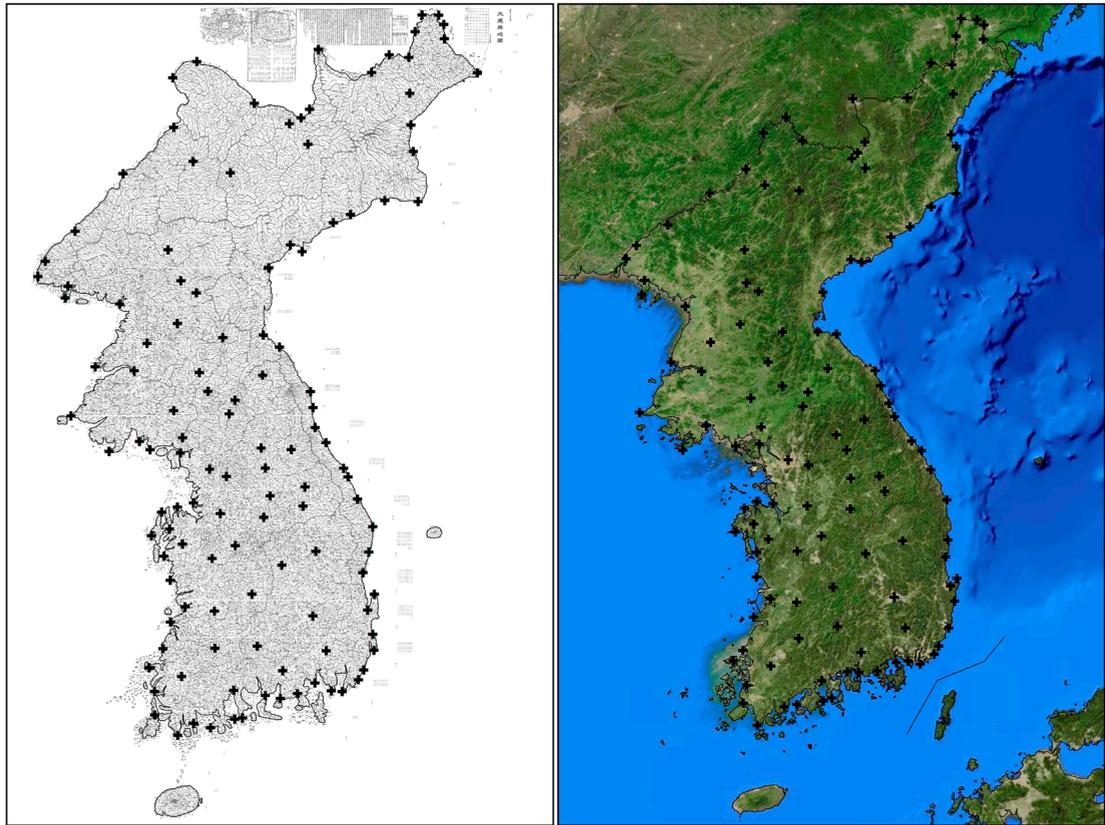
MapAnalyst 툴에서 왜곡 분석을 실시하기 위해 두 가지 중요한 선결 과제가 존재한다. 하나는 대동여지도의 지형지물 중 현재 지도에서 확인 가능한 통제 지점을 설정하는 것이고, 또 다른 하나는 대동여지도의 투영법을 추정하는 것이다. 통제 지점의 선정에 대해, 김두일(1994)은 대동여지도에 표시된 읍치 332개와 백두산의 위치를 합하여 총 333개의 통제 지점을 설정하였다. 본 연구에서는 보다 정확한 분석이 가능하도록 대동여지도 상에 나타난 위치들 중 현대 지도 상에서 그 위치를 비교적 상세히 파악할 수 있는 지점들을 선정하고자 하였다. 따라서 전체적인 형태와 관련하여서는 해안선에서 굴곡이 급변하는 지점이나 하천과 해안이 만나는 하구, 일부 산정의 위치 등을 선정하였다. 내륙의 경우에는 대동여지도 상에 표시된 군현(郡縣) 중 관청의 위치를 현재 지도 상에서 파악할 수 있는 지점들을 선정하고자 하였다. 하지

만 남한의 경우에도 대동여지도 상의 군현의 현재 위치를 정확히 알아내는 것이 어려운데(신정일, 2006a; 2006b; 2006c), 북한의 경우는 접근 가능한 정보의 제약으로 명확한 위치 파악이 극히 어려웠다. 따라서 북한 지역의 내륙에는 통제 지점을 많이 할당할 수 없었을 뿐만 아니라 그 위치 또한 현재 시가지의 중심을 당시 군현의 위치로 가정하였기 때문에 오차가 포함될 수 있고, 행정구역이나 중심 소재지의 변화 등으로 인한 오류도 포함할 가능성이 있음을 밝혀둔다.

결과적으로 본 연구에서는 총 123개의 통제 지점을 선정하였는데(그림 2), 편의 상 MapAnalyst 화면 상에서 입력하기 보다는 GIS 툴 상에서 포인트 데이터로 구축하였다. 대동여지도의 경우 규장각한국학연구원 홈페이지(<http://e-kyujanggak.snu.ac.kr>)에서 제공되는 이미지를 활용하여 데이터를 구축한 후 좌표

값을 산출하였다. 현재 지도의 경우 북한 지역을 고려하여 한반도 전체에 대한 영상이 제공되는 구글 지도(<http://maps.google.com>)에 대해 대상 투영법을 적용한 후 그 상에서 포인트를 취득한 후 좌표 값을 산출하였다. 통제점의 배경이 되는 지도 역시 특정 투영법을 적용한 결과를 이미지로 변환하여 MapAnalyst 상에서 사용하였는데, 이때 실제 좌표가 포함되도록 하였다.

전술한 바와 같이 고지도의 정확도를 평가하기 위해서는 고지도에 대해 특정한 투영법을 상정한 후 그와 동일한 투영법이 적용된 현재 지도와 비교를 수행할 필요가 있다. 지도 투영에는 다양한 속성이 관계하지만, 본 연구에서는 분석 실행 상의 제약 상 나머지 모든 속성은 동일하게 한 후 투영 방법만을 달리한 네 가지 투영법을 상정하였다. 구체적으로, 대동여지도



(a) 대동여지도

(b) 현대 준거 지도

그림 2. 통제 지점의 설정

의 투영법으로 횡축 메르카토르 도법(중앙 경선: 동경 127°), 정형원통 도법(표준 위선: 북위 37.5°), 정거방위 도법(표준점: 북위 37.5°, 동경 127°), 정거원통 도법(표준 위선: 북위 37.5°)을 상정하였다. 횡축 메르카토르 도법을 선정한 것은 앞의 연구(김두일, 1994a; 1994b)에서 제안되었기 때문이다. 정형원통 도법은 김상수(1988; 1989)의 연구 결과 메르카토르 도법이 적절하다는 결론에서 가져온 것이다. 차이점은 메르카토르 도법은 적도가 표준 위선인 정형원통 도법이지만 본 연구에서는 북위 37.5°를 표준 위선으로 하는 정형원통 도법을 사용한다는 차이가 있다. 이는 현재의 서울이 위치해 있는 위도에 대해 가장 정확할 것이라 판단했기 때문이다. 정거방위 도법은 박관섭(1978)이 심사 도법을 주장한 것에서 가져온 것이다. 김정호가 서울을 중심으로 각 지방의 군현에 이르는 방향과 거리를 최대한 유사하게 유지하려고 했을 것으로 판단했을 때 심사 도법과 동일한 평면 도법 계열의 정거방위 도법이 논리적으로 최선의 대안일 것으로 판단하였다. 마지막으로 정거원통 도법은 초기의 연구(이찬, 1968)가 등장방형 도법을 제안했기 때문이다. 차이점은 서울이 위치한 북위 37.5°를 표준 위선으로 했다는 것이다.

2) 연구 결과

네 가지 후보 투영법 각각에 대해 MapAnalyst를 이용해 분석한 결과는 표 1에 요약되어 있다. 우선 전역

적 축척은 대략 1:158,000~1:162,000 정도인 것으로 드러났다. 전체적으로 보면 횡축 메르카토르 도법과 정거방위 도법이 정형원통 도법과 정거원통 도법에 비해 보다 대축척이다. 가장 대축척인 것은 횡축 메르카토르 도법과 정거방위 도법의 동서 방향 축척이고(1:158,300), 가장 소축척인 것은 정형원통 도법의 동서 방향 축척(1:161,800)이다. 횡축 메르카토르 도법과 정거방위 도법의 경우는 동서 방향이 남북 방향에 비해 더 대축척이고, 정형원통 도법과 정거원통 도법의 경우는 남북 방향이 동서 방향에 비해 더 대축척이다. 회전각은 대부분 2~3°를 보이는데, 이는 북쪽을 중심으로 동쪽으로 그 정도 각도만큼 돌아가 있다는 것을 의미한다. 정거원통 도법이 가장 작은 값을 보여주었다. 마지막 행의 표준 편차는 현재 위치와 대동여지도 상의 위치 간의 거리의 표준 편차를 의미한다. 정형원통 도법의 표준 편차가 가장 작은데 이것은 거리 차의 편차가 가장 작음을 의미하는 것으로 극단적으로 큰 편차를 보이는 지점이 상대적으로 적다는 것을 의미한다.

표 1은 기본적으로 전역적 분석으로 국지적 차원에서 전위, 회전, 스케일링, 왜상 양상을 살펴보기 위해 국지적 분석을 실시하였다. 여기서는 표준 편차에서 가장 적은 값을 보인 정형원통 도법과 김정호의 위도에 가장 부합하는 도법으로 상정한 정거방위 도법 두 가지에 대해서만 실시하였다. 그림 3은 전위 벡터를 보여주고 있다. 전위 벡터의 출발점은 현대 지도 상의 지점(보다 정확하게 표현하면, 현대 지도 상의

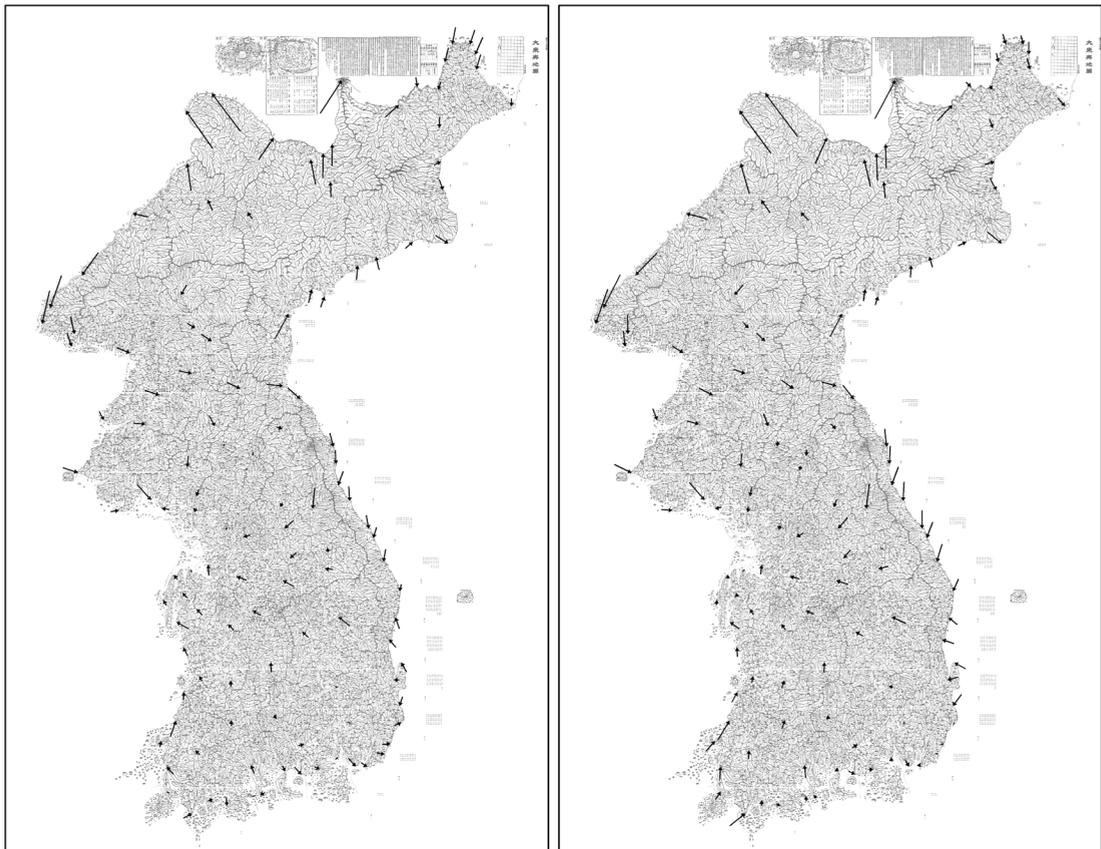
표 1. 전역적 분석 결과 요약

측정치		투영법			
		횡축 메르카토르 도법	정형원통 도법	정거방위 도법	정거원통 도법
축척	전체	1:158,500	1:161,300	1:158,500	1:160,330
	동서 방향	1:158,300	1:161,800	1:158,300	1:161,700
	남북 방향	1:158,800	1:160,700	1:158,700	1:158,900
회전각(°)	전체	3	3	3	2
	동서 방향	3	3	3	2
	남북 방향	3	2	3	2
표준 편차(m)		13,612	12,562	13,593	13,079

해당 지점을 고지도의 좌표계로 전환한 지점)이고 끝 점은 고지도 상의 해당 지점이다. 벡터의 길이와 화살표는 위치 오차의 크기와 방향을 나타낸다. 전체적으로 서울을 중심으로 한 남부 지역에 비해 북부 지역의 위치 오류가 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 특히 최북단의 중강진, 자성, 백두산의 위치 오류가 심대함을 알 수 있는데, 중강진과 자성의 경우는 실제보다 북서 방향으로, 백두산은 실제보다 북동 방향으로 이동해 위치해 있다. 평안북도 서쪽 지방에도 상당한 정도의 위치 오류가 발견되는데 주로 실제보다 남서 방향으로 이동해 위치해 있다. 전체적으로 보면 북부 접경 지역의 경우 서쪽은 보다 남쪽 방향으로 당겨져 있고, 북쪽은 보다 북쪽 방향으로 당겨져 있어 그 사이의 영역이 실제보다 크게 확대되어 나타난다. 이러

한 경향은 두 투영법 모두에서 공통적으로 나타난다.

그림 4는 왜곡 그리드를 표현하고 있는데, 앞의 그림 3에 나타나 있는 전위 벡터에서 발견되는 사항들을 다른 방식으로 시각화하고 있다. 만일 대동여지도가 정확하다면 왜곡 그리드는 반듯한 격자형일 것이다. 우선 발견할 수 있는 것은 전체적으로 동쪽 방향으로 약간 회전해 있다는 것이다. 이것은 표 1에 나타나 있는 회전각을 보여주는 것이다. 두 번째는 위치 왜곡이 가장 컸던 중강진-자성에서 백두산에 이르는 지역이 가장 뒤틀려 있을 뿐만 아니라 그리드의 간격도 크다는 것이다. 중강진과 자성은 북서쪽으로 전위되어 있고, 백두산은 북동쪽으로 전위되어 있기 때문에 그 사이가 실제보다 멀게 표현되어 있다는 사실이 잘 드러나 있다. 왜곡 그리드의 양상도 두 투영법 사



(a) 정형원통 도법

(b) 정거방위 도법

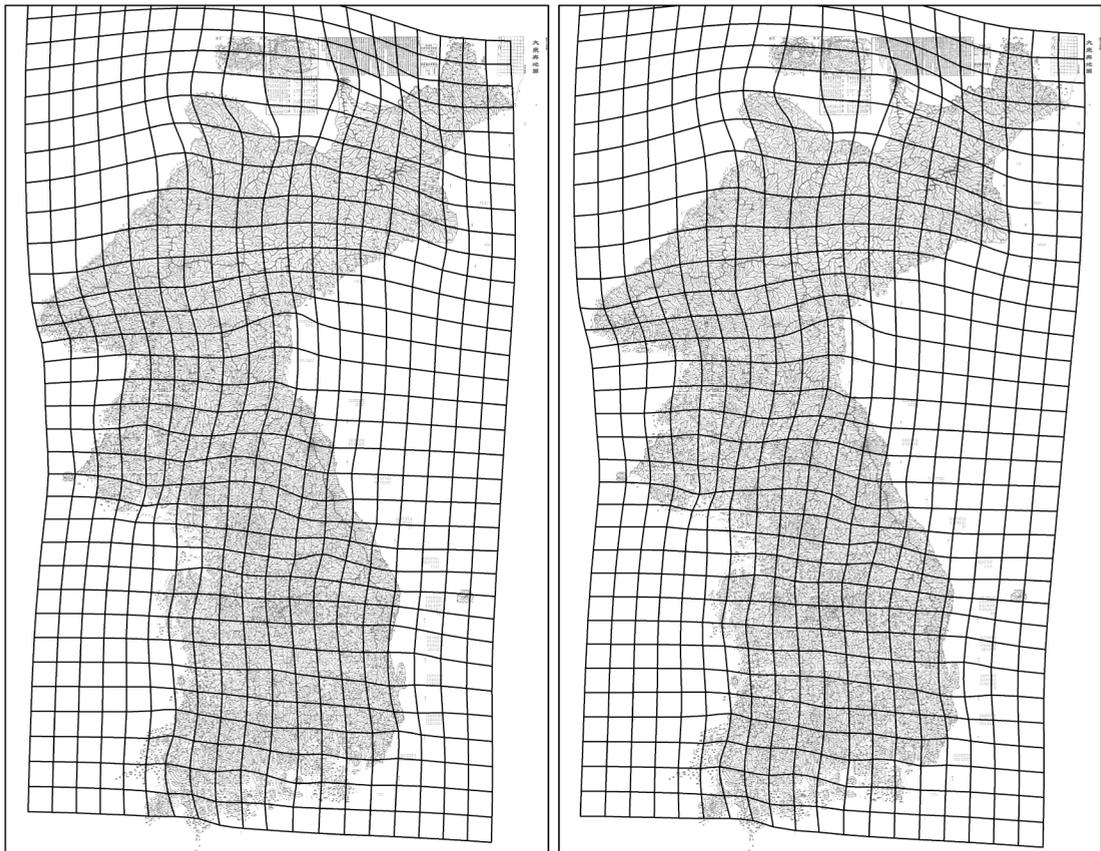
그림 3. 전위 벡터

이에서 큰 차이가 없다.

그림 5는 국지적 축척의 분포를 등치선 형태로 나타내고 있다. 등치선의 수치는 축척의 분모를 나타낸 것으로 단위는 1천이다. 예를 들어 160은 1:160,000을 의미한다. 앞에서도 언급한 것처럼, 특히 고지도의 축척에 대한 논의는 전역적 축척을 추정하는 것보다 국지적 축척의 분포 패턴을 탐색하는 것이 훨씬 더 의미 있는 것이다. 대동여지도의 경우도 이와 마찬가지로이다(오상학, 2001). 정형원통 도법과 정거방위 도법에 대한 전역적 축척은 표 1에 나타나 있는 바와 같이 각각 1:161,300과 1:158,500이다. 축척의 분포를 살펴보면 가장 대축척인 곳은 위치 왜곡이 가장 심했던 북부 국경 지역에서 서쪽 말단에 이르는 지역으로 1:130,000~1:150,000을 보여주고 있다. 가

장 소축척을 보여주고 있는 곳은 동북부 국경 지역으로 1:180,000 미만이다. 남부 지역에서는 서쪽은 해주 부근과 동쪽의 울진 부근에서 1:180,000 정도의 상대적인 소축척이 나타나고 있다. 서울 부근에서는 1:170,000~1:175,000 정도의 축척이 나타나고 있는데, 이것이 아마도 김정호가 의도한 축척이었던 것으로 추정할 수도 있을 것이다. 일반화하자면 서울을 중심으로 한 중부 지역이 그 정도의 축척을 보이고 그것으로부터 남북 방향으로 멀어질수록 과장되어 표현되며(대축척), 동서 말단부는 위축되게(소축척) 표현되어 있다. 이것은 서울에서 멀어질수록 그 거리를 훨씬 더 멀게 가늠함으로써 그 사이의 영역이 더 확대되었기 때문인 것으로 분석된다.

그림 6은 회전각의 공간적 분포를 보여주고 있다.



(a) 정형원통 도법

(b) 정거방위 도법

그림 4. 왜곡 그리드

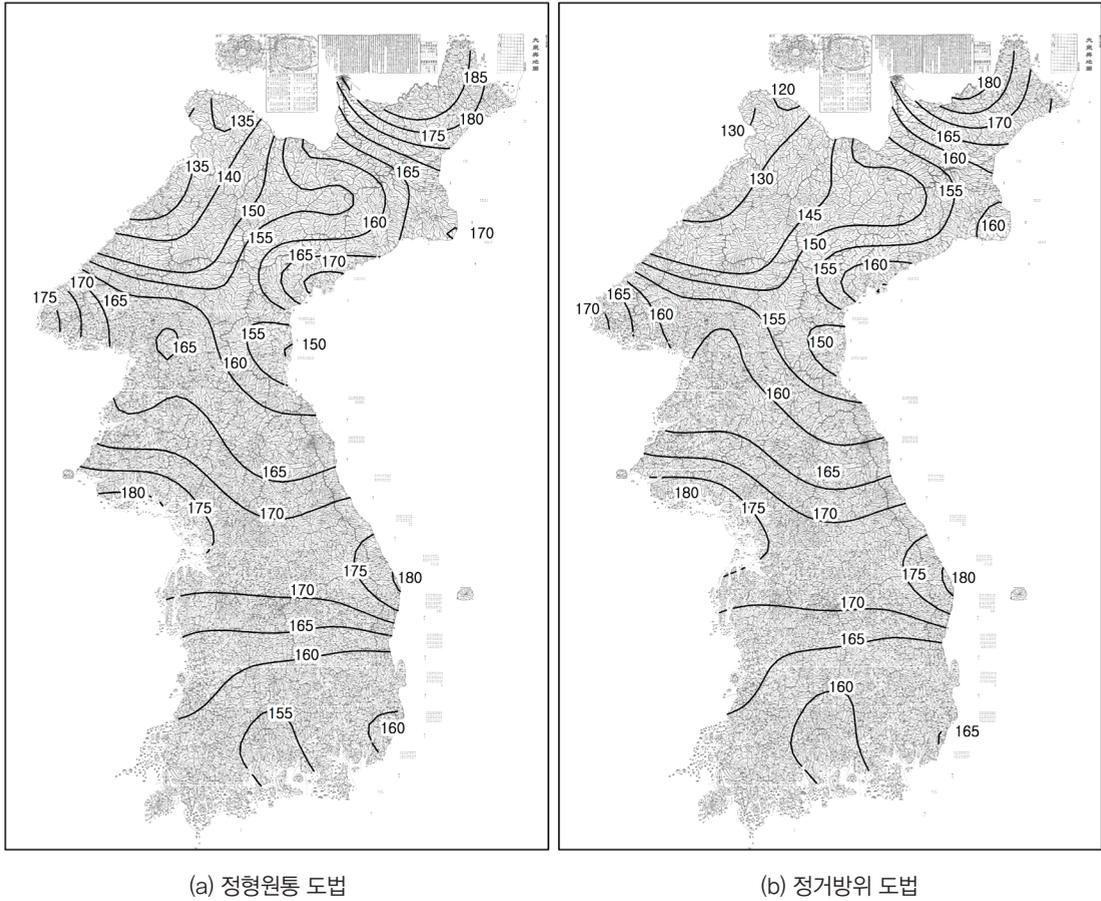


그림 5. 축척 등치선

양수는 동쪽으로 그 각도만큼 회전해 있음을 의미하고, 음수는 서쪽으로 그 각도만큼 회전해 있음을 의미한다. 가장 두드러진 곳은 역시 북부 국경 지역으로 중강진을 중심으로 서쪽 지역은 서쪽으로 심대하게 회전해 있고, 동쪽 지역은 동쪽으로 심대하게 회전해 있음을 보여준다. 이는 그림 3와 그림 4에서 살펴본 내용과 동일한 것이다. 동해안의 고성 부근을 중심으로 8° 이상의 높은 회전이 나타나고 있음도 관찰된다. 전체적으로 남부와 중북부는 절대값 기준 평균 이하의 회전각을 보여주고 있는 반면, 서울을 중심으로 한 중부 핵심지역도 4~6° 정도의 회전각을 보여주고 있다. 남부 지방이 북부 지방에 비해 등치선의 숫자가 적은 것은 그만큼 지역적 편차가 적다는 것을 의미한다. 이것은 북부 지방의 경우 지방도 간의 편차가 상

대적으로 심하다는 것을 암시하는 것이다.

5. 결론

본 연구는 GIS-기반 분석 도구를 이용해 대동여지도의 평면기하 정확성을 평가하였다. 준거가 되는 현대 지도와 대동여지도를 비교하기 위해 123개의 통제 지점을 설정하였다. 대동여지도에 대한 후보 투영법으로 횡축 메르카토르 도법, 정형원통 도법, 정거방위 도법, 정거원통 도법의 네 가지 도법을 설정하여 각각 대동여지도와 비교하였다. MapAnalyst를 활용한 분석은 크게 전역적 분석과 국지적 분석으로

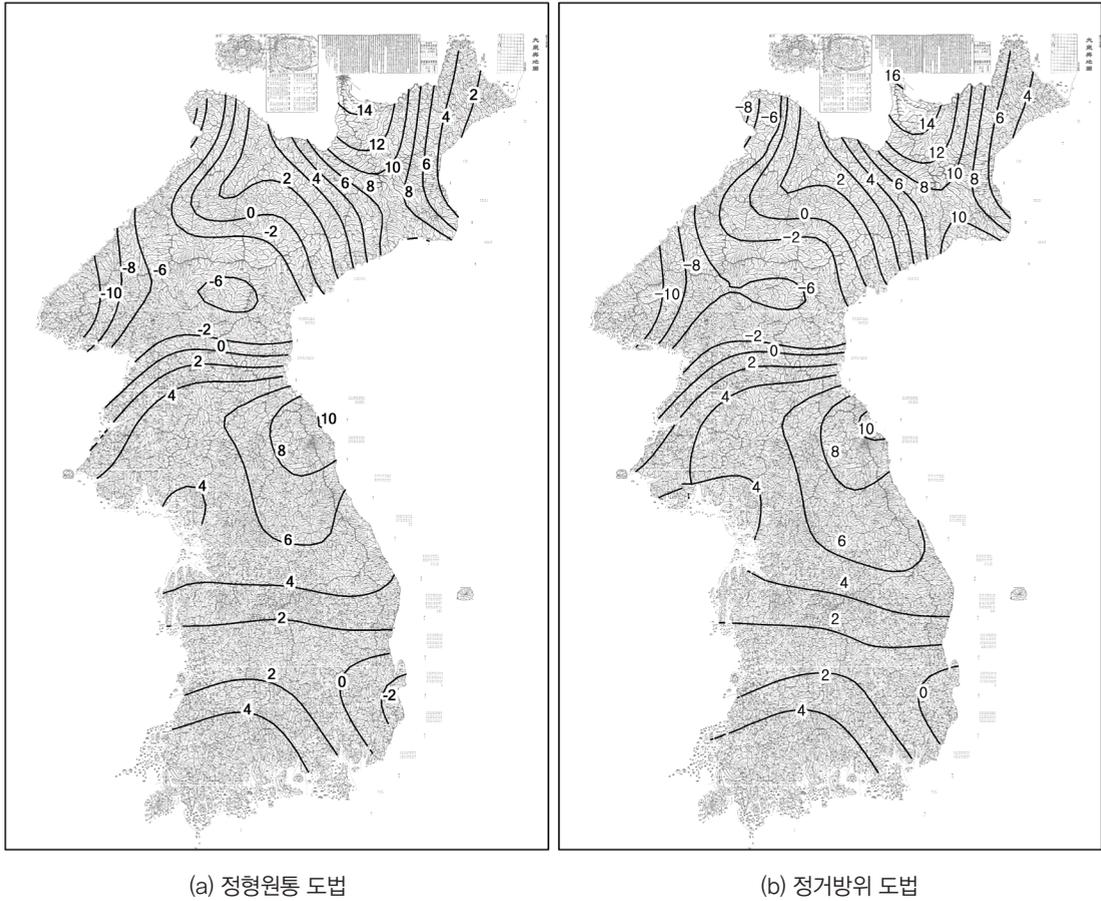


그림 6. 회전 등치선

나누어 수행되었다. 전역적 분석의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 대동여지도의 전역적 축척은 대략 1:158,000~1:162,000 정도인 것으로 확인되었다. 둘째, 회전각은 2~3° 정도인데, 정거원통 도법이 가장 작은 회전 왜곡도를 보여주었다. 셋째, 위치 정확도의 측면에서 대동여지도의 도법은 정형원통 도법에 가장 근접한 것으로 드러났다.

도법중 정형원통 도법과 정거방위 도법의 두 개에 대해서만 국지적 분석을 실시하였다. MapAnalyst의 분석 결과 전위 벡터, 왜곡 그리드, 축척 등치선, 회전 등치선이 도출되었다. 중요한 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 가장 왜곡이 심한 곳은 북부 국경 지역으로 전위 벡터 상의 길이도 가장 길고, 왜곡 그리드 상에서의 형태 왜곡도나 단위 그리드의 면

적도 가장 크게 나타났다. 둘째, 국지적 축척의 분포를 살펴본 결과, 서울을 중심으로 한 중부 지역에서 1:170,000~1:175,000 정도의 축척이 나타나고 있고, 그것으로부터 남북 방향으로 멀어질수록 과장되어 표현되며(대축척), 동서 말단부는 위축되게(소축척) 표현되어 있다. 셋째, 국지적 회전각의 분포를 살펴본 결과, 중강진을 중심으로 서부는 서쪽으로 심대하게 회전해 있고, 동부는 동쪽으로 심대하게 회전해 있는 것이 특징적으로 드러났다.

본 연구는 고지도를 GIS 분석 도구를 이용해 실증적으로 분석했다는 데 그 의의가 있다. 그러나 이 논문이 시론적 연구일 수 밖에 없는 한계 역시 현저하다. 그것을 몇 가지로 정리하면 다음과 같다. 첫째, 보다 많은 표준 지점을 설정할 필요가 있다. 문헌을 추적

함으로써 대동여지도에 나타나 있는 대부분의 균현에 대한 위치를 확인할 수 있을 것이다. 둘째, 대동여지도의 투영법에 대한 보다 정확한 추정이 이루어져야 한다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼 김정호가 특정한 투영법에 근거해 대동여지도를 제작하였고, 그 투영법이 무엇인지를 찾아내는 것이 아니다. 이것은 보다 정확한 분석을 위해 대동여지도와 가장 유사한 투영법을 설정할 필요가 있기 때문이다. 여기에 최근 Bayer(2014)의 연구가 도움이 될 수 있을 것이고 향후의 연구 과제로 남겨둔다. 셋째, 국지적 분석 기법을 확장할 필요가 있다. MapAnalyst에서 제공하고 있는 결과물은 많은 제한점을 가지고 있다. 하나의 대안은 상용 GIS에서 아핀 변환의 분석 결과를 재현하는 것인데, 특히 GWR을 활용하는 방안이 좋은 대안이 될 것으로 판단되며 향후 연구 과제로 남겨둔다.

본 연구는 한국 고지도에 대한 과학적 분석의 효시적 연구(김두일, 1992; 1994a; 1994b)가 이루어진 지 20년이 지나가고 있지만, 그 기간 동안 후속 연구가 거의 이루어지지 않은 것은 지리학이나 지도학의 발전에서 매우 불행한 일이라는 인식에 기반하고 있다. 또한 고지도 연구를 위한 GIS 학자들과 문화역사지리학자들의 교류가 더욱 광범위하게 이루어지는 계기를 마련하려는 의도 역시 개재되어 있다. 한국 고지도 연구는 GIS의 공간 분석과 시각화 능력을 전유함으로써 새로운 주제를 개발하고, 새로운 해답을 제시하고, 새로운 연구 영역을 개척할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 김두일, 1992, “『輿圖備志』에서 경위도 일도의 거리,” 지리학, 27(1), 21-28.
- 김두일, 1994a, “대동여지도의 도법에 관한 연구,” 대한지리학회지, 29(1), 39-45.
- 김두일, 1994b, “대동여지도의 공간적 정확성,” 문화역사지리, 6, 31-43.
- 김상수, 1988, 대동여지도 제작의 측지학적 분석, 연세대학교 산업대학원 석사학위논문.
- 김상수, 1989, 대동여지도에 관한 연구, 한국지적학회보, 8, 185-229.
- 김중현, 2013, “고려대학교 민족문화연구원 개발 문화·역사지도의 DB 구조,” 2013년 지리학회 발표 논문 요약집, 291-295.
- 국토지리정보원, 2001, 고산자 김정호 기념사업 연구보고서, 국토지리정보원.
- 대동여지도 150주년 기념 학술사업 준비위원회, 2011, 대동여지도에 길을 묻다, 1861~2011, 대동여지도 150주년 기념 종합학술대회 발표논문집.
- 박관섭, 1978, “대동여지도의 도법 및 계보에 관한 역사·지리적 고찰 -경위선식 실측지도 제작사와의 비교 고찰-,” 소천박관섭교수송수기념논총, 23-61.
- 배우성, 2006, “『대동여지도』 연구의 쟁점과 과제,” 한국과학사학회지, 28(1), 117-138.
- 성남해, 1985, “청구도와 대동여지도의 축척과 자(尺)의 고찰,” 측량, 13, 45-46.
- 성남해, 2000, “『대동여지도』 연구의 제문제: 제1편 「대동여지도」의 축척과 조선전통 10리,” 측량, 53, 36-45.
- 성남해, 2001, “『대동여지도』 연구의 제문제: 「대동여지도」의 축척과 조선전통 10리(2),” 측량, 54, 39-43.
- 신정일, 2006a, 대동여지도로 사라진 옛고을을 가다: 1 통진에서 낙안까지, 황금나침반.
- 신정일, 2006b, 대동여지도로 사라진 옛고을을 가다: 2 간성에서 정의까지, 황금나침반.
- 신정일, 2006c, 대동여지도로 사라진 옛고을을 가다: 3 적성에서 대정까지, 황금나침반.
- 오상학, 2001, “고산자 김정호의 지도제작과 그 의의,” 고산자 김정호 기념사업 연구보고서, 국립지리원.
- 원경렬, 1991, “대동여지도: 현대 지도학적 고찰,” 지리학, 26(2), 151-158.
- 원경렬, 1991, 대동여지도의 연구, 성지문화사.
- 유애령·정부매, 2013, “『한국향토문화전자대전』 공간정보 DB 구축 현황,” 2013년 지리학회 발표 논문 요약집, 284-289.
- 윤병남, 2013, “동북아역사지도 제작을 위한 시스템과 데이터베이스 구축 현황,” 2013년 지리학회 발표 논문 요약집, 296-300.
- 이기봉, 2003, “동여도 해설,” 동여도 -해설·색인-, 서울대 규장각.

- 이기봉, 2011, 근대를 들어올린 거인, 김정호, 새문사.
- 이상일 등 옮김, 2009, 지리정보시스템과 지리정보과학, 시그마프레스(Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., and Rhind, D. W., 2005, *Geographic Information Systems and Science*, New York: John Wiley & Sons).
- 이상태, 1991, “고산자 김정호의 생애와 사상,” *지리학*, 26(2), 139-144.
- 이상태, 2009, “김정호의 대동여지도,” *한국 지도학 발달사*, 국토지리정보원, 221-260.
- 이우형, 1990, 대동여지도의 독도, 광우당.
- 이찬, 1968, “한국지리학사,” *한국문화사대계*, 3.
- 이찬, 1991, 한국의 고지도, 범우사.
- 전상운, 1995, “고지도와 과학기술,” *해동지도*, 서울대학교 규장각.
- 조규전 · Konecny, G., 2005, 공간정보공학, 양서각.
- 한균형, 1994, “지도학적으로 본 대동여지도,” *한국교원대학교 교수논총*, 10(1), 165-184.
- 허태구 · 임한수, 2013, “서울대 규장각한국학연구원 소장 고지도 · 지리지의 DB 구축과 구조,” 2013년 지리학대회 발표 논문 요약집, 279-283.
- Bayer, T., 2014, Estimation of an unknown cartographic projection and its parameters from the map, *Geoinformatica*, published online.
- Bayer, T., Potůčková, M., and Čábelka, M., 2010, Cartometric analysis of old maps on example of Vogt’s map, in Gartner, G. and Ortog, F., eds., *Cartography in Central and Eastern Europe*, New York: Springer, 509-524.
- Beineke, D., 2001, *Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten*, Munich: Universität der Bundeswehr.
- Bernhardsen, T., 2002, *Geographic Information Systems: An Introduction*, 3rd edition, New York: Wiley.
- Boutoura, C. and Livierator, E., 1986, Strain analysis for geometric comparisons of maps, *The Cartographic Journal*, 23(1), 27-34.
- Bower, D. I., 2011, Saxton’s maps of England and Wales: The accuracy of Anglia and Britannia and their relationship to each other and to the county maps, *Imago Mundi*, 63(2), 180-200.
- Chang, K., 2012, *Introduction to Geographic Information Systems*, 6th edition, Boston: McGraw-Hill.
- Gregory, I. N. and Ell, P. S., 2007, *Historical GIS: Technologies, Methodologies and Scholarship*, New York: Cambridge University Press.
- Gregory, I. N. and Healey, R. G., 2007, Historical GIS: Structuring, mapping and analyzing geographies of the past, *Progress in Human Geography*, 31(5), 638-653.
- Gregory, I. N., Bennett, C., Gilham, V. L., and Southal, H. R., 2002, The Great Britain Historical GIS Projection: From maps to changing human geography, *Cartographic Journal*, 39(1), 37-49.
- Hardy, R. L., 1971, Multiquadratic equations of topography and other irregular surfaces, *Journal of Geophysical Research*, 76(8), 1905-1915.
- Heere, E., 2011, The accuracy of the maps of Zeeland: Accuracy measurement as part of the cartobibliography, *e-Perimtron*, 6(3), 187-199.
- Hessler, J. W., 2006, Warping Waldseemüller: A phenomenological and geometric study of the 1507 world map, *Cartographica*, 41(2), 101-113.
- Illiffe, J., 2000, *Datums and Map Projections for Remote Sensing, GIS, and Surveying*, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Jenny, B., 2006, MapAnalyst - A digital tool for the analysis of the planimetric accuracy of historical maps, *e-Perimtron*, 1(3), 239-245.
- Jenny, B., 2010, New features in MapAnalyst, *e-Perimtron*, 5(3), 176-180.
- Jenny, B. and Hurni, L., 2011, Studying cartographic heritage: Analysis and visualization of geometric distortions, *Computers & Graphics*, 35(2), 402-411.
- Jenny, B., Weber, A. and Hurni, L., 2007, Visualising the planimetric accuracy of historical maps with MapAnalyst, *Cartographica*, 42(1), 89-94.
- Kim, J.-H., 2005, HGIS project of Korean culture, *Historical Geography*, 33, 152-154.
- Knowles, A. K., 2005, Reports on National Historical GIS project, *Historical Geography*, 33, 134-164.
- Livieratos, E., 2006, On the study of the geometric properties of historical cartographic representations, *Cartographica*, 41(2), 165-175.
- Lo, C. P. and Yeung, A. K. W., 2007, *Concepts and Tech-*

- niques in Geographic Information Systems*, 2nd edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Pearson, A. W. and Heffernan, M., 2009, The American Geographical Society's map of Hispanic America: The million-scale mapping between the Wars, *Imago Mundi*, 61(2), 215-243.
- Plewe, B. S., 2002, The nature of uncertainty in Historical Geographic Information, *Transactions in GIS*, 6(4), 431-456.
- Raymond, D., 2007, Software review: MapAnalyst 1.2.1 (Bernhard Jenny and Adrian Weber, Institute of Cartography, ETH Zurich, 2005/2006), *Cartographica*, 42(1), 95-97.
- Tobler, W. R., 1965, Computation of the correspondence of geographical patterns, *Papers of the Regional Science Association*, 15(1), 131-139.
- Tobler, W. R., 1966, Medieval distortions: The projections of ancient maps, *Annals of the Association of American Geographers*, 56(2), 351-360.
- Tobler, W. R., 1994, Bidimensional regression, *Geographical Analysis*, 26(3), 187-212.
- Tucci, M., Giordano, A., and Ronza, R. W., 2010, Using spatial analysis and geovisualization to reveal urban changes: Milan, Italy, 1737-2005, *Cartographica*, 45(1), 47-63.
- 교신: 이상일, 151-748, 서울특별시 관악구 관악로 1, 서울대학교 사범대학 지리교육과(이메일: si_lee@snu.ac.kr, 전화: 02-880-9028, 팩스: 02-882-9873)
- Correspondence: Sang-Il Lee, Department of Geography Education, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-748, Korea (e-mail: si_lee@snu.ac.kr, phone: +82-2-880-9028, fax: +82-2-880-9873)
- 최초투고일 2014. 5. 19
수정일 2014. 6. 23
최종접수일 2014. 6. 26