한국의 새로운 단일원점 평면직각좌표계 설정 Establishment of New Single Origin Plane Rectangular Coordinate System in Korea

김태우¹⁾ · 윤홍식²⁾ · 이동하³⁾ · 김건수⁴⁾ · 고영창⁵⁾

Kim, Tae Woo · Yun, Hong Sik · Lee, Dong Ha · Kim, Gun Soo · Koh, Young Chang

Abstract

As a worldwide trend, the spatial information that is established by country, institution and purpose is integrated into the data with a single spatial reference to improve the data connectivity and usability. In this study, a new national single origin plane rectangular coordinate system was studied to efficiently respond to the changes in the spatial reference according to the introduction of a new national geodetic standard and to the demand of seamless data service in the spatial information sector. For this purpose, the Korean Peninsula was set as the projection region and the projection distortion in the projection region was analyzed. The projection parameters were defined to homogenize and minimize the projection distortion, and their standardization and registration on the international organizations were conducted. The study on the required optimal projection equation resulted in the Hooijberg projection equation and projection parameters (Φ , λ , K , N , E) resulted in 38° N and 128° E projection origin, and a scale factor of 0.99924. The proper false northing and easting were 700,000m N and 400,000m E, respectively, considering the introduction of country station index system.

Keywords : Projection System, Projection Parameters, Projection Equation, Map Grid Coordinate System, Country Station Index System

초 록

최근 전 세계적으로 국가별, 기관별, 목적별로 다양하게 구축된 공간정보를 단일한 위치기반으로 하는 데이터로 통합함으로써 각 자료 간 연계성 및 활용성을 높이고 있다. 본 연구에서는 새로운 국가측지기준의 도입에 따른 위치기준의 변화와 공간정보 분야의 seamless 데이터 서비스 요구에 효율적으로 대응할 수 있도록 새로운 국가 단일원점 평면직각좌표에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 한반도 전역을 투영영역으로 설정하고 투영영역 내 발생하는 투영왜곡을 분석함으로써 이를 균질화 및 최소화할 수 있는 투영파라미터를 정의하였으며, 이에 대한 표준화 및 국제기구 등록방안을 제시하였다. 연구의 결과, 국가 단일원점 평면직각좌표계를 위한 최적의 투영식은 Hooijberg 투영식으로 분석되었으며, TM 투영을 위한 5가지 투영파라미터는 위도(Φ) 38° N, 경도(λ) 128° E, 축척계수(K) 0.99924로 각각 분석되었다. 또한, 투영원점(Φ , λ)에 대한 가수값(false Northing & Easting)은 국가지점번호제도의 도입을 고려하여 북쪽방향 700,000m, 동쪽방향 400,000m로 각각 설정하는 것이 적합하였다.

핵심어 : 투영체계, 투영파라미터, 투영식, 그리드좌표계, 국가지점번호체계

1) Regular Member, Dept. Civil & Environmental Engineering, Sungkyunkwan University (E-mail:kangkaro@skku.edu)

2) Corresponding Author, Regular Member, Dept. Civil & Environmental Engineering, Sungkyunkwan University (E-mail:yoons@skku.edu)

3) Regular Member, Dept. Civil & Environmental Engineering, Sungkyunkwan University (E-mail:dhlee.skku@gmail.com)

4) Regular Member, Geographic Information Division, National Geographic Information Institute (E-mail:gsw23@gmail.com)

5) Regular Member, Geospatial Imagery Information & Photogrammetry Division, National Geographic Information Institute (E-mail:shark@korea.kr)

1. 서론

최근 전 세계적으로 국가별, 기관별, 목적별로 다양하게 구축된 공간정보를 단일한 위치기반으로 하는 데이터로 통합함으로써 각 자료 간 연계성 및 활용성을 높이고 있다. 국내에서도 국가기본도 및 관련 주제도를 seamless 데이터로 통합하여 전국적인 공간정보가 필요한 다양한 분야(네비게이션, 소방, 해경, 국립공원, 한진 등)에 활용하는 방안을 고려하고 있다. 이러한 단일한 위치기반으로 구축된 공간정보인 seamless 데이터 구축을 위한 핵심은 국가의 전 영토를 포함하는 보다 정확하고, 효율적인 단일원점 투영체계를 수립하는 것이다.

현재 국내에는 국토지리정보원에서 전국기반 통합수치지도와 정사영상 제작을 위해 설정한 “UTM-K” 수정 TM투영체계(NGII, 2011)가 국가 단일원점 투영체제로 활용되고 있다. 수정 TM투영체계의 경우 통합수치지도를 중점적으로 고려하여 단기간에 설정됨으로써 국내 다양한 공간정보에의 적용을 위한 표준화가 수행되지 않았으며, 이로 인해 투영체계에 대한 명확한 정의와 투영 시에 발생하는 오차에 대한 검토가 다소 미흡하였다. 따라서 공간정보를 생산하는 다양한 공공기관 및 민간기업에서는 수정 TM투영체계를 단일 위치기반으로 일관적으로 채용하지 못하고 임의적으로 투영체계를 변경하여 공간정보를 생산함으로써 기관 간 자료 공유 및 seamless 데이터 구축이 원활하게 이뤄지지 않는 문제가 있어 왔다.

행정안전부에서는 국가 기초행정인프라 전환의 일환으로 전국을 단일한 위치기반으로 표현하는 국가 지점번호제도의 도입을 고려하고 있다. 국가 지점번호제도는 산악·농경지·바닷가·도시 등 건물이 없는 지역의 위치를 단일 투영영역(unique projection region)을 기반으로 표시함으로써 KTM 및 UTM과 같은 기존의 다 투영영역(multi-projection region)에서의 비건물 지역에 대한 위치표시 방식을 개선할 수 있다. 행정안전부는 국가지점번호체계도 상에서의 위치표시를 위해 UTM 또는 수정 TM투영체계를 고려하고 있으며, 수정 TM투영체계의 경우에는 투영원점을 기준으로 남쪽방향으로 700,000m, 서쪽방향으로 500,000m 떨어진 지점을 기준으로 지점번호를 부여할 계획이다(MOPAS, 2011). 하지만, 국가지점번호체계도의 좌표원점은 좌·하단에 위치한 기준점으로부터 좌표와 번호가 부여되기 때문에 새로운 단일원점 평면직각좌표계를 결정하기 위한 투영체계(지도투영법, 투영과 라미터, 투영왜곡, 투영식, 도곽체계 등)에 대한 전반적인 연구가 수행되어야 한다.

이에 따라 본 연구에서는 새로운 국가측지기준의 도입에 따

른 위치기준의 변화와 한반도를 포괄하는 단위에서의 통합된 정보관리를 지원하고, 기관간의 정보공유를 위한 교환 비용을 절감할 수 있는 새로운 단일원점 평면직각좌표계 설정에 관한 연구를 수행하고자 하였다. 이를 위해 우선 현행 단일원점 평면직각좌표계인 수정 TM투영체계에 대한 검토와 함께 새로운 단일원점 평면직각좌표계로의 연계 방안을 제시함으로써 행정안전부 등 4개 부처에서 추진하고 있는 국가지점번호체계의 효율적 구축 및 활용성을 제고하고자 하였다.

2. 단일원점 평면직각좌표계 결정을 위한 투영체계 검토

2.1 Gauss-Krüger 투영식

투영식(projection equation)은 측지기준계 기준면인 타원체상의 구면좌표(ϕ, λ)를 평면상의 좌표(x, y)로 변환하기 위한 수학적 절차와 방법이다.

$$\begin{aligned} x &= f_1(\lambda, q) \\ y &= f_2(\lambda, q) \\ y + ix &= f(q + iw) \end{aligned} \quad (1)$$

타원체와 평면상의 좌표간의 관계를 함수로 표현하면 식(1)과 같다(Suh, 1999). 여기서, λ 는 중앙자오선의 경도차 즉, $w = \lambda - \lambda_0$ 를 의미하며, q 는 이성위도(isometric latitude)를 의미한다.

우리나라 국가기본도는 Gauss-Krüger 투영식을 이용하여 제작되었으며, 1970년대 이후 실시된 정밀 1, 2차 기준점 측량에서도 Gauss-Krüger 투영식을 채택하여 사용하고 있다. Gauss-Krüger 투영식에 의한 좌표는 투영원점을 포함하는 타원체면에 대하여 직각으로 원통을 씌워, 그 원통에 타원체면을 투영하여 이를 평면으로 전개한 좌표이다. 따라서 이 투영식을 TM(Transverse Mercator) 투영식이라고도 부른다(NGII, 2011).

식(1)의 $y + ix = f(q + iw)$ 가 코시-리만(Cauchy-Riemann)의 식(2)를 만족할 때, 이성위도(q)와 중앙자오선과의 경도차(w)에 대한 복소함수로 표현할 수 있다.

$$\frac{\partial x}{\partial w} - \frac{\partial y}{\partial q} = 0, \quad \frac{\partial x}{\partial w} + \frac{\partial y}{\partial \lambda} = 0 \quad (2)$$

식 $y + ix = f(q + iw)$ 를 Taylor 급수에 의하여 전개하면 식(3)과 같다.

$$y+ix=f(q+iw)=k_0\left\{\begin{aligned} &m+iw\frac{dm}{dq}-\frac{w^2}{2!}\frac{d^2m}{dq^2}-i\frac{w^3}{3!}\frac{d^3m}{dq^3}+\frac{w^4}{4!}\frac{d^4m}{dq^4} \\ &+i\frac{w^5}{5!}\frac{d^5m}{dq^5}-\frac{w^6}{6!}\frac{d^6m}{dq^6}-i\frac{w^7}{7!}\frac{d^7m}{dq^7}+\frac{w^8}{8!}\frac{d^8m}{dq^8}+\dots \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

위의 복소함수를 실수부분과 허수부분으로 나누어 정리하면 식(4)과 같다.

$$\begin{aligned} x &= k_0\left\{\omega\frac{dm}{dq}-\frac{\omega^3}{3!}\frac{d^3m}{dq^3}+\frac{\omega^5}{5!}\frac{d^5m}{dq^5}-\frac{\omega^7}{7!}\frac{d^7m}{dq^7}+\dots\right\} \\ y &= k_0\left\{m-\frac{\omega^2}{2!}\frac{d^2m}{dq^2}+\frac{\omega^4}{4!}\frac{d^4m}{dq^4}-\frac{\omega^6}{6!}\frac{d^6m}{dq^6}+\frac{\omega^8}{8!}\frac{d^8m}{dq^8}+\dots\right\} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $w=0$ 인 경우는 $x=0$ 이므로 위도(ϕ)까지의 y 좌표는 축척계수와 자오선호장(meridian distance)이 곱($X=k_0m$)이 됨을 의미한다. 초기의 Gauss-Krüger 투영식은 중앙자오선을 기준으로 투영범위를 동서 방향으로 수 도($^\circ$) 이내로 제한하였으며(Redfearn, 1948), 우리나라에서도 미분계수가 고차인 것은 계산과정이 복잡하므로 중앙자오선과의 차이(w)를 2° 이내에 적용하는 약식을 사용하였다. 그러나, 20세기 중반에 측량계산 방법을 개량하고 발전시켜 최근에는 중앙자오선 30° 내의 어느 위치에서나 마이크로미터 정확도로 계산할 수 있는 Porder & Engsager(1998), Engsager & Poder(2007) 및 Karney(2011)와 같은 개량된 투영식이 제시되고 있다(NGII, 2011).

2.2 지도투영법 및 투영왜곡

지도투영법(map projection)은 곡면인 지구 표면을 평면상에 투영하기 위한 방법이다. 지구표면상의 형상들은 평면으로 투영하면 이상적으로는 그 형상의 위치, 토지의 형태, 면적, 거리 및 방향 등이 일치하여야 하나, 지도투영법의 선택에 따라 투영 시에 발생하는 왜곡현상으로 인하여 거리, 각도, 면적 왜곡을 수반하게 되며, 이에 따른 각, 거리, 면적상에서 발생하는 변형을 해결할 수 있는 방법은 없다.

Table 1의 Tissot 지표타원(indicatrix ellipse) 개념도에 표시한 바와 같이 a 와 b 는 타원체면과 투영평면상의 두 점간의 거리를 표현하고 있으며, A_g 와 A_p 는 동일한 방향에 대한 두 선분이 이루는 각도를 나타내고 있다. 상사투영법(conformal projection)의 경우, 타원체면에 대응하는 투영평면상의 거리는 각 방향별로 0.4만큼 변형되며 그 크기는 동일하게 발생하는 것으로 정의하고 있다. 이때 타원체면과 투영평면상의 거리가 동일한 비율로 변형되어 각도 A_g 에 대응하는 각도 A_p 의 크기는 왜곡 없는 상태를 의미한다. 결국, 상사투영법의 주된

왜곡 요인은 투영에 의한 거리의 변형에 따른 면적의 왜곡이 발생하는 것임을 알 수 있다.

Table 1. Tissot indicatrix ellipse of distortion

Reference surface	Projection plane

$a = b = 1.0$	$a = .6$ $b = .6$

Conformal mapping:
 $ab \neq 1.0$
 $A_g = A_p$

위에서 살펴본 바와 같이 지도투영에는 반드시 왜곡이 발생하므로 지도의 왜곡정도와 형태에 대하여 반드시 고려해야 한다(Suh, 1999). 미 국방부 지도제작국에서는 Table 2에 표시한 바와 같이 지도 축척의 대·소와 지도제작의 종류에 따라 투영법을 구분하고 있으며, 국제표준화 기구인 ISO 19111-공간기준계(Spatial Reference by coordinates)에서는 국가 단위에서 결정하는 투영체계에 대하여 Fig. 1에 표시한 바와 같이 등록항목을 정의하고 있다.

Table 2. Characteristics of projections(DMA, 1990)

Characteristic	Map scale	Use
Transverse Mercator	1:500,000 and larger	topographic
	1:50,000 and larger	hydrographic
	1:250,000	aeronautical
Lambert Conformal Conic	1:1,000,000 and smaller	topographic
	1:500,000 and smaller	aeronautical

Entity	Value
Coordinate system ID	TMzn
Coordinate system type	Projected
Coordinate system dimension	2
Coordinate system remarks	Projection: Transverse Mercator in zones, 6° width
Coordinate system axis name	N
Coordinate system axis direction	North
Coordinate system axis unit identifier	Metre
Coordinate system axis name	E
Coordinate system axis direction	East
Coordinate system axis unit identifier	Metre
Operation ID	TMzn
Operation valid area	Europe
Operation scope	for conformal pan-European mapping at scales larger than 1:500,000
Operation method name	Transverse Mercator Projection
Operation method name alias	TMzn
Operation method formula	Transverse Mercator Mapping Equations, in Hooijberg, Practical Geodesy, 1997, pages 81-84, 111-114
Operation method parameters number	7
Operation parameter name	latitude of origin
Operation parameter value	0°
Operation parameter remarks	0°, the Equator
Operation parameter name	longitude of origin
Operation parameter value	central meridian (CM) of each zone
Operation parameter remarks	central meridians ...,3° W, 3° E, 9° E, 15° E, 21° E,...
Operation parameter name	false northing
Operation parameter value	0 m
Operation parameter remarks	
Operation parameter name	false easting
Operation parameter value	500 000 m
Operation parameter remarks	
Operation parameter name	scale factor at central meridian
Operation parameter value	0.9996
Operation parameter remarks	
Operation parameter name	width of zones
Operation parameter value	6°
Operation parameter remarks	
Operation parameter name	latitude limits of system
Operation parameter value	0° N and 84° N
Operation parameter remarks	

Fig. 1. ETRS-TMzn Description(European commission, 2001)

2.3 지도투영법과 투영왜곡의 관계

지도투영법을 선택하고, 어떤 방법으로 투영할 것인가는 나라별로 고유한 권한으로 지도를 투영하기 위한 가장 적합한 방법을 결정하여야 하며, 투영과정에서 발생하는 왜곡을 최소화하기 위한 분석이 필요하다. Fig. 2는 유럽연합(EU:European Union)에서 유럽 각국에서 지도투영을 위한 측지분야의 연구를 지원하기 위해 제시한 흐름도이다. 이때

Fig. 2. Workflow of a projection choice (European Commission, 2001)

투영영역의 설정은 투영 시에 발생하는 왜곡을 투영영역 내에서 최소화하기 위해 결정하여야 하는 기본요소를 알 수 있으며, 투영왜곡과 밀접한 관계가 있는 축척계수로부터 투영기준면과 투영면을 접합시키기 위한 방법을 제시하고 있다.

3. 국내 평면직각좌표계에 관한 선행연구

3.1 국가 지점번호체계(행정안전부)

국가 지점번호체계는 소방·해양경찰·국립공원·한진 등 각 기관마다 상이한 위치 표시방식을 해결하고, 산악·농경지·바닷가·도시 등 건물이 없는 지역에 대해서 좌표개념의 지점번호 방식을 사용하는 위치표시 방식이다. Fig. 3에 표시한 바와 같이 지점번호인 “바사42314261”로 표시하기 위해서는 우선 전국을 100km × 100km 단위로 격자화 하는 것이 필요하고, 지점의 위치를 10m 단위까지 표시하기 위해서는 이를 다시 4차레 격자까지 구획할 수 있다.

행정안전부에서는 경도 127.5° E, 위도 38° N에서 남쪽방향으로 700km, 서쪽방향으로 500km를 이동한 지점을 기준으로 100km 단위로 북쪽방향으로 14개의 구간을 나누어 한글의 자음 순으로 ‘가’에서 ‘하’까지를 부여하고, 동쪽방향으로 10개의 구간을 나누어 한글의 자음 순으로 ‘가’에서 ‘차’까지를 부여한 문자로 표기하되 가로방향의 문자에 세로방향의 문자를 연결한 번호를 부여할 계획이다.

Fig. 3. Proposed country station index map

이러한 국가 지점번호제도의 도입으로 기관별로 이원화된 기존의 위치표시 방식을 지점번호 방식으로 단순화, 일원화하고, 건물이 없는 지역(들, 산, 바다 등)의 위치도 쉽게 표시함으로써 국가 기초행정인프라의 선진화를 기대하고 있다.

Fig. 4는 UTM(Universal Transverse Mercator) 투영체계에

서 국가 지점번호 체계도 제작의 범위를 나타낸 것으로 UTM Zone을 고려할 경우, 국가지점번호 체계도는 51 Zone과 52 Zone 및 53 Zone에 속해 있어 일원화된 지점번호 방식으로 표시하기가 어렵다.

Fig. 4. UTM extent of the region to be mapped (NGII, 2011)

Fig. 4에 표시한 바와 같이 인접 Zone과의 경계 지점에서 평면직각좌표를 계산하면, 각 Zone에 인접한 두 지점에서 계산한 결과가 동일한 지점이나 Table 3에 표시한 바와 같이 서로 상이하게 평면직각좌표로 계산되는 것을 알 수 있다.

Table 3. UTM coordinates at 6-degree Projection Zone boundaries

	51 Zone	52 Zone	53 Zone
40° N, 126° E	X : 756,099m Y : 14,432,069m	X : 243,900m Y : 14,432,069m	-
40° N, 132° E	-	X : 756,099m Y : 14,432,069m	X : 756,099m Y : 14,432,069m

3.2 수정 TM투영체계(국토지리정보원)

국토지리정보원에서는 2000년 초부터 위도 38° N과 경도 127.5° E를 투영원점으로 하는 단일원점 평면직각좌표계를 2000년 초부터 도입하여 중·소축척지도와 전국 통합수치지도를 제작하고 있다. 이 투영체계는 투영원점에서의 축척계

수를 0.9996로 하는 수정된 TM 투영법으로서 “UTM-K”라고 명명하고 있으며(MOLTMA, 2009), 국토해양부 고시 제 2009-668호 기본지리정보 구축작업에 관한 지침서를 고시하여 운영하고 있다.

국토지리정보원에서 수행한 단일원점 평면직각좌표계 설정에 관한 연구는 1999년「좌표계 변환 연구」를 시작으로 2001년도에는 UTM 51.75 Zone의 투영체계에 관한 타당성 분석이 수행되었으며, 이를 토대로 한국 국가 그리드체계(KNGS : Korean National Grid System) (안)이 제시되었다(NGII, 2001). 2006년도에는 일정 간격의 격자형 자료구조로 관리체계를 전환하기 위한 국가 격자체계 표준(안)과 UTM 51.75 Zone의 투영체계를 연계하여 구축하는 방안이 제시되었다(NGII, 2006).

UTM 51.75 Zone의 투영체계란, 미 국방부 지도제작국(Defense Military Agency : DMA)에서 전 세계를 정해진 규칙에 의해 규격화하기 위하여 규정한 UTM 51 Zone을 말하며, UTM 51 Zone의 중앙자오선 126° E에서 동쪽방향으로 1° 30′ 떨어진 127.5° E를 통과하는 자오선을 중앙자오선으로 하는 UTM 투영체계를 말한다. 2001년도에 수행된 연구에서는 우리나라 전 국토가 UTM 2개의 존에 포함되기 때문에 단일한 UTM 투영체계를 변형하여 사용하는 것이 타당하며, 이 투영체계는 1/10,000 이하의 중·소축척 지도제작에 적합하다고 분석하였다(NGII, 2001).

Fig. 5는 2001년도에 수행된 국가그리드(안)의 번호체계로서 UTM-K 투영체계를 사용하여 일정한 간격의 거리단위로 구성한 것으로 영문자의 순서대로 좌·하단을 AA로부터 시작하여 지점번호를 표현하고 있다.

Fig. 5. Proposed Map Grid of Korea(NGII, 2001)

국토지리정보원에서 수행한 단일원점 평면직각좌표계에 관한 선행연구는 Fig. 5와 Table 4의 좌측에 표시한 바와 같으며, 현재 사용하고 있는 수정 TM투영체계와는 위도(ϕ_0)와 원점가수값(N, E)이 다르다. 이는 TM(Transverse Mercator) 지도 투영법을 결정하기 위한 5가지 파라미터($\phi_0, \lambda_0, k_0, N, E$) 중 3가지에 해당하는 것이다.

Table 4. Comparison of the Projection parameters, between UTM 51.75 Zone and modified TM Projection System

Projection parameters	UTM 51.75 Zone	modified TM
True Origin Latitude (ϕ_0)	0° 00' 00" North	38° 00' 00" North
True Origin Longitude (λ_0)	127° 30' 00" East	127° 30' 00" East
False Origin North (N)	0 meter North	2,000,000 meter North
False Origin East (E)	500,000 meter East	1,000,000 meter East
Scale on Central Meridian (k_0)	0.9996	0.9996

Fig. 6 우측에 점선으로 나타내고 있는 투영영역에서는 경도 3° 간격을 벗어나는 신의주, 나진, 백령도, 울릉도를 포함하는 투영영역의 재설정과 수정 TM투영체계에서의 투영원점을 새로운 평면직각좌표계의 좌표원점과 연결하기 위한 연구가 필요하다.

Fig. 6. UTM 51.75 Zone(left) and modified TM(right) Projection System (NGII,2011)

4. 새로운 평면직각좌표계 정립을 위한 투영체계

4.1 투영영역 재설정

미국 지질조사국(USGS)은 지도투영 시에 가장 중요하게 고려되어야 하는 것이 지도의 투영영역이라고 강조하고 있다(Snyder,1987). 따라서 본 연구에서는 실 지도제작 범위를 고려하고 기본지리정보구축지침에 명시된 전 국토가 포괄하기 위해 Table 5의 국토지리정보 통계자료에 기초하여 경도 8° 간격(124° E~132° E)으로 하는 투영영역을 새로이 정하였다.

Table 5. Extreme position of the Korean peninsula (NGII, 2011)

		East	West	South	North
Island	N	37° 14' 23"	39° 48' 14"	33° 06' 43"	43° 00' 42"
	E	131° 52' 21"	124° 11' 04"	126° 16' 07"	129° 56' 46"
Land	N	42° 17' 18"	39° 54' 12"	34° 17' 32"	43° 00' 42"
	E	130° 41' 09"	124° 18' 29"	126° 31' 28"	129° 56' 48"

Fig. 7. Re-establishment of modified TM projection zone

4.2 Gauss-Krüger 개량투영식(개량 TM 투영식)

국토지리정보원에서는 seamless 데이터 구축을 위하여 2010년 전국 통합 수치지도 구축사업을 추진하였다. 그러나 동일한 축척으로 제작된 도엽이라고 하더라도 사업수행 과정에서 도곽이 서로 불일치하는 경우가 발생하여 공간정보의 품질저하와 신뢰성을 저하시키는 결과를 초래하였다(NGII, 2011). 국토지리정보원에서는 2011년 공간정보 표준화 연구에서 이러한 도곽 간에 불일치하는 주요원인이 단일원점으로서의 투영원점 변환 시에 표준화된 투영식으로 동일한 차수항을

적용하지 아니하고, 도곽 좌표의 유효숫자도 다르게 적용하여 제작한 것으로 분석하였다.

본 연구에서는 다양한 투영공식 중에서 투영영역이 넓은 지역에서도 정확한 것으로 알려진 투영식을 Table 6에 표시한 바와 같이 비교 및 분석하였다. 또한, Fig. 8에 표시한 바와 같이 투영과 역투영 계산의 반복횟수에 따라 왕복오차(Round-Trip Errors)가 누적되어 본래의 좌표가 변동될 수 있기 때문에 표준화된 투영식으로 도곽의 모서리를 엄밀하게 결정하여야 도곽 불일치를 근본적으로 해결할 수 있는 것으로 분석되었다.

Table 6. Comparison of representative Gauss-Krüger(GK) equation's accuracy

GK equation	Characteristic
DMA(1989)	- accurate to the nearest 0.001 arc second for geographic coordinates and to the nearest 0.01 meter for grid coordinates
Fedfearn(1948)	- accurate to better than 1mm in any UTM zone
Hooijberg(1997)	- accurate to submillimetre with wide zones (ex. longitudinal difference of 11° width in U.K.)

Hooijberg 투영식의 경우 Fig. 8에 표시한 바와 같이 투영과 역투영 계산과정에서 경도는 투영원점에서 동·서방향으로 약 4°에 이르는 지점에서부터, 위도는 동·서방향 약 6°에 이르는 지점부터 좌표값에 0.2mm 내외의 왕복오차가 점차적으로 누적되는 것으로 분석되었다.

Fig. 8. Gauss-Krüger round-trip error of eastings and northings (Hooijberg, 1997)

따라서, 본 연구에서는 투영과 역투영 계산 시에 발생하는 왕복오차를 최소화하기 위하여 제작된 도곽의 원점변환 횟수의 제한을 제시하며, 경도 간격 8°를 투영영역으로 하는 단일 원점 평면직각좌표계에는 기존의 국토지리정보원 투영식은 3차까지 전개한 약식이기 때문에 Hooijberg 투영식을 새로운 평면직각좌표계에 적용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

4.3 투영왜곡의 최소화 및 균질화

앞서 결정된 투영영역에서 투영시에 발생하는 왜곡량을 최소화하기 위해서는 투영영역의 설정과 함께 TM투영 특성을 고려하여 투영원점(ϕ_0 , λ_0)과 축척계수(k_0)를 결정하여야 한다. 본 연구에서는 중앙자오선을 투영영역의 중앙에 위치시킴으로써 TM투영 시에 발생하는 동·서방향의 왜곡을 균질하게 하기 위하여 우리나라 육지와 섬을 포함한 투영영역의 가운데에 해당하는 경도 128°E를 중앙자오선으로 결정하였다.

투영왜곡의 최소화 및 균질화를 위한 분석방법은 Fig. 9에 표시한 바와 같이 경도변화에 따른 투영 왜곡률 분석과 Fig. 10에 표시한 바와 같이 등축척계수도를 통해 한반도 전역에서의 투영 왜곡 양상을 분석하고자 하였다.

Fig. 9. Minimization of mapping distortion (NGII, 2011)

Fig. 10. Distribution of mapping distortion (NGII, 2011)

Table 7. Comparison scale correction of projection types

	124° E~132° E (38° N, 127.5° E, 0.9996)	124° E~132° E (38° N, 128° E, 0.99924)	124° E~132° E (38° N, 128° E, 0.9996)
Scale correction on west	1.00076(+76cm/km)	1.00076(+76cm/km)	1.00112(+112cm/km)
Scale correction on east	1.00152(+152cm/km)	1.00076(+76cm/km)	1.00112(+112cm/km)
Scale correction on Central Meridian	0.9996(-40cm/km)	0.99924 (-76cm/km)	0.9996(-40cm/km)
Range of scale correction	192cm/km	154 cm/km	152cm/km
Mapping distortion	not distributed evenly	distributed evenly	not distributed evenly

본 연구에서는 중앙자오선에 대한 축척계수를 Table 7에 표시한 바와 같이 다양하게 적용하였으며, 국토 전반에 대하여 투영오차를 최소화시키고, 균질하게 분포시키는 축척계수는 0.99924인 것으로 분석되었다.

우리나라 서단과 동단 일대에서는 왜곡량 1.00076(+76cm/km)이 동일하게 발생하면서 최대거리 왜곡량과 최소거리 왜곡량의 차이는 154cm/km로 기존의 수정 TM 투영체계 보다 38cm/km정도 개선할 수 있었으며, 중앙자오선을 기준으로 동·서방향으로 멀어질수록 TM투영특성인 두 선분이 이루는 각이 일정하고, 중앙자오선에 대하여 대칭적으로 분포시킬 수 있었다.

4.4 새로운 평면직각좌표계 수치표현의 단순화

본 연구에서 제시하는 새로운 평면직각좌표계는 Fig. 11 우측에 표시한 바와 같이 좌표원점(False Origin)은 지도투영체계의 투영원점(True Origin)에 따라서 결정되는 데에 일반적으로 좌·하단 격자 모서리를 기준으로 한다. 본 연구에서는 그 리드좌표계의 좌표원점 위치를 한반도 서단에 위치한 평북 용천군 신도면 마안도(경도 124° 11' 04" E)와 남단에 위치한

Fig. 11. Separation distance between the true origin (t.o.) and south-west extreme position of the Korean peninsula

이어도(위도 32° 07' 22.63" N)가 포괄되도록 좌·하단 경·위도를 각각 32° N와 124° E로 정하였다.

Fig. 11은 투영원점에서 좌·하단 경·위도(32° N, 124° E)까지의 이격거리를 X(Northing)축과 Y(Easting)축 방향별로 각각 658,644.460m과 378,108.157m로 계산한 것이며, 수치의 표현을 단순화하기 위해 이격거리를 100km 수치단위인 700,000m (N)과 400,000m (E)로 결정함으로써 Fig. 12 우측에 표시한 바와 같이 좌표원점을 0m (N), 0m (E)로 결정할 수 있었다. 이를 통해 Fig. 11 우측에 표시한 바와 같이 좌·하단에 위치한 좌표원점을 기준으로 각도(°) 단위의 도곽체계를 거리(m) 단위의 격자체계로 전환하였다.

Fig. 12. Separation distance false origin (f.o.) from south-west extreme position and 100km grid square with a letter code

이를 통해 Fig. 12에 표시한 바와 같이 평면직각좌표계를 좌·하단 모서리를 기준으로 동·북 방향별로 100km 간격으로 한반도 전역에 대해서 일정한 격자 크기로 격자화하여 문자로 표시할 수 있다. 또한, Table 8에 표시한 바와 같이 100km 이하의 격자에서는 숫자에 의한 표시 방식을 적용하였다.

Table 8. Two letters and six figure grid reference system

Grid square	Grid letters and digits	Use
100km	DG	<ul style="list-style-type: none"> · Easting : greater than 300km and less than 400km · Northing : greater than 600km and less than 700km
10km	DG63	<ul style="list-style-type: none"> · Easting : greater than 360km and less than 370km · Northing : greater than 630km and less than 640km
1km	DG6231	<ul style="list-style-type: none"> · Easting : greater than 362km and less than 363km · Northing : greater than 631km and less than 632km
100m	DG622311	<ul style="list-style-type: none"> · Easting : greater than 362.2km and less than 362.3km · Northing : greater than 631.1km and less than 631.2km

5. 결 론

본 연구는 이러한 새로운 구조의 지리정보 서비스 도입에 따른 사용자들의 혼란을 방지하고, 국가 공간정보의 활용성을 증대시키기 위하여 새로운 단일원점 평면직각좌표계 정립을 위한 연구의 일환으로 수행되었다.

우선 행정안전부에서 국가 지점번호제도 도입을 위하여 고려한 UTM과 수정된 UTM-K 좌표계를 검토하였으며, 기존의 수정 TM투영체계(UTM-K)의 도입 근거와 배경을 조사 및 정리함으로써 새로운 국가표준의 단일원점 평면직각좌표계(안)를 제시하기 위한 목적으로 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫 번째, UTM 투영체계의 경우 동일한 지점에 대해서 상이한 평면직각좌표가 표시되어 통합된 정보관리가 어려우며, 이로 인해 단일원점 평면직각좌표계를 활용하는 업무의 효율성이 저하될 수 있다. 두 번째, UTM-K 투영체계의 경우는 실 지도제작 범위와 투영영역이 상이한 관계로 왜곡량이 비 균질하고 과대하게 발생하는 것으로 분석되었으며, 행정안전부 원점가수값(700,000m N, 500,000m E)의 경우는 국가표준의 신뢰성을 제고하기 위한 과학적, 논리적 타당성이 부족하며, 국토지리정보원 원점가수값(1,000,000m N, 2,000,000m E)의 경우는 새로운 단일원점 평면직각좌표계로 전환하기 위

한 추가적인 변환이 필요한 것으로 분석되었다. 세 번째, 지도의 축척과 사용목적에 따른 적합한 지도투영법의 선택 필요성을 제시하며, 다양한 지도투영법에 접목할 수 있도록 국가차원의 투영기준으로 국가통계자료를 토대로 한반도 전역을 포함하는 투영영역(124° E~132° E)과 투영영역의 중앙을 지나는 자오선 128° E를 제시하였다. 네 번째, 투영영역 내에서 투영왜곡을 최소화하고 왜곡률을 균질화할 수 있도록 축척계수를 0.99924를 제시하였다. 다섯 번째, 단일원점 평면직각좌표계의 투영원점과 좌표원점을 일원화하기 방안으로 원점가수값으로 700,000m (N)과 400,000m (E)를 제시하였다. 이를 통해 수치표현의 단순화하여 추가적인 변환으로 인한 불편을 해소함으로써 단일원점 평면직각좌표계의 활용성을 향상시키고자 하였다.

본 연구에서 제시한 투영파라미터 중 축척계수 0.99924는 산악·농경지·바닷가·도시 등 전국단위에서의 왜곡률을 균질하게 분포시키기 위해 설정한 것으로 섬을 제외한 육지에서의 투영정확도를 확보하기 위해서는 축척계수를 재설정하는 것이 필요하다고 판단된다. 향후 단일원점 평면직각좌표계에 대한 대국민서비스의 질적 향상을 극대화하기 위해서는 투영체계의 표준을 효율적으로 정립하기 위한 연구와 측량 시 단일원점 평면직각좌표를 직접 활용할 수 있도록 축척계수를 보정하기 위한 측량작업규정 및 건설시방서 등의 개정에 관련한 후속 연구가 필요하다.

References

- National Geographic Information Institute(NGII) (2001), *Development of Coordinate Transformation Tool for Existing Digital Map (I)*, NGII Publication No. 11-1500148-000024-14, National Geographic Information Inst., Suwon, pp. 44-57. (in Korean with English abstract)
- National Geographic Information Institute(NGII) (2006), *A Study on Standard of National Lattice Scheme*, NGII Publication No. 11-1500714-000052-01, National Geographic Information Inst., Suwon, pp. 20-27. (in Korean with English abstract)
- National Geographic Information Institute(NGII) (2007), *A Study on Standardization of 2007 Geographic Information*, NGII Publication No. 11-1500714-000068-10, National Geographic Information Inst., Suwon, pp. 77-82. (in Korean with English abstract)

- National Geographic Information Institute(NGII) (2011), *A Study on Standardization of 2011 Spatial Information*, NGII Publication No. 11-1611265-000054-10, National Geographic Information Inst., Suwon, pp. 96-234. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MOLTMA) (2009), *A Guideline for Establishing Framework Data*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 4p. (in Korean)
- Kim, K., Baek, I. (2011), Utilization of Public Services through Advancement of the Primary Administrative Infra, *Surveying and Mapping Magazine*, No. 116, pp. 64-69. (in Korean)
- Suh, Y. (1999), *A Research of the Optimized Map Projection in Korea*, Ph.D. dissertation, SungKyunKwan University, Suwon, Korea, pp. 16-25. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Public Administration and Security(MOPAS) (2011), *Road Name Address Act Enforcement Ordinance Revised Bill*, Ministry of Public Administration and Security, 4p. (in Korean)
- Defense Mapping Agency (1989), *DMA Technical Manual 8358.2: The Universal Grids; Universal Transverse Mercator(UTM) and Universal Polar Stereographic(UPS)*, DMA Publication No. DMATM83582, The Defense Mapping Agency, 18p.
- Defense Mapping Agency (1990), *DMA Technical Manual 8358.1: Datums, Ellipsoids, Grids and Grid Reference Systems*, DMA Publication No. DMATM83581, The Defense Mapping Agency, 33p.
- European Commission (2001), *Map Projections for Europe*, EUR 20120 EN, EC GI & GIS, pp. 87-115.
- Hooijbeg, M. (1997), *Practical Geodesy*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, pp. 130-132.
- Redfearn, J.C.B. (1948) Transverse Mercator formula, *Empire Survey Review*, Vol. 69, No IX, pp. 318-328.
- Snyder J.P (1987), *Map projections-A working manual*, U.S. Geological Survey, Government Printing Office, Washington, D.C., USA.

(Received 2013. 02. 04, Revised 2013. 02. 21, Accepted 2013. 06. 27)