

태평양 중심의 세계지도 제작을 위한 최적의 지도 투영법 선정*

이상일** · 조대현*** · 이진학****

Searching for the Best Map Projection for a World Map Centered on the Pacific Ocean*

Sang-II Lee** · Daeheon Cho*** · Gunhak Lee****

요약 : 본 연구의 목적은 태평양 중심의 세계지도 제작을 위한 최적의 투영법을 선정하는 것이다. 이 연구 목적을 달성하기 위해 투영법의 유형 분류와 투영법 선정의 가이드라인에 대한 기존 연구를 검토하였다. 최적의 투영법 선정을 위해 대중성 기준, 정적성 순위 혹은 절충성 기준, 그리고 왜곡 최소화 기준이 설정되었다. 이 세 기준을 적용한 결과 에케르트 IV 도법, 로빈슨 도법, 빈켈 트리펠 도법, 밀러 도법이 후보 투영법으로 선정되었다. 선정된 후보 투영법에 대한 면밀한 지도학적 평가와 비교 분석이 이루어졌으며, 지도학적 식견이 있는 사람들을 대상으로 사용자 선호도 조사가 실시되었다. 모든 사항을 종합적으로 판단한 결과 로빈슨 도법이 최종적인 투영법으로 선정되었다. 로빈슨 도법의 상대적 우위성은 중앙 경선이 본초 자오선인 경우보다 동경 150° 인 경우에 더 잘 드러나는 것으로 인정되었다. 로빈슨 도법의 변환 공식 도출과 관련된 학술적 논의를 바탕으로 투영 실행의 일반 원칙이 수립되었으며, 로빈슨 도법을 위한 가변 축척의 제작 절차가 제시되었다.

주요어 : 지도 투영, 왜곡, 로빈슨 도법, 빈켈 트리펠 도법, 에케르트 IV 도법, 밀러 도법

Abstract : The main objective of the paper is to seek to find the best map projection for a world map centered on the Pacific Ocean. To accomplish this objective, some classification schemes and selection guidelines for map projections are reviewed and then such criteria as popularity, equivalence or compromise, and minimum of overall distortion are established for the search. After evaluated on the basis of the criteria, four candidates are selected: Eckert IV, Robinson, Winkel Tripel, and Miller cylindrical projections. They are extensively investigated and compared in terms of their cartographic characteristics. A survey targeting cartographically informed people is undertaken to inquire into different preferences among the projections. It is concluded from all these that Robinson projection is the best one. The relative superiority of the projection is contended to be better seen when the central meridian is set on the 150° E rather than when it is on the prime meridian. With a through review on the derivation of transformation equations for the Robinson projection, a general principle of implementing the projection is established and a procedure of designing a variable scale bar suitable for it is presented.

Key Words : Map Projections, Distortions, Robinson Projection, Winkel Tripel Projection, Eckert IV Projection, Miller Cylindrical Projection

*이 논문은 2011년 국토지리정보원의 지원을 받아 수행된 「세계지도 및 대한민국 주변도 구축연구 및 제작사업」의 연구보고서(이상일 등, 2011) 일부를 수정·보완한 것임.

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

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

****전남대학교 지리교육과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography Education, Chonnam National University, gunhlee@jnu.ac.kr)

I. 서론

지도 투영(map projection)은 “구체 혹은 타원체 상의 3차원 좌표를 평면 상의 2차원 좌표로 변환하는 체계적 과정”으로 규정할 수 있다(Snyder and Voxland, 1989). 좀 더 구체적으로 진술하면, 지도 투영은 위도와 경도로 주어지는 3차원 좌표를 동거(東距, easting)와 북거(北距, northing) 혹은 x-좌표와 y-좌표로 주어지는 2차원 좌표로 변환하는 과정을 의미한다. 개별 지도 투영법은 지도 투영이 실행되는 구체적인 방식을 의미하며(흔히 줄여서 도법(圖法)이라고 부름), 간단히 말해 좌표 변환 공식 그 자체이다. 무수히 많은 좌표 변환 공식이 가능하기 때문에 이론적으로는 무수히 많은 투영법이 가능하며, 이천 년 이상의 지도 투영의 역사에서 실질적으로 수백종의 투영법이 발표되고 사용되어 왔다(Snyder, 1993). 그러나 이 들 중 상당수는 거의 사용되지 않으며, 현재 실질적인 존재 가치를 인정받고 있는 투영법은 100종을 넘지 않는다. 예를 들어 Snyder and Voxland(1989)는 자신들의 지도 투영 ‘앨범’에 총 93개의 투영법만을 포함시켰다. 세계 전체를 표현하는데 적절한 투영법만을 골라 내면 그 수는 더욱 감소하는데, Canters and Deceir(1989)는 총 65개의 투영법을 자신들의 ‘디렉터리’에 포함시킨 바 있다.

지도 제작의 목적에 부합하는 투영법을 새로이 고안해낼 수 없다면, 가능한 대안은 기존의 투영법들 중, ‘최선의’ 혹은 ‘가장 적절한’ 투영법을 선정하는 것이다. 투영법의 선정은 결국 지도 제작의 목적 혹은 요구 사항과 기존의 투영법들이 보유하고 있는 지도학적 특성 간의 일치도에 의해 결정된다. 따라서 적절한 투영법 선정을 위해 우선적으로 요구되는 것은, 지도 제작 의도의 명세화와 기존 투영법의 지도학적 특성에 대한 면밀한 검토이다. 이러한 과정을 통해 일치도가 가장 높은 투영법이 선정되었다면, ‘최선의’ 혹은 ‘가장 적절한’ 투영법의 선정이라는 목적은 달성된 것으로 보아야 할 것이다. 물론 Snyder(1987:3)가 지적하는 바처럼, 모든 투영법들 중 “최고의 투영법이 존재한다고 말하는 것은 어불성설”이고, 특정한 목적 하에서 조차 “유일한 최적의 투영법을 찾았노라고 말하는 것은 위험한 주장”일 수 있지만, 본 연구자들은 지도 제작의 목적, 맥락, 조건이 명료하게 주어지면 상대적으로 적합성이 높은 소수의 투영법이 선정될 수 있고, 그 중에서 하나를 상당한 객관성을 가지고

채택할 수 있다고 본다. 이러한 의미에서 그 최종의 투영법을 ‘최적’이라고 불러도 무방할 것이다.

본 연구는 일반 대중을 대상으로 하고, 일반 참조도 형식으로 제작되는, 태평양 중심의 세계지도 혹은 벽걸이용 세계지도에 최적인 도법이 무엇인가라는 질문에 해답을 찾고자 한다. 이를 위한 가장 손쉬운 출발점은 현재 발행되고 있는 세계지도에 어떤 도법들이 주로 적용되고 있는지를 살펴보는 일일 것이다. 이것은 도법 선정에서 익숙함 혹은 친밀감을 중요한 선택 기준으로 본다는 것을 의미하는데, 본 연구가 제작하려고 하는 세계지도가 일반 대중을 대상으로 하는 일반 참조도라는 것을 염두에 둔다면 이 기준의 중요성은 절대로 간과되어서는 안될 것이다. 그러나 이와 동시에 투영법의 지도학적 타당성에 대한 평가 역시 중요한 선택 기준이 되어야 한다. 지도학적으로 타당한 투영법을 찾는다는 것은 지도 속성 간의 상대적 경중에 대한 평가를 기반으로 한, 각 투영법의 왜곡의 총량에 대한 정량적 평가와 결부되어 있다. 예를 들어, 지도 제작자는 정적성과 정형성 간의 상대적 가중치를 설정할 수 있고, 그러한 관점에서 각 투영법의 왜곡의 총량과 분포 양상에 대한 평가를 시행하여, 투영법들 간의 상대적 우열을 판단할 수 있다. 결국 대중성, 지도 속성, 총체적 왜곡도와 같은 개념이 최적의 투영법 선정에서 가장 중요한 요소로 작용할 것이다.

본 연구는 우리나라의 국토지리정보원이 2005~2010년 발행한 세계지도(그림 1 참조)에서 채택된 투영법이 과연 적절한가에 대한 질문에서 출발한다. 국토지리정보원의 세계지도는 메르카토르 도법에 의해 제작되었으며, 동경 150°를 중앙에 위치시켜 태평양 중심의 세계 형상을 표현하고 있다. 세계지도 제작에서 메르카토르 도법을 사용하는 것의 부적절성은 이미 오래 전부터 지적되어 왔다. 주지하는 바처럼, 정형원통도법인 메르카토르 도법은 고위도 지역에서의 극심한 면적 확대라는 현저한 한계를 갖고 있어 지도 사용자들에게 세상에 대한 심대한 오개념을 심어줄 수 있다(Čapek, 2001). 메르카토르 도법의 지배적 사용 관행에 대한 비판은 순수 지도학적 논의를 넘어 ‘공간 재현의 정치학과 관련된 논쟁’으로까지 확대되기도 했다. 골페터스 도법(Gall-Peters projection) 논쟁(손일 · 이한방, 2004; 손일 역, 2006)은 세계지도 제작을 위한 투영법으로서의 메르카토르 도법이 가지는 한계를 가장 극적으로 보여주는 지도학사적 에피소드일

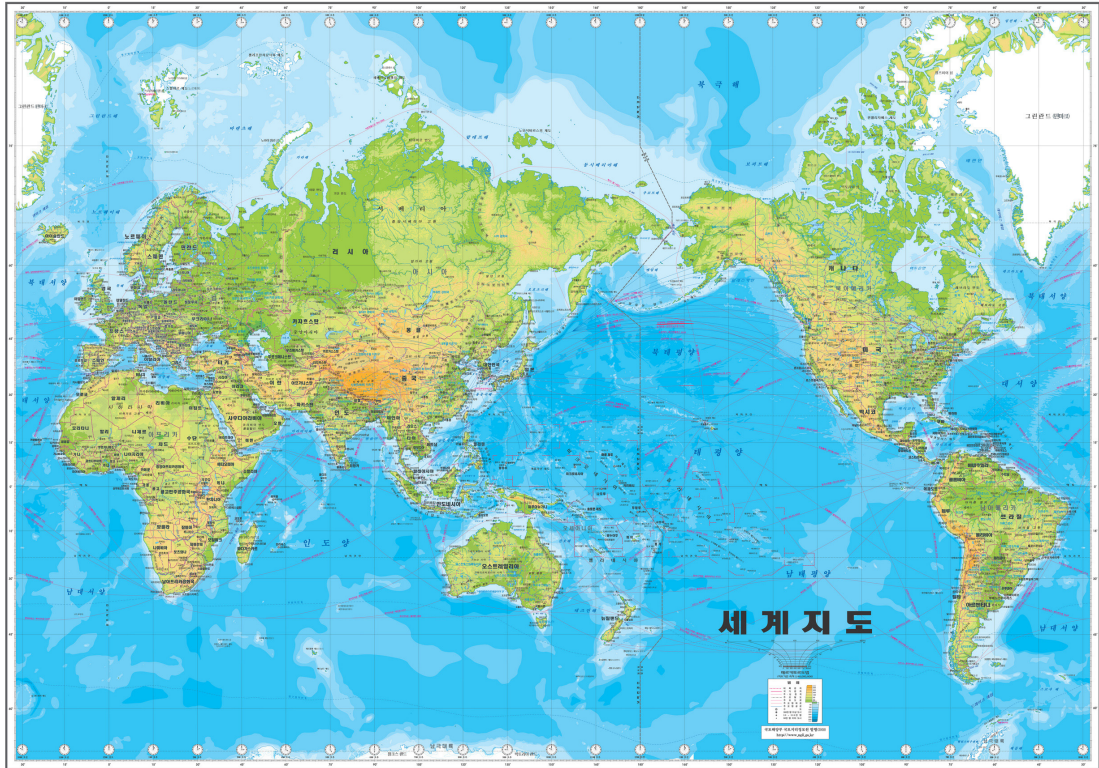


그림 1. 2005~2010년 국토지리정보원이 발행한 세계지도(메르카토르 도법, 동경 150°도 중심)

출처: http://www.ngi.go.kr/kor/popup/map_world.do?tblstcx=1

것이다. 원통도법 계열 전체를 고려 대상에서 제외해야 한다는 주장도 있는 것을 보면(Jenny *et al.*, 2008; 2010), 근거와 이유가 불분명한 채 오랜 세월 동안 채택되어 사용되어 온 메르카토르 도법을 비판적인 관점에서 재조명하고, 이를 바탕으로 새로운 대안을 찾아 나서는 것은 우리나라 소속적 지도 제작의 발전을 위해 매우 중요한 과업이다.

따라서 본 연구의 주된 목적은 메르카토르 도법을 대체하는, 태평양 중심의 세계지도의 제작에 가장 적절한 투영법이 무엇인지를 결정하는 것이다. 보다 구체적으로 표현하면, 1:30,000,000 전후의 축척으로, 세계 전체에 대한 일반 참조도를 동경 150°를 중앙 경선으로 하여 제작할 때 최적의 투영법이 무엇인지 선정하는 것이다. 이 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 구체적인 연구 과제를 설정한다. 첫째, 투영법 유형 분류와 투영법 선정의 가이드라인에 대한 기존 연구를 검토하여 투영법 선정에 관한 함의를 이끌어 낸다. 둘째, 최적의 투영법 선

정을 위한 기준을 설정한다. 셋째, 이러한 기준을 적용하여 몇 개의 최종 후보 투영법을 선정한다. 넷째, 선정된 후보 투영법에 대해 지도학 관련 전문가 집단을 대상으로 선호도 조사를 실시한다. 다섯째, 선호도 조사를 참조하고, 투영법 간의 비교 분석을 통해 최종의 투영법을 선정한다. 여섯째, 선정된 투영법의 지도학적 특성에 대한 보다 면밀한 검토를 통해 투영법 실행의 원칙을 수립하고, 실행 요소 중 하나인 위도별 가변 축척(variable bar scale)의 제작 원리를 제시한다.

II. 현황 분석과 투영법의 유형 분류

1. 투영법 사용에 대한 현황 분석

최적의 지도 투영법을 찾는 가장 손쉬운 출발점은 현재 발행되고 있는 세계지도에 어떤 투영법들이 주로 적

용되고 있는지를 살펴보는 것이다. 이를 위해 민간 지도 제작 회사가 발행한 아틀라스와 공공 기관이 발행한 벽걸이용 세계지도로 구분하여 살펴볼 것이다.

국제적으로 유명한 상업적 아틀라스에 적용되는 투영법은 실질적으로 10개 남짓으로 압축되는데(손일 역, 2006; Jenny *et al.*, 2008), 바그너 VII(Wagner VII) 도법, 브리제마이스터(Briesemeister) 도법, 골-페터스(Gall-Peters) 도법, 하머(Hammer) 도법, 에케르트 IV(Eckert IV) 도법, 구드 호몰로사인(Goode Homolosine) 도법, 밀러(Miller Cylindrical) 도법, 메르카토르(Mercator) 도법, 몰바이데(Mollwide) 도법, 로빈슨(Robinson) 도법, 빈켈 트리펠(Winkel Tripel) 도법 등이 여기에 포함된다. 투영법의 선택 이유에 대해서 명시적인 설명이 제공되는 경우는 극히 드물기 때문에(Čapek, 2001), 이렇게 적은 수의 투영법만이 사용되는 이유를 정확히 알 수는 없다. 그러나 아마도 익숙함이라는 요소가 지도 제작자나 지도 사용자 모두에게 중요한 요소로 작용하는 것으로 추측된다. 즉, 지도 제작자 입장에서 보면 대중들에게 익숙하지 않은 투영법을 적용함으로써 판매 수익에서의 불확실성을 높일 이유가 전혀 없을 것이다(Jenny *et al.*, 2008:14). 지도 사용자들의 입장에서 보면 생경한 투영법이 사용되거나 하나의 아틀라스 속에 다양한 투영법이 사용될 경우 호기심을 갖기 보다는 혼돈을 느낄 가능성이 높다. 따라서 이 익숙함이라는 기준은 최적의 투영법을 찾는 준거 중의 하나로 중요하게 인식되어야 할 것이다. 이외에 아틀라스가 주로 서적의 형태로 출판되는 것을 감안하며, 편

집 상의 다양한 고려사항도 중요한 역할을 할 것으로 추측되는데, 예를 들어 높이/넓이비(height-to-width ratio)나 지명 기입의 용이성 등이 가능한 대안의 폭을 줄여놓을 것으로 생각된다.

다음으로 벽걸이용 세계지도에서 어떤 투영법들이 주로 사용되는지 살펴본다. 여기서는 국가 지도제작 기관을 포함한 공공 기관이 발간한 벽걸이용 세계지도에 집중하고자 한다. 표 1은 주요 국가의 공공 기관이 발간한 세계지도의 리스트를 보여주고 있는데, 대략 1:20,000,000~1:40,000,000의 축척으로 제작되며, 반 데어 그린텐 I(Van der Grinten I) 도법, 로빈슨 도법, 메르카토르 도법, 에케르트 IV 도법, 밀러 도법, 빈켈 트리펠 도법과 같은 투영법이 주로 사용되고 있음을 알 수 있다. 여기서도 아틀라스의 경우와 마찬가지로 익숙함의 원리가 작용했을 것이다. 그런데 전체적으로 볼 때, 주로 타원형의 형태를 띠거나, 절충도법(compromise projections)인 경우가 주류라는 사실을 발견할 수 있다. 이것은 세계지도를 위한 투영법 선정의 역사에서 발견되는 현저한 경향성을 반영하고 있다. 즉, 원통도법 계열, 특히 메르카토르 도법의 퇴조가 두드러지고(손일 역, 2006), 가상원통도법(pseudocylindrical projections) 계열의 정적도법이 지배적인 투영법으로 등장했다가, 그 이후에는 정적도법이 퇴조하고 면적과 형태의 균형을 추구하는 절충도법이 주류로 등장했다는 것이다(Canters, 2002; Jenny *et al.*, 2010). 이러한 상황에는 「내셔널 지오그래픽(National Geographic)」 매거진을 발간하는 NGS(National Geographic Society)의 역할

표 1. 주요 국가의 공공 기관이 발간한 벽걸이용 세계지도의 투영법

국가	기관	지도명	축척	투영법
미국	USGS(U.S. Geological Survey)	Outline Map of the World(1988)	1:40,000,000	반 데어 그린텐 I 도법
	CIA(Central Intelligence Agency)	Physical Map of the World & Political Map of the World(2011)	1:35,000,000	로빈슨 도법
	NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)	Physical Map of the World(1988)	1:30,000,000	메르카토르 도법
영국	OS(Ordnance Survey)	The World(2011)	1:36,900,000	에케르트 IV 도법
				밀러 도법
프랑스	IGN(Institut Géographique National)	Le Monde Politique(2004)	1:33,700,000	반 데어 그린텐 I 도법
캐나다	Natural Resources Canada	The World(2005)	1:35,000,000	반 데어 그린텐 I 도법
일본	日本地圖센터(建設省國土地理院 監修)	最新 世界全圖(1984)	1:24,000,000	빈켈 트리펠 도법
한국	국토지리정보원	세계지도(2005, 2007)	1:28,000,000	메르카토르 도법
			1:40,000,000	

이 큰 것으로 보인다. NGS는 반 데어 그린텐 I 도법을 오랜 기간 동안(1922-1988) 공식 투영법으로 사용하다가, 그것을 로빈슨 도법으로 바꾸었고(1988-1998), 1998년 이후로는 빈켈 트리펠 도법을 사용하고 있다(Slocum *et al.*, 2009).

국토지리정보원은 2005년 7월 최초로 축척 1:28,000,000 (158cm×109cm)의 세계지도를 제작하였고, 2007년 5월 크기를 줄여 축척 1:40,000,000(110cm×80cm)의 교육용 세계지도를 제작하여 각 학교에 배포하였다. 이후 표기법 변경, 국가명 변경, 지역명 삭제 등의 수 차례에 걸친 개정을 거쳐 가장 최근에는 2010년 8월 발행하였다(그림 1 참조). 이 지도는 다른 다양한 문제점, 예를 들어 지도에 표현된 지리적 사상의 데이터 원천에 대한 근거 부족(조대현 등, 2012)이나 기복 재현을 위한 색채 적용과 관련된 지도 디자인에서의 문제점(김감영, 2012) 등이 있지만, 본 연구는 지도 투영의 문제, 즉 채택된 메르카토르 도법이 세계지도 제작을 위한 도법으로 적절치 않다는 점에 집중하고자 한다.

2. 투영법 선정의 가이드라인과 투영법의 유형 분류

최적의 투영법 선정을 위한 가이드라인을 얻는 것은 지도 투영의 유형에 대한 면밀한 검토와 불가분의 관계에 있다. 우선, 투영 계열(원통도법, 원추도법, 평면도법 등)과 투영 속성(정거성, 정형성, 정적성, 정방위성, 절충성)이 유형 분류의 가장 중요한 두 축을 구성하지만, 여기에 투영 면이 지구본과 접하는 방식에 의한 투영 격(case)(정점과 정할)과 투영면을 지구본에 밀착하는 방향에 의한 투영 축(aspect)(정축, 횡축, 사축)과 관련된 다양한 투영 파라미터들도 개별 투영법의 성격을 규정하는데 큰 역할을 한다(Kimerling *et al.*, 2009; Slocum *et al.*, 2009). 결국 개별 투영법의 본질적인 성격은 그레티쿨(graticule)의 형태에 총체적으로 반영되어 나타나며(Canters and Declair, 1989; Snyder and Voxland, 1989), 이러한 본질적인 성격을 비교함으로써 최적의 투영법이 선정되어야만 하는 것이다. 본 연구에서는 Snyder(1987)의 투영법 선정 가이드라인과 Canters and Declair(1989)의 투영법 분류 방식에 주목하고자 하며, 이를 통해 어떠한 유형의 투영법이 후보군에 포함될 수 있을 지에 대한 함의를 이끌어 내고자 한다(이외의 분류법에 대해서는

Canters(2002) 참조).

Snyder의 방식은 일종의 '위계적 선정(hierarchical selection)' 방식으로, 계층적으로 선택의 폭을 줄여 감으로써 최종적인 투영법에 도달하고자 한다(Snyder, 1987; Slocum *et al.*, 2009). Snyder의 방식의 시작은 지리적인 영역을 세가지 범주, '세계 전체', '반구', 그리고 '대륙이나 그보다 작은 지역'으로 구분하는 것으로부터 시작한다. 본 연구의 관심은 세계 전체이므로 이것에 대한 투영법 선정 가이드라인에만 집중하고자 한다. 이것에 따르면 투영 속성(properties)-특성(characteristics)의 순서로 탐색하여 후보 투영법을 좁히고, 그 중에서 하나를 선정한다(표 2 참조). 여기서 투영 특성은 앞에서 설명한 투영 격과 투영 축과 관련된 사항이다. 한 속성-특성의 선택은 곧바로 투영법의 특징으로 이어질 수도 있지만, 다양한 특성들의 조합은 동일한 속성-특성 유형 속에서도 여전히 선택의 여지가 남아 있을 수도 있다. 예를 들어, 정적도법-비단열형 유형을 위계적으로 선정했다 하더라도 7개 이상의 후보 투영법이 존재하는 것이다.

Canters and Declair(1989)는 Snyder와는 다소 다른 방식의 체계를 제시하고 있는데, 애당초 투영법 선정이라는 목적을 염두에 두고 이 분류법이 만들어 졌기 때문에 Snyder의 가이드라인에 비해 본 연구와의 연관적합성이 더 높다고 할 수 있다. 그들은 우선 투영면의 종류와 위도의 간격이라는 두 가지 범주를 통해 세계지도를 위한 투영법의 분류를 행하는 데, 투영면의 종류에는 전형적인 원추도법과 평면도법은 제외되며, 원통도법과 그것

표 2. 세계지도를 위한 투영법 선정 가이드라인의 예

속성	특성	투영법
정형도법	적도축: 적도를 따라 왜곡 무	1
	횡축: 특정 경선을 따라 왜곡 무	1
	사축: 특정 대권을 따라 왜곡 무	1
	왜곡 무 지점 없음	3
정적도법	비단열형	7+
	단열형(interrupted)	7+
	사축	2
정거도법	극축: 극 중심	1
	사축: 특정 도시 중심	1
절충 도법		2

* 투영법 칼럼의 숫자는 해당 투영법의 개수임
출처: Snyder(1987)과 Slocum *et al.*(2009)을 바탕으로 일부 수정함

표 3. 세계지도를 위한 투영법 분류 체계의 예

극 표시 위선 간격	다원추도법		가상원통도법		가상원추도법	원통도법
	점	선	점	선	점	선
위선 간격 감소	4	1	7	16	-	4
위선 간격 동일	1	2	5	11	2	2
위선 간격 증가	2	-	-	1	-	7

* 숫자는 해당 투영법의 개수임

출처: Canters and Declair, 1989:31; Canters, 2002:53

과 유사한 형태를 드러내는 도법들이 포함된다. 즉, 투영면의 종류에는 원통도법, 가상원통도법, 가상원추도법(pseudoconic projections), 다원추도법(polyconic projections)이 포함된다. 또 하나의 축인 위선 간격은 간격이 감소하는 도법, 간격이 동일한 도법, 간격이 증가하는 도법의 세 가지로 구분된다. 이 두 가지 준거 외에 극이 점으로 표현되는지 혹은 선으로 표현되는지의 여부가 하위 준거로 포함된다. 표 3은 그들의 분류 체계를 요약하고 있다.

이 분류 체계의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 세계지도의 투영법으로 가상원통도법 계열이 탁월하다. 가상원통도법 계열의 투영법이 주로 정적도법 혹은 절충도법인 점을 감안하면 매우 중요한 탐색군이 될 것으로 보인다. 둘째, 세계지도의 투영법으로 극이 선으로 표현되는 도법이 극이 점으로 표현되는 도법보다 훨씬 우수하다. 이는 극이 점으로 표현될 경우 고위도 지역에서 지나치게 형태가 왜곡되기 때문이다. 따라서 이 두 가지를 결합할 경우 극이 선으로 표현되는 가상원통도법 계열의 투영법이 최우선적으로 고려될 필요가 있음을 알 수 있다. 표 3을 살펴보면 이 기준을 통과하는 투영법이 총 28개가 있음을 알 수 있다. 여기에 투영 속성으로서 정적성을 주목하면 위선 간격의 감소가 또 하나의 기준이 될 수 있는데 이를 경우 후보 투영법은 16개로 감소한다.

III. 최적의 지도 투영법 선정

1. 투영법 선정의 기준 설정과 후보 투영법의 선정

후보 투영법을 선정하기 위해 다음의 세 가지 기준을 수립하였다. 첫째, ‘대중성’의 기준이다. 후보 투영법은

지도 이용자들에게 상당한 정도의 익숙함 혹은 친밀감을 줄 수 있어야 한다. 앞에서도 언급했던 것처럼, 어느 수준을 넘어서는 생경함은 독자들의 저항에 부딪힐 수 있고, 그로 말미암아 지도 제작의 목적이 달성되지 않을 수도 있기 때문이다. 둘째, ‘정적성 우위’의 기준 혹은 ‘절충성’의 기준이다. 정적성이 정형성 보다 더 중요한 속성이며, 가능한 두 요소가 조화를 이루어야 한다. 이는 지도 제작의 목적상 대륙이나 국가의 상대적 크기에서의 왜곡이 극심하지 말아야 하며, 동시에 형태의 왜곡이 두드러지지 않아야 하기 때문이다. 셋째, ‘왜곡 최소화’의 기준이다. 전체적인 의미에서 왜곡이 상대적으로 적은 투영법이 후보 투영법에 선정되어야 한다. 이 세 가지 기준 각각에 대해 특정한 투영법 후보군이 선정될 것이다.

우선, 대중성의 기준을 지도학 개론서에서의 등장 여부로 정했다. 세계에서 가장 널리 사용되고 있는 지도학 개론서들에서 단 한번이라도 언급된 투영법이라면 어느 정도의 대중성을 갖추고 있는 것으로 볼 수 있다는 취지이다. 투영법 전문 서적이 아닌 지도 투영에 대한 한두 장만을 다루고 있는 지도학 개론서에 등장했다는 것은 세상에서 널리 사용되고 있다는 점을 잘 반영하고 있다고 보았다. 현재 세계에서 가장 널리 사용되고 있는 네 권의 지도학 개론서를 선정하고, 각 개론서에서 언급된 투영법 중 세계지도 제작을 위해 사용 가능한 것만을 골라낸 후, 한 번이라도 언급된 투영법을 나열하였다(표 4). 네 권의 책에 모두 등장한 투영법으로 메르카토르도법, 시뉴소이드도법, 몰바이데도법, 구드호몰로사인도법, 그리고 로빈슨도법이 있다. 최소한 표 4에 나타난 16개 투영법 중에서 후보 투영법이 선정될 것이다.

정적성 우위 혹은 절충성의 기준을 만족시키기 위해서는 정형성이 뛰어난 정적도법이거나 정형성과 정적성의 조화가 뛰어난 절충도법이 후보 투영법이 되어야 한

표 4. 주요 지도학 개론서에 언급된 세계지도를 위한 투영법

투영법(속성)	지도학 개론서			
	1	2	3	4
메르카토르(Mercator) 도법(정형)	○	○	○	○
플라트 카레(Plate Carrée) 도법(정거)	○	○		○
골-페터스(Gall-Peters) 도법(정적)		○	○	
밀러(Miller Cylindrical) 도법(절충)	○			
시누소이드(Sinusoidal) 도법(정적)	○	○	○	○
몰바이데(Mollweide) 도법(정적)	○	○	○	○
구드 호몰로사인(Goode Homolosine) 도법(정적)	○	○	○	○
에케르트 III(Eckert III) 도법(절충)	○			
에케르트 IV(Eckert IV) 도법(정적)	○			
에케르트 V(Eckert V) 도법(절충)	○			
에케르트 VI(Eckert VI) 도법(정적)	○			
반 데어 그린텐 I(Van der Grinten I) 도법(절충)	○			
아이토프(Aitoff) 도법(절충)		○		
하머-아이토프(Hammer-Aitoff) 도법(정적)			○	
빈켈 트리펠(Winkel Tripel) 도법(절충)	○	○	○	
로빈슨(Robinson) 도법(절충)	○	○	○	○

* 개론서 1은 Slocum *et al.*(2009), 개론서 2는 Kimerling *et al.*(2009), 개론서 3은 Dent *et al.*(2008), 개론서 4는 Robinson *et al.*(1995)

다. 또한 극이 점이 아니라 선으로 표현되는 도법이 보다 적합한 것으로 판단된다. 앞에서 언급한 것처럼, 극이 점으로 표현되면 중앙경선에서 먼 고위도 지역에서의 형태 왜곡이 극심해지기 때문이다. 또한 극의 길이가 나머지 위선의 길이와 동일하게 표현되는 원통도법은 후보 투영법에서 배제하는 것이 합당할 것으로 생각된다. 왜냐하면 정적원통도법의 경우 극단적인 형태의 왜곡이 나타나고, 절충원통도법의 경우 고위도에서의 지나친 면적의 확대가 여전히 해결되지 않기 때문이다. 또한 형태의 왜곡을 최소화하기 위해 가상원통도법에서 주로 사용되는 단열형 투영법은 배제하기로 한다. 왜냐하면 벽걸이용 세계지도에서 영역이 쪼개져서 나타나는 형태는 부적절해 보이기 때문이다. 이 모든 것을 종합해 보면 타원형을 띠는 정적도법 혹은 절충도법이 후보군이 될 것으로 판단된다.

마지막으로, 왜곡 최소화 기준을 만족시키기 위해 전역적인 왜곡도에 대한 학술적 연구를 참고하고자 한다. 기존의 연구를 살펴보면 '왜곡의 최소화'라는 단어 속에는 두 가지 모호성이 내재되어 있다. 첫째, 어떤 왜곡을 의미하느냐의 문제가 있다. 통상적으로 지도학적

왜곡은 거리, 형태, 면적, 방위에서 발생하는데, 이 들 중 어떠한 왜곡에 초점을 맞추느냐에 따라 각 투영법에 대한 평가는 달라질 수 있다. 일반적으로 형태와 면적이 가장 중요한 평가 요소로 간주되지만(Jenny *et al.*, 2008), 상대적인 가중치의 결정은 본질적으로 주관적인 것이다. 둘째, 왜곡도를 어떻게 측정하느냐의 문제이다. Čapek (2001)에 따르면 전역적인 차원에서 투영법의 상대적 우수성을 평가하는 방식에는 세 가지가 있는데, 각각 '거리 왜곡도 비교법(comparison of finitely large distances)', '전역적 평균 왜곡도(global mean distortion) 산출법', '극단치 기준법(extreme criteria)'이 그것이다. 이 중 어떤 것을 선택하느냐에 따라 최적의 투영법은 달라질 수 있다. 더 나아가 동일한 방식을 취한다 하더라도 측정의 구체적인 지표나 절차에 따라 상이한 결과에 도달할 수 있다(Canters, 2002; Canters *et al.*, 2005; Goldberg and Gott, 2007).

본 연구에서는 세 가지 기존 연구 결과를 참고하려고 한다. 우선 Čapek(2001)은 각 지점별 면적 왜곡도와 각도 왜곡도 값을 바탕으로 전역적 차원의 왜곡도 지표인 '왜곡 특성 지표 Q(distortion characterization Q)'를 고안

해 냈다. 이 지표는 각도의 최대 허용 왜곡도(40°)를 초과하지 않고 동시에 면적의 최대 허용 왜곡도(최소 면적 왜곡도의 1.5배)도 초과하지 않는 지역을 구해내고, 그 지역의 면적이 지구 전체 면적에서 차지하는 비중을 구한 것이다. Čapek은 Q 지표를 바탕으로 100대 지도 투영법 리스트를 제시하였다. 표 5에는 그 중 10위까지의 투영법이 나열되어 있다.

두 번째 연구로, Canters *et al.*(2005)는 형태와 면적의 총량적 왜곡도를 측정할 수 있는 정량화 방법론을 정립하고자 했다. 이 방법론의 핵심적인 사항은 형태와 면적에 대한 왜곡도를 산출하고, 각각을 표준화한 후, 그 표준화 값을 더함으로써 총량적인 왜곡도를 구한다는 것이다. 널리 알려져 있는 13개 투영법을 대상으로 분석하였고 이 중 10위까지의 국가 리스트가 표 5에 나타나 있다. 마지막으로 Goldberg and Gott(2007)의 연구도 참고적으로 고려할 수 있는데, 그들은 기존의 지표들(isotropy, area, distances, boundary cuts)외에 ‘굴도(屈度, flexion)’와 ‘왜도(歪度, skewness)’를 첨가하여 총 6가지 왜곡도 지표를 동시에 고려하는 총체적인 왜곡도를 산출하였다. 상위 5개 투영법이 표 5에 나타나 있다. 이 순위에서 로빈슨 도법이 빠져있는 것은 처음부터 연구 대상 투영법에 포함되지 않았기 때문이다.

세계지도에 대한 대표 투영법 선정을 위한 위의 세 가지 준거를 종합할 때, 대표 투영법의 후보로 에케르트 IV 도법, 로빈슨 도법, 빈켈 트리펠 도법을 제시할 수 있다. 이들 모두는 지도학 개론서에 빈번하게 소개되고 있을 뿐만 아니라 정적 도법이거나 절충 도법이며, 왜곡도

에 대한 학술적 연구에서도 최상위의 투영법으로 평가되었기 때문이다. 여기에 밀러 도법을 하나 더 첨가하고자 한다. 이는 앞에서 언급한 대중성 혹은 친밀성 규준을 수용하기 위해서이다. 특히 우리나라에서 제작된 세계지도가 주로 메르카토르 도법으로 만들어졌고, 그것에 익숙한 지도 사용자들의 입장에서 직사각형 모양의 투영법에 강한 선호를 보일 수 있다. 다시 말해 밀러 도법이 메르카토르 도법의 한계를 조금 밖에 극복하지 못했고, 다른 세 투영법에 비해 지도학적 평가가 낮다 하더라도 원통도법에 대한 오래된 친밀감은 지도 사용자들로 하여금 밀러 도법을 최종 대안으로 선택하게 만들 수도 있기 때문이다.

2. 후보 투영법의 비교 분석

앞에서 선정된 네 개의 후보 투영법의 특성을 좀 더 자세하게 살펴본 후 최종적인 투영법을 선정하고자 한다. 그림 2는 네 후보 투영법의 그래티큘과 티소의 인디카트릭스(Tissot's Indicatrix)를 보여주고 있다. 모두 동경 150°를 중앙경선으로 하여 제작되었다. 그리고 표 6은 투영법 간의 비교를 용이하게 하기 위해 후보 투영법의 특성을 표로 정리한 것이다.

에케르트 IV 도법은 독일의 Max Eckert가 1906년 발표한 6개의 가상원통도법 계열의 지도 시리즈 중 하나로 정적도법이다(Snyder, 1987; 1993). 남북위 40.5°가 표준위선 구실을 하는데, 이 두 위선을 따라 동서 방향으로 거리의 왜곡이 없고, 그 두 위선과 중앙 경선이 만나

표 5. 왜곡의 최소화 관점에서 본 세계지도를 위한 투영법의 순위

순위	Čapek(2001)	Canters <i>et al.</i> (2005)	Goldberg and Gott(2007)
1	CNIGAik 1950	Winkel Tripel	Winkel Tripel
2	CHSI	Robinson	Kavrayskiy VII
3	Taic	Kavraiskiy VII	Gall Stereographic
4	Robinson	Aitoff-Wagner	Hammer-Wagner
5	Hufnagel 10	Eckert IV	Eckert IV
6	Kavrayskiy VII	Wagner VI	
7	Eckert IV	Hammer-Wagner	
8	Ortelius = Apian I	Plate Carrée	
9	Winkel Tripel(40°)	Mollweide	
10	Urmajev II	Miller	

출처: Čapek, 2001; Canters *et al.*, 2005; Goldberg and Gott, 2007

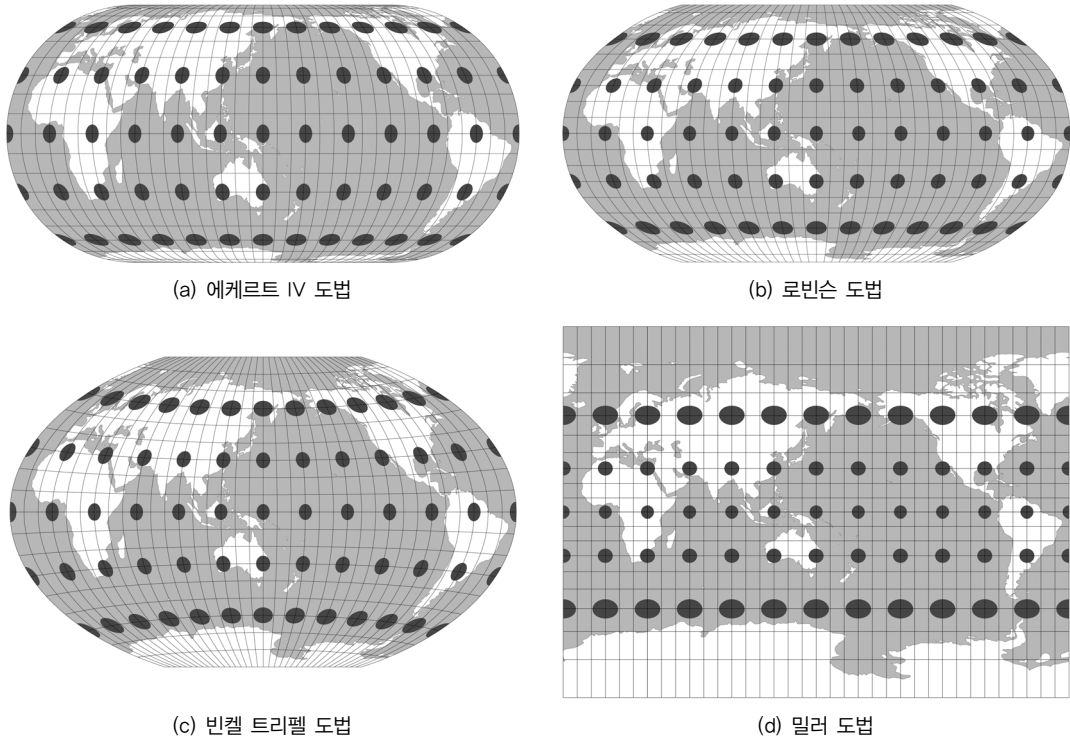


그림 2. 후보 투영법의 비교(중앙 경선: 동경 150°)

지점에서 왜곡이 없다. 중앙 경선과 극 모두 적도 길이의 절반으로 높아-넓이비가 0.5이다. 그라티쿨에서 가장 두드러진 특징은 위선의 간격이 고위도로 갈수록 감소한다는 것인데, 이것은 정적성을 유지하기 위한 필수적인 조건이다. 이 도법의 장점은 정적도법임에도 불구하고 매우 낮은 수준의 형태 왜곡도를 보인다는 것이다 (Canters and Declair, 1989:119). Canters *et al.*(2005)의 연구를 보면, 이 도법의 형태 왜곡도는 0.694로 여타의 정적도법, 예를 들어 하머-바그너 도법(Hammer-Wagner projection)(0.737), 몰바이데 도법(0.822), 하머-아이토프 도법(0.850), 시뉴소이드 도법(1.000)에 비해 가장 낮은 수준이다. 이에 비해 에케르트 IV 도법의 가장 큰 단점은 정적성을 유지하기 위해 위선의 간격이 고위도로 갈수록 감소하기 때문에 발생하는데, 저위도 지역에서는 육지부가 경선을 따라 남북 방향으로 길게 늘어지고 (Canters and Declair, 1989:119), 고위도에서는 남북 방향으로 압착이 발생한다.

로빈슨 도법은 Arthur H. Robinson에 의해 개발된 것으로, 1963에 최초로 디자인되었다가 1974년에 공식적

으로 발표되었다. 이 도법은 세계 최대의 지도회사인 미국의 Rand McNally 사의 요청에 의해 고안된 것으로, 미국의 NGS가 1988년 이 도법을 공식 투영법으로 선정하면서 일반 대중에게 널리 알려지게 되었다(Canters and Declair, 1989; Ipbuker, 2004; 손일 역, 2006). 로빈슨 도법은 가상원통도법 계열로, 형태와 면적의 조화를 추구하는 절충도법이다. 로빈슨은 이 목적을 이루기 위해 투영을 위한 변환 공식을 개발하기 보다는 '시행 착오(trial and error)'에 기반한 '예술적(artistic)' 방식을 통해 '바른 모습의(orthophanic)' 투영법을 개발하고자 했다(Robinson, 1974; Snyder and Voxland, 1989; Snyder, 1993; Jenny *et al.*, 2008). NGS가 1922년 이래로 60년 넘게 사용해 오던 반 데어 그린텐 I 도법을 로빈슨 도법으로 대체한 것도 바로 로빈슨 도법의 이러한 탁월한 균형성 때문이다(Graver, 1988).

남북위 38°가 표준 위선 구실을 하며 그 위선을 따라 동서 방향으로 거리의 왜곡이 없다. 그러나 지도 전체에서 왜곡이 없는 지점은 존재하지 않는다. 동일한 위도 상의 모든 지점에서 면적의 왜곡도는 동일하다(Robinson,

표 6. 후보 투영법의 특성 비교

항목		투영법			
		에케르트 IV 도법 Eckert IV	로빈슨 도법 Robinson	빈켈 트리펠 도법 Winkel Tripel	밀러 도법 Miller Cylindrical
일반 사항	제작자	Max Eckert (1868~1938, 독일)	Arthur H. Robinson (1915~2004, 미국)	Oswald Winkel (1873~1953, 독일)	Osborn M. Miller (1897~1979, 미국)
	제작 연도	1906	1963	1921	1942
투영 분류	투영 계열	가상원통도법	가상원통도법	다원추도법	원통도법
	투영 속성	정적도법	절충도법 (형태 < 면적)	절충도법 (거리, 형태, 면적)	절충도법 (형태 > 면적)
	표준 위선	40.5° N & S	38° N & S	없음	적도
	왜곡 무	40.5°N & S와 중앙 경선이 만나는 지점	없음	없음	적도 상의 모든 지점
그 래 티 쿨	극	적도의 절반	적도의 0.5322배	적도의 0.3888배	적도와 동일
	중앙 경선	적도의 절반	적도의 0.5072배	적도의 0.6112배	적도의 0.73배
	위선	- 직선 & 평행 - 고위도로 갈수록 간격 감소	- 직선 & 평행 - 38°까지는 간격 동일, 이후부터 간격 감소	- 적도를 제외하고 모두 곡선 - 고위도로 갈수록 만곡도 증대	- 직선 & 평행 - 고위도로 갈수록 간격 증가(메르카토르 도법의 0.8배)
	경선	- 중앙 경선을 제외하고 모두 곡선 - 동일 위도에서 등간격 - 중앙 경선에서 멀어질수록 길어짐	- 중앙 경선을 제외하고 모두 곡선 - 동일 위도에서 등간격 - 중앙 경선에서 멀어질수록 길어짐	- 중앙 경선을 제외하고 모두 곡선 - 동일 위도에서 등간격 - 중앙 경선에서 멀어질수 록 심하게 길어짐	- 직선 & 평행 & 등간격
장 단 점	장점	- 정적성을 온전히 만족 - 정적도법 중 최고의 정형성	- 형태와 면적간의 균형감이 탁월	- 거리, 형태, 면적 간의 절충 - 콤팩트한 형태 - 고위도에서 정형성 향상	- 정형성이 탁월 - 직사각형 형태로 대중에 게 친숙함 - 중앙 경선의 위치에 따른 왜곡 양상의 변화 없음
	단점	- 저위도로 갈수록 남북 방향으로 형태가 늘어짐 - 고위도로 갈수록 남북 방향으로 형태가 압착됨	- 표준 위선에서 극으로 갈수록 면적의 확대 증대 - 왜곡이 없는 지점이 존재하지 않음 - 중앙 경선에서 먼 고위도 지역에서 형태의 왜곡 심함	- 표준 위선에서 극으로 갈수록 면적의 확대 증대 - 중앙 경선에서 멀어질수 록 남북 방향으로 형태가 늘어짐	- 고위도로 갈수록 면적의 확대 극심
기타	사용	NGS 발행의 세계지도들	NGS의 공식 투영법 (1988~1998)	NGS의 공식 투영법 (1998~현재)	미국 USGS의 아틀라스 등
	Čapek 순위	7위	4위	9위	100위 밖

출처: Canters and Declair, 1989; Snyder and Voxland, 1989; Kessler, 2000; Čapek, 2001; Šavrič *et al.*, 2011

1974). 중앙 경선은 적도 길이의 0.5072배이며 극의 길이는 적도 길이의 0.5322배이다. 위선은 중저위도(북위 38도~남위 38도)에서는 등간격이고, 고위도에서는 점차

좁아진다. 로빈슨 도법의 가장 큰 장점은 앞서도 언급한 것처럼, 형태와 면적 간의 균형성이 뛰어나다는 점이다. 로빈슨 도법 상에서 대륙들의 상대적 위치와 형태는

비교적 정확하게 표현된다. 로빈슨 도법의 단점은 에케르트 IV 도법과 같은 정적도법에 비해 고위도 지역에서의 면적 확대를 피할 수 없다는 점과, 다소 낮은 높이/넓이비로 인해 좌우 말단부에 위치한 경선의 완곡도가 비교적 큰 편이어서 중앙경선으로부터 먼 고위도 지방에서 왜곡의 형태가 심하다는 점이다.

빈켈 트리펠 도법은 독일의 Oswald Winkel이 발표한 세 개의 투영법 시리즈 중 맨 마지막 것으로 정거원통도법과 아이토프 도법의 평균을 구해 제작된 것이다. 이때 정거원통도법의 표준 위선은 대략 50.5° 이다(Canters and Declair, 1989; Kessler, 2000; Ipbuker, 2002). 하지만 이것이 빈켈 트리펠 도법의 표준 위선 구실을 하는 것은 아니다. 오히려 횡축원통도법과 유사하게 중앙 경선을 따라 남북 방향으로 거리의 왜곡이 없다(Snyder and Voxland, 1989:164). 에케르트 IV 도법이나 로빈슨 도법과는 달리 이 도법은 다원추도법 계열이며(Canters and Declair, 1989)(Snyder and Voxland(1989:164)는 수정방위도법(modified azimuthal projection)으로 분류함), 속성 상으로는 로빈슨 도법과 같은 절충도법이다. 트리펠이라는 단어를 사용한 것은 이 도법이 형태, 면적, 거리라는 “세 속성의 절충”을 추구한다는 사실을 표현하기 위해서이다(Kessler, 2000; Ipbuker, 2002).

이 도법이 유명하게 된 것은 NGS가 1988년 이래로 공식 투영법으로 사용하던 로빈슨 도법을 1998년 이 도법으로 대체하면서부터이다. Kessler(2000)에 따르면, 이러한 투영법 전환의 가장 큰 이유는 다음의 두 가지라고 한다. 하나는 높이/넓이비와 육지부 재현이다. 높이/넓이비는 지도가 얼마나 콤팩트한가를 결정하는데, 로빈슨 도법은 0.5072이고, 빈켈 트리펠 도법은 0.6112로 빈켈 트리펠 도법이 훨씬 더 콤팩트하다. 지도가 콤팩트하면 동일 축척에서 더 적은 지면을 차지한다. 두 번째 이유는 로빈슨 도법이 빈켈 트리펠 도법에 비해 극 지방의 육지부 형태를 더 왜곡해서 재현한다는 것이다. 특히 그린란드와 중요하는데, 실질적으로 그린란드의 남북 길이는 동서 폭의 배 정도 되지만 로빈슨 도법 상에서는 오히려 폭이 더 넓어 보인다. 빈켈 트리펠 도법에서는 이러한 왜곡이 훨씬 덜하게 나타난다(그림 3 참조).

빈켈 트리펠 도법의 가장 큰 장점은 앞에서 언급한 바처럼, 콤팩트하고 고위도에서의 정형성이 좋다는 점이다. 표준 위선은 존재하지 않으며 왜곡이 없는 지점도 존재하지 않는다. 극의 길이는 적도 길이의 0.3888배, 중

앙 경선의 길이는 정거원통도법의 표준 위선을 무엇으로 정하는냐에 따라 달라지지만 일반적으로 0.6112배이다. 위선이 곡선으로 나타나는데, 이는 고위도 지역에서 경선과의 직교성이 좋아져 정형성이 향상되는 효과를 발휘한다. 빈켈 트리펠 도법은 거리, 형태, 면적의 삼박자를 갖추고 있어 일반 목적의 세계 지도에서 최적의 도법인 것으로 인정받고 있다(Canters and Declair, 1989:57). 그러나 위선이 곡선이면서 고위도로 갈수록 완곡도가 커진다는 사실은 이 도법의 가장 큰 단점의 원천이 된다. 즉, 중앙 경선에서 멀어질수록 위선의 길이가 상대적으로 급격히 늘어나고, 극을 표시하는 길이가 상대적으로 짧기 때문에 좌우 말단부의 경선에서 심대한 완곡 현상(극으로의 가파른 수렴)이 나타난다. 이로 말미암아 중앙경선에서 멀어질수록 남북 방향으로 형태가 심대하게 늘어진다는 단점을 갖게 된다.

마지막으로 밀러 도법은 미국의 Osborn Matland Miller가 1942년에 발표한 투영법이다. 원통도법 계열로 절충도법인데, 면적의 왜곡이 심한 메르카토르 도법을 계량해 고위도에서의 면적의 왜곡을 완화하고자 했다. 적도가 온전한 의미의 표준 위선이어서 그 선을 따라 모든 지점에서 모든 방향으로 왜곡이 없다. 극의 길이는 중앙경선과 적도의 길이와 동일하며, 중앙 경선은 적도 길이의 0.73배이다. 메르카토르 도법과 마찬가지로 위선의 간격은 적도로부터 멀어짐에 따라 증가하지만, 그 증가율은 메르카토르 도법의 0.8배 정도로 하였다(Snyder and Voxland, 1989).

이 도법의 가장 큰 장점은 앞의 세 도법에 비해 정형성이 탁월하다는 점이다. Canters *et al.*(2005)에 따르면, 밀러 도법의 형태 왜곡도는 0.103으로 조사 대상 투영법 중 가장 낮았고, 비교 대상인 빈켈 트리펠 도법(0.444), 로빈슨 도법(0.466), 에케르트 IV 도법(0.694) 보다 월등히 낮았다. 또한 장방형의 원통도법으로 대중들이 친근하게 느낀다는 점도 중요한 장점이다. 이와 함께 다른 세 투영법과 달리 중앙 경선이 왜곡의 공간적 분포에 관여하지 않는다는 사실도 중요한 장점일 수 있다. 즉, 앞의 세 도법의 왜곡 양상은 경도와 위도의 동시 함수로 표현되지만, 밀러 도법은 오로지 위도의 함수에 의해 결정된다. 이는 본 연구가 태평양 중심의 세계지도에 대한 최적의 투영법을 찾고 있다는 측면에서 시사하는 바가 크다. 보다 자세한 논의는 다음 장에서 하도록 한다. 그러나 밀러 도법은 메르카토르 도법과 마찬가지로 여전히

히 고위도로 갈수록 극심한 면적의 확대가 나타난다는 치명적인 단점을 가지고 있다.

3. 설문 조사

앞에서 선정된 네 가지 투영법을 대상으로 사용자 선호도 조사를 실시하였다. 이것은 지도학자나 지도 제작자에 의한 ‘생산’에서 지도 사용자에게 의한 ‘소비’에 이르는 전체적인 지도학적 과정을 종합적으로 고려할 때, 지도의 수요, 활용성, 선호도 등과 같은 지도 수요자의 특성 역시 세계지도의 최적 투영법 선정에 있어 매우 중요하고 필수적인 고려 사항이라고 판단하였기 때문이다. 수행된 전문가 설문 조사는 일반적인 선호도 설문 조사의 절차를 따르고 있으며, 설문 대상 선정, 설문 조사 기획, 설문 착수, 설문 결과 분석 및 해석의 순서로 진행되었다. 지도나 투영법에 대한 전문 지식이 없는 일반 사용자에게 대해 선호도 조사를 실시할 경우 주로 지도 디자인과 관련된 단순 측면에 대한 선호도만 반영될 가능성이 크기 때문에, 지도 및 지도 투영에 대한 지식을 갖추고 있는 전문가 집단에 대한 설문 조사를 실시하기로 결정하였다. 설문 대상은 대학의 지리학 및 지리교육과 교수, 중등학교 지리 교사, 그리고 지리학 및 지리교육 전공의 대학(원)생의 세 집단으로 구성된다.

설문 조사 기획 단계에서는 설문 방식을 결정하고 실제 설문 문항을 작성하였다. 본 연구의 설문 조사는 이메일을 통한 온라인 설문 방식으로 이루어졌으며, 이를 위해 대상 집단별 이메일 주소를 확보하여 전송 리스트를 작성하였다. 설문 대상 세 집단 모두 지도학의 기본 개념과 원리, 지도 투영, 지도에 대한 전반적인 이해를 갖추고 있을 것으로 생각되지만, 집단별 편차도 고려하기 위

해 설문 문항을 조금씩 달리하였다. 설문 문항은 크게 설문자의 기본 정보 항목과 본 설문 항목으로 구성되며, 본 설문에서는 후보 투영법에 대한 선호 순위, 선호 이유, 활용성에 대한 질문이 포함되었다. 특히 질문에 대한 이해도를 높이고 보다 신빙성 있는 설문 답변을 유도하기 위하여 각 후보 투영법에 대한 개략적인 설명과 지도학적인 장단점이 제시되었다. 실제 설문은 응답률을 높이기 위해 총 3차(2011년 7월~8월)에 걸쳐 실시되었으며, 최종적인 설문 응답자 수는 125명이었는데, 이 중 대학교수는 23명, 중등학교 교사는 59명, 대학(원)생은 43명이었다. 설문에 응한 대학 교수 중 지도학 및 GIS 강의 경험이 있는 응답자는 73.9%로 대단히 높아 응답자의 대다수가 지도에 대한 심화된 전문 지식을 갖춘 집단으로 간주할 수 있다. 또한 이들 중 대부분은 세계지도를 대학 강의에서 활용하고 있는 것으로 나타났다(73.9%).

선호도에 대한 설문 결과는 표 7에 나타나 있다. 전체적인 설문 결과를 살펴보면, 먼저 후보 투영법의 선호 순위로, 1위가 로빈슨 도법(62.2%), 2위가 밀러 도법(15.1%), 3위가 빈켈 트리펠 도법(13.5%), 4위가 에케르트 IV 도법(9.2%)으로 나타났다. 선호도를 세부적인 집단별로 살펴보면 다음과 같은 특징을 찾을 수 있다. 첫째, 모든 집단에서 로빈슨 도법이 절대적인 비율로 1위를 기록했지만 대학 교수 집단은 가장 낮은 비율(43.5%)을 보여주었다. 이것은 가장 전문적인 지식을 보유한 대학 교수 집단은 각 투영법의 장단점에 대한 이해도가 높기 때문에 다른 집단들에 비해 보다 다양한 선택을 한 것으로 해석된다. 둘째, 중등학교 교사 집단과 대학(원)생 집단은 2~4순위 선정에서 상당한 대조를 보여주고 있다. 중등학교 교사의 경우 밀러 도법에 대한 선호가 빈켈 트리펠 도법에 대한 선호도보다 월등히 높지

표 7. 전문가 선호도 설문 조사 결과

구분	전체 (비중, %)	그룹별(비중, %)		
		대학 교수	중등학교 교사	대학(원)생
1위	로빈슨 도법 (62.2)	로빈슨 도법 (43.5)	로빈슨 도법 (67.9)	로빈슨 도법 (65.1)
2위	밀러 도법 (15.1)	밀러 도법 (26.1)	밀러 도법 (17.0)	빈켈 트리펠 도법 (18.6)
3위	빈켈 트리펠 도법 (13.5)	빈켈 트리펠 도법 (17.4)	에케르트 IV 도법 (7.6)	에케르트 IV 도법 (9.3)
4위	에케르트 IV 도법 (9.2)	에케르트 IV 도법 (13.0)	빈켈 트리펠 도법 (7.5)	밀러 도법 (7.0)

만, 대학(원)생의 경우는 그 반대이다. 이는 현직 교사의 경우 빈켈 트리펠 도법에 대한 지식이 미약하고 상대적으로 전통적인 원통도법 계열에 대한 선호도가 강하기 때문인 것으로 해석된다

투영법 선호 이유를 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저, 1위를 차지한 로빈슨 도법의 경우는 대중성, 심미성, 디자인적 안정성이 뛰어나며, 전체적으로 적은 왜곡도를 가지고 있고, 면적과 형태의 균형감이 좋다는 응답이 많았다. 또한 많은 아틀라스, 외국 교과서 등에서 빈번히 등장하고, 위선이 직선으로 표현되어 빈켈 트리펠 도법보다 안정적이라는 점도 많이 언급되었다. 2위를 차지한 밀러 도법은 기존 메르카토르 도법과 유사하여 혼란스럽지 않으며, 우리나라가 중앙에 위치할 때 유럽과 아메리카 지역에 대한 정보 전달이 용이하고, 전형적인 원통도법이어서 친숙하다는 점이 주된 선호 이유로 나타났다. 특히 우리나라의 면적은 도법들 사이에서 별 차이 없게 나타나기 때문에 형태의 정확성을 유지하는 것이 더욱 중요하다는 의견도 있었다. 3위의 빈켈 트리펠 도법의 경우는, 친근함은 부족하나 실제 지구 모습과 유사하며, 형태, 면적, 거리를 동시에 만족시키는 장점이 있고, 로빈슨 도법에 비해 도해력 측면에서 우수하기 때문에 선호되는 것으로 조사되었다. 후보 투영법 중 가장 낮은 선호도를 보인 에케르트 IV 도법은 정적성을 만족하면서 형태적 왜곡이 가장 적으며, 인구밀도의 표현과 같은 주제도 제작에 적합하기 때문에 선호되는 것으로 조사되었다.

전문가 집단에 대한 설문 조사 결과, 전체적인 선호도 뿐만 아니라 집단별 선호도 모두에서 로빈슨 도법이 세계지도에 가장 적절한 투영법인 것으로 드러났다. 이러한 설문 조사의 결과는 실제 사용자의 수요와 사회적 요구라는 측면이 적극 반영된다는 측면에서 최종 투영법 선정에서 중요하게 참작되어야 한다.

4. 최종 선정

위의 모든 사항을 종합적으로 고려할 때 최종적인 투영법으로 로빈슨 도법(중앙경선: 동경 150°)이 가장 적절한 것으로 판단된다. 로빈슨 도법은 대중적 인지도도 높을 뿐만 아니라, 면적과 형태간의 균형감이 탁월하며, 학술적 연구에서도 왜곡이 가장 적은 투영법 중 하나로 판명되었고, 공신력 있는 기관에서 대표 투영법으로 널리

채택되어 왔으며, 오늘날 많은 세계지도, 지도첩, 도서 등에서 폭넓게 사용되고 있다. 또한 전문가를 대상으로 한 선호도 조사에서도 압도적인 비율로 1위를 차지하였다.

여기에 덧붙여 로빈슨 도법 선정의 정당성을 하나 더 추가하고자 한다. 이것은 본 연구의 세계지도가 태평양 중심이라는 것과 관련되어 있다. 대륙의 단절을 허락하지 않는다는 대전제를 만족시키기 위해서는 태평양 중심의 세계지도 제작을 위한 중앙경선은 동경 150°일 수 밖에 없다. 네 가지 후보 투영법 중 밀러 도법은 이 사항과 관련이 없을 뿐만 아니라 고위도 지역에서의 극심한 면적 확대라는 치명적인 약점을 보유하고 있기 때문에 고려 대상에서 제외하기로 한다(Jenny *et al.*, 2008:19). 나머지 세 투영법은 모두 왜곡의 양상이 위도와 경도의 동시 함수로 나타나기 때문에 중앙 경선은 왜곡의 공간적 분포에 결정적인 영향을 끼친다. 그런데 본초 자오선(0°)을 중심으로 두면, 주된 육지가 왜곡이 적은 가운데 부분에 비교적 집중되어 있지만, 동경 150°를 중앙 경선으로 설정하면 왜곡이 적은 가운데 부분에 주로 태평양이 위치하게 되고, 왜곡이 큰 외곽에 주요한 대륙들이 위치하게 된다. 그림 3과 그림 2를 비교해 보면, 로빈슨 도법과 빈켈 트리펠 도법 모두 중앙 경선이 본초 자오선인 경우가 동경 150°인 경우에 비해 훨씬 더 '바른 모습'을 보이고 있음을 알 수 있다. 본초 자오선이 가장 이상적인 중앙 경선이 된 것은 순전히 우연이며(Jenny *et al.*, 2008:22), 대륙의 분포가 본초 자오선에서 가까운 곳에 대칭적으로 존재하지 않았다면 가상원통도법 계열의 타원형 도법은 각광받지 못했을 수도 있다.

이러한 측면에서 로빈슨 도법의 상대적 우위성을 다시 한번 강조하고자 한다. 실질적으로 왜곡의 최소화라는 기준에서 보면, 로빈슨 도법과 빈켈 트리펠 도법은 우열을 가리기 어렵거나 다소 빈켈 트리펠 도법이 우위에 있는 것으로 보인다. 예를 들어 Canters *et al.*(2005)은 면적 왜곡도에서는 로빈슨 도법의 우위를(0.183 대 0.194), 형태 왜곡도에서는 빈켈 트리펠 도법의 우위(0.444 대 0.466)를 말하면서 총체적인 왜곡도에서 빈켈 트리펠 도법(0.638)이 로빈슨 도법(0.649)보다 우수하다고 판정한다. 그러나 이러한 결론이 중앙 경선을 동경 150°로 설정했을 때도 유효할지에 대해서는 의문이다. 앞서도 언급한 것처럼, 빈켈 트리펠 도법의 가장 큰 단점은 동서 말단부 경선에서 형태의 왜곡이 심하다는 것인데, 이 단점이 본초 자오선을 중앙 경선으로 둔 경우는 잘

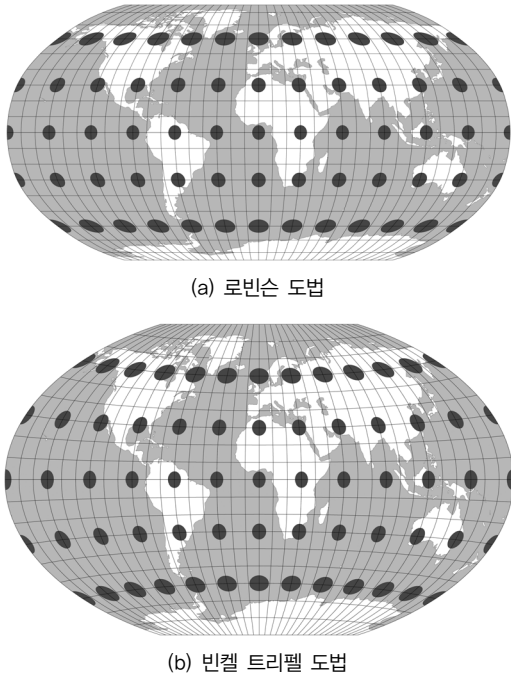


그림 3. 본초 자오선을 중앙 경선으로 한 로빈슨 도법과 빈켈 트리펠 도법

드러나지 않지만(그림 3(b)) 동경 150°로 했을 경우에는 훨씬 더 두드러진다(그림 2(c)). 이 부분에서의 로빈슨 도법은 확실한 우위성을 가지고 있기 때문에, 어쩌면 육지부만을 왜곡도 계산에 포함시킬 경우 동경 150° 중앙 경선의 경우에는 로빈슨 도법의 총체적인 왜곡도가 빈켈 트리펠 도법의 그것보다 낮을 가능성이 충분히 있다. 이것은 형태 왜곡에서 로빈슨 도법이 오히려 더 우위에 있다는 연구도 있는 점을 감안할 때(Jenny et al., 2008:26), 더더욱 시사하는 바가 크다.

결론적으로 요약하면 다음과 같다. 모든 기준을 종합했을 때 로빈슨 도법이 가장 우위에 있는 것으로 판명되었는데, 그러한 우위성은 중앙 경선이 본초 자오선인 경우보다 동경 150° 경우에서 더 잘 드러난다.

IV. 로빈슨 도법의 실행

1. 로빈슨 도법의 변환 공식과 실행의 원칙

로빈슨 도법은 수학적 접근을 통해 개발된 다른 도법

표 8. 로빈슨 도법에서의 위선의 간격 및 길이에 대한 참조표

위도	적도에서 위선까지의 거리 (적도에서 극 = 1.0)	위선의 길이 (적도 길이 = 1.0)
90°	1.0000	0.5322
85°	0.9761	0.5722
80°	0.9394	0.6213
75°	0.8936	0.6732
70°	0.8435	0.7186
65°	0.7903	0.7597
60°	0.7346	0.7986
55°	0.6769	0.8350
50°	0.6176	0.8679
45°	0.5571	0.8962
40°	0.4958	0.9216
35°	0.4340	0.9427
30°	0.3720	0.9600
25°	0.3100	0.9730
20°	0.2480	0.9822
15°	0.1860	0.9900
10°	0.1240	0.9954
5°	0.0620	0.9986
0°	0.0000	1.0000

출처: Robinson, 1974:151

과 달리 ‘그래프적(graphical)’ 접근 혹은 ‘시각적(visual)’ 접근을 통해 탄생된 도법이다(Jenny et al., 2008; 2010). 그 절차는 다음과 같다. 위선 Robinson은 적도와 중앙 경선의 길이 비는 2:1을 초과하지 않아야 하며, 극의 길이는 적도 길이의 절반 보다 더 길어야 한다는 두 가지 원칙을 설정하였다. 그런 후 위선의 간격과 길이를 지속적으로 조정하는 반복 과정을 통해 육지부의 형태와 면적 사이의 균형을 눈으로 판단하고, 가장 최적이라고 판단되는 시점에서 이 과정을 멈추고 최종적인 투영법을 완성하는 상호작용적이고 탐색적인 과정을 통해 도법을 도출하였다(Robinson, 1974). 이렇게 때문에 Robinson은 경위도 좌표를 평면 좌표로 변환하는 공식을 제공하는 대신 위선의 간격과 길이에 대한 참조표(look-up table) 만을 제시했다(표 8). Robinson은 이 표와 함께 “투영된 적도의 길이는 지구본 적도 길이의 0.8487배이고, 중앙 경선의 길이는 적도 길이의 0.5072배이다”라는 제약을 부과하였다(Robinson, 1974:151). 전자의 제약은 표준 위선이 적도가 아니며 실질적으로 그 선상에서 동서 방향으로의 축척 계수가 1보다 작다는 것을 의미하고, 후자의 제약은 높이/넓이비를 규정하는 것이다.

Robinson은 38°가 표준 위선이며, 그 선을 따라 거리와 면적의 왜곡이 없고, 각도의 왜곡도 거의 없다고 기술하였다(Robinson, 1974:152).

많은 학자들이 Robinson의 참조표와 관련 제약을 근거로 변환 함수를 도출하기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. Šavrič *et al.*(2011)에 따르면, 그래픽적으로 정의된 투영법을 수학적으로 모델링 하는 데는 내삽법(interpolation methods)과 근사법(approximation methods)의 두 가지 방식이 있다고 한다. 내삽법은 Robinson이 제시한 참조표를 바탕으로 전환의 기본 공식을 설정하고, 각 5° 간격 사이에 위치한 임의의 위도에 대한 참조표 상의 정보를 산출해주는 수식을 얻으려고 한다. 참조표 기반의 내삽법에 의거한 변환 공식은 다음과 같이 주어진다(Rater, 1991; Ipbuker, 2004).

$$x = 0.8487 \cdot R \cdot A \cdot \lambda \quad \text{그리고} \quad y = 1.3523 \cdot R \cdot B \quad (1)$$

여기에서 R 은 준거 지구본의 반지름, λ 는 라디안으로 표현된 경도이고, A 와 B 는 Robinson의 참조표의 두 번째와 첫 번째 칼럼을 각각 의미한다.

이 수식에 기반하여, Snyder(1990), Ratner(1991), Bretterbauer(1994; Ipbuker(2004)에서 재인용) 등은 큐빅 스플라인(cubic spline)을 이용한 내삽 기법을 제안했고, Ipbuker(1998; Ipbuker(2004)에서 재인용)는 다중이차(multiquadric) 인터플레이션을 제안했다. 내삽법은 모두 참조표를 이용하는 것이기 때문에 상당히 많은 수의 파라미터를 정의할 필요가 있다. 이에 반해 근사법은 참조표에 의존하지 않고, 직접적으로 평면 좌표를 도출하는 수식을 개발하고자 하는데, 파라미터의 수가 훨씬 적다는 장점이 있다. Canter and Declair(1989)는 고차 다항(higher-order polynomial) 내삽법을 사용하였고(6개의 파라미터), Beineke(1991; Ipbuker(2004)에서 재인용)는 7개의 파라미터를 사용하는 변환 수식을 도출한 바 있다. 결론적으로 말해서 내삽법은 복잡하지만 정확하고, 근사법은 간편하지만 부정확하다.

그런데, 이러한 변환 공식을 도출하여 로빈슨 도법의 왜곡 구조를 정확하게 파악하려는 시도들은 Robinson이 자신의 투영법에 대해 언급한 내용 중 일부가 오류라는 사실을 지적하고 있다. 예를 들어 Richardson(1989)은 남북위 38°가 진정한 의미에서의 표준 위선이 아니라 단지 그 위선을 따라 동서 방향으로 축척 계수가 1이라는 사실

만을 의미하며, 또한 그 위선 상에서 면적의 왜곡도가 0인 것도 아니라는 사실을 밝힌 바 있다. 또한 Richardson의 계산으로 면적의 왜곡이 없는 지점은 중앙 경선과 남북위 43.14°가 만나는 지점이며, 최대 각도 왜곡도가 0인 지점도 중앙 경선 상의 32.85°라고 제시하였다. Ipbuker(2004)는 더 나아가 동서 방향의 축척 계수가 1인 위도는 38°가 아니라 43°이며, 동일 위도 상의 면적 왜곡이 동일하다는 기존의 주장(Robinson, 1974; Canters and Declair, 1989; Richardson, 1989; Bugayevskiy and Snyder, 1995)도 옳지 않다고 주장하였다. 또한 면적 왜곡도가 0인 위도는 43.15972이며, 최대 각도 왜곡도 0인 위도는 32.905라고 Richardson의 추정치를 교정한다 있다.

이 모든 연구 결과는 로빈슨 도법의 구조적 특성에 불분명한 측면이 존재한다는 것을 의미하며, 따라서 실행에 있어서 어느 정도의 불확실성이 존재하고 있음을 보여주고 있다. 그리고 내삽법과 근사법의 많은 기법 중 무엇에 기반하여 로빈슨 도법을 실행할 지에 대해 선택을 해야 함을 보여주고 있다. 본 연구는 로빈슨의 참조표에 충실한 내삽법에 기반하는 것이 보다 적절한 것으로 판단하며, Robinson(1974)의 원 논문에 나타나 있는 대전제가 그대로 유지되는 것으로 간주하여 로빈슨 도법을 실행하기로 한다. 다음 절에서 자세히 살펴볼 것이지만, 최소한 남북위 38° 선상을 따라 동서 방향으로 왜곡이 없다는 것은 분명한 사실이며, 최대한 5도 간격의 위선의 길이와 그 선상에서의 축척 계수, 적도로부터 각 위선까지의 거리, 상대적인 극의 길이 등이 명확히 알려져 있거나 손쉽게 계산될 수 있기 때문에 이것들 만으로도 로빈슨 도법을 Robinson의 의도에 맞추어 실행하는 데는 아무런 문제가 없기 때문이다. 그림 4는 이와 같은 실행 원칙 하에서 구현된 로빈슨 도법의 전체 모습을 보여주고 있다.

2. 가변 축척의 실행

특히 세계지도와 같은 소축척 지도에서 “모든 지점에서 모든 방향으로 축척이 동일한 지도는 존재하지 않는다”는 단순한 지도학적 상식은 훨씬 더 중요한 의미를 갖는다. 왜냐하면, 소축척 지도에서는 ‘축척의 공간 구조’가 갖는 의미가 훨씬 더 심대할 뿐만 아니라 적용된 투영법의 본질적인 성격이 그것을 통해 잘 드러나기 때문이다. 축척의 공간 구조를 효율적으로 보여줄 수 있는 지도 요소를 개발하는 것이 대단히 중요한데, 위도별 축

세 계 지 도

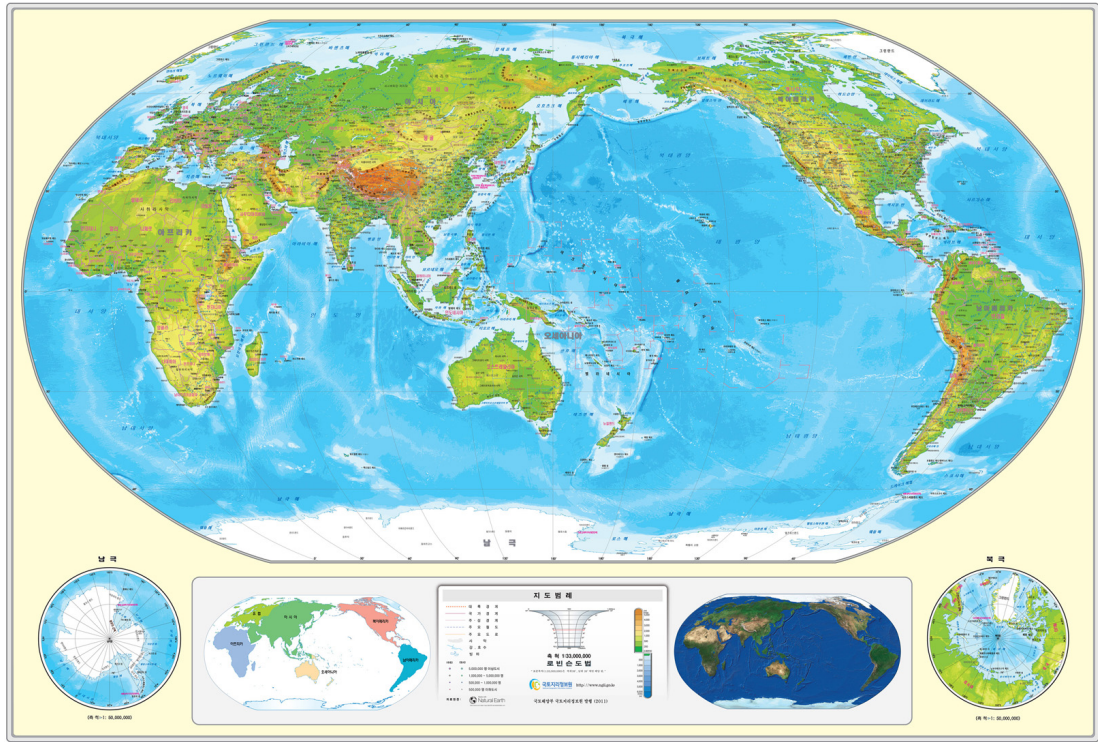


그림 4. 로빈슨 도법이 적용된 태평양 중심의 세계지도

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

척을 동시에 제공하는 다중 축척(multiple scale) 혹은 가변 축척(variable scale) 개념의 중요성이 널리 인식되어 왔다(Kimerling *et al.*, 2009; Slocum *et al.*, 2009). 그러나 이 개념은 주로 메르카토르 도법과 같은 원통도법 계열에 적용되어 왔을 뿐 로빈슨 도법을 포함한 가상원통도법 계열의 투영법에 적용된 예는 많지 않다. 그러므로 여기서는 우선 로빈슨 도법에 대해서도 가변 축척 개념을 적용하는 것이 적절한지에 대해 논하고, 다음으로 가변 스케일바의 디자인 과정을 제시하고자 한다.

가변 축척의 가능성과 관련된 가장 중요한 원칙은 왜곡의 분포가 충분히 체계적일 때 가변 축척의 실행이 효율적으로 이루어질 수 있다는 것이다. 이런 측면에서 보면, 동일 위도 상의 모든 지점에서 모든 방향으로 거리 왜곡이 동일한 메르카토르 도법에서 가변 축척의 실행성이 가장 높다고 말할 수 있다. 이와 같은 특성으로 인해 가변 축척을 메르카토르 도법에 제한적으로 사용할 것을 권고하는 주장이 있다(Kimerling *et al.*, 2009:25).

하지만 본 연구에서는 메르카토르 도법의 왜곡 분포만큼 체계적이지 않더라도 가변 축척을 실행할 수 있는 기본 조건을 갖춘다면 이를 적용하는 것이 그렇지 않은 경우보다 더 많은 정보를 제공할 수 있는 것으로 판단하였다. 예를 들어 Slocum *et al.*(2009:199)은 밀러 도법에 가변 축척을 적용할 수 있음을 언급한 바 있다. 본 연구에서 최종적으로 채택된 로빈슨 도법의 왜곡 구조는 메르카토르 도법이나 밀러 도법과 같은 원통도법에 비해 훨씬 더 복잡하다(그림 2(b) 혹은 그림 3(a) 참조). 그러나 가변 축척의 실행성이라는 측면에서 로빈슨 도법이 가지고 있는 가장 중요한 특성은 동일한 위도 상에서는 모든 지점에서 동서 방향의 거리 왜곡이 일정하다는 점이다(Snyder and Voxland, 1989:82). 이것이 전제된다면, 가변 축척의 적용이 단일 축척의 적용 보다 더 유용한 것으로 판단할 수 있는데, 가변 축척을 적용함으로써 발생하는 오해의 가능성 보다 단일 축척만을 제공함으로써 발생하는 오해의 가능성이 더욱 크기 때문이다.

전술한 바와 같이 로빈슨 도법에서의 가변 축척의 적용은 위선상의 동서 방향의 거리에 국한되는 것으로, 간단히 말해 위도별 축척을 계산하고 그것을 스케일바의 형태로 표현하는 과정이라 할 수 있다. 우선 필요한 것은 지구 상의 각 위선의 길이를 결정하여야 한다. 여기서는 지구에 대한 모델로 GRS 80 지구타원체를 사용하는데, 그것의 장반경과 단반경은 각각 6,378.137km와 6,356.75231km이다(Slocum *et al.*, 2009:123). 통상적으로 소축척의 지도 투영에서는 타원체 보다는 타원체의 표면적과 동일한 완전 구체, 즉, '정적 구체(authalic sphere)'(Robinson *et al.*, 1995:43)를 사용하기 때문에, 여기서도 GRS 80 타원체에 대한 정적 구체를 사용하여 위선의 길이를 결정하기로 한다. GRS 80 정적 구체의 반지름은 약 6371.007181km이며(Wikipedia: GRS 80), 코사인을 이용하면 손쉽게 각 위선의 길이를 구할 수 있다(표 9의 첫 번째 칼럼). 산출된 위선의 길이를 기준으로, 표 8에 나타나 있는 로빈슨의 참조표와 적도에서의 축척 계수가 0.8487이라는 전제를 이용하여 몇 가지 비

례식을 풀면, 로빈슨 도법의 위도별 동서 방향의 축척 계수(SF: scale factor)를 산출할 수 있다(표 9의 두 번째 칼럼). 혹은 식 (1)의 공식을 이용해 로빈슨 도법에서의 위선 길이를 산출한 후 그것을 실제 지구의 위선 길이와 비교해 축척 계수를 산출할 수도 있다. 물론 이 경우에는 38°의 위선 길이를 식 (1)로부터 산출할 수 없기 때문에, 임의로 실제 지구의 위선 길이와 동일한 것으로 두어야 한다.

여기서 주의할 것은 동서 방향의 거리 왜곡이 없는 위선(로빈슨 도법의 경우 위도 38°)이 어디냐에 따라 위도별 축척과 스케일바의 길이가 달라진다는 점이다. 가변 축척에서 표준 위선에 해당하는 축척을 표준 축척(NS; nominal scale)이라고 하고, 스케일바 제작을 위한 단위 거리(UD; unit distance)를 설정하면(단위 km), 위도별 축척(표 9의 세 번째 칼럼)과 스케일바의 길이(표 9의 네 번째 칼럼)를 다음의 일반화된 공식에 의거해 산출할 수 있다.

표 9. 로빈슨 도법의 가변 축척 제작을 위한 주요 산출 결과

위도	실제 지구의 위선 길이 (km)	축척 계수 (SF)	위도별 축척 (표준 축척(NS)은 1:33,000,000)	스케일바 길이(cm) (단위 거리(UD)는 1,000km)
0°	40,030.18	0.8487	1:38,883,353	2,5718
5°	39,877.86	0.8507	1:38,789,695	2,5780
10°	39,422.04	0.8578	1:38,469,587	2,5995
15°	38,666.19	0.8698	1:37,937,813	2,6359
20°	37,616.07	0.8871	1:37,200,570	2,6881
25°	36,279.67	0.9111	1:36,218,176	2,7610
30°	34,667.16	0.9408	1:35,077,053	2,8509
35°	32,790.81	0.9767	1:33,787,396	2,9597
38°	31,544.22	1.0000	1:33,000,000	3.0303
40°	30,664.90	1.0210	1:32,320,287	3,0940
45°	28,305.62	1.0756	1:30,679,181	3,2595
50°	25,730.91	1.1459	1:28,797,946	3,4725
55°	22,960.37	1.2355	1:26,709,670	3,7440
60°	20,015.09	1.3555	1:24,344,699	4,1077
65°	16,917.49	1.5256	1:21,630,663	4,6231
70°	13,691.13	1.7831	1:18,506,666	5,4035
75°	10,360.57	2.2075	1:14,949,127	6,6894
80°	6,951.17	3.0366	1:10,867,573	9,2017
85°	3,488.86	5.5719	1:5,922,593	16,8845
90°	0	-	-	-

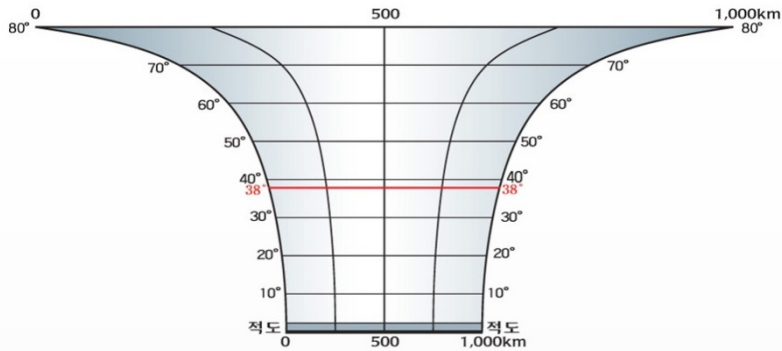


그림 5. 로빈슨 도법에서 실행된 가변 스케일바(표준 축척은 1:33,000,000)

$$\text{위도별 축척} = SF \times NS \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{위도별 스케일바 길이(cm)} &= \text{위도별 축척} \times UD(\text{km}) \\ &\times 100,000 \quad (3) \end{aligned}$$

예를 들어, 적도에서의 축척계수는 0.8487이고, 지도 제작의 표준 축척을 1:33,000,000이라고 하면, 적도에서의 축척은 1:38,883,353이 된다(축척계수 × 표준축척). 가변 스케일바의 단위 거리를 1,000km라고 했을 때 적도에서의 이 거리에 해당하는 스케일바의 길이는 2.5718cm가 된다(적도에서의 축척 × 단위 거리(1,000km) × 100,000). 표 9에서 38°를 살펴보면, 축척계수가 1이고, 그 위도에서의 축척이 표준 축척과 동일함을 확인할 수 있다. 위도별 스케일바의 길이를 살펴보면, 적도에서는 2.57cm, 38°에서는 3.03cm, 50도에서는 3.47cm, 그리고 85도에 이르면 16.88cm에 달한다. 그림 5는 지금까지의 과정을 통해 최종적으로 제작된 스케일바를 보여주며, 이것은 그림 4 속에 포함되어 있다.

V. 결론

본 연구의 목적은 태평양 중심의 세계지도 제작을 위한 최적의 투영법을 선정하는 것이었다. 이 목적을 달성하기 위해 우선적으로 투영법의 유형 분류와 투영법 선정의 가이드라인에 대한 기존 연구를 검토하였으며, 최적의 투영법 선정을 위한 기준으로 대중성 기준, 정적성

우위 혹은 절충성 기준, 그리고 왜곡 최소화 기준을 설정하였다. 이 세 기준을 적용한 결과 에케르트 IV 도법, 로빈슨 도법, 빈켈 트리펠 도법, 밀러 도법이 후보 투영법으로 선정되었다. 선정된 후보 투영법에 대해 다각도의 면밀한 지도학적 평가와 비교 분석이 이루어졌다. 전문가를 대상으로 설문 조사를 실시한 결과 로빈슨 도법, 밀러 도법, 빈켈 트리펠 도법, 에케르트 IV 도법 순으로 선호되고 있는 것으로 조사되었다. 이러한 사항 모두를 종합적으로 판단한 결과 최종적인 투영법으로 로빈슨 도법(중앙 경선: 동경 150°)이 선정되었다. 로빈슨 도법의 우위성은 중앙 경선이 본초 자오선인 경우보다 동경 150°인 경우에 더 잘 드러나는 것으로 인정되었다. 로빈슨 도법의 변환 공식 도출과 관련된 학술적 논의를 바탕으로 투영 실행의 일반 원칙이 수립되었으며, 실행 요소 중 하나인 위도별 가변 축척의 제작 절차가 제시되었다.

이 논문의 모든 논의는 태평양 중심의 세계지도를 위한 최적의 투영법은 선정될 수 있을 뿐 새롭게 고안될 수는 없다는 전제에 그 기반을 두고 있으며, 이것이 본 연구의 가장 궁극적인 한계를 규정한다. 이러한 한계를 염두에 둘 때, 기존의 투영법을 자유롭게 변형하여 사용자 맞춤형의 새로운 투영법을 개발할 수 있는 컴퓨팅 환경을 제공하려는 시도는 매우 의미 있는 진보로 이해된다(Jenny *et al.*, 2008; 2010). 그들은 Flex Projector(Jenny and Patterson, 2007, www.flexprojector.com)라는 프로그램을 개발했는데, 기존의 투영법에 대해 높이/넓이비, 위선의 길이, 적도로부터 각 위선까지의 거리, 위선의 만곡도, 경선의 분포 등을 자유롭게 조절할 수 있게 해줌으로써 사용자가 새로운 투영법을 제작할 수 있게 해준다.

이 프로그램을 통해 새로운 투영법인 내추럴 어스 도법(Natural Earth projection)이 도출되는 과정은 본 연구가 궁극적으로 지향해야 할 방향성을 잘 보여준다(Jenny et al., 2008; Šavrič, et al., 2011). 내추럴 어스 도법은 카브라이스키 VII 도법(Kavraisikiy VII projection)과 로빈슨 도법의 장점을 결합하여 Flex Projector의 환경에서의 탐색 과정을 거쳐 탄생된 것이다. 카브라이스키 VII 도법의 장점을 받아들여 로빈슨 도법을 변형함으로써, 혹은 로빈슨 도법의 장점을 받아들여 카브라이스키 VII 도법을 변형함으로써 보다 진화한 새로운 투영법인 내추럴 어스 도법이 탄생된 것이다.

향후 연구 과제로 가장 중요한 것은 로빈슨 도법과 같은 타원형 도법의 총체적인 왜곡도 평가에서의 중앙 경선의 역할에 관한 것이다. 본문에서도 언급된 것처럼, 타원형 도법에서의 왜곡의 양상은 경선과 위선의 동시 함수로 주어진다. 따라서 중앙 경선이 어디로 설정되느냐에 따라 지표상 각 지점의 왜곡의 양상은 달라진다. 물론 육지부와 해양부를 합친 지구 전체를 놓고 보면 한 투영법의 총체적인 왜곡도는 중앙 경선의 위치가 달라져도 변화하지 않는다. 그러나 일반 참조도의 제작을 목적으로 한다면, 해양부의 왜곡보다 육지부에서의 왜곡에 더 주목해야 하는 충분한 이유가 있다. 그러므로 육지부만을 대상으로 총체적인 왜곡도를 산출할 경우, 동일 투영법 내에서도 중앙 경선의 위치에 따라 총체적인 왜곡도가 달라질 뿐만 아니라 총체적인 왜곡도에 기반한 투영법 간의 상대적인 우열 관계도 중앙 경선의 위치에 따라 달라질 수 있을 것이다. 예를 들어 Jenny et al.(2010:1699)은 그들이 개발한 총체적 왜곡도 지표인 AI(acceptance index)를 통해 도법 간의 상대적인 우열성이 카브라이스키 VII 도법(86.5), 빈켈 트리펠 도법(85.0), 로빈슨 도법(84.3)의 순인 것으로 보고하였다. 그러나 이 결과는 육지부와 해양부를 모두 포괄하고 중앙 경선을 본초 자오선으로 설정한 상태에서의 것이다. 육지부만을 대상으로 하고 중앙 경선을 동경 150°에 두었을 때 이 결과가 유지될지는 합리적인 의심의 대상이다. 본 연구자들은 이것을 지도 투영과 관련된 중요한 연구 과제로 인식하며 다른 연구 논문에서 다룰 것이다.

참고문헌

김감영, 2012, “세계지도의 기복 재현을 위한 색채 배열

원리와 대안,” 한국지도학회지, 12(1), 21-32.

손일 역, 2006, 「지도전쟁: 메르카토르 도법의 사회사」, 서울: 책과함께. (Monmonier, M., 2004, *Rhumb Lines and Map Wars: A Social History of the Mercator Projection*, Chicago: Chicago University Press.)

손일·이한방, 2004, “페터스 도법과 이에 대한 논쟁의 지도학적 의미,” 한국지도학회지, 4(1), 1-11.

이상일·신정엽·조대현·정재준·김감영·이건학, 2011, 「세계지도 및 대한민국 주변도 구축연구 및 제작사업」, 연구보고서, 국토해양부 국토지리정보원.

조대현·정재준·이상일, 2012, “디지털 맵 데이터를 이용한 세계지도 제작의 실행 방안,” 한국지도학회지, 12(1), 33-47.

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, 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, 20th International Cartographic Conference*, Beijing, China, Vol.5, 3084-3093.

Dent, B.D., Torguson, J.S., and Hodler, T.W., 2008, *Cartography: Thematic Map Design*, 6th edition, Boston: McGraw-Hill.

Garver, J.B., 1988, New perspective on the world, *National Geographic*, 174(6), December, 910-913.

Goldberg, D.M. and Gott III, J.R., 2007, Flexion and skewness in map projections of the earth, *Cartographica*, 42(4), 297-318.

Ipbuker, C., 2002, An inverse solution to the Winkel tripel projection using partial derivatives, *Cartography and Geographic Information Science*, 29(1), 37-42.

- Ipbuker, C., 2004, Numerical evaluation of the Robinson projection, *Cartography and Geographic Information Science*, 31(2), 79-88.
- Ipbuker, C., 2005, A computational approach to the Robinson projection, *Survey Review*, 38(297), 204-217.
- 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.
- Kessler, F.C., 2000, A Visual Basic algorithm for the Winkel tripel projection, *Cartography and Geographic Information Science*, 27(2), 177-183.
- 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.
- Ratner, D.A., 1991, An implementation of the Robinson map projection based on cubic splines, *Cartography and Geographic Information Systems*, 18(2), 104-108.
- Richardson, R.T., 1989, Area deformation on the Robinson projection, *The American Cartographer*, 16, 294-296.
- Robinson, A.H., 1974, A new map projection: Its development and characteristics, *International Yearbook of Cartography*, 14, 145-155.
- Robinson, A.H., Morrison, J.L., Muehrcke, P.C., Kimerling, A.J., and Gupitill, S.C., 1995, *Elements of Cartography*, 6th edition, New York: John Wiley & Sons.
- Šavrič, B., Jenny, B., Patterson, T., Petrovič, D., and Hurni, L., 2011, A polynomial equation for the Natural Earth projection, *Cartography and Geographic Information Science*, 38(4), 363-372.
- 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., 1990, The Robinson projection: A computational algorithm, *Cartography and Geographic Information Systems*, 17(4), 301-305.
- 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.
- Wikipedia, GRS 80, http://en.wikipedia.org/wiki/GRS_80.
- 교신: 이상일, 서울시 관악구 관악로 1, 서울대학교 사범대학 지리교육과 (이메일: si_lee@snu.ac.kr)
- Correspondence: Sang-Il Lee, 1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul, Korea, Department of Geography Education, Seoul National University (Email: si_lee@snu.ac.kr)

투 고 일: 2012년 4월 12일
심사완료일: 2012년 4월 17일
투고확정일: 2012년 4월 21일