

대한민국 주변도 제작을 위한 최적의 지도 투영법 선정: GIS-기반 투영 왜곡 분석

이상일* · 조대현**

Searching for the Best Map Projection for a Map of Korea and Its Vicinity: A GIS-Based Projection Distortion Analysis

Sang-II Lee* · Daeheon Cho**

요약 : 본 연구의 주된 목적은 대한민국 주변도의 제작에 가장 적절한 투영법이 무엇인지를 결정하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 구체적인 연구과제를 설정한다. 첫째, 기계화된 지도와 투영법 선정의 가이드라인을 참조하여 몇 개의 후보 투영법을 선정한다. 둘째, 왜곡도 분석 기법에 대한 상세한 리뷰를 통해 투영 왜곡 분석을 위한 기본 방향을 설정한다. 셋째, GIS-기반 투영 왜곡 분석을 실시하고 그 결과를 바탕으로 최종의 투영법을 선정한다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 람베르트 정형원추도법, 알베르스 정적원추도법, 람베르트 정적방위도법, 그리고 정거방위도법이 일차적인 후보 투영법으로 선정되었다. 둘째, 극소 스케일의 국지적 왜곡도 지수를 사용하는 것이 가장 적절하며, 국지적 왜곡도의 값이 실질적으로 산출되어 공간적 분포의 시각화나 통계량 계산을 위해 사용되어야 한다는 점이 인식되었다. 셋째, 투영 왜곡 분석을 위한 플랫폼으로 PDAT(Projection Distortion Analysis Tool)가 선정되었는데, 이것은 국지적 왜곡도 지수에 기반하고 있으며, GIS 상에서 투영 왜곡 분석을 할 수 있는 환경을 제공한다. PDAT를 통해 투영 왜곡 분석이 실시되었고, 그 결과에 대한 종합적인 검토 결과 람베르트 정적방위도법이 최종적인 투영법으로 선정되었다. 본 연구는 대한민국 전도에 대한 적절한 투영법이 무엇인지에 대한 논의에 많은 시사점을 제공할 것으로 보인다.

주요어 : 대한민국 주변도, 투영 왜곡 분석, 람베르트 정형원추도법, 알베르스 정적원추도법, 람베르트 정적방위도법, 정거방위도법

Abstract : The main objective of this paper is to seek to find the best map projection for a map of “Korea and Its Vicinity.” To that end, a review on pre-existing maps for the region and some selection guidelines is undertaken. A research strategy is established through an intensive examination on various methods for distortion analysis. Finally, a GIS-based projection distortion analysis is conducted and the final selection is made based on it. Main findings are as follows. First, four candidates are selected; Lambert conformal conic, Albers equivalent conic, Lambert azimuthal equivalent, and Azimuthal equidistant projections. Second, it is acknowledged that a research scheme for projection distortion analysis should be predicated on the local distortion indicators at the infinitesimal scale and that local distortion values are virtually generated in order to be used for visualization and statistics calculation. Third, the PDAT is chosen as the research platform in which a GIS environment for the projection distortion analysis is provided. Based on all the results from the PDAT analysis, the final decision is made for the best projection; Lambert azimuthal equivalent projection. This study may provide important implications in discussing on the best projection for a map of Korea.

Key Words : Map of Korea and Its Vicinity, Projection distortion analysis, Lambert conformal conic, Albers equivalent conic, Lambert azimuthal equivalent, Azimuthal equidistant

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

**서울대학교 지리교육과 시간강사(Lecturer, Department of Geography Education, Seoul National University, dhncho@gmail.com)

I. 서론

다양한 투영법 중에서 ‘최선의’ 혹은 ‘가장 적절한’ 투영법을 선정한다는 것은, “지도 제작의 목적 혹은 요구 사항과 기존의 투영법들이 보유하고 있는 지도학적 특성 간의 일치도에 의해 결정된다”(이상일 등, 2012:2). 그러므로 우선적으로 고려되어야 하는 것이 기존 투영법들에 대한 면밀한 검토이다. 현재 실질적으로 사용되고 있는 투영법은 채 100종이 되지 않는다(Snyder and Voxland, 1989), 이들을 투영 계열이나 투영 속성에 따라 분류하여 그 특성을 파악하는 것이 필수적이다. 그러나 투영법의 선정이 이 100개 미만의 투영법 중 하나를 선택하는 것보다 훨씬 더 복잡한 과제라는 것을 이해하는 것이 중요하다. 왜냐하면 투영 면이 지구본과 접하는 방식에 의한 투영 격(case)(정점과 정할 방식)과 투영면을 지구본에 밀착시키는 방향에 의한 투영 축(aspect)(정축, 횡축, 사축)과 관련된 다양한 투영 파라미터에 의해서도 지도 투영의 다양성이 무한대로 확장되기 때문이다(Kimerling *et al.*, 2009; Slocum *et al.*, 2009; 이상일 등, 2012). 그런데, 이러한 투영의 다양성은 지도 제작이 지구의 특정 영역에 대해서 이루어질 때 더욱 더 심화된다. 즉, 동일한 투영법, 동일한 투영 파라미터 하에서도, 어느 지역이 지도에 표현되느냐에 따라 지도 제작의 목적 혹은 요구 사항과의 일치도는 달라질 수 있다.

태평양 중심의 세계지도 제작의 연구 결과(이상일 등, 2012)는 지역 수준의 지도 제작에 많은 시사점을 제공해 준다. 이 연구는 최적의 투영법 선정을 위한 기준으로 대중성 기준, 정적성 우위 혹은 절충성 기준, 그리고 왜곡 최소화 기준을 설정하였다. 이 세가지 기준을 토대로 각 투영법을 평가하고, ‘1:30,000,000 전후의 축척으로, 세계 전체에 대한 일반 참조도를 동경 150°를 중앙경선으로 하여 제작한다’(이상일 등, 2012:3)는 지도제작의 목적과 가장 일치도가 높은 투영법으로 로빈슨 도법(Robinson projection)을 선정하였다. 그런데 여기서 주목할 것은 중앙경선을 동경 150°로 한다는 투영 파라미터의 설정이 특히 왜곡 최소화의 기준 적용에서 특별한 역할을 담당한다는 사실이다. 지도 투영에 대한 전역적 왜곡도는 주로 지도의 매 지점에서 산출되는 국지적 왜곡도의 (가중)평균 값 형태로 주어지는데(Canters and

Decler, 1989; Canters, 2002), 전역적 왜곡도에 의한 지도 투영법 간의 상대적 우위성이 어디를 투영원점으로 설정하느냐에 따라 달라질 수도 있다는 것이다. 이것은 특히 타원 형태의 도법에서 확실히 드러난다(이상일, 2012:13)에서 로빈슨 도법과 빈켈 트리펠 도법의 비교 참조).

본 연구의 초점이 되는 대한민국 주변도와 같은 지역 스케일(regional scale)의 지도 제작을 위한 투영법 선정은 세계지도의 제작보다 훨씬 더 복잡한 고려를 요구한다. 우선 육지부와 해양부 모두를 고려할 것인지 아니면 육지부만 고려할 것인지를 결정해야 하는데, 세계지도에서도 동일한 고려가 이루어지지만(Canters and Decler, 1989), 지역 수준의 지도에서는 훨씬 더 중요할 수 있다. 또한 투영원점의 설정 역시 중요하다. 표준선(표준위선이나 중앙경선)이나 표준점을 결정하는 문제에서는, 정접(tangent) 방식을 택할 것인지 정할(secant) 방식을 택할 것인지, 예를 들어 정할 방식의 표준위선을 선택한다면 두 개의 위도를 무엇으로 설정할지 등과 관련된 모든 결정이 총체적인 왜곡도나 왜곡의 공간적 분포에 영향을 끼치게 되고 이는 다시 최적의 지도 투영법 선정에 영향을 끼치게 된다. 그리고 이 모든 결정은 대상 지역의 위치 관계와 기하학적 특성에 대한 고려를 통해 이루어져야 한다. 즉, 대상 지역이 저위도에 위치하고 있는지 중위도에 위치하고 있는지, 대상 지역이 동서 방향으로 긴지 남북 방향으로 긴지의 여부가 투영법 선정의 결정적인 관건이 될 수 있다.

이러한 맥락에서 본 논문의 주된 연구목적은 대한민국 주변도의 제작에 가장 적절한 투영법이 무엇인지를 결정하는 것이다. 보다 구체적으로 표현하면 1:3,000,000 정도의 축척으로, 우리나라를 중심으로 일본 전체와 중국의 동북부 지방을 포괄하는 지역에 대한 일반 참조도를 제작할 때 최적의 투영법이 무엇인지 선정하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 구체적인 연구과제를 설정한다. 첫째, 기제작된 지도와 투영법 선정의 가이드라인을 참조하여 몇 개의 후보 투영법을 선정한다. 둘째, 투영 왜곡 분석 기법에 대한 상세한 리뷰를 통해 투영 왜곡 분석을 위한 기본 방향을 설정한다. 셋째, GIS 기반 투영 왜곡 분석을 실시하고 그 결과를 바탕으로 최종의 투영법을 선정한다.

II. 후보 투영법의 선정과 비교 분석

1. 투영법 선정 원리와 후보 투영법의 선정

대한민국 주변도가 대륙-스케일보다는 작고 국가-스케일보다는 큰, 지역-스케일의 지도라는 측면에서 세계 지도와는 달리 투영법 선택의 폭이 그리 넓지는 않다. 따라서 몇 개의 후보 투영법을 우선 선정하고 그것에 대한 면밀한 분석을 통해 최종적인 투영법을 선정하는 전략이 가장 유효해 보인다. 후보 투영법을 선정하기 위해 두 가지 사항을 참조하고자 한다. 하나는 우리나라를 포함한 동아시아 지역에 대해 기제작된 지도에 어떤 투영법이 적용되었는지 살펴보는 것이고, 또 다른 하나는 지역-스케일의 개관도 제작을 위한 투영법 선정의 가이드라인을 살펴보는 것이다.

우선 참고할 만한 기제작 지도로 2종이 있는데, 하나는 USGS(U.S. Geological Survey, 미국지질조사국)가

2000년 발간한 일본·한국·북동중국 지도이고, 또 다른 하나는 우리나라 국토지리정보원이 메르카토르 도법의 세계지도와 함께 2005~2010년 발행한 대한민국 주변도이다. USGS의 일본·한국·북동중국 지도는 1:2,500,000 축척으로 발행된 것으로 람베르트 정적방위도법이 적용되었다(그림 1 참조). 투영원점은 북위 15°와 동경 120°가 만나는 지점인데, 지도 영역에 포함되지 않는 지점을 투영원점으로 정한 이유는 알려져 있지 않다. 그림 2는 국토지리정보원이 발행한 대한민국 주변도가 나타나 있는데, 1:3,000,000 축척으로 람베르트 정형원추도법에 의거해 제작되었다. 동경 127°를 중앙경선으로 하고, 북위 31°20'과 44°40'을 두 개의 표준위선으로 하여 정할 방식으로 제작되었다. 람베르트 정형원추도법이 사용된 이유, 표준위선의 결정 이유 등은 명확히 알려져 있지 않다. 이 두 지도에서 얻을 수 있는 함의는 투영 계열로 볼 때 방위도법이나 원추도법이 이 지역 개관도 제작에 적절할 것이라는 점 정도이다.

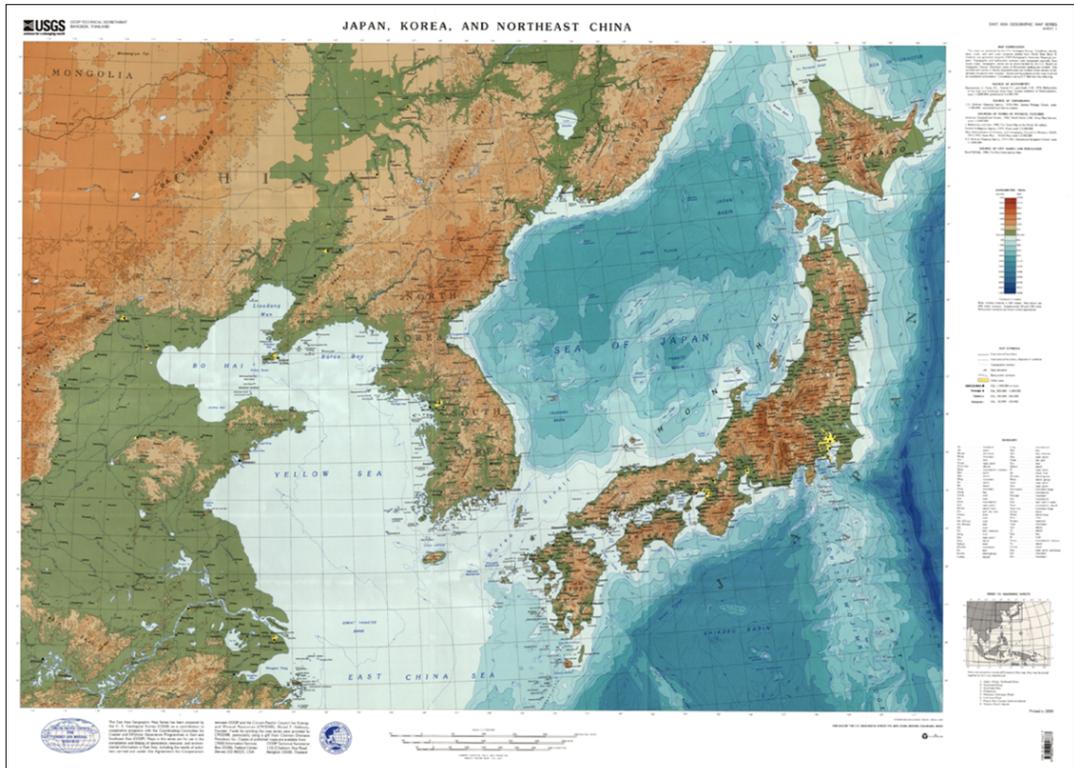


그림 1. USGS의 일본·한국·북동중국 지도(2000년, 람베르트 정적방위도법, 1:2,500,000)

출처 : <http://store.usgs.gov/>



그림 2. 2005~2010년 국토지리정보원이 발행한 대한민국 주변도(람베르트 정형원추도법, 1:3,000,000)

출처 : http://www.ngi.go.kr/kor/popup/map_asia.do?tblsidx=1

투영법 선정의 원리에 대한 다양한 관점이 존재하지만(Nyerges and Jankowski, 1989; Canters, 2002), 본 연구에서는 Snyder(1987)의 '위계적 선정(hierarchical selection)' 방식에 주목하고자 한다. 이것은 계층적으로 선택의 폭을 줄여감으로써 최종 선정에 도달하는 방식이다(Snyder, 1987; Slocum *et al.*, 2009). Snyder의 방식은 우선 지리적 스케일에 따라 '세계 전체', '반구', '대륙'이나 그보다 작은 지역'으로 구분하여, 각각에 대해 구체적인 가이드라인을 제시하고 있다. 본 연구에 포함되는 것은 마지막의 '대륙이나 그보다 작은 지역'이 되며, 표 1은 Snyder의 가이드라인을 정리한 것이다. 위계적 선정 과정은 다음과 같다. 우선 대상 지역의 방향성이 선택된다. 여기서 방향성은 모양의 방향성으로 예를 들어 동서 방향으로 긴지, 남북 방향으로 긴지의 여부이다. 다음으로 대상 지역의 위치인데 위도가 중요한 요소가 된다. 그 다음으로 지도 속성, 특히 정형성과 정적성 중 선택하게 된다. 이 단계에서는 총 10개의 투영법이 후보 투영법 그룹을 형성한다. 본 연구의 맥락에 맞추어 선정 과정을 진행해 보면 다음과 같다. 우선 대한민국 주변도는

'동서 방향의 중위도'라는 특성이 가장 현저하므로 이것에 해당하는 투영법을 찾으면 정형도법으로 람베르트 정형원추도법과 정적도법으로 알베르스 정적원추도법이 추천된다. 동서폭을 좀 더 줄여 정사각형에 보다 가깝게 만들면 '방향성 없음'으로 진행될 수도 있다. 이 경우 정형도법으로 평사도법과 정적도법으로 람베르트 정적방위도법이 추천된다.

기제작된 지도에 적용된 투영법과 Snyder의 투영법 선정 가이드라인을 참고하여 람베르트 정형원추도법, 알베르스 정적원추도법, 람베르트 정적방위도법을 일차적으로 선정하고자 한다. 그리고 여기에 가이드라인에서 추천된 평사도법 대신 정거방위도법을 추가로 포함시키고자 한다. 이것은 중요한 지점을 중심으로 모든 방향으로 정거성이 있는 지도를 제작하는데 정거방위도법이 주로 사용되고 있어, 대한민국 주변도에서도 우리나라를 중심으로 동아시아의 다른 도시나 지역에 이르는 거리가 정확하게 묘사되는 지도를 제작하는 것이 의미가 있다고 판단하기 때문이다.

표 1. '대륙이나 그보다 작은 지역'의 지도 제작을 위한 투영법 선정 가이드라인

방향성	위치	속성	투영법 이름
동서 방향	적도 주변	정형도법	메르카토르 도법
		정적도법	정적원통도법
	중위도나 고위도	정형도법	람베르트 정형원추도법
		정적도법	알베르스 정적원추도법
남북 방향	중앙경선 주변	정형도법	횡축 메르카토르 도법
		정적도법	횡축 정적원통도법
사선 방향	모든 지점	정형도법	사축 메르카토르 도법
		정적도법	사축 정적원통도법
방향성 없음	극, 적도, 모든 지점	정형도법	평사도법
		정적도법	람베르트 정적방위도법

출처 : Snyder, 1987:35; Slocum *et al.*, 2009:158.

2. 후보 투영법의 비교 분석

선정된 네 가지 후보 투영법의 지도학적 특성을 면밀히 비교 분석하기 위해 티소의 인디카트릭스(Tissot's indicatrix)와 SF(scale factor, 축척계수) 개념을 주로 사용하고자 한다(Slocum *et al.*, 2009; Kimerling *et al.*, 2009). 여기서 SF는 동서방향의 SF와 남북방향의 SF로 나누어 살펴볼 것이다. 두 원추도법에 대해서는 표준위선으로 북위 34°와 42°를 선택하였다. 이것은 해당 지역이 대략 30~46°에 걸쳐 있다는 점을 감안한 것이다. 두 방위도법의 투영원점으로 북위 37.5°와 동경 127°가 만나는 지점을 선정하였다. 이 지점은 서울시 내부에 위치해 있는데 우리나라를 대표하는 지점으로서의 역할을 할 수 있을 것으로 판단하였다. 그림 3의 (a)~(d)는 네 개의 후보 투영법을 티소의 인디카트릭스와 함께 표현한 것이다.

람베르트 정형원추도법(Lambert conformal conic projection)은 스위스의 수학자이자 물리학자였던 Johann Heinrich Lambert(1728~1777)가 1772년에 제시한 7개의 투영법 중 하나이다(Snyder, 1993). 그림 3의 (a)는 북위 34°와 42°를 표준위선으로 하고 동경 127°를 중앙경선으로 하여 투영한 것을 보여주고 있다. 정형도법이므로 지도 상의 모든 위치에서 각도의 왜곡은 없는데 티소의 인디카트릭스 모양이 모두 원형을 취하고 있는 것에서 확인할 수 있다. 두 표준위선을 따라 모든 지점에서 모든 방향으로 왜곡이 없다. 두 표준위선의 바깥쪽 방향으로 갈수록 동서방향의 SF와 남북방향의 SF가 동일한 비율로 증가한다. 그러므로 면적은 급격히 증대된다. 반대로 두

표준위선의 안쪽 방향으로는 동일한 비율로 SF가 감소하며, 면적도 감소한다. 모든 지점에서 동서방향의 SF와 남북방향의 SF가 동일하므로 정형성이 유지된다. 두 표준위선의 가운데인 북위 38° 상에서 양 방향의 SF와 면적이 최소화된다. 이 투영법의 가장 큰 단점은 표준위선으로부터 멀어지게 되면 면적의 왜곡이 극심해진다는 점이다. 람베르트 정형원추도법은 동서 방향으로 긴 국가나 지역의 지형도 제작에 널리 사용되고 있으며 특히 미국의 주별 지형도 제작에서 널리 사용되고 있다(Snyder and Voxland, 1989:95).

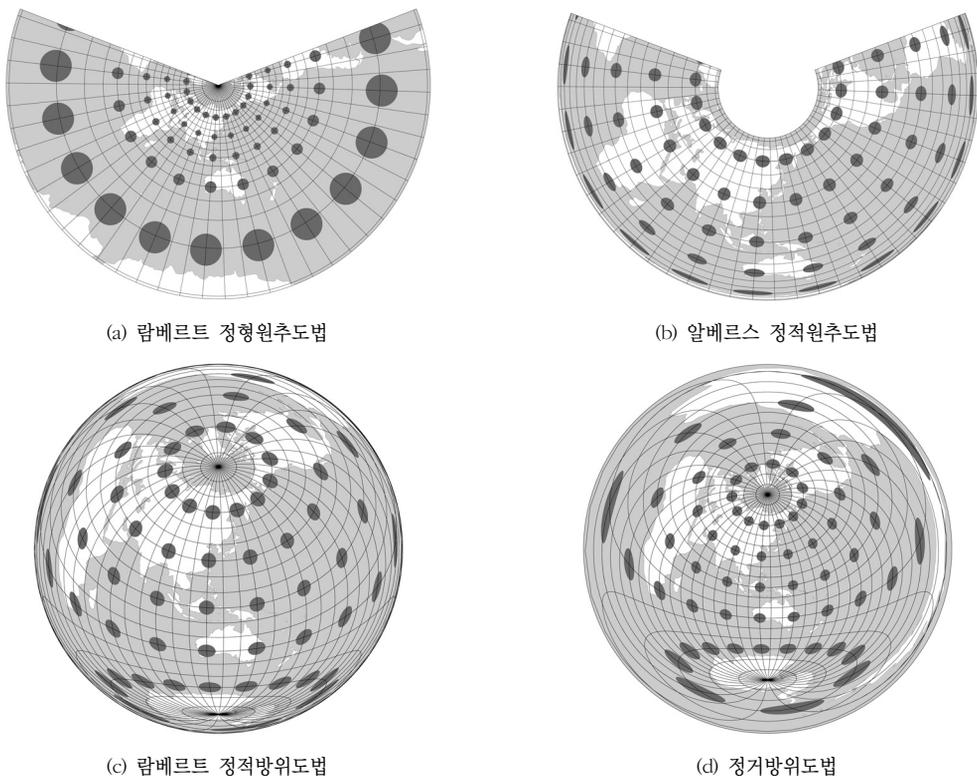
알베르스 정적원추도법(Albers equivalent conic projection)은 람베르트 정형원추도법의 대안으로 제시될 수 있는데, 독일학자인 Heinrich C. Albers(1773~1833)가 1805년에 제안한 투영법이다. 정적도법이므로 지도 상의 모든 지점에서 면적의 왜곡은 없는데 티소의 인디카트릭스의 면적이 모두 동일한 것에서 확인할 수 있다(그림 3의 (b) 참조). 두 표준위선의 바깥쪽 방향으로 갈수록 동서방향의 SF는 증가하지만 동일한 비율로 남북방향의 SF는 감소한다. 반대로 두 표준위선의 안쪽 방향으로는 동서방향의 SF는 감소하지만 동일한 비율로 남북방향의 SF는 증가한다. 모든 지점에서 동서방향의 SF와 남북방향의 SF의 곱이 1이므로 정적성이 유지된다. 두 표준위선의 가운데인 북위 38° 상에서 동서방향의 SF는 최소화되고 남북방향의 SF는 최대화된다. 이 투영법의 가장 큰 단점은 표준위선으로부터 멀어지게 되면 형태의 왜곡이 극심해진다는 점이다. 이 투영법은 미국의 국가지도 집 등에서 미국 전체에 대한 주제도를 제작할 때 가장 널리 사용되는 투영법이다(Snyder and Voxland, 1989:100).

람베르트 정적방위도법(Lambert azimuthal equivalent projection)은 첫 번째 람베르트 정형원추도법과 마찬가지로 Lambert가 1772년에 제시한 7개의 투영법 중 하나이다. 이 투영법은 기본적으로 방위도법이기 때문에 투영원점으로부터 지도상의 다른 모든 지점을 연결한 선이 지표 상의 대권을 나타내는 특징이 있다. 그림 3의 (c)는 북위 37.5°와 동경 127°가 만나는 지점을 원점으로 하여 투영한 후의 왜곡의 양상을 보여주고 있다. 정적도법이므로 지도 상의 모든 지점에서 면적의 왜곡은 없는데 티소의 인디카트릭스의 면적이 모두 동일한 것에서 확인할 수 있다. 정적도법의 일반적 특성처럼 투영원점에서만 모든 방향으로 왜곡이 없으며, 그 지점으로부터 멀어질수록 형태의 왜곡이 심해지는 특성을 보인다. 이 투영법은 극 지방이나 반구를 표현할 때 주로 사용되며, 대륙 및 대양을 표현하는 아틀라스 지도에서 빈번히 사용된다(Snyder and Voxland, 1989:136).

정거방위도법(Azimuthal equidistant projection)은 방위도법 발달의 초기에 개발되었던 것으로, 투영원점

로부터 다른 모든 지점까지 연결한 선이 대권일 뿐만 아니라 SF도 1인, 즉 정거성을 담보하고 있는 투영법이다. 따라서 투영 원점으로부터 동일한 거리를 연결하면 동심원이 형성된다. 이러한 이유로 특정 도시를 중심으로 다른 지역과의 관계를 표현하고자 할 때 빈번하게 사용된다. 람베르트 정적방위도법과 마찬가지로 정적 유형으로 사용된다. 정거도법이므로 투영원점으로부터 멀어지는 방향으로 모든 지점에서 SF가 1이다. 이것은 투영 원점으로부터 각 인디카트릭스의 중심부를 관통하는 직선을 그었을 때 그 직선의 인디카트릭스 내부 길이가 모두 동일한 것에서 확인할 수 있다(그림 3의 (d) 참조). 투영원점으로부터 멀어질수록 면적이 증대하고 형태의 왜곡도 심해진다. 이 투영법은 극 지방이나 반구를 표현할 때 주로 사용되며, 중요 도시 중심의 세계 및 지역 지도 제작에 주로 사용된다(Snyder and Voxland, 1989:132).

표 2는 이러한 네 가지 후보 투영법의 특성을 요약하고 있다.



(a) 람베르트 정형원추도법

(b) 알베르스 정적원추도법

(c) 람베르트 정적방위도법

(d) 정거방위도법

그림 3. 후보 투영법의 왜곡 양상 비교

표 2. 후보 투영법의 특성 비교

항목		후보 투영법			
		람베르트 정형원추도법	알베르스 정적원추도법	람베르트 정적방위도법	정거방위도법
일반 사항	제작자	Johann Heinrich Lambert (1728~1777, 스위스)	Heinrich C. Albers (1773~1833, 독일)	Johann Heinrich Lambert (1728~1777, 스위스)	이집트인이 고안한 것으로 추정됨
	제작 연도	1772	1805	1772	16세기에 사용
투영 특성	투영 계열	원추도법		방위도법	
	투영 속성	정형도법	정적도법	정적도법	정거도법
	투영 격	정할		정점	
	투영 축	정축		사축	
투영 원점	표준위선 혹은 표준점	북위 34°와 42°		북위 37.5°와 동경 127°가 만나는 지점	
	중앙 경선	127° E			
그래티컬	위선	- 동심원 - 두 표준위선의 바깥쪽으로는 간격이 넓어짐 - 두 표준위선의 안쪽으로는 간격이 좁아짐	- 동심원 - 두 표준위선의 바깥쪽으로는 간격이 좁아짐 - 두 표준위선의 안쪽으로는 간격이 넓어짐	- (중앙경선 상에서) 간격이 서로 다른 복잡한 곡선	- (중앙경선 상에서) 등간격의 복잡한 곡선
	경선	- 등간격의 직선	- 등간격의 직선	- 중앙경선은 직선 - 나머지 경선은 복잡한 곡선	- 중앙경선은 직선 - 나머지 경선은 복잡한 곡선
장단점	장점	- 정형성 탁월	- 정적성 온전히 만족	- 정적성 온전히 만족	- 특정 지점 중심의 정거성 만족
	단점	- 표준위선으로부터 멀어질수록 면적 왜곡 극심	- 표준위선으로부터 멀어질수록 형태 왜곡 극심	- 투영원점에서 멀어질수록 형태 왜곡 심함	- 투영원점에서 멀어질수록 면적 왜곡 심함
기타	사용	- 동서방향으로 긴 국가나 지역의 지형도(특히 미국의 주 단위 지형도)	- 동서방향으로 긴 국가나 지역의 주제도, 미국의 주제도	- 극 지방 지도와 반구지도, 대륙 및 대양의 아틀라스 지도	- 극 지방 지도와 반구지도, 중요 도시 중심의 세계 및 지역 지도

*일부 특성은 대한민국 주변도 제작을 염두에 두고 기술된 것임.

출처 : Canters and Declair, 1989; Snyder and Voxland, 1989.

III. 투영 왜곡 분석

Canters(2002)에 따르면 투영 왜곡 분석은 ‘극소(極小, infinitesimal) 스케일’의 분석과 ‘유한(infinite) 스케일’의 분석으로 나뉜다. 극소 스케일의 분석은 티소의 이론에 근거한 것으로 면적이 없는 극소역(infinitesimally small area)에서의 왜곡 양상을 다루고, 유한 스케일의 분석은 지도 상의 실체에서 발생하는 실질적인 왜곡을 다룬다(Canters, 2002; Canters *et al.*, 2005). 본 연구는 전자에 주목하고자 하는데, 우선 티소의 인디카트릭스가 지도 왜곡에 대해 가장 널리 사용되고 있는 개념적 도구이기 때문이고(Laskowski, 1989), 대부분의 투영법에 대해 산출 공식이 알려져 있어(Snyder, 1987; Bugayevskiy and

Snyder, 1995) 실행성의 측면에서도 장점이 많기 때문이다. 각도(형태), 면적, 스케일(거리)과 같은 지도 속성별로 각 투영법의 국지적 왜곡도가 산출되면, 그것들의 공간적 분포를 살펴보거나 전역적 왜곡도를 산출할 수 있는데, 이것을 통해 투영법 간의 상대적 비교가 가능해진다. 여기서는 티소의 이론에 근거한 국지적 왜곡도 지수를 살펴보고, 그것을 통해 전역적 왜곡도가 산출되는 방식에 대해 살펴보고자 한다.

1. 티소의 이론에 기반한 왜곡도 산출

Canters에 따르면 국지적 수준에서 파악될 수 있는 왜곡도는 각도, 면적, 스케일에 대한 세 가지라고 한다

(Canters and Declair, 1989; Canters, 2002). 이것은 투영 분석에 가장 널리 사용되고 있는 방식으로 대표적인 국지적 왜곡도 측정 도구인 티소의 인디카트릭스에 기반을 두고 있다. 주어진 투영법 하에서 지도의 모든 위치는 특정한 파라미터 값을 갖는 인디카트릭스를 가진다. 가장 중요한 파라미터 값은 바로 인디카트릭스의 장축의 SF(a)와 단축의 SF(b)이다. 이 두 파라미터를 이용하면 각도, 면적, 스케일에 대한 국지적 왜곡도 지수를 구할 수 있다(Canters and Declair, 1989:11).

$$2\omega = 2 \arcsin \frac{a-b}{a+b} \quad (1)$$

$$\sigma = ab \quad (2)$$

$$(a-1)^2 + (b-1)^2 \quad (3)$$

여기서 2ω 는 최대 각도 왜곡도이고, σ 는 면적 왜곡도이다. 식 (3)은 가장 널리 사용되고 있는 스케일 왜곡도의 지수인데(Canters and Declair, 1989:35), 장축과 단축 양방향 모두의 스케일 왜곡을 고려하기 위해 고안된 것이다. 모든 지점에 대해 이 값들을 계산하여 등치선도를 제작하면, 각 투영법 별로 각도와 면적에 대한 왜곡의 공간적 분포를 효과적으로 보여줄 수 있다(Canters and Declair(1989)의 지도 참조). Laskowski(1997a; 1997b)는 약간 다른 방식으로 이 지수들을 규정하는데, 형태 왜곡도 지수는 $a/b-1$ 로, 면적 왜곡도 지수는 $ab-1$ 로 제시하고, 스케일 왜곡도 지수는 동일하게 유지하였다.

그런데 위의 수식은 경선 상의 SF와 위선 상의 SF를 의미하는 h 와 k 라는 파라미터가 주어질 경우 변형된다(Canters and Declair, 1989:11; Čapek, 2001). 투영법의 경선과 위선이 직교하지 않는 경우는 새로운 공식이 필수적이다.

$$2\omega = 2 \arctan \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h^2 + k^2}{hk \sin \theta}} - 2 \quad (4)$$

$$\sigma = hk \sin \theta \quad (5)$$

여기서 θ '는 경선과 위선이 만나 이루는 각도이다.

이 국지적 왜곡도를 지도 전체에 대해 특정한 방식으로 합산하면 전역적 왜곡도를 산출할 수 있게 된다. 이때 지도의 일부 영역에 대해서만 이 전역적 왜곡도를 계

산할 수 있다. Canters(Canters and Declair, 1989: 42-43; Canters, 2002)는 이러한 논의를 바탕으로 세 종류의 전역적 왜곡도 지수를 제시하였는데, 그것들 각각은 '평균 각도 왜곡도(mean angular deformation, D_{an})', '가중 평균 면적 왜곡도(weighted mean error in areal distortion, D_{ar})', 그리고 '가중 평균 스케일 왜곡도(weighted mean error in the overall scale distortion, D_{ab})'이며, 다음과 같은 수식으로 주어진다(Canters and Declair, 1989:42).

$$D_{an} = \frac{1}{S} \sum_j^m 2 \arcsin \left(\frac{a_j - b_j}{a_j + b_j} \right) \cos \phi_j \Delta \phi \Delta \lambda \quad (6)$$

$$D_{ar} = \frac{1}{S} \sum_j^m \left[(a_j b_j)^p - 1 \right] \cos \phi_j \Delta \phi \Delta \lambda \quad (7)$$

$$D_{ab} = \frac{1}{S} \sum_j^m \left(\frac{a_j^q + b_j^r}{2} - 1 \right) \cos \phi_j \Delta \phi \Delta \lambda \quad (8)$$

여기서 p, q, r 은 이항 파라미터이며(자세한 정의는 Canters and Declair(1989:43) 참조), S 는 전체 지도 영역(면적)이다. m 개의 그리드 포인트별로 계산된 왜곡도를 전체영역에 대해 적분(numerical integration)을 하고 그것의 평균을 구하면 각 요소별 전역적 왜곡도를 구할 수 있게 된다. 따라서 다음의 관계가 성립한다(Canters and Declair, 1989:42).

$$S = \sum_{j=1}^m \cos \phi_j \Delta \phi \Delta \lambda \quad (9)$$

여기서 $\Delta \phi$ 는 그리드 포인트 간의 위도 상의 간격이고, $\Delta \lambda$ 은 그리드 포인트 간의 경도 상의 간격이다.

Canters는 왜곡도의 초점이 지구 전체가 아니라 육지부에 집중된다는 점에 착안하여 육지부에 대해서만 계산된 왜곡도 지수인 $D_{anc}, D_{arc}, D_{abc}$ 도 부가적으로 정의하였다(Canters and Declair, 1989:43; Canters, 2002). 세계지도 제작에 적합한 총 65개 투영법에 대해 전역적 왜곡도 지수 6개를 산출하였다. 예를 들어 로빈슨 도법과 빈켈 트리펠 도법의 가중 평균 면적 왜곡도(D_{ar})는 각각 0.21과 0.17로 후자가 낮은데, 육지부만 고려한 D_{arc} 는 둘 다 0.25로 동일하게 나타났다.

각 요소별 국지적 왜곡도의 평균값을 취해 전역적 왜곡도를 산출한다는 의미에서 이 방법은 Čapek(2001)이

‘전역적 평균 왜곡도(global mean distortion) 산출법’이라고 부른 유형에 속한다. 그런데, 요소별 전역적 왜곡도를 결합해 투영법의 총체적인 왜곡도를 산출하려는 시도도 이루어졌다. Canters(2002)는 앞에 세 가지 전역적 왜곡도 지수에 특정한 연산을 적용하기 보다는 스케일 왜곡도 지수가 총체적인 왜곡도 지수로 사용될 수 있다고 보았다. 왜냐하면 스케일 왜곡도는 각도 왜곡도와 면적 왜곡도 모두에 관여하고 있기 때문이다. Goldberg and Gott(2007)는 티소의 인디카트릭스를 변형해 새로운 인디카트릭스를 개발했는데, 이를 통해 ‘굴도(屈度, flexion)’와 ‘왜도(歪度, skewness)’에 대한 부가적인 국지적 왜곡도 지수를 제안했다. 총 6개의 왜곡도에 대한 전역적 왜곡도를 산출하고 그것들의 제곱합을 통해 총체적인 왜곡도 값을 산출하였다. 유한 스케일의 분석이긴 하지만, Canters *et al.*(2005)의 연구는 전역적 평균 왜곡도 산출법의 전형적인 모습을 보여주는데, 전역적 형태 왜곡도와 면적 왜곡도를 표준화한 후, 그 값을 합산함으로써 최종적인 결합 왜곡도를 산출한다.

이러한 전역적 평균 왜곡도 산출법과 달리 Čapek(2001)은 ‘극단치 규준법’이라는 접근을 제안하는데, 이것은 면적과 각도 모두에서 최대 허용 왜곡도를 초과하지 않는 지역의 면적비를 산출하는 방식이다. Čapek(2001)은 면적과 각도에 대한 국지적 면적 왜곡도를 바탕으로 전역적 차원의 왜곡도 지수인 ‘왜곡 특성 지수 Q(distortion characterization Q)’를 고안했다. 이 지수는 각도의 최대 허용 왜곡도(40°)와 면적의 최대 허용 왜곡도(최소 면적 왜곡도의 1.5배)를 동시에 충족하는 지역의 면적 비중이다. Jenny *et al.*(2008)은 이것을 허용 인덱스(AI: acceptance index)라고 부르면서 그들이 만든 *Flex Projector* 소프트웨어에 포함시켰다. 본 연구에서는 이 극단치 규준법을 고려하지 않기로 한다. 왜냐하면 본 연구가 지역수준의 영역을 다루고 있어, 왜곡도의 편차가 심하지 않고 세계 지도를 대상으로 하는 연구에서 제시된 임계 왜곡도를 그대로 적용하기 어렵기 때문이다.

2. 투영 왜곡 분석의 프레임워크

앞의 기존 방법론을 살펴본 결과, 본 연구의 분석 프레임워크를 위한 함의를 이끌어 낼 수 있었다. 첫째, 실행성의 측면에서 극소 스케일의 국지적 왜곡도 지수를 사용하는 것이 적절하다. 둘째, 본 연구의 대상은 대한민

국 주변도이므로 전역적 왜곡도가 아닌 지역적 왜곡도 산출을 고려해야만 한다. 즉, 해당 지역, 그것도 육지부만을 고려한 왜곡도가 산출되어야 한다. 셋째, 국지적 왜곡도의 값이 실질적으로 산출되어 공간적 분포의 시각화나 필수적인 통계량 산출을 위해 사용되어야 한다. 특히 이 세 번째 측면은 본 연구에서 핵심적이다. 앞에서 언급된 것처럼, 국지적 왜곡도를 시각화하기 위해 티소의 인디카트릭스를 사용하거나 각도나 면적과 같은 특정 왜곡의 크기 값을 측정하여 등치선으로 표현하는 방법은 널리 사용되고 있다(Mulcahy and Clarke, 2001; Canters, 2002).

국지적 왜곡도에 대한 시각화 분석에는 집약적인 연산 과정이 수반되므로 분석의 실행을 위한 소프트웨어가 요구되지만, 지도 투영에 따른 왜곡의 양상을 분석하는데 초점을 두고 있는 도구는 드문 편이다. 분석 소프트웨어 중 사용자들이 자유롭게 사용할 수 있는 도구로는 *Flex Projector*와 PDAT(Projection Distortion Analysis Tool)가 대표적인 것으로 파악된다. *Flex Projector*는 오픈 소스 형태의 공개 소프트웨어로 독립 실행형 소프트웨어이다(Jenny *et al.*, 2008; 2010). 이 소프트웨어는 소축척 세계지도를 대상으로 20여 개의 다양한 투영법에 적용하여 왜곡 특성 분석을 할 수 있다. 구체적으로 앞서 언급한 티소 인디카트릭스 및 왜곡도 등치선, 위도별 왜곡도 변화 그래프는 물론, Čapek의 Q 지수 등을 제공하며, 분석 결과를 GIS 레이어로 내보낼 수 있다. 또한 왜곡 양상에 대한 시각적, 계량적 분석 결과를 바탕으로 사용자가 그래픽 사용자 환경에서 새로운 투영법을 정의할 수도 있다. 하지만 사용자가 개별 지점의 왜곡 정보를 별도 데이터로 조회할 수 없고, 따라서 대륙이나 국가와 같이 특정 관심 지역에 대한 왜곡의 측정 및 상호 비교가 어렵다. 또한 특정 대륙이나 국가와 같이 사용자 관심 지역에 적절한 다양한 투영법을 지원하지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 분석 플랫폼으로 PDAT를 사용하는데, 이 도구는 GIS, 구체적으로 ESRI ArcGIS 환경에서 작동하는 왜곡 분석 도구이다(Braymen and Kessler, 2009). 이 도구에서는 사용자가 선택하는 관심지역에 대해 다양한 투영법(ESRI가 지원하는 모든 투영법)에 대한 분석이 가능하며, 왜곡도 측정 결과가 포인트나 셀 단위로 산출되므로 시각화는 물론 다양한 추가 분석이 가능하다. 구체적으로 이 도구는 2가지 방식으로 왜곡을 측

정하는데, 랜덤 포인트 방식과 격자(벡터 기반) 방식이 그것이다. 격자 방식은 면적 상의 왜곡 측정만을 지원하므로 본 연구에서는 각도, 면적, 스케일에 대한 왜곡 측정이 가능한 랜덤 포인트 방식을 사용하였다(유사한 접근으로 Kimerling *et al.*(1995) 참조). 랜덤 포인트 방식의 왜곡 측정에 대해 상술하면 다음과 같다. 기본적으로 랜덤 포인트 방식은 관심 지역에 사용자가 지정하는 숫자만큼의 포인트를 무작위로 설정하고, 그 지점 상에서 티소의 인디카트릭스를 원용하여 3요소(각도, 면적, 스케일)에 대한 왜곡을 측정하여, 그 결과를 셀 단위로 인터플레이션하는 과정을 거친다. 아래 그림은 분석 도구 상에서 입력 파라미터를 설정한 화면을 예시하고 있다. 본 연구에서의 왜곡 분석 지역은 대한민국 주변도의 육지부로, 그 범위는 동경 113~143°, 북위 30~46°에 해당한다.

랜덤 포인트의 수는 사용자가 지정할 수 있으며, 각 포인트들의 위치는 분석이 실행될 때마다 달라지게 된다. 하지만 본 연구에서는 4가지 투영법의 비교를 위해 동일한 랜덤 포인트를 사용하였으며, 분석 실행 시간을 고려하여 그 숫자는 1,000개로 설정하였다. 왜곡의 측정은 각 랜덤 포인트 상에서 이루어지는데, 이 분석 도구는 이를 위해 각 랜덤 포인트 상에 '별표(asterisk)' 데이터를 설정한다. 이 데이터는 모든 랜덤 포인트 상에 생성되는데, 각 포인트에 해당하는 별표 데이터는 길이가 동일한 180개의 라인이 원형을 이루고 있다. 따라서 이 데이터를 분석의 대상이 되는 타깃 투영법으로 투영하게 되면, 그 결과에는 360도 방향으로 이루어지는 왜곡의 양상이

반영된다. 그 형태는 라인이지만 이 데이터는 결과적으로 티소의 인디카트릭스와 유사한 역할을 수행할 수 있는데 이를 위해 각 지점 상에서 투영된 별표 데이터에 대해 왜곡 측정을 위한 장축과 단축을 추정하여 각도, 면적, 스케일의 왜곡을 측정한다.

PDAT에서 사용되는 국지적 왜곡도는 세 가지인데, 각각 '최대 각도 왜곡도(maximum change of angles)', '면적 왜곡도(percent change in area)', 그리고 '최대 스케일 왜곡도(maximum percent change of scale)'이다. 이것들은 앞에서 살펴본 극소 스케일의 국지적 왜곡도와 거의 비슷한데, 앞의 두 개는 식(4), 식(5)와 동일하고, 마지막 것만 약간 다르게 정의된다.

$$\text{최대 각도 왜곡도}(\text{°}): 2\arcsin\left(\frac{a-b}{a+b}\right) \quad (10)$$

$$\text{면적 왜곡도}(\%): (ab - 1) \times 100 \quad (11)$$

$$\text{최대 스케일 왜곡도}(\%): \max(|a-1|, |b-1|) \times 100 \quad (12)$$

위의 공식에 의거해 각 지점에서의 국지적 왜곡도를 측정 후, 그 결과를 셀 단위로 인터플레이션 하였는데, 이 도구는 ArcGIS Spatial Analyst의 자연근린법(natural neighbor)을 사용하고 있다. 인터플레이션은 육지부에 대해서만 수행되었으며 이후의 결과 분석 또한 육지부만을 대상으로 한다.

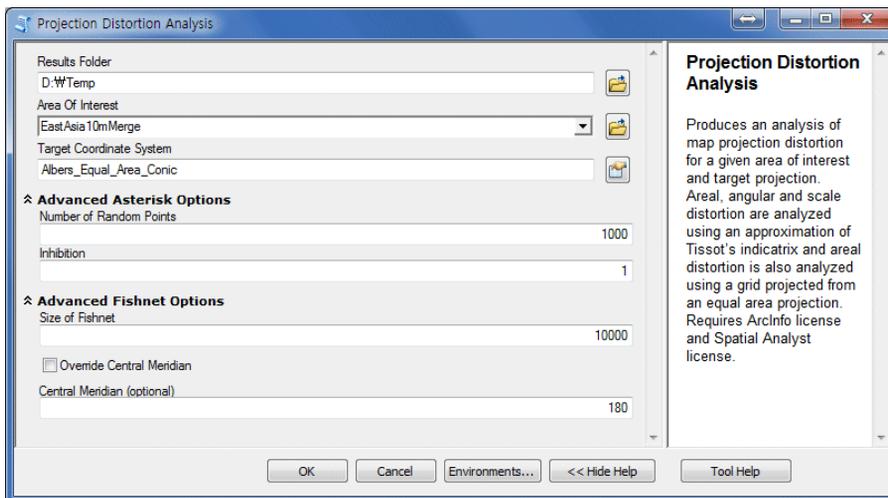


그림 4. PDAT의 GUI

3. 분석 결과

그림 5~7은 각 국지적 왜곡도 별로 네 개의 후보 투영법에 대해 왜곡도의 공간적 분포를 시각화하고 있다. 그림 5에 나타난 최대 각도 왜곡도의 공간적 분포를 살펴보면, 정형도법인 람베르트 정형원추도법은 모든 지점에서 왜곡도가 0이다. 알베르스 정적원추도법은 표준위선으로부터 멀어질수록 최대 각도 왜곡이 급격히 증대되는 양상을 보여주고 있다. 나머지 2개의 방위도법은 투영원점으로부터 멀어질수록 최대 각도 왜곡도가 증대하고 있는데, 절대적인 값의 크기가 람베르트 정적방위도법에서 더 크다. 최대 각도 왜곡도에만 보면 람베르트 정형원추도법과 정거방위도법이 우세한 것으로 판단된다.

그림 6에는 면적 왜곡도의 공간적 분포가 나타나 있다. 알베르스 정적원추도법과 람베르트 정적방위도법은 정적도법이므로 모든 지점에서 왜곡도는 0이다. 따라서 두 도법이 면적 왜곡에서는 가장 우세하다. 람베르트 정형원추도법은 표준위선으로부터 멀어질수록 면적 왜곡도가 급격히 증대되는 양상을 보여주고 있다. 실질적으로

1이상의 값이 상당히 넓은 지역에서 나타난다. 그러나 보다 중요한 사실은 한반도 전역이 가장 면적이 축소되어 나타나는 영역에 포함되어 있다는 점이다. 이는 이 도법의 치명적인 한계가 될 것으로 보인다. 정거방위도법은 투영원점으로부터 동심원 형태의 왜곡도 분포를 보여주고 있는데, 값의 크기에서 람베르트 정형원추도법보다 훨씬 작다. 그러나 이 도법 역시 한반도가 가장 왜소하게 표현되는 한계를 가지고 있다. 비록 눈에 드러나는 차이는 아니지만 한반도가 상대적으로 왜소하게 표현되는 투영법을 사용할 이유는 없다고 본다.

그림 7에는 최대 스케일 왜곡도의 공간적 분포가 나타나 있다. 람베르트 정형원추도법과 알베르스 정적원추도법은 매우 유사한 공간적 분포를 보여주고 있다. 이것은 장축과 단축 중 스케일 왜곡이 큰 것이 그 지점에서의 스케일 왜곡을 대변하기 때문에 발생한 것으로, 장축과 단축의 스케일 왜곡이 동일하게 나타나는 람베르트 정형원추도법이 사실상은 더 큰 스케일 왜곡도를 보인다고 말할 수 있다. 나머지 두 개의 방위도법은 모두 동심원 형태의 패턴을 보이는데 전체적인 왜곡도의 수준이

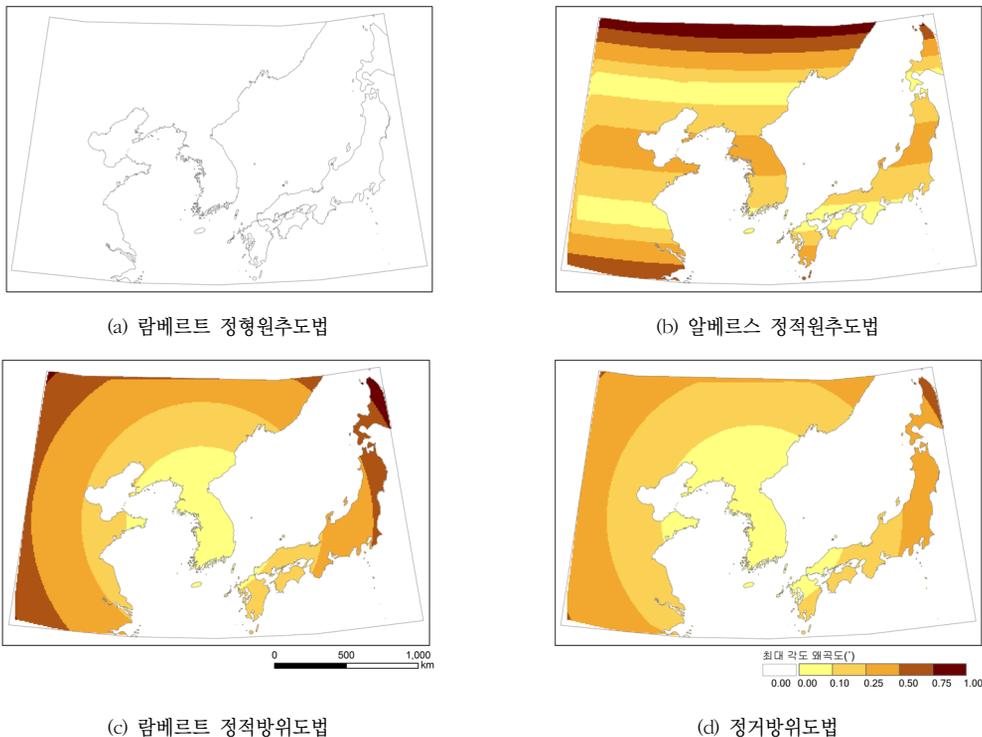
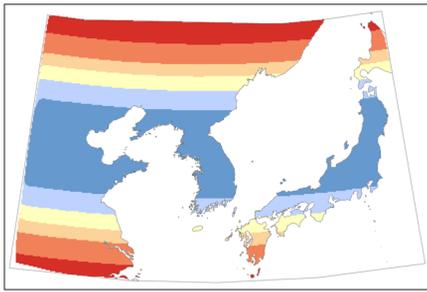


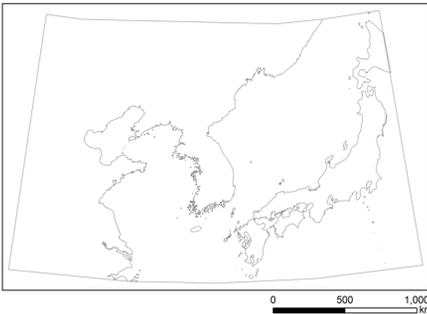
그림 5. 최대 각도 왜곡도의 공간적 분포



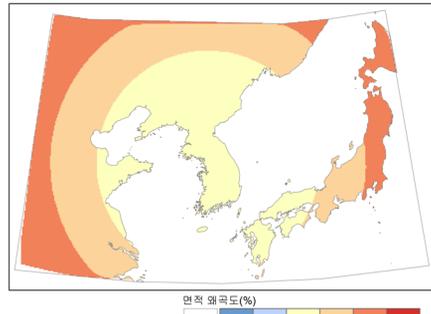
(a) 람베르트 정형원추도법



(b) 알베르스 정적원추도법

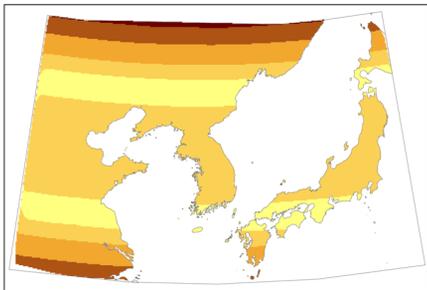


(c) 람베르트 정적방위도법

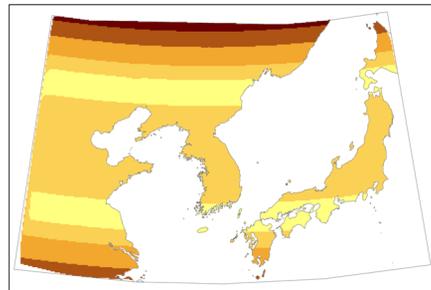


(d) 정거방위도법

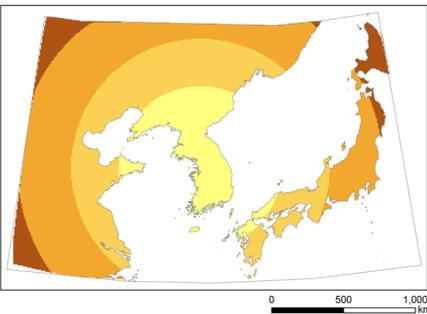
그림 6. 면적 왜곡도의 공간적 분포



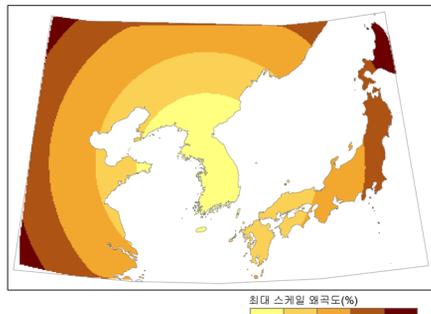
(a) 람베르트 정형원추도법



(b) 알베르스 정적원추도법



(c) 람베르트 정적방위도법



(d) 정거방위도법

그림 7. 최대 스케일 왜곡도의 공간적 분포

정거방위도법에서 더 크다. 따라서 최대 스케일 왜곡도에 의거해서 보면, 람베르트 정적방위도법이 가장 우세해 보인다. 이것은 한반도 전역이 0.1 이하의 값을 보이고 있다는 점에서도 그러하다.

표 3은 그림 5~7에 나타나 있는 양상을 몇 가지 통계량(평균, 최소, 최대, 표준편차, 변동계수)으로 요약하고 있다. 이러한 투영 왜곡 비교에 대한 '통계적 접근'(Kimerling *et al.*, 1995)은 투영법 선정의 새로운 차원을 제공해 준다. 통계량 중 평균과 변동계수(표준편차/평균)에 주목하고자 하는데, 평균은 통상적인 전역적 연구에서 주로 사용되는 통계량이기 때문이고, 변동계수는 지역 내 편차 역시 중요한 준거가 될 수 있다고 판단하기 때문이다(Kimerling *et al.*, 1995). 평균과 변동계수가 모두 낮은 것이 가장 좋은 투영법이다. 그런데 평균이 거의 비슷하다면 변동계수가 낮은 것이 더 좋은 투영법이라고 판단할 수 있다. 먼저 최대 각도 왜곡도에서는 평균을 기준으로 할 때, 람베르트 정형원추도법과 정거방위도법이 가장 우세하며 이것은 시각화 분석의 결과와 동일하다. 알베르스 정적원추도법과 람베르트 정적방위도법을 비교하면, 평균은 전자가 조금 낮지만 변동계수에서는 후자가 훨씬(약 27%) 더 낮다. 이러한 측면에서 람베르트 정적방위도법이 우세한 것으로 판단한다. 한반도 전역

에 대한 값이 더 낮은 것도 이 도법의 우위성을 판단하는 요소가 되었다.

면적 왜곡도의 경우 당연히 두 개의 정적도법에는 왜곡이 없다. 그림 6에서도 살펴본 바처럼 람베르트 정형원추도법의 면적 왜곡은 극심하다. 음수값이 있어 절대값으로 전환한 후 구한 평균값 0.5069는 상당히 높은 숫자이다. 또한 최댓값도 1.5243에 달한다. 면적 왜곡이 심한 밀러 도법의 전역적 면적 왜곡도가 1.23 정도인 것을 감안하면(Canters and Declair, 1989:45), 이 값은 매우 높은 것이다. 또한 람베르트 정형원추도법의 경우 변동계수도 271.97로 매우 높아 왜곡의 지역적 편차가 극심하다. 그리고 앞에서 살펴본 것처럼 한반도가 가장 왜소하게 표현된다고 하는 결정적 한계가 있으므로 람베르트 정형원추도법은 배제하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 정거방위도법의 경우도 평균값이 0.37로 상당히 높고, 람베르트 정형원추도법과 마찬가지로 한반도가 상대적으로 왜소하게 표현되는 한계를 가지고 있다. 따라서 이 도법 역시 후보에서 배제하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

마지막으로 최대 스케일 왜곡도의 경우, 평균에 의거하면 정거방위도법을 제외하고 거의 엇비슷한 수준인 것으로 나타났다. 따라서 세 투영법 간의 상대적 우위는

표 3. 투영 왜곡 분석의 결과

왜곡의 종류	통계량	람베르트 정형원추도법	알베르스 정적원추도법	람베르트 정적방위도법	정거방위도법
최대 각도 왜곡도(°)	평균	0.0000	0.2987	0.3175	0.2088
	최소	0.0000	0.0028	0.0011	0.0004
	최대	0.0000	0.9375	0.8575	0.5592
	표준편차	0.0000	0.2286	0.1782	0.1186
	변동계수	0.00	76.55	56.14	56.79
면적 왜곡도(%)	평균	0.5069	0.0000	0.0000	0.3653
	최소	-0.4847	0.0000	0.0000	0.0007
	최대	1.5243	0.0000	0.0000	0.9809
	표준편차	0.5967	0.0000	0.0000	0.2078
	변동계수	271.97	0.00	0.00	56.88
최대 스케일 왜곡도(%)	평균	0.2548	0.2612	0.2776	0.3653
	최소	0.0040	0.0024	0.0010	0.0007
	최대	0.7593	0.8215	0.7511	0.9808
	표준편차	0.1892	0.2003	0.1560	0.2078
	변동계수	74.26	76.68	56.20	56.88

*람베르트 정형원추도법의 면적 왜곡도 평균은 절대값의 평균임.

변동계수를 통해 살펴보는 것이 합리적이다. 람베르트 정적방위도법이 나머지 두 도법에 비해 각각 24%와 27% 정도 낮다. 따라서 람베르트 정적방위도법이 가장 우세한 것으로 판정한다. 이는 그림 7에 나타나 있는 것처럼, 한반도 전역이 가장 낮은 왜곡도를 보이고 있다는 점을 고려할 때 더더욱 그러하다.

이 모든 사항을 동시에 고려할 때, 대한민국 주변도 제작에 가장 적절한 투영법은 람베르트 정적방위도법인 것으로 판정한다. 람베르트 정적방위도법은 개관도나 주제도 제작에서는 보다 중요한 속성인 정적성을 보유하고 있고, 스케일 왜곡도에서도 가장 우수한 것으로 판단되었다. 또한 서울을 투영원점으로 한 관계로 한반도 전역이 세 요소 모두에서 상대적으로 가장 낮은 왜곡도를 보이는 지대에 포함되어 나타난다는 점도 좋은 평가를 받은 요소가 되었다. 마지막으로 특히 알베르스 정적원추도법보다 변동계수 값이 낮게 나타난 것도 중요한 이유가 되었다. 그림 8은 람베르트 정적방위도법을 적용해 최종적으로 제작된 대한민국 주변도이다.

IV. 요약 및 결론

본 논문의 주된 연구 목적은 대한민국 주변도의 제작에 가장 적절한 투영법이 무엇인지를 결정하는 것이었다. 이 목적을 달성하기 세 가지 연구과제가 설정되었는데, 첫째는 기제작된 지도와 투영법 선정의 가이드라인을 참조하여 몇 개의 후보 투영법을 선정하는 것이었고, 둘째는 왜곡도 분석 기법에 대한 상세한 리뷰를 통해 투영 왜곡 분석을 위한 기본 방향을 설정하는 것이었고, 셋째는 GIS-기반 투영 왜곡 분석을 실시하고 그 결과를 바탕으로 최종의 투영법을 선정하는 것이었다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 기제작된 지도에 적용된 투영법과 투영법 선정 가이드라인을 참고하여 람베르트 정형원추도법, 알베르스 정적원추도법, 람베르트 정적방위도법, 정거방위도법을 일차적인 후보 투영법으로 선정하였다. 둘째, 티소의 이론에 근거한 극소 스케일의 국지적 왜곡도 지수를 사용하는 것이 가장 적절하며, 국지적 왜곡도의 값이 실질적으로 획득되어

대한민국 주변도

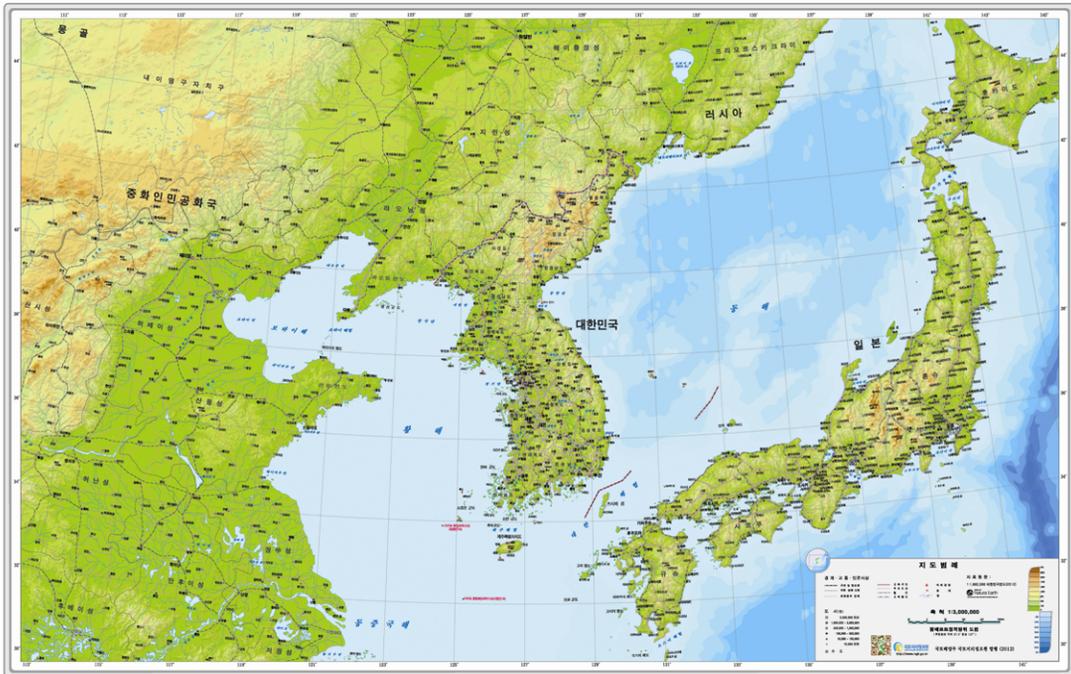


그림 8. 람베르트 정적방위도법으로 제작된 대한민국 주변도(국토지리정보원, 2012년)

출처 : <http://www.ngii.go.kr/world/mapdownload.html>

공간적 분포의 시각화나 필수적인 통계량 산출을 위해 사용되어야 한다는 점이 인식되었다. 셋째, 투영 왜곡 분석을 위한 플랫폼으로 PDAT가 사용되었는데, 이것은 극소 스케일의 국지적 왜곡도에 기반하고 있으며, GIS 상에서 투영 왜곡 분석을 할 수 있는 환경을 제공하였다. 투영 왜곡 분석을 종합적으로 검토한 결과 람베르트 정적방위도법이 최종적인 투영법으로 선정되었다. 람베르트 정적방위도법은 정적성을 보유하고 있고, 스케일 왜곡도에서 가장 우수하며, 한반도 전역이 가장 낮은 왜곡도를 보이게 드러난다는 장점을 가진다.

본 연구는 지역-수준의 일반 참조도 제작의 지침 역할을 할 수 있을 것으로 생각된다. 지역의 위치, 형상, 크기 등을 총체적으로 고려한 상태에서 최적의 지도 투영법을 선정하는 것은 훨씬 더 많은 요소들에 대한 고려에 기반해야 한다. 또한 지역적 수준의 최적 투영법 선정은 투영법의 전역적 특성에 기반한 상대적 우위의 판단에 근거하는 것이 아니라 실질적인 투영 왜곡도 분석에 기반해야 한다. 실질적인 의미에서 1:3,000,000 정도 축척의 지도를 제작할 경우 앞에서 언급한 네 가지 후보 투영법들은 시각적으로 확인될 만큼의 차이를 드러내지는 않는다. 그러나 Slocum *et al.*(2009:168-169)이 보여준 것처럼, 투영법의 선정은 합리적 근거에 기반해야 한다. 지도 제작이 한 국가나 국가 내 지역 차원으로 제작되는 경우라 하더라도 이 원칙은 그대로 지켜져야 한다. 이것이 GIS-기반 투영 왜곡 분석이 중요한 역할을 할 수 있는 지점이다. 시각화와 다양한 통계량의 산출 능력이 투영법 선정의 실질적인 근거를 제공할 것이다.

본 연구는 더 나아가 우리나라 전도의 제작에 중요한 시사점을 제공해 준다. 현재 국토지리정보원이 제작해 배포한 지도는 127.5°를 중앙경선으로 하여 횡축메르카토르 도법을 적용해 제작된 것이다. 대한민국이라고 하는 중위도의 매우 적은 영역을 투영하는데 과연 횡축메르카토르 도법의 적용이 타당한 것인지에 대한 질문에 해답을 제시하는데 이 연구가 많은 함의를 제공해 준다고 믿으며, 향후 연구과제로 남겨두고자 한다.

참고문헌

이상일·조대현·이건학, 2012, “태평양 중심의 세계지도 제작을 위한 최적의 지도 투영법 선정,” 한국지도학

회지, 12(1), 1-20.

- Braymen, M. and Kessler, F., 2009, A GIS tool for evaluating distortion of projections, North American Cartographic and Information Society's XXVII Conference, Sacramento, CA.
- Bugayevskiy, L.M. and Snyder, J.P., 1995, *Map Projections: A Reference Manual*, Philadelphia, PA: Taylor & Francis.
- Canters, F., 2002, *Small-scale Map Projection Design*, New York: Taylor & Francis.
- Canters, F. and Declair, H., 1989, *The World in Perspective: A Directory of World Map Projections*, New York: John Wiley & Sons.
- Canters, F., Deknopper, R., and de Genst, W., 2005, A new approach for designing orthographic world maps, *Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference, Mapping Approaches in a Changing World*, July 9-16, A Coruna, Spain International Cartographic Association.
- Čapek, R., 2001, Which is the best projection for the world map?, *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference*, Beijing, China, 5, 3084-3093.
- Goldberg, D.M. and Gott III, J.R., 2007, Flexion and skewness in map projections of the earth, *Cartographica*, 42(4), 297-318.
- Jenny, B. and Patterson, T., 2007, *Flex Projector* (online), www.flexprojector.com.
- Jenny, B., Patterson, T., and Hurni, L., 2008, Flex Projector - interactive software for designing world map projections, *Cartographic Perspectives*, 59, 12-27.
- Jenny, B., Patterson, T., and Hurni, L., 2010, Graphical design of world map projections, *International Journal of Geographical Information Science*, 24(11), 1687-1702.
- Kimerling, A.J., Buckley, A.R., Muehrcke, P.C., and Muehrcke, J.O., 2009, *Map Use: Reading and Analysis*, 6th edition, Redlands, CA: ESRI Press Academic.
- Kimerling, A.J., Overton, W.S., and White, D., 1995, Statistical comparison of map projection distortions

- within irregular areas, *Cartography and Geographic Information Science*, 22(3), 205-221.
- Laskowski, P., 1989, The traditional and modern look at Tissot's indicatrix, *The American Cartographer*, 16(2), 123-133.
- Laskowski, P., 1997a, Part 1: Distortion-spectrum fundamentals, A new tool for analyzing and visualizing map distortions, *Cartographica*, 34(3), 3-18.
- Laskowski, P., 1997b, Part 2: Distortion-spectrum applications, Projection cross-breeding, *Cartographica*, 34(3), 19-39.
- Mulcahy, K.A. and Clarke, K.C., 2001, Symbolization of map projection distortion: A review, *Cartography and Geographic Information Science*, 28(3), 167-181.
- Nyerges, T.L. and Jankowski, P., 1989, A knowledge base for map projection selection, *The American Cartographer*, 16(1), 29-38.
- Slocum, T.A., McMaster, R.B., Kessler, F.C., and Howard, H.H., 2009, *Thematic Cartography and Geovisualization*, 3rd edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Snyder, J.P., 1987, *Map Projections: A Working Manual*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1395, Washington: United States Government Printing Office.
- Snyder, J.P., 1993, *Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Snyder, J.P. and Voxland, P.M., 1989, *An Album of Map Projections*, U.S. Geological Survey Professional Paper 1453, Washington: United States Government Printing Office.
- 교신 : 이상일, 151-742, 서울시 관악구 관악로 1, 서울대학교 사범대학 지리교육과 (이메일: si_lee@snu.ac.kr)
- Correspondence : Sang-Il Lee, 151-742, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea, Department of Geography Education, Seoul National University (Email: si_lee@snu.ac.kr)

투 고 일: 2012년 12월 4일

심사완료일: 2012년 12월 10일

투고확정일: 2012년 12월 14일