

GIS 분석을 이용한 『대동여지도』의 투영법 추정

조대현* · 이상일**

Estimation of the Map Projection of *Daedongyeojido* ('The Great Map of Korea') Based on GIS Analysis

Daeheon Cho* · Sang-Il Lee**

요약 : 『대동여지도』의 지도학적 특성에 대한 연구가 상당히 이루어졌음에도 불구하고 투영법에 대한 체계적이고 종합적인 연구는 드문 편이다. 이 연구의 주된 목적은 GIS 분석에 기초하여 『대동여지도』의 투영법을 추정하고, 그 특성을 파악하는 것이다. 이를 위해 먼저 『대동여지도』와 같은 고지도에 대한 투영법 추정의 절차와 GIS 기반의 분석 방법을 정립하였다. 핵심적인 과정은 각 후보 투영법을 적용한 준거 지도 상의 통제점을 고지도 상의 좌표로 기하변환한 후 고지도와의 위치 일치도와 형태 일치도를 분석하는 과정을 모든 후보 투영법에 반복적으로 수행하여 가장 적합도가 높은 투영법을 선정하는 것이다. 13종의 후보 투영법에 대해 다양한 투영 기준선을 적용하여 『대동여지도』의 투영법을 추정한 결과 정형원추도법 혹은 정형원통도법의 적합성이 가장 높은 것으로 나타났다. 하지만 오차의 분포가 이질적으로 존재하는데, 남부는 상당히 오차가 작은 반면 북쪽으로 갈수록 위치 오차와 형태 오차가 증가되었다. 따라서 남북 간에 적합한 투영법이 서로 다를 것으로 간주하고, 『대동여지도』의 북부와 남부에 대한 분석을 별도로 수행하였다. 그 결과 『대동여지도』의 북부는 정적원통도법이, 남부는 정거원추도법 및 정형원추도법의 적합도가 가장 높았으나, 남부의 경우 투영법 간에 적합도의 차이가 크지 않았다. 이 연구는 고지도에 대한 GIS 분석 연구의 확대에 기여한다는 의의가 있으나 향후 적합도를 측정하는 방법의 개선이나 통제점의 검증 등이 필요하다.

주요어 : 대동여지도, 투영법, 기하변환, 위치 일치도, 형태 일치도

Abstract : Despite many studies on the cartographic characteristics of *Daedongyeojido*, there has been little systematic research focusing on the map projection. This study aims at estimating the map projection of *Daedongyeojido* and examining its characteristics through a GIS-based analysis. First of all, practical procedures for estimating map projections of old maps and related GIS-based analysis methods are established. The best fit projection is chosen after the process that the control points in the reference map based on each candidate projection are converted to the old map using geometric transformations and the location similarity and the shape similarity is measured, is repeated for all candidate projections. These procedures were applied to 13 candidate projections of various types with varying projection parameters (central meridian and standard parallels) to estimate the projection of *Daedongyeojido*. As a result, it was revealed that the conformal conic projection and the conformal cylindrical projection was the best fit. However, the distribution of errors showed spatial heterogeneity that both the positional error and the shape error increased toward the north. So, additional analyses were performed assuming that the projections with better fit would be different between the southern and

*가톨릭관동대학교 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Catholic Kwandong University), dhcho@gmail.com

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

northern regions. It turned out that the best fit one was cylindrical equal area projection in the north, but the equidistant conic projection and the conformal conic projection showed the highest fitness in the south. It is meaningful that this study contributes to expanding the study of old maps based on the GIS analysis, but further research is needed to improve methods for measuring fitness of map projections and to analyze using verified control points.

Key Words : *Daedongyeojido* ('The Great Map of Korea'), Map projection, Geometric transformation, Location similarity, Shape similarity

I. 서론

GIS와 같은 컴퓨터 시스템이나 원격탐사 이미지 등이 보편화되기 전인 19세기까지 '종이지도'는 실세계의 지리적 사상을 재현하는 가장 강력한 수단이 되어 왔다. 이런 면에서 고지도는 지도가 그려질 당시 세계에 대한 지리적 지식이나 정보를 재현할 뿐만 아니라 당시 사람들이 가진 지리적 세계관을 보여준다는 면에서 지리학자, 특히 역사 지리학자들의 지대한 관심을 받아왔다. 우리나라의 고지도에 대한 연구는 주로 개별 지도의 특성을 밝히거나 지도들을 비교 혹은 유형화하는 연구, 각 지도에 기록된 정보에 주목하여 수록된 내용이나 지명을 분석하거나 사상의 형태를 파악하는 연구, 나아가 그 정보를 바탕으로 역사지리나 경관을 재현하거나 그 의미 혹은 상징성 등을 해석하는 연구들이 주를 이루고 있다(김기혁, 2007).

하지만 지리정보기술의 발달과 함께 2000년대부터는 역사 GIS에 기반한 새로운 유형의 연구가 점증하고 있다. 현재까지 이 연구들은 주로 고지도 등을 기초로 GIS를 통해 과거의 역사지리를 복원 혹은 재현하거나 GIS에 기반하여 고지도를 분석하는 형태를 취하고 있다(이상일 · 조대현, 2014). 하지만 어떠한 경우이든 고지도의 지도학적인 특성을 파악하는 것이 중요한 과제가 되지만 우리나라에서 관련 연구는 상당히 부족한 실정이다. 고지도를 현대 지도의 관점에서 연구할 때 가장 큰 어려움 중의 하나는 대부분의 고지도에서 현대 지도학에서 사용하는 지오레퍼런싱(georeferencing)이 적용되지 않거나 알려져 있지 않지 않다는 점이다. 설혹 지오레퍼런싱 정보가 알려져 있다 할지라도 아날로그 지도를 GIS와 같은 디지털의 맥락에서 분석하기 위해서는 스캔 이미지와 같은 데이터에 지오레퍼런싱을 적용할 필요가 있다. 따라서 고지도를 GIS의 관점에서 분석하기 위한 첫 출발은 지오레퍼런싱에 대한 탐구로부터 시작되어야 한다.

지리적 사상에 위치를 체계적으로 할당하는 과정에 해

당하는 지오레퍼런싱에는 데이텀(datum), 투영법(map projection), 좌표계(coordinate system) 등의 요소가 관련 되는데(이상일 · 조대현, 2014), 그 중에서도 구체(혹은 타원체) 상의 좌표를 2차원 평면으로 전환하는 투영법은 지도에 표현되는 지리적 사상의 위치나 형태에 지대한 영향을 미친다. 그런데 『대동여지도』를 포함해 고지도, 특히 우리나라에서 근대적인 측량이 도입되기 이전에 제작된 지도들은 체계적인 지오레퍼런싱에 대한 명확한 근거를 파악하기 어려워 현대 지도학의 관점에서 추정이 이루어질 수밖에 없다. 하지만 고지도의 투영법을 추정하는 과정은 그리 간단하지 않은데, 대상 지도의 제작 과정에 대한 지도학적인 정보가 부재한 경우에 특히 그러하다. 고지도의 제작자가 지표면을 평면이라고 간주했거나 현대적인 의미의 투영법이라는 개념을 의식하지 못했을 수도 있고, 지금은 사라져버렸거나 공개적으로 알려져 있지 않은 투영법을 사용하였을 수도 있다(Tobler, 1966). 그러나 이론적으로 모든 평면 상의 지도는 모종의 투영 과정을 거친 것이라 이해한다면 지도 제작자가 특정한 투영법을 의도하였거나 실제 사용하였는지의 여부를 떠나 지도 상의 표현만을 토대로 그것이 어느 투영법과 가장 일치하는지 파악하는 것은 가능하다. 따라서 본 연구에서 의미하는 투영법 추정은 특정 고지도에 실제 적용된 투영법이 무엇인가를 밝히는 것이라기 보다는 오늘날 우리가 인지하고 있는 투영법 가운데 해당 고지도에 가장 잘 들어맞는 투영법이 무엇인가를 확인하는 작업이라 이해할 수 있다.

이러한 작업은 크게 두 가지 측면의 의미를 가진다. 먼저, 전술한 바와 같이 고지도를 연구함에 있어 지오레퍼런싱과 관련된 특성을 파악하는 것이 중요한데 최근 진전되고 있는 GIS 기반의 분석 방법이 하나의 대안적 접근법이 될 수 있음을 살펴보는 것이다. 특히 고지도에 가장 적합한 투영법이 무엇인지 파악하는 것은 고지도의 정확도 분석 등의 토대가 된다는 점에서 그 자체로 가치가 있겠으나 특정한 시기에 다수의 고지도들이 동일하거나 유사한 투

영법과 적합한 것으로 추정된다면 그 시대 지도 제작자들이 지표에 대해 의식적, 무의식적으로 가지고 있던 세계관을 파악할 수 있다는 의미 또한 가질 수 있다(Boutoura, 2006). 다음으로는 우리나라의 대표적인 고지도로 간주되는 『대동여지도』 자체의 지도학적 특성에 대한 연구를 지속해 간다는 의미를 찾을 수 있다. 『대동여지도』의 투영법에 대한 연구는 상대적으로 많지 않을 뿐만 아니라 연구들 간에 상호 일치된 결론이 도출되지 못하고 있다(배우성, 2006; 이상일·조대현, 2014). 또한 선행 연구들에서 고려된 투영법 추정 방법론이나 투영법의 종류가 상당히 제한적이고, 투영의 기준경선이나 위선에 대한 고려가 불충분하다는 등의 한계도 지니고 있다. 이에 본 연구는 『대동여지도』의 투영법과 관련한 보다 체계적이고 종합적인 결과를 제시하고자 하는 것이다.

이러한 배경 하에서 본 연구는 우리나라의 『대동여지도』를 대상으로 가장 적합한 투영법이 무엇인지 밝히는 것을 주된 목적으로 한다. 이를 위해 먼저 역사GIS라는 큰 틀에서 본 연구와 관련이 있는 선행연구들을 정리하고, 고지도의 투영법을 추정하기 위한 방법론을 검토한다. 이어, 본 연구에서 사용할 분석 방법 및 그 절차를 정립하고, 실제 분석을 실행하여 『대동여지도』에 가장 적합한 투영법이 무엇인지 제시한다.

II. 연구 동향 및 방법론

1. 연구 동향

서론에서 언급한 바와 같이 2000년대 이후 고지도에 대한 연구에서 두드러지는 경향 중의 하나는 역사 GIS (Gregory and Southall, 1998; Knowles, 2005)의 발전과 관련된 것이다. 역사GIS의 영역은 고지도를 포함하여 역사지리와 관련된 데이터베이스의 구축, 시각화, 공간 분석 등으로 나타날 수 있는데(이상일·조대현, 2014; Gregory and Healey, 2007), 현재 주된 연구 경향은 크게 두 가지 정도로 정리해 볼 수 있다. 하나는 고지도나 고지리서 등을 바탕으로 역사시대의 지리를 GIS를 기반으로 데이터베이스화 함으로써 복원, 재현하는데 초점이 있는 흐름(Knowles, 2005; Gregory and Healey, 2007; DeBats and Gregory, 2011)이 그것이며, 다른 하나는 고지도 자체의 분석을 위한 GIS적 접근이라 할 수 있다. 전자의 경우 주로

GIS 기반의 역사지도 제작 혹은 데이터베이스 구축의 형태로 나타나고 있는데, 우리나라에서도 관련 연구들이 다수 진행되어 오고 있다(김종혁, 2013a; 2013b; 정요근, 2013; 허태구, 2014; 김종근·이상균, 2016; 양보경, 2017). 예를 들어 ‘조선시대 전자문화지도’는 현대 지도를 기반으로 조선시대의 행정구역이나 주요 시설(사찰이나 향교 등)의 위치를 데이터베이스로 구축하고, 이를 인터넷을 통해 서비스하고 있다(김종혁, 2013a).

이런 연구가 주로 고지도나 역사지리 전문가들이 주도 가 되어 GIS기반의 재현에 치중하고 있다면 GIS를 통해 고지도 자체를 분석하려는 시도는 GIS나 공간 분석에 보다 전문화된 연구자들을 중심으로 연구가 주도되는 경향을 보인다. 이 연구들은 서구, 특히 유럽을 중심으로 활발히 이루어지고 있는데, 현재 많은 연구가 이루어지고 있는 분야는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 그 첫번째는 현재의 관점에서 고지도에 표현된 지리적 사상의 위치나 기하학적인 형태 등을 파악하기 위해 지오레퍼런싱을 시도하거나(Balletti, 2006; Brovelli and Minghini, 2012; Herrault *et al.*, 2013; Brigante and Radicioni, 2014), 그에 기초하여 왜곡도나 투영법과 같은 지도학적 특성을 추정하는 연구들이다(Bower, 2009; Lloyd and Lilley, 2009; Jenny and Humi, 2011; Bayer, 2014; 2016; Claeys Boùtaert *et al.*, 2016). 특히, Herrault *et al.*(2013)은 고지도의 기하학적 특성을 분석하기 위해 이루어져야 할 기본적인 절차인 기하학적 변환 방법에, Jenny and Humi(2011)는 고지도에 대한 기하학적 왜곡도 분석에, Bayer(2014; 2016)는 고지도에 대한 투영법 추정과 관련된 방법론에 초점을 두어 연구하였다.

국내에서는 이와 관련하여 김상수(1988; 1989), 김두일(1994a; 1994b), 이대호·오일환(2011), 이상일·조대현(2014) 등의 연구가 진행되었는데, 고지도로는 『대동여지도』가 주로 다루어졌다. 김상수와 김두일의 연구는 GIS를 명시적으로 동원하지 않았지만 고지도에 대한 계량적이고 실증적인 분석을 한 선구적인 시도로 평가할 수 있다. 이대호·오일환의 연구는 지리학 외부에서 고지도를 실증적으로 분석한 시도라는 의미가 있으나 영토의 외곽 경계선만을 대상으로 형태 분석에 치중하고 있다는 제한점을 가지고 있다. 이상일·조대현(2014)의 연구는 GIS 기반의 기하학적 분석을 통해 『대동여지도』에 대한 전역적·국지적 축척 및 왜곡도를 분석하고, 복수의 투영법을 대상으로 투영법을 추정하는 등 고지도에 대한 가장 종합

적인 분석을 시도하였다. 하지만, 투영법에 대한 내용에 국한해보자면 이상의 연구들에서 후보 투영법으로 고려된 투영법의 수는 최대 4개를 넘지 않았으며, 그 종류 또한 투영법의 다양한 계열을 다루지 못하고 있다. 나아가 투영법은 투영법을 적용하는 과정에서 다양한 옵션을 가질 수 있으나 이 연구들에서는 한 가지 투영법(정형원통도법)에 대해서 투영축을 달리 적용하는 정도만을 고려하고 있을 뿐 투영의 기준 경선이나 위선 등에 대해서는 체계적인 고려를 하지 않고 있다.

고지도 분석에 대한 GIS적 접근의 두번째 경향은 최근에 늘어나기 시작한 것으로 고지도에 대한 기하학적 특성 분석에 기초하여 지형이나 경관, 토지이용 등 지도 상에 재현된 정보에 보다 초점을 두어 분석하려는 연구들이다. 예를 들어 Levin *et al.* (2005)은 18세기 후반부터 팔레스타인 지역을 대상으로 제작된 300여장의 지도를 GIS 환경에서 분석하여 취락 및 토지이용의 변화를 연구하였으며, Skaloš *et al.* (2011) 역시 18세기부터 현재까지 제작된 네 시점의 지도들로부터 토지피복을 중심으로 한 경관 변화를 분석하였다. 자연지리와 관련하여서는 James *et al.* (2012)가 고지도와 현재 시점의 DEM 데이터를 비교하여 지형의 변화를 분석한 바 있다.

고지도의 개념을 근대적인 지도 제작 방법의 적용 유무와 연관 짓는다면 국내에서 고지도에 재현된 지리적 사상을 GIS 환경에서 분석하는 연구는 거의 전무하다. 하지만 고지도의 범위를 이 보다 폭넓게 본다면 국내의 관련 연구들은 우리나라에서 근대적인 지도가 제작되기 시작한 일제강점기 시대의 지도를 사용한 연구가 주를 이루고 있다. 역사지리학 분야에서는 근대 지도를 시각적, 질적으로 사용하는 연구가 주를 이룬다면(예를 들어 김기혁 · 김성희, 2002) 배선헌(2007)의 연구는 GIS에 기초하여 일제시대 지형도와 현재 토지이용도를 중첩하여 토지이용의 변화를 계량적으로 분석하는 모습을 보여준다. 하지만 이 ‘고지도’는 근대적인 과학적 측량에 의거해 제작된 것으로 지오레퍼런싱 정보가 명확하다는 면에서 고지도의 기하학적 특성을 우선적으로 평가하는 과정을 포함하고 있는 상기 서구에서의 연구들과는 다소 차이를 보인다.

2 방법론

1) 투영법 추정 of 전체적인 절차

평면 지도 상에 표현된 기하학적인 형태만으로 고지도

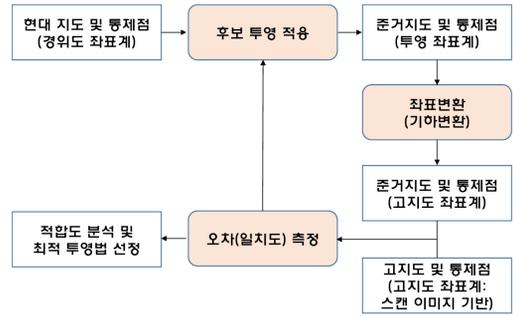


그림 1. 고지도 투영법 추정을 위한 절차

의 투영법을 추정하기 위해서는 오늘날 우리가 파악하고 있는 투영법에 의거하여 재현되는 지도와 고지도를 비교하는 과정을 반복적으로 수행해야 한다(그림 1). 즉, 수많은 투영법들 가운데 해당 고지도에 가장 적합한 투영법을 시행착오(trial-and-error)적인 절차로 파악하게 되지만(Boutoura, 2006; Jenny *et al.*, 2007), 일종의 최적화 문제로 다루어질 수도 있다(Bayer, 2014). 그런데, 고지도의 좌표 공간과 특정 투영법에 의거한 지도의 좌표 공간은 서로 상이하므로 상호 비교를 위해서는 좌표 변환 혹은 기하 변환의 과정을 거쳐야만 한다. 좌표변환 혹은 기하변환은 지오레퍼런싱의 과정으로 이해될 수 있는데(이상일 · 조대현, 2014; Boutoura and Livieratos, 2006) 좌표계가 부재한 지도나 이미지에 실좌표를 등록하거나, 한 좌표계를 다른 좌표계로 변환하는 과정을 포함한다. 한 좌표계를 다른 좌표계로 전환한다는 것은 지도 상의 모든 지점들이 변환 전 좌표계 상의 좌표로부터 변환 후 좌표계 상의 좌표 값으로 전환됨을 의미한다. 이를 위해서는 각 지점들의 변환 전 좌표 값과 변환 후 좌표 값을 서로 대응시키는 변환 방법(수식)이 필요한데, 이는 통상 다수의 통제점(control points)들로부터 산출된다(이상일 · 조대현, 2014; Balletti, 2006; Boutoura and Livieratos, 2006; Jenny *et al.*, 2007).

좌표변환 혹은 기하변환의 방법은 곧 이 변환 수식을 산출하고 적용하는 방법으로 이해할 수 있는데, 대상이 되는 좌표 공간의 차원, 전역성 여부, 수식의 선형성 여부 등에 따라서 구별되는 다양한 방법들이 제시되어 왔다. 먼저, 본 연구의 맥락에서 볼 때 좌표 공간의 차원과 관련하여서는 투영 지도를 다루므로 2차원 평면 상에서의 변환 방법을 사용해야 함은 자명하다. 좌표 변환은 동일한 변환 수식 하나로 연구 지역 전체의 좌표를 동시에 변환하느냐의 여부에 전역적 방법과 국지적 방법으로 구분될 수 있다(Zitova and

Flusser, 2003; Balletti, 2006; Boutoura and Livieratos, 2006; Herrault *et al.*, 2013). 국지적 방법은 지도 상의 위치나 지역에 따라 상이한 변환 수식을 사용하는 것으로서 예를 들어 현대지도와의 중첩을 위해서 고지도를 현대지도에 최대한 들어맞게 ‘강제로라도’ 변환해야 하는 경우라면 바람직한 대안일 수 있다(Herrault *et al.*, 2013). 하지만, 투영법의 경우는 기본적으로 전역적인 성격을 가지고 있으므로 좌표변환 과정에서도 지도 상의 위치에 따라 사상이 상이한 방식으로 변환되는 것을 최소화하는 것이 바람직하고, 따라서 전역적인 좌표 변환이 더 합당할 것으로 판단된다. 하지만 『대동여지도』의 경우 대략 북위 39도선을 기준으로 이북과 이남의 왜곡 정도는 다소 차이가 있음을 고려한다면(이상일 · 조대현, 2014) 두 지역을 별도로 분리하여 분석해보는 것은 의미가 있을 것으로 생각된다. 좌표 변환은 또한 변환 수식이 1차식의 형태를 취하느냐 아니냐에 따라 선형 변환과 비선형 변환으로 구분할 수 있는데, 이 역시 위치에 따른 좌표 변환 방식의 차이를 최소화 한다는 동일한 맥락에서 비선형 변환 보다는 선형 변환이 보다 바람직할 것으로 생각된다. 비선형 변환의 결과에 대해서는 Boutoura and Livieratos(2006)을 참조할 수 있다. 이들을 모두 고려하여 본 연구에서는 2차원 평면을 대상으로 하는 전역적 선형 모델에 초점을 두는데, 그 방법으로는 상사 변환(similarity transformation)과 아핀변환(Affine transformation)이 가장 널리 사용되고 있다(이상일 · 조대현, 2014; Balletti, 2006; Boutoura and Livieratos, 2006; Jenny *et al.*, 2007).

좌표변환을 함에 있어 통상 고지도의 좌표계를 준거 좌표계(고지도가 가지고 있을 것으로 추정되는 후보 투영법을 적용한 좌표계)로 변환하기 보다는 준거 좌표계를 고지도의 좌표계로 변환하게 된다(이상일 · 조대현, 2014; Jenny *et al.*, 2007). 이 준거 좌표계 혹은 후보 좌표계는 그에 상응하는 관련 요소들, 즉 준거 타원체와 관련된 데이터나 투영법 등이 반영된 결과물에 해당한다. 따라서 후보 좌표계를 상정함에 있어 이를 다 고려할 필요가 있으나 평면 기하 형태에는 투영법의 영향이 지배적인 것으로 생각된다(이에 대해서는 별도 분석이 이루어질 필요가 있다). 투영법만을 고려하는 경우라도 투영법 그 자체뿐만 아니라 중앙경선 및 표준위선과 같은 매개변수들이 지도의 형태에 영향을 미칠 수 있으므로 엄밀하게는 투영법 및 매개변수들을 함께 고려한 후보들을 모두 비교 검토할 필요가 있다.

요컨대, 고지도의 투영법을 추정하기 위해서는 먼저 고지도와 준거지도 상에서 서로 동일한 지점을 나타내는 다

수의 통제점(쌍)을 선정하고 준거지도의 좌표계를 후보 투영법에 맞게 전환한다. 이어 선정된 통제점을 사용해 준거지도의 좌표를 고지도의 좌표계로 전환하는 모델(수식)을 정립하고 실제 좌표 변환한 결과물을 통해 어느 투영법과 얼마나 일치하는지를 평가하는 과정을 반복적으로 수행하게 된다. 이때 GIS 기반의 분석 환경은 데이터 구축에서부터 분석 및 결과 시각화에 이르는 전 과정을 가장 효과적으로 지원할 수 있다.

2) 최적 투영법 추정 방법

고지도의 정확도나 투영법을 추정하기 위해 좌표변환 후 통제점 쌍들의 위치가 서로 얼마나 일치하는지를 측정하는 방법이 널리 사용되고 있다(이상일 · 조대현, 2014; Jenny *et al.*, 2007; Herrault *et al.*, 2013). 고지도에는 왜곡이 불규칙적으로 포함되어 있어 준거지도 상의 통제점 좌표를 고지도 상의 좌표로 변환 후에도 각 통제점 쌍에서는 여전히 오차(거리)가 발생할 수 있는데, 이는 통상 RMSE(root mean square error) (Baiocchi *et al.*, 2013; Herrault *et al.*, 2013) 혹은 그와 유사한 표준편차(이상일 · 조대현, 2014; Jenny *et al.*, 2007)로 요약된다. 따라서 이 방법을 따르게 되면 RMSE 혹은 표준편차가 작을수록 상대적으로 더 정확하다거나, 대상 투영법과 더 일치한다는 식의 결론을 유도하게 된다.

RMSE는 일반적으로 관찰값과 기대치(혹은 추정치) 간에 발생하는 오차의 제곱들을 평균하고 제곱근을 구한 것으로서, 본 맥락에서 오차는 각 통제점 쌍에서의 거리로 측정된다. RMSE가 오차(거리) 제곱들에 대한 산술평균의 제곱근이라면, Jenny *et al.*(2007)이 제시한 표준편차는 오차 제곱들의 합을 통제점의 수보다 조금 더 큰 값으로 나누어 산출한다. 하지만 이들이 공통적으로 받아들이고 있는 점은 오차(거리)의 제곱을 취한다는 것으로서, 다시 말해 오차가 크게 발생하는 지점의 영향력(가중치)을 더 크게 수용함을 의미한다. Willmott and Matsuura(2006)가 예시한 바와 같이 RMSE와 유사한 형태의 평가 지표에서는 오차의 총합은 동일할지라도 모든 통제점에서 오차가 골고루 발생하는 경우보다 오차가 큰 일부 통제점이 존재하는 경우에서 지표 값이 더 크게 나타날 수 있다. 하지만 『대동여지도』와 같이 왜곡이 포함된 고지도의 투영법을 추정함에 있어 RMSE와 같은 측정 방법이 최선의 기준이 될 수 있는지에 대해서는 반론의 여지가 있을 것으로 보인다. 이례적으로 오차가 크게 발생하는 지점은 고지도가 가진 전반적인 정확도에 비추어 왜곡이 더 크게 발생한 지점으로 간

주할 수 있고, 따라서 그를 제외한 다른 지점들에서는 오차가 비교적 고르게 나타난다면 RMSE가 크더라도 해당 투영법에 적합한 것으로 추정할 수 있기 때문이다. 따라서 모든 오차를 동등하게 고려할 수 있도록 RMSE를 대리하거나 보완할 수 있는 지표가 필요한데, MAE(mean absolute error)가 대안이 될 수 있다. MAE는 통상 관찰 값과 기대치 간의 차이에 대한 절대값들을 구한 후 그 평균을 구하여 산출하지만, 본 맥락에서는 각 통제점에서 오차(거리)에 대한 산술평균에 해당한다. 이례적인 오차의 영향을 조금 더 적극적으로 감소시키고자 한다면 MdAE (median absolute error)를 고려할 수 있는데, 이는 오차의 절대값들에 대한 중위수에 해당한다(Shcherbakov *et al.*, 2013).

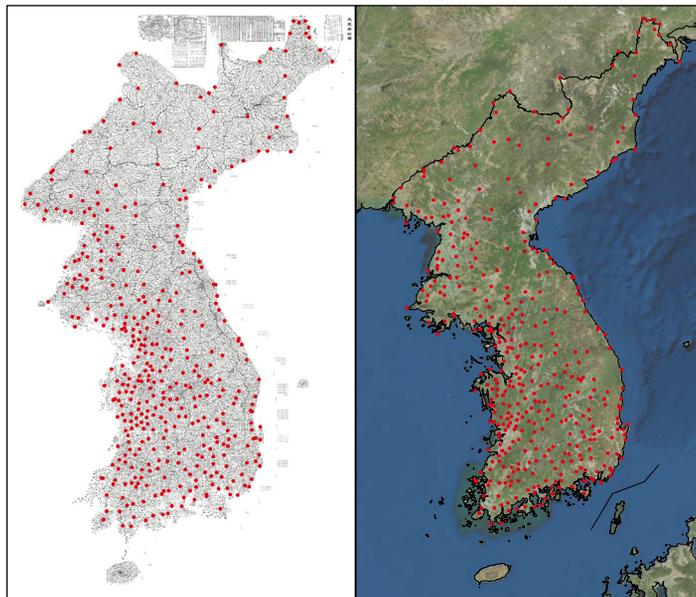
이처럼 통제점 쌍들의 위치 일치도를 평가하는 방법들이 있지만, 위치 일치도가 높다고 해서 곧 투영법에 따른 다른 기하학적인 특성들도 오차가 최소화 되는지에 대해서는 여전히 의문이 제기될 수 있다. 즉, 통제점들에 대한 일치도 뿐만 아니라 라인이나 에어리어와 관련된 형태("shape") 측면에서의 일치도 또한 평가될 필요가 있다는 지적이 가능하다(Bayer, 2014; 2016). 예를 들어 평균적으로 동일한 크기의 위치 오차가 나타나더라도 오차의 크기나 방향이 국지적으로 이질적이면 형태는 서로 상이할 수

있다. 이러한 형태적 속성을 파악함에 있어 현재까지 크게 세가지 정도의 방식이 사용되고 있다. 그것은 통제점 주변에 작은 원을 그려서 그 형태 변화를 파악하는 티소 지수(Tissot's Indicatrix) 유형의 방법(Balletti, 2006; Jenny *et al.*, 2007), 격자의 형태 변화를 파악하는 방법(Jenny *et al.*, 2007), 통제점에 대한 보로노이 폴리곤을 토대로 형태 변화를 파악하는 방법(Bayer, 2014) 등이다. 이 중 Bayer가 선회 함수(turning function)를 이용해 보로노이 폴리곤의 형태 유사도를 계량적으로 측정하는 방법을 사용한 것을 제외하면, 티소 지수 유형의 방법이나 격자의 형태 변화를 파악하는 방법은 그래픽적인 분석에 치중하고 있어 후보 투영법 간에 계량적으로 상호 비교 가능한 형태의 분석을 수행할 필요가 있다.

III. 분석 방법

1. 통제점 설정

『대동여지도』의 투영법을 추정하되 해양의 영향을 배제한다는 면에서 분석의 범위는 한반도만을 대상으로 하여 좌표변환에 사용될 통제점을 선정하였다(그림 2). 통제



(a) 대동여지도

(b) 현대 준거 지도

그림 2. 대동여지도의 투영법 추정을 위한 통제점 설정

점은 약 400개를 선정하였는데, 하구나 산정과 같은 지형상의 특징점과 조선시대 지방행정중심지인 군현의 치소 위치 등 『대동여지도』와 현대 지도 상에서 그 위치를 동시에 파악할 수 있는 지점으로 선정하였다. 통제점의 약 25%는 지형상의 특징점에 해당하며 나머지 75%는 군현의 치소 위치에 해당한다. 선정된 통제점에 대해서는 좌표 값을 산출해야 하는데, 『대동여지도』의 경우 서울대학교 규장각한국학연구원 홈페이지(<http://e-kyujanggak.snu.ac.kr/>)에서 서비스하는 이미지 데이터를 기초로 픽셀 기반의 좌표를 측정한 후 픽셀 해상도를 이용해 미터(m) 단위로 환산한 좌표 값을 사용하였다.

통제점 설정에 있어 가장 큰 어려움은 『대동여지도』 상에 지정된 통제점의 실제 위치를 현대 지도 상에서 파악하는 과정에서 발생한다. 이 연구에서 사용된 통제점 중 군현의 치소 위치는 기본적으로 고려대학교 민족문화연구원에서 수행한 “조선시대 전자문화지도 시스템”(김종혁, 2013a)(<http://www.atlaskorea.org/>)에 탑재된 읍치 레이어로부터 취득하였다. 이 읍치 레이어는 현대 지도를 기준으로 읍치를 포인트로 표현하는데, 그 위치의 경위도 좌표 값을 별도로 디스플레이하고 있다(그림 3). 이 좌표 값을 기초로 하였지만 좌표의 정밀도가 아주 좋지는 못해 남한 지역의 경우 문제가 파악된 지점들에 대해 다양한 참조 정보를 통해 실제 위치로 보정하는 과정을 거쳤다. 북한 지역의 경우는 관련 참조 정보가 드물어 인터넷 지도 서비스(구글맵 & 구글 어스)를 중심으로 제시된 좌표의 실제 경

관을 확인하는 방식으로 위치를 조정하는 과정을 거쳤다. 하지만 이 읍치의 위치가 『대동여지도』 상에 표현된 군현의 치소 위치와 일치하는지, 조선시대 전자문화지도 시스템에 등록된 읍치의 위치가 정확한 것인지에 대해서는 근거가 명확하지 않고 더불어 북한에 위치한 읍치들은 관련 정보가 극히 제한적이므로 통제점의 위치 비정에 한계가 있었음을 미리 밝혀둔다.

2 후보 투영법 설정 및 좌표변환

지도 투영법은 개념적으로 경도 및 위도로 표현되는 지도 기반의 좌표를 평면직각 좌표로 변환하는 함수로서 그 종류가 상당히 다양한데, 세계지도 제작을 위해 고려할 수 있는 투영법만 100개 이상이 된다(Čapek, 2001). 하지만 투영법에는 투영축의 설정, 투영면의 설정, 투영의 기준 경선 및 위선, 축척 계수 등 특정 투영법을 적용하는 방식과 관련된 다양한 옵션이 존재하므로 결과적으로 평면 상에서 크기나 형태 등의 측면에서 서로 상이한 결과를 낳는 투영 방법의 수는 무한대에 가깝다고 할 수 있다. 따라서 이 모든 것을 다 검토하는 것은 어려우며, 정거성, 정적성, 정형성 등 투영법의 계열이 서로 구분되면서도 지도학 개론서 등에 언급되거나(이상일 등, 2012; 이상일·조대현, 2012), 『대동여지도』의 투영법과 관련해 그 간에 진행된 연구들에서 언급된 투영법들(이상일·조대현, 2014)을 중심으로 제한하고자 한다(표 1).

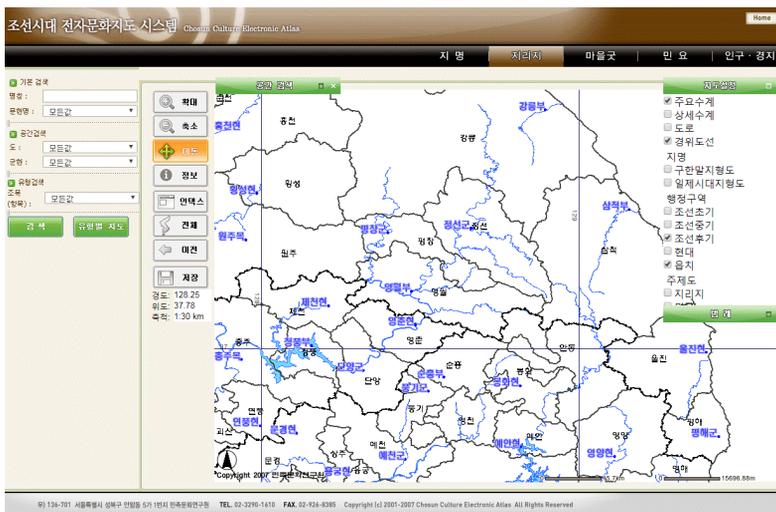


그림 3. 군현의 읍치 위치를 나타내고 있는 조선시대 전자문화지도 시스템(<http://www.atlaskorea.org>)

표 1. 대동여지도의 투영법 추정에 사용될 후보 투영법 리스트

투영법의 계열	정축	횡축
정형도법	정형원통도법	횡축메르카토르도법
	정형원추도법	
정거도법	정거원통도법	횡축정거원통도법
	정거원추도법	
	정거방위도법	
정적도법	정적원통도법	횡축정적원통도법
	정적원추도법	
절충도법	에케르트 III 도법	
	빈켈트리펠 도법	
	로빈슨 도법	

투영법의 매개변수와 관련하여서는 투영축은 대부분 정축을 주로 고려하되 원통도법(정형도법, 정거도법, 정적도법)에 대해서는 횡축을 고려하였고, 나머지 매개변수 중에는 지도의 형태에 영향을 크게 미치는 중앙경선 및 표준위선만을 추가적으로 고려하였다. 중앙경선의 경우 『대동여지도』 상에 한반도의 형상이 비교적 정확히 표현되어 있음을 고려하여 한반도 및 그 주변에 위치하도록 설정하였다(122도~132도). 표준위선의 경우는 일반적인 투영법의 적용 방식을 고려하여 적도에서부터 북위 60도 범위 내에서 설정되도록 하였다. 분할선을 적용하는 경우 중심 위선으로부터 그 범위가 최대 20도가 될 때까지 상하로 증가되도록 설정하였다. 예를 들어 중심 위선이 북위 38도 라면, 38도에서부터 시작해 두 표준위선이 (37도, 39도), (36도, 40도), ..., (27도, 47도)까지 변화하도록 하였다. 비교적 범위가 좁은 동서 방향으로는 30분 간격의 중앙경선을, 범위가 넓은 남북 방향으로는 1도 간격의 표준 위선을 설정하였는데, 이렇게 하면 이론적으로 13개 후보 투영법에 대해 모두 4만 5천건 가량의 투영이 가능해진다(물론 여기에는 기준 경선이나 위선에 따라 지도의 형태가 영향을 받지 않는 경우도 포함된다).

투영법의 추정을 위해 현대 지도 상의 통제점이 가진 경위도 좌표로부터 후보 투영법을 적용한 좌표를 산출한 후, 이를 『대동여지도』 상의 좌표계로 선형 평면 변환하게 된다. 가장 널리 사용되는 상사변환과 아핀변환은 둘 다 좌표 위치 이동(전위), 확대 혹은 축소(축척 변화), 회전을 공통적으로 유발하지만 아핀변환은 여기에 더해 형태 상의 변화를 추가적으로 발생시킨다(이상일 · 조대현, 2014). 『대동여지도』 상에서의 형상이 현대 지도 상의 형상에 비해 체계적으로 변형되어 있다면(예를 들어 정사각형이 평행사변형으로) 이를 보정한 후 투영법을 추정할 필요가 있

다. 하지만 『대동여지도』에 대해 그러한 특성은 밝혀진 바 없으며, 설혹 있더라도 그조차도 그 당시 지리적 인식의 결과물이라 간주하고 형태 변화는 없이 투영법을 추정하는 것이 합리적이라는 주장도 가능하다. 나아가 후보 투영법에 의한 좌표를 『대동여지도』 상의 좌표로 변화하는 본 분석의 맥락을 고려해보면 아핀변환을 수행하는 경우 원 후보 투영법이 가진 본질적인 속성(예를 들어 정형도법의 정형성)이 훼손될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상사변환과 아핀변환을 별도로 수행하여 분석하되 둘 중 하나를 우선해야 하는 경우에는 상사변환을 위주로 하였다. 한편, 통제점 설정, 투영법 적용 및 좌표변환, 적합도 분석, 결과 시각화 등은 R 소프트웨어와 ArcGIS 상에서 이루어졌는데, R 패키지 중에서는 “rgdal”, “vec2dtransf”를 사용하였다.

3. 투영법 추정 방법

후보 투영법이 적용된 현대 준거 지도상의 통제점 좌표를 『대동여지도』 상의 좌표로 변환한 후 일반적으로 위치 일치도 측정을 하는데 대표적으로 RMSE 방식이 널리 사용된다는 점은 전술한 바와 같다. 하지만 왜곡을 포함하고 있는 『대동여지도』의 투영법을 추정함에 있어 RMSE는 불충분할 수 있고, 따라서 본 연구에서는 MAE를 함께 측정하는데, 둘 중 하나만을 선택해야 하는 경우에는 후자를 우선하였다.

또한 『대동여지도』의 후보 투영법을 추정함에 있어 통제점의 위치 일치도 측정만으로는 한계가 있을 수 있음을 수용하여 형태 일치도를 함께 분석하고자 한다. 형태 일치도는 티소 지수의 개념을 원용하여 측정하고자 하는데, 한반도(제주도 제외)를 포함하는 범위(동경 124~131도, 북위 33~44도)를 30분 간격으로 분할하고 이 경선들과 위선

들이 교차하는 지점에 지름 20km의 원(정거도법 기준)을 설정하였다(그림 5). 이 원들에 대해 후보 투영법을 적용하면 그 투영법의 계열적 특성을 반영하는 형태(원 혹은 타원)가 나타난다. 이를 다시 『대동여지도』의 좌표계로 변환한 후 통제점 좌표변환 과정에서 파악된 오차의 분포를 활용하면 『대동여지도』 상에서 왜곡에 의해 변형된 원의 형태를 추정할 수 있다. 이 과정을 거쳐 최종적으로 후보 투영법 상의 원과 『대동여지도』 상에서 변형된 원 간의 형태 유사도를 측정하게 된다. 형태 유사도는 다양한 방식으로 측정 가능하지만 본 연구에서는 선행 연구(Capek, 2001; Balletti, 2006)를 참조하여 경선 방향의 축 길이, 경선 방향 축 길이와 위선 방향 축 길이 간의 비, 원(타원)의 면적을 지표로 사용한다. 즉, 후보 투영법을 적용한 원과 『대동여지도』 상에서의 변형 원 간에 상기 지표 값들을 MAE 및 RMSE로 측정한 후 그 값이 낮을수록 대상 투영법과 더 일치하는 것으로 추정하게 된다.

그런데, 위치 일치도 및 형태 일치도와 관련된 지표들의 측정 값을 종합하기 위해서는 정규화 내지는 표준화 과정이 필요하다. 즉, 사용된 지표의 단위가 길이, 비율, 면적 등으로 상이할 뿐만 아니라 그 값의 크기도 달라서 서로 비교 가능한 값으로 정규화한 후(de Smith, 2015), 일종의 가중선형조합(Malczewski, 2000)을 통해 하나의 값으로 요약하였다. 정규화 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 본 연구에서는 각 케이스의 값에서 최소값을 뺀 후 다시 최소값으로 나누는 방법을 사용하였다(수식 1). 수식 1에서 x 는 투영법 추정에 사용되는 특정 지표(k)의 원래 값을, Z_k 는 정규화된 지표 값을 의미하는데, 특정 지표에서 가장 적합한 값이 0이 된다. 수식 2는 특정 후보 투영법(p)에 대한 적합도 점수(F_p)가 정규화된 각 지표 값들의 가중합임을 보여준다. 형태 일치도에 속하는 지표 수가 많으므로 위치 일치도와 형태 일치도의 비중이 동등해지도록 가중치(w)를 설정하였다.

$$Z_k = \frac{x - x_{min}}{x_{min}} \quad (1)$$

$$F_p = \sum_k^n w_k Z_k \quad (2)$$

IV. 분석 결과

후보 투영법을 적용하는 과정에서 투영의 기준경선 및

위선에 따른 차이를 고려하였으며, 따라서 가장 적합도가 높은 투영법은 물론 그 기준 경선 및 위선까지도 파악할 수 있다. 하지만 이렇게 기준 경선 및 위선까지 고려하는 것은 『대동여지도』의 실제 제작 의도나 방법과는 무관할 수 있으며, 따라서 그 자체로 큰 의미를 부여할 필요는 없다. 즉, 본 연구의 분석에서 사용되는 투영의 기준 경선이나 위선은 그 자체가 목적이 아니라 『대동여지도』에 가장 적합한 투영법 혹은 투영법의 계열을 밝히기 위한 방법적 수단으로서 이해하는 것이 바람직하다고 생각된다. 먼저 각 후보 투영법 내에서 가장 적합도가 높은 경우를 선정하여 그 특성을 살펴본 후, 적합도 점수에 비추어 『대동여지도』에 가장 적합한 투영법을 추정한다. 이어 추정된 투영법이 『대동여지도』의 전역에서 등질적으로 적합하지 않음을 오차의 분포를 중심으로 살펴보고, 남부와 북부에 대해 가장 적합한 투영법을 별도로 추정할 결과를 살펴본다.

1. 후보 투영법별 최적화 결과 선정

가장 적합한 투영법을 추정하기 앞서 다른 투영법과의 상호 비교를 위해 위해 13개 투영법 내에서 최적의 결과를 선정하여 그 특성을 살펴보았다. 각 투영법 내에서의 최적의 결과를 선정함에 있어서는 상사변환 후 위치 및 형태 일치도를 MAE로 측정한 결과를 우선 사용하였다. 부연하자면, 상사변환이나 아핀변환이냐에 따라, 그리고 MAE나 RMSE냐에 따라 각 투영법 내에서 최적의 결과는 다소 달라졌지만, 13개 투영법 가운데 가장 적합한 투영법을 선정하는 데는 큰 어려움이 없었다.

표 2는 한반도 전역을 대상으로 각 후보 투영법별로 적합도가 가장 높은 투영의 기준 선과 그 때의 개별 지표 값을 MAE와 RMSE 기준으로 측정한 결과를 나타낸다. 이 MAE와 RMSE는 지표별 일치도를 오차로 나타내고 있는데, 그 값은 기본적으로 『대동여지도』의 좌표계에 기초함을 주의할 필요가 있다. 『대동여지도』 이미지 데이터에 설정된 통제점의 좌표 공간은 남북 방향으로 0.06998~0.65489(길이 약 0.58491m)에 걸쳐 있는데, 현대 준거 지도를 기준으로 할 경우 지표 상에서 그 길이는 대략 960km 정도에 달한다. 따라서 단순히 환산하면 『대동여지도』 좌표계 상에서 측정된 길이나 거리 0.01은 실제 지표 상에서 대략 16,400m에 해당하게 된다. 이를 토대로 표를 읽어보면 예를 들어, 상사변환 MAE 기준의 통제점 위치 오차 값이 정형원통도법은 0.0066인데, 이를 지표 상 실제 거리로

표 2. 대동여지도의 후보 투영법별 최적 투영 기준 및 오차

(a) 상사변환 결과

투영법	투영 기준			상사변환 MAE				상사변환 RMSE			
	중앙경선	표준위선1	표준위선2	통제점 위치 오차	경선축 길이 오차	경·위선 축 길이 비율 오차	면적 오차	통제점 위치 오차	경선축 길이 오차	경·위선 축 길이 비율 오차	면적 오차
정형원통도법	-	-	-	0,006600	0,001221	0,137041	0,000016	0,008290	0,002119	0,211135	0,000025
횡축메르카토르도법	129,0	-	-	0,007028	0,001263	0,141785	0,000017	0,008970	0,002231	0,222404	0,000026
정형원추도법	-	3,0	-	0,006591	0,001224	0,137068	0,000016	0,008303	0,002127	0,211723	0,000025
정거원통도법	-	38,0	-	0,006905	0,001228	0,136202	0,000016	0,008673	0,002180	0,212444	0,000026
횡축정거원통도법	129,5	-	-	0,007028	0,001263	0,141820	0,000017	0,008970	0,002230	0,222554	0,000026
정거원추도법	-	37,0	-	0,006851	0,001244	0,135690	0,000016	0,008783	0,002206	0,214678	0,000026
정거방위도법	132,0	-	-	0,007007	0,001262	0,141527	0,000017	0,008953	0,002229	0,222377	0,000026
정적원통도법	-	38,0	-	0,007773	0,001326	0,141330	0,000017	0,009581	0,002286	0,215515	0,000027
횡축정적원통도법	128,5	-	-	0,007053	0,001265	0,142752	0,000017	0,008973	0,002231	0,223383	0,000026
정거원추도법	-	33,0	-	0,007032	0,001259	0,138278	0,000017	0,009009	0,002236	0,218578	0,000026
에케르트 III 도법	128,0	-	-	0,012302	0,001391	0,167505	0,000023	0,015309	0,002377	0,237546	0,000033
빈켈트리펠도법	132,0	-	-	0,007580	0,001250	0,154837	0,000017	0,009167	0,002174	0,232819	0,000026
로빈슨도법	130,0	-	-	0,007272	0,001228	0,135113	0,000017	0,009284	0,002206	0,209577	0,000026
평균	-	-	-	0,007463	0,001263	0,142381	0,000017	0,009405	0,002218	0,219595	0,000026
표준편차	-	-	-	0,001492	0,000047	0,009121	0,000002	0,001809	0,000066	0,008479	0,000002
변동계수	-	-	-	0,199858	0,037292	0,064062	0,106023	0,192345	0,029847	0,038612	0,076544

(b) 아핀변환 결과

투영법	투영 기준			아핀변환 MAE				아핀변환 RMSE			
	중앙경선	표준위선1	표준위선2	통제점 위치 오차	경선축 길이 오차	경·위선 축 길이 비율 오차	면적 오차	통제점 위치 오차	경선축 길이 오차	경·위선 축 길이 비율 오차	면적 오차
정형원통도법	-	-	-	0,006632	0,001223	0,139384	0,000016	0,008259	0,002117	0,213791	0,000025
횡축메르카토르도법	129,0	-	-	0,007011	0,001262	0,141570	0,000017	0,008920	0,002225	0,221871	0,000026
정형원추도법	-	3,0	-	0,006621	0,001226	0,139203	0,000016	0,008278	0,002125	0,214100	0,000025
정거원통도법	-	38,0	-	0,006917	0,001230	0,137927	0,000016	0,008623	0,002174	0,213809	0,000026
횡축정거원통도법	129,5	-	-	0,007010	0,001262	0,141532	0,000017	0,008921	0,002225	0,221945	0,000026
정거원추도법	-	37,0	-	0,006869	0,001246	0,137595	0,000016	0,008698	0,002198	0,216462	0,000026
정거방위도법	132,0	-	-	0,006992	0,001260	0,141364	0,000017	0,008905	0,002223	0,221887	0,000026
정적원통도법	-	38,0	-	0,007647	0,001305	0,140575	0,000017	0,009404	0,002273	0,216241	0,000027
횡축정적원통도법	128,5	-	-	0,007016	0,001263	0,141499	0,000017	0,008925	0,002226	0,221816	0,000026
정거원추도법	-	33,0	-	0,007023	0,001261	0,139829	0,000017	0,008915	0,002227	0,219787	0,000026
에케르트 III 도법	128,0	-	-	0,006864	0,001230	0,137175	0,000016	0,008615	0,002176	0,214084	0,000026
빈켈트리펠도법	132,0	-	-	0,006834	0,001231	0,136927	0,000016	0,008634	0,002180	0,215227	0,000026
로빈슨도법	130,0	-	-	0,006888	0,001233	0,136778	0,000016	0,008681	0,002185	0,214766	0,000026
평균	-	-	-	0,006948	0,001249	0,139335	0,000017	0,008752	0,002196	0,217368	0,000026
표준편차	-	-	-	0,000249	0,000023	0,001881	0,000000	0,000301	0,000043	0,003508	0,000001
변동계수	-	-	-	0,035886	0,018541	0,013497	0,015648	0,034401	0,019754	0,016137	0,023008

단순 환산하면 약 10,800m 정도가 된다.

각 지표들에 대해 산출된 값을 보면 전체적으로 상사변환 보다는 아핀변환에서 오차가 작게 나타나고 있는데, 이는 형태 상의 변화까지도 강제하는 아핀변환의 특성상 당연한 결과로 해석할 수 있다. 13개 투영법 간의 차이를 보면 평균 값에 비해 표준편차가 그리 크지 않을 것을 볼 수 있는데, 이는 후보 투영법 간에 적당도 차이가 압도적으로 크지는 않음을 의미한다. 13개 투영법을 평균한 값과 최선

의 결과를 비교해보면 위치 오차의 경우는 약 12%, 형태 오차는 약 4~5% 정도 더 적합한 것으로 나타나고 있다. 이는 후보 투영법들에 의한 지도 상의 형태 변화가 한반도 수준의 지리적 범위에서는 크게 두드러지게 나타나지 않기 때문으로 해석할 수 있다. 변동계수를 보면 투영법 간에 차이를 더 크게 발생시키는 지표를 살펴볼 수 있는데, 아핀변환이나 상사변환 모두 통제점 위치 오차에서 그 값이 더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

한편, 표 2에서 투영 기준은 각 후보 투영법에서 가장 최적의 결과를 나타낸 기준 경선과 위선을 나타내는데, 그 값이 비어있는 경우는 기준이 되는 경선이나 위선이 표현되는 지리적 사상의 형태에 영향을 미치지 않음을 나타낸다. 대체로 기준 경선의 경우 한반도 동쪽에 치우쳐 있으며, 위선은 남북 방향의 중앙부에 위치하는 것으로 나타나고 있다. 기준 경선이 한반도 동부에 치우치는 것은 『대동여지도』가 대체로 북쪽을 기준으로 오른쪽으로 약간 회전되어 있는 경향을 반영하는 것으로 보인다(이상일·조대현, 2014). 실제 횡축메르카토르 도법이나 로빈슨도법 등 기준 경선이 지도 상의 형상에 영향을 주는 도법들의 경우, 기준 경선이 한반도의 동부에 오게 되면 지도 상에서 한반도의 전체적인 형상이 북쪽을 기준으로 오른쪽으로 기울어지는 듯한 효과를 낳게 된다. 좀 더 정확히 말하자면, 기준 경선의 좌측에 있는 경선들은 북으로 갈수록 오른쪽을 향해서 기울어지는데 이때 위도에 따라 경선의 간격이 달라져 회전효

과와 동시에 형태상의 변화를 수반한다. 상사변환시 체계적인 회전은 상쇄되거나 형태 변화는 잔존하며, 여기에 『대동여지도』의 국지적인 왜곡 특성이 복합되면서 기준 경선이 동쪽에 치우칠 때 적합도가 높게 나타나는 것으로 판단된다.

2. 적합도 분석 및 최적 투영법 추정

각 후보 투영법 내에서 최적의 결과를 선정한 후 적합도 분석을 통해 최종 추정 투영법을 선정하였다. 표 3은 표 2에 제시된 각 지표를 종합하여 종합적인 적합도 점수로 산출한 결과를 보여주는데, 값이 0에 가까울수록 적합도가 높음을 나타낸다. 표에서 위치 일치도는 통제점의 위치 오차만을 고려한 경우로 위치와 형태를 함께 측정된 결과와의 비교를 위해 참조로 제시되었다. 하지만 가장 높은 적합도를 보이고 있는 투영법을 포함해서 전반적으로 두 방식 간에 적합도 순위는 큰 차이가 없었다. 이는 앞서 살펴

표 3. 대동여지도의 후보 투영법별 적합도 점수 및 순위

투영법	상사변환				아편변환			
	MAE		RMSE		MAE		RMSE	
	위치 일치도	위치 및 형태 일치도						
정형원통도법	0,0013 (2)	0,0030 (2)	0,0000 (1)	0,0012 (1)	0,0016 (2)	0,0040 (2)	0,0000 (1)	0,0000 (1)
횡축메르카토르도법	0,0663 (6)	0,0575 (7)	0,0820 (6)	0,0667 (7)	0,0589 (10)	0,0458 (11)	0,0801 (10)	0,0623 (10)
정형원추도법	0,0000 (1)	0,0028 (1)	0,0016 (2)	0,0031 (2)	0,0000 (1)	0,0033 (1)	0,0023 (2)	0,0027 (2)
정거원통도법	0,0477 (4)	0,0261 (4)	0,0462 (3)	0,0369 (3)	0,0447 (7)	0,0258 (7)	0,0442 (4)	0,0340 (4)
횡축정거원통도법	0,0664 (7)	0,0576 (8)	0,0820 (7)	0,0667 (8)	0,0588 (9)	0,0456 (10)	0,0802 (11)	0,0623 (11)
정거원추도법	0,0394 (3)	0,0236 (3)	0,0595 (4)	0,0473 (4)	0,0374 (5)	0,0249 (6)	0,0532 (7)	0,0418 (7)
정거방위도법	0,0632 (5)	0,0555 (6)	0,0800 (5)	0,0655 (5)	0,0560 (8)	0,0439 (8)	0,0783 (8)	0,0612 (8)
정적원통도법	0,1793 (12)	0,1221 (12)	0,1557 (12)	0,1090 (12)	0,1549 (13)	0,1015 (13)	0,1387 (13)	0,1004 (13)
횡축정적원통도법	0,0701 (9)	0,0609 (9)	0,0823 (8)	0,0676 (9)	0,0596 (11)	0,0461 (12)	0,0807 (12)	0,0626 (12)
정적원추도법	0,0670 (8)	0,0530 (5)	0,0868 (9)	0,0664 (6)	0,0607 (12)	0,0444 (9)	0,0794 (9)	0,0618 (9)
에케르트 III 도법	0,8666 (13)	0,5694 (13)	0,8467 (13)	0,5192 (13)	0,0367 (4)	0,0209 (4)	0,0432 (3)	0,0332 (3)
빈켈트리펠도법	0,1501 (11)	0,1138 (11)	0,1057 (10)	0,0823 (11)	0,0321 (3)	0,0184 (3)	0,0454 (5)	0,0348 (5)
로빈슨도법	0,1034 (10)	0,0631 (10)	0,1199 (11)	0,0735 (10)	0,0403 (6)	0,0226 (5)	0,0511 (6)	0,0384 (6)

주) 값이 작을수록 높은 적합도를 나타냄.

본 것처럼 위치 일치도에서 투영법 간에 상대적으로 큰 차이가 나타났으며, 더불어 위치 오차가 크면 대체로 형태 오차도 함께 커지는 경향을 반영하는 때문으로 보인다.

후보 투영법의 좌표계를 『대동여지도』 상의 좌표계로 상사변환한 후 MAE를 우선하는 경우는 정형원추도법이, RMSE를 우선하는 경우는 정형원통도법이 가장 적합도가 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 아핀변환에서도 동일하게 나타났지만 두 투영법 간의 차이는 상당히 미미하였다. 표 3의 적합도 점수에서 0.01은 가장 적합도가 높은 경우에 비해 오차가 1% 더 큼을 의미하는데 상사변환을 기준으로 하는 경우 정형원통도법과 정형원추도법 간에는 약 0.0002~0.002, 즉 최대 0.2% 정도의 차이만 발생하였다. 앞서 정형원통도법에 대한 위치 오차가 약 10,800m였던 점을 생각해보면 거리 기준으로 0.2%는 약 20m 정도의

차이에 해당하는데, 이는 『대동여지도』 및 준거 지도 상에 설정된 통제점의 위치 정확도나 통제점 수의 증감 등에 의해서 그 순위가 달라질 수 있는 범위로 생각된다. 따라서 한반도 전체를 대상으로 할 경우 『대동여지도』는 정형원추도법 및 정형원통도법 둘 다에 가장 적합한 것으로 것으로 판단하는 것이 합리적이라 생각된다.

결과적으로 투영법의 계열상 정형도법과 가장 유사한 것으로 판단할 수 있는데, 정형도법 외에는 정거도법과 정적도법 순으로 적합도가 높게 나타났다. 정거도법과 정적도법 가운데는 둘 다 원추도법의 적합도가 높아서 한반도 전체를 대상으로 할 경우 『대동여지도』는 전반적으로 원추도법의 속성을 가장 강하게 지니는 것으로 나타났다. 절충도법 가운데는 로빈슨도법의 적합도가 가장 높게 나타나고 있다. 그림 4는 투영법의 계열별로 『대동여지도』와

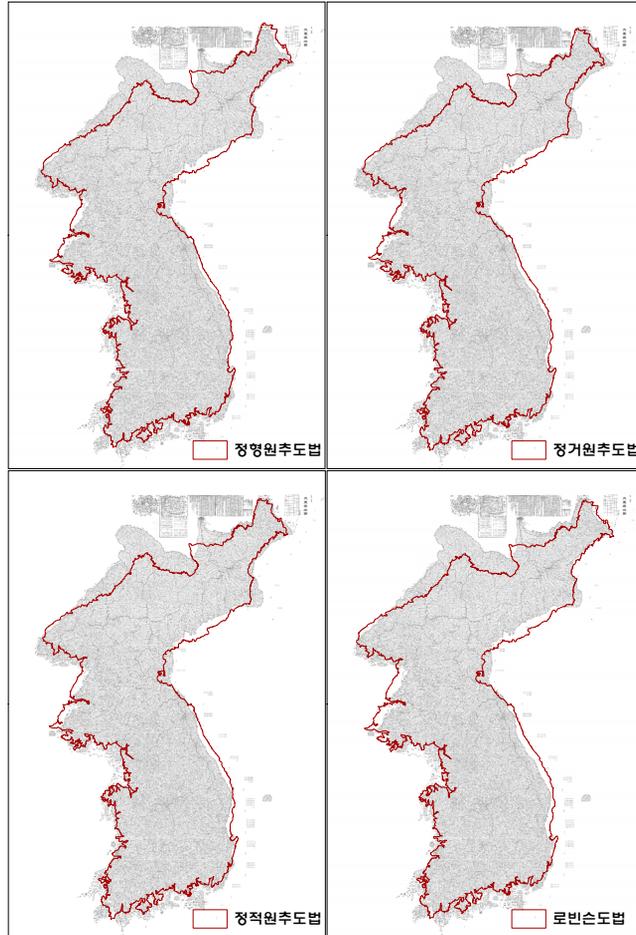


그림 4. 투영법의 계열별 최적 투영법

가장 부합하는 투영법들에 대해 한반도의 경계를 『대동여지도』와 중첩하여 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 투영법 간에 차이가 나타나고는 있으나 그 정도는 압도적이지는 않음을 재확인 할 수 있다.

3. 적합도의 지리적 이질성

적합도가 가장 높았던 정형원추도법을 적용한 준거 지도를 대상으로 대동여지도와의 위치 및 형태 오차의 분포를 살펴보았다(그림 5). 그림 5의 (a)는 통제점 간의 위치 오차를 벡터로 보여주고 있는데, 후보 투영법 상의 통제점에서 『대동여지도』 상의 통제점으로 향하는 화살표로 그 크기와 방향을 나타내고 있다. 남부에서는 오차가 미미하여 정형원추도법과의 일치성이 높게 나타나지만 북쪽으로 갈수록 오차가 커지고 있다. 서해안과 동해안은 물론 내륙에서도 오차가 비교적 크게 발생하고 있으며, 특히 압록강을 따라서는 상당히 큰 오차가 발생하고 있다. 이러한 패턴은 투영법 간에 다소간의 차이는 있으나 대체로 유사한 경향으로 나타나고 있는데, 『대동여지도』에 포함된 왜곡을 반영하는 것이라 할 수 있다.

통제점의 위치 오차가 보이는 국지적 분포의 패턴은 형

태 오차에 반영되는데, 예를 들어 위치는 어긋나 있더라도 오차의 크기나 방향이 국지적으로 등질적이려면 형태 상의 오차는 미미할 수 있다. 그림 5의 (b)는 형태 상의 오차를 파악하기 위해 준거지도 상의 경위선망 및 원과 『대동여지도』 상의 경위선망 및 원을 비교하고 있다. 남부의 경우 위치 오차의 크기가 작기도 하지만 국지적으로 서로 유사하여 결과적으로 원의 형태가 비교적 안정적으로 유지되지만 위도가 높아질수록 다양한 방식으로 변형되고 있다. 남부에서는 태안반도를 향하는 오차가 두드러지는데, 내륙에서 국지적으로 오차의 크기와 방향이 다른 지점들이 뒤섞이면서 원의 형태가 타원을 취하는 경우가 많이 관찰되고 있다. 북쪽으로는 황해도를 지나며 서해안 부근에서 동쪽 방향의 오차가 다수 관찰되지만, 그 크기와 방향이 비교적 균질하여 원형을 유지하고 있는 경우들이 많은 반면 북동쪽 방향으로 동해안에 이르는 동안에는 오차의 이질성이 커지며 남북 방향으로 긴 타원들이 나타나고 있다. 북위 39도(대략 평양 부근) 이상에서는 위치 오차의 확대와 함께 원의 크기 또한 준거 지도에 비해 더 커지는 경향을 볼 수 있으며, 압록강을 주변에는 형태의 변형이 큰 경우들이 나타나고 있다. 형태상으로는 준거지도 상의 원에 비해 남북의 길이가 10% 더 긴 경우가 10% 더 짧은 경우에

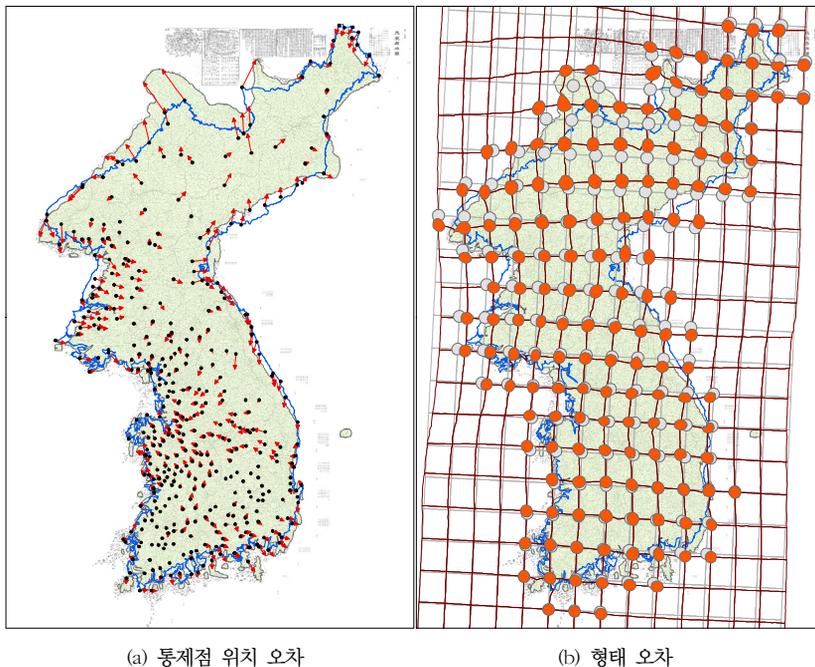


그림 5. 최적 투영법(정형원추도법)의 국지적 오차

표 4. 대동여지도의 북부 및 남부를 대상으로 한 후보 투영법별 적합도 지수 및 순위

대상 지역	투영법	상사변환				아핀변환			
		MAE		RMSE		MAE		RMSE	
		위치 일치도	위치 및 형태 일치도						
북부 (북위 39.5° 이상)	정거원통도법	0,0232 (3)	0,0317 (3)	0,0157 (3)	0,0150 (3)	0,0225 (2)	0,0165 (2)	0,0183 (2)	0,0189 (2)
	정적원통도법	0,0000 (1)	0,0190 (1)	0,0000 (1)	0,0008 (1)	0,0000 (1)	0,0015 (1)	0,0000 (1)	0,0000 (1)
	로빈슨도법	0,0184 (2)	0,0254 (2)	0,0045 (2)	0,0093 (2)	0,0282 (4)	0,0172 (3)	0,0223 (4)	0,0204 (3)
남부 (북위 39.5° 이하)	정형원추도법	0,0000 (1)	0,0245 (3)	0,0000 (1)	0,0137 (1)	0,0000 (1)	0,0214 (1)	0,0000 (1)	0,0160 (1)
	정거원추도법	0,0069 (2)	0,0190 (1)	0,0080 (2)	0,0157 (4)	0,0193 (2)	0,0261 (6)	0,0133 (2)	0,0194 (5)
	정적원추도법	0,0130 (3)	0,0209 (2)	0,0129 (6)	0,0171 (6)	0,0284 (7)	0,0290 (7)	0,0199 (7)	0,0215 (7)

주) 상사변환 MAE 값을 기준으로 3순위까지만을 제시함.

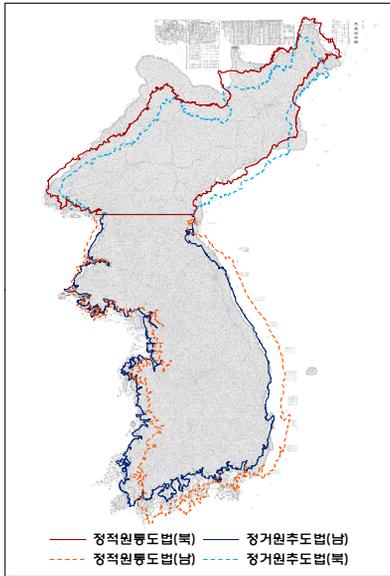


그림 6. 대동여지도의 남부와 북부(북위 39.5도 기준)에 별도로 추정된 최적 투영법

비해 35% 정도 더 많았으며, 동서 축 길이 대비 남북 축 길이의 비가 10% 이상 더 큰 경우는 그 반대의 경우 보다 약 30% 더 많았다. 면적의 경우는 준거지도 상의 원에 비해 10% 이상 큰 경우가 그 반대의 경우보다 약 40%가 더 많았다.

그림 4와 그림 5에서 보는 바와 같이 『대동여지도』 상에서 북부, 현대 지도 기준으로 북위 39도를 넘어가면서부터 현대 준거 지도와의 차이가 상당히 커지는 점을 고려하여 남북 간에 일치도가 높은 투영법이 상이할 수 있을 것으로 가정하

고 추가적인 분석을 수행하였다. 북위 39.5도를 기준으로 그 이상인 지역과 그 이하인 지역을 별도로 분석한 결과는 표 4와 같다. 39.5도 이상인 지역에서는 정적원통도법이 모든 경우에 있어 가장 적합도가 높게 나타났으며, 그 다음으로는 로빈슨도법 혹은 정거원통도법의 적합도가 높게 나타나 원통도법 계열의 적합도가 높았다. MAE 기준으로 정적원통도법은 2순위 투영법에 비해 약 1.5% 정도 더 높은 적합도를 보이고 있다. 북위 39.5도 이하인 지역에서는 그 이상인 지역과는 다른 결과를 보였다. 하지만 후보 투영법 간에 적합도 차이가 더 작았으며, 순위에 있어 일관성 있는 결과가 도출되지 않았다. 상사변환 후 MAE 기준으로 위치 및 형태 일치도에서 정거원추도법이 가장 좋은 결과를 보였으나 다른 지표에서는 정형원추도법이 가장 적합도가 높았는데, 후순위 투영법과의 차이는 더 미미하였다. 북부가 원통도법에서 더 적합도가 높았다면 남부는 한반도 전체를 대상으로 분석한 것과 유사하게 원추도법 계열의 적합도가 높게 나타나고 있다. 그림 6은 북위 39.5도를 기준으로 북부와 남부에 각기 가장 적합한 투영법을 서로 중첩한 결과를 보여준다.

V. 요약 및 결론

우리나라의 전국을 다룬 대표적인 고지도로 인정되는 『대동여지도』의 지도 제작 방식이나 표현 방식, 축척 등 지도학적인 특성에 대한 연구는 상당히 많이 이루어져 왔다. 하지만 지도 투영법에 초점을 둔 연구는 비교적 드물었는데, 그간 이루어진 몇몇 연구들의 결과가 다소 엇갈리

기도 하고, 투영법만을 체계적으로 다룬 연구는 거의 이루어지지 못하였다. 따라서 이 연구에서는 『대동여지도』의 투영법이 무엇인지 추정하고자 하였는데, 보다 정확히는 『대동여지도』의 평면 기하학적 형태로부터 현재까지 잘 알려져 있는 지도 투영법 가운데 어느 것과 가장 일치도가 높은지를 체계적으로 분석하는 것이 주된 목적이다.

이를 위해 우선 GIS 기반의 분석이 유용한 수단이 될 수 있음에 주목하여 『대동여지도』에 가장 적합한 투영법을 추정하기 위한 방법론을 정립하였다. 후보 투영법으로는 대표적인 13종만을 선정하되 정거도법, 정형도법, 정적도법, 절충도법 등 투영법의 계열이 다양하게 포함되도록 하였다. 투영의 축에 대해서는 정축을 위주로 하고, 원통도법에 대해서는 횡축만을 고려하였다. 투영의 기준 선에 대해서는 한반도와 그 주변을 위주로 하였는데, 기준 경선은 동경 122~132도 사이를 30분 간격으로 나누어 설정하였고, 위선은 북위 0~60도 사이를 1도 간격으로 나누어 설정하였다. 이 후보 투영법을 대상으로 『대동여지도』와의 적합도를 분석하기 위해 약 400쌍 정도의 통제점을 설정한 후, 후보 투영법 상의 통제점 좌표를 『대동여지도』 상의 좌표로 선형 평면 변환하였다. 어느 투영법과의 일치도가 높은지를 분석하기 위해서는 일반적으로 많이 사용하는 통제점의 위치 일치도 뿐만 아니라 형태 일치도를 종합적으로 평가하였다.

13개 후보 투영법 내에서 가장 최선의 결과를 보인 경우들을 비교 분석하였으며, 주요 결과는 다음과 같다. 먼저 한반도 전역을 대상으로 상사변환 후 MAE를 기준으로 분석한 결과 가장 적합도가 높은 투영법은 정형원추도법으로 나타났다. 하지만 정형원통도법과의 차이가 미미하고, RMSE를 기준으로 하는 경우 정형원통도법의 적합도가 조금 더 높게 나타나 정형원추도법 및 정형원통도법이 동일한 수준의 적합도를 갖는 것으로 판단하는 것이 합리적이라 생각된다. 가장 적합도가 높았던 정형원추도법을 기준으로 오차의 분포 패턴을 분석한 결과 최적 투영법에 대한 적합도는 지리적으로 이질적이었다. 남부에서는 위치 오차와 형태 오차가 모두 낮은 반면 북부에서는 위치 오차와 형태 오차가 모두 크게 나타났다. 북쪽으로 갈수록 최적 투영법과의 오차가 크게 나타남을 고려하여 북위 39.5도를 기준으로 북부와 남부에 대해 가장 적합한 투영법을 별도로 분석하였다. 그 결과 북부에서는 정적원통도법이, 남부에서는 정거원추도법 혹은 정형원추도법이 가장 좋은 결과를 보였다. 하지만 남부의 경우는 지표에 따라 순위에 있어 일관된 결과가 도출되지는 못하여 이에 대해서

는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 『대동여지도』의 투영법 추정에 대한 이상의 결과는 『대동여지도』가 상기의 투영법으로 제작되었다기 보다는 상기 투영법을 적용한 준거 지도와 가장 일치도가 높았다는 의미로 이해할 필요가 있음을 다시 강조하고자 한다.

고지도나 역사지리 연구에서 GIS를 적용하려는 시도가 늘어나고 있지만 특히 우리나라에서는 아직 대부분 데이터베이스 구축 및 시각화에 치중하고 있어 분석적인 접근은 여전히 미진하다. 본 연구는 GIS를 이용해 고지도에 대한 지도학적 특성을 분석하는 연구를 지속, 확장해가는 발판이 될 것이며, 나아가 고지도를 매개로 GIS 분석과 역사지리가 연구가 소통할 수 있는 계기를 마련해 줄 것으로 생각한다. 『대동여지도』 연구의 측면에서는 그간에 시도된 연구에 비해 후보 투영법의 수나 유형, 투영 기준선에 대한 고려, 적합도 분석 등에서 가장 종합적이고 체계적인 시도를 하였다는 의미를 가진다. 그간 『대동여지도』의 도법을 메르카토르도법으로 추정한 연구들이 있었음을 고려해보면 이 연구는 그 연구들과 결정적으로 배치되지는 않지만 정형원추도법 또한 강력한 대안이 될 수 있음을 보여주었다. 나아가 『대동여지도』의 남부와 북부 간에 가장 적합한 투영법은 서로 상이할 수 있다는 새로운 시각을 제공하였다는 의미도 지닌다.

하지만 본 연구의 한계 및 과제도 지적할 수 있다. 우선 후보 투영법과 관련하여 본 연구에서 사용된 13종 보다는 더 폭을 넓히고, 투영의 기준선 또한 보다 세밀하게 적용할 필요가 있다. 이러한 확장은 『대동여지도』에 대한 추가적인 연구를 가능하게 한다는 의미도 있으나, 더 나아가 『대동여지도』뿐만 아니라 우리나라 고지도 전반에 대한 연구로의 확대를 촉진하는 계기가 될 것이다. 또한 투영법의 적합도를 측정하는 방법에 대한 보다 면밀한 연구가 이루어질 필요가 있다. 본 연구는 티소 지수의 개념을 원용하였으나 보로노이 다이어그램 등의 대안적인 접근도 있고, 특히 위치 오차와 형태 오차 간의 관련성에 대한 체계적인 분석이 요구된다. 『대동여지도』를 포함해 경위선망이나 근대적인 지리 좌표가 포함되어 있지 않은 고지도의 지도학적 특성을 다룸에 있어 통제점의 설정은 근본적인 과제에 해당한다. 본 연구에서도 지형적인 요소뿐만 아니라 조선시대 전자문화지도와 같은 고지도에 대한 연구 성과물에 의존하였으나, 위치 비정 상에서의 한계가 존재할 수 있고, 이런 의미에서 현재 진행되고 있는 연구(홍선이, 2017)는 새로운 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김기혁, 2007, “우리나라 고지도의 연구 동향과 과제,” 한국지역지리학회지, 13(3), 301-320.
- 김기혁·김성희, 2002, “조선-일제강점기 동래읍성 경관변화 연구,” 대한지리학회지, 37(4), 317-336.
- 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.
- 김종근·이상균, 2016, “역사지도 평가 기준안 개발과 평가 사례: 동북아역사지도를 중심으로,” 한국지도학회지, 16(2), 59-69.
- 김종혁, 2013a, “고려대학교 민족문화연구원 개발 문화·역사지도의 DB 구조,” 2013년 지리학회 발표 논문 요약집, 291-295.
- 김종혁, 2013b, “역사지도 제작을 위한 역사지리환경의 복원,” 한국지도학회지, 13(2), 77-94.
- 배선학, 2007, “1910년대 지형도를 이용한 근대화 이후의 도시 변화 분석,” 한국지리정보학회지, 10(3), 93-103.
- 배우성, 2006, “『대동여지도』 연구의 쟁점과 과제,” 한국과학사학회지, 28(1), 117-138.
- 양보경, 2017, “HGIS를 활용한 조선시대 역사지도 만들기,” 2017년 한국문화역사지리학회 춘계학술대회 자료집.
- 이대호·오일환, 2011, “기하학적 변환에 의한 한반도 고지도의 전체 영역 평가 기법,” 한국컴퓨터정보학회논문지, 16(3), 211-218.
- 이상일·조대현, 2012, “대한민국 주변도 제작을 위한 최적의 지도 투영법 선정: GIS-기반 투영 왜곡 분석,” 한국지도학회지, 12(3), 1-16.
- 이상일·조대현, 2014, “고지도의 왜곡 양상에 대한 GIS-기반 연구: 대동여지도를 사례로 한 시론적 분석,” 대한지리학회지, 49(3), 438-455.
- 이상일·조대현·이건학, 2012, “태평양 중심의 세계지도 제작을 위한 최적의 지도 투영법 선정,” 한국지도학회지, 12(1), 1-20.
- 정요근, 2013, “GIS 기반 고려시대 역사지도의 제작,” 한국중세사연구, 37, 307-342.
- 허태구, 2014, “규장각 소장 고지도·읍지류의 데이터베이스 구축 현황,” 한국고지도연구학회 2014 추계학술대회, 7-20.
- 홍선이, 2017, “조선시대 군현 DB 구축 및 치소 위치 비정,” 2017년 한국문화역사지리학회 춘계학술대회 자료집.
- Baiocchi, V., Lelo, K., Milone, M.V., and Mormile, M., 2013, Accuracy of different georeferencing strategies on historical maps of Rome, *Geographia Technica*, 1, 10-16.
- Balletti, C., 2006, Georeference in the analysis of the geometric content of early maps, *e-Perimetron*, 1(1), 32-39.
- Bayer, T., 2014, Estimation of an unknown cartographic projection and its parameters from the map, *GeoInformatica*, 18(3), 621-669.
- Bayer, T., 2016, Advanced methods for the estimation of an unknown projection from a map, *GeoInformatica*, 20(2), 241-284.
- Boutoura, C., 2006, Assigning map projections to portolan maps, *e-Perimetron*, 1(1), 40-50.
- Boutoura, C. and Livieratos, E., 2006, Some fundamentals for the study of the geometry of early maps by comparative methods, *e-Perimetron*, 1(1), 60-70.
- Bower, D., 2009, The accuracy of Robert Saxton's survey and map of Manningham, dated 1613, *The Cartographic Journal*, 46(2), 115-125.
- Brigante, R. and Radicioni, F., 2014, Georeferencing of historical maps: GIS technology for urban analysis, *Geographia Technica*, 9(1), 10-19.
- Brovelli, M.A. and Minghini, M., 2012, Georeferencing old maps: a polynomial-based approach for Como historical cadastres, *e-Perimetron*, 7(3), 97-110.
- Čapek, R., 2001, Which is the best projection for the world map?, *Proceedings, 20th International Cartographic Conference*, Beijing, China, 5, 3084-3093.
- Claeys Bouÿaert, M., De Baets, B., Vervust, S., Neutens, T., De Maeyer, P., and Van de Weghe, N., 2016, Computation and visualisation of the accuracy of old maps using differential distortion analysis, *International Journal of Geographical Information*

- Science*, 30(7), 1255-1280.
- de Smith, M.J., Goodchild, M.F., and Longley, P.A., 2015, *Geospatial Analysis: a Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*, The Winchelsea Press.
- DeBats, D.A. and Gregory, I.N., 2011, Introduction to historical GIS and the study of urban history, *Social Science History*, 35(4), 455-463.
- Gregory, I.N. and Healey, R.G., 2007, Historical GIS: structuring, mapping and analysing geographies of the past, *Progress in Human Geography*, 31(5), 638-653.
- Gregory, I. and Southall, H., 1998, Putting the past in its place: the Great Britain Historical GIS, in Carver, S. ed., *Innovations in GIS 5: Selected papers from the fifth national conference on GIS research*, U.K.: Taylor & Francis.
- Herrault, P.A., Sheeren, D., Fauvel, M., Monteil, C., and Paegelow, M., 2013, A comparative study of geometric transformation models for the historical “Map of France” registration, *Geographia Technica*, (1), 34-46.
- James, L.A., Hodgson, M.E., Ghoshal, S., and Latiolais, M.M., 2012, Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: The temporal dimension of geospatial analysis, *Geomorphology*, 137(1), 181-198.
- 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.
- Knowles, A.K., 2005, Emerging trends in historical GIS, *Historical Geography*, 33, 7-13.
- Levin, N., Kark, R., and Galilee, E., 2010, Maps and the settlement of southern Palestine, 1799-1948: an historical/GIS analysis, *Journal of Historical Geography*, 36(1), 1-18.
- Lloyd, C.D. and Lilley, K.D., 2009, Cartographic veracity in medieval mapping: analyzing geographical variation in the Gough Map of Great Britain, *Annals of the Association of American Geographers*, 99(1), 27-48.
- Malczewski, J., 2000, On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches, *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22.
- Shcherbakov, M.V., Brebels, A., Shcherbakova, N.L., Tyukov, A.P., Janovsky, T.A., and Kamaev, V.A.E., 2013, A survey of forecast error measures, *World Applied Sciences Journal*, 24, 171-176.
- Skaloš, J., Weber, M., Lipský, Z., Trpáková, I., Šantrůčková, M., Uhlířová, L., and Kukla, P., 2011, Using old military survey maps and ortho-photograph maps to analyse long-term land cover changes-Case study (Czech Republic), *Applied Geography*, 31(2), 426-438.
- Tobler, W.R., 1966, Medieval distortions: The projections of ancient maps, *Annals of the Association of American Geographers*, 56(2), 351-360.
- Willmott, C.J. and Matsuura, K., 2006, On the use of dimensioned measures of error to evaluate the performance of spatial interpolators, *International Journal of Geographical Information Science*, 20(1), 89-102.
- Zitova, B. and Flusser, J., 2003, Image registration methods: a survey, *Image and Vision Computing*, 21(11), 977-1000.
- 교신: 조대현, 25601, 강원도 강릉시 범일로 579번길 24, 가톨릭관동대학교 사범대학 지리교육과 (이메일 dhcho@gmail.com)
- Correspondence: Daeheon Cho, Department of Geography Education, Catholic Kwandong University, 24 Beonilro, 579beon-gil, Gangneung-si, Gangwon-do 25601, Republic of Korea (Email: dhcho@gmail.com)
- 투 고 일: 2017년 7월 26일**
심사완료일: 2017년 8월 7일
투고확정일: 2017년 8월 3일

