

한반도 전역에 적용할 최적의 UTM-K 투영 중앙자오선 및 축척계수 결정에 관한 연구

A Study on the Optimal Combination of Central Meridian and Scale Factor of UTM-K for Application of Korea Peninsula

이희범¹⁾ · 허 준²⁾ · 김우선³⁾ · 이정빈⁴⁾

Hee-Bum Lee · Joon Heo · Woo-Sun Kim · Jung-Bin Lee

Abstract

In this paper, a research has been conducted to find out the optimal combination of central meridian and scale factor of UTM-K to apply for the whole area of Korean peninsula. For this research, various combinations of central meridian and scale factor are set up and the cumulated level of distortion for each combination has been computed and compared to each other. In the case of using the central meridian and scale factor defined in the present UTM-K, the level of distortion shows about 47.0837×10^{-2} . On the other hand, the minimum distortion which is about 21.0495×10^{-2} can be obtained when the $127^{\circ} 26'$ for the central meridian and 0.99991 for scale factor are used for computation. Consequently, we can conclude that later result is the optimum combination of central meridian and scale factor for the Korean peninsula.

Keywords : UTM-K, central meridian, scale factor, framework data

초 록

한국형 UTM 좌표계는 현행 좌표계의 문제점 및 한계를 극복할 수 있으며 GIS를 기반으로 하는 첨단 산업에도 다양하게 적용 될 수 있도록 도입되었다. 본 연구에서는 한반도 전역에 적용 가능한 최적의 UTM-K 투영 중앙 자오선과 축척계수를 결정하기 위하여 여러 가지 조합을 설정한 후 각각의 경우에 발생하는 지도의 누적 투영 왜곡량을 비교함으로써 결론을 도출하였다. 남한 지역에 적용하기 위해 도입된 현행 UTM-K에서 정의한 기준을 한반도 전역에 적용해 본 결과, 지도 투영으로 인한 누적 투영 왜곡량은 47.0837×10^{-2} 로 나타났다. 반면에 투영 중앙 자오선을 $127^{\circ} 26'$, 축척계수를 0.99991로 설정했을 경우 누적 투영 왜곡량이 21.0495×10^{-2} 으로 최소값을 보였다. 따라서 한반도 전역에 적용할 최적의 UTM-K 투영 자오선은 $127^{\circ} 26'$, 축척계수는 0.99991라는 결론을 얻었다.

핵심어 : 한국형 UTM 좌표계, 중앙 자오선, 축척계수, 기본 지리 정보

1. 서 론

우리나라 국가기준 좌표계는 지구상에서 한반도의 위치 관계를 결정하기 위한 것으로 위치 정보 표현의 기준을 제공한다. 현재 우리나라 좌표계는 3개의 투영 좌표계

와 제주도 및 울릉도의 원점을 사용하는 다원점계인 관계로 GIS를 기반으로 하는 첨단 산업의 적용에 많은 제한을 초래하고 있다. 따라서 이러한 관련 산업의 활성화에 따라 우리나라 단일 좌표계의 명확한 정립이 필요하였다. 건설교통부고시 2004-131호에는 전국 규모의 연속적인

- 1) 연결저자 · 육군3사관학교 건설공학과 교수(E-mail:topkma@army.mil)
- 2) 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수(E-mail:jheo@yonsei.ac.kr)
- 3) 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(E-mail:kwsbulls77@yonsei.ac.kr)
- 4) 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(E-mail:ortolan@yonsei.ac.kr)

자료 구조를 가진 기본지리정보의 생산·구축에 활용하기 위하여 “기본지리정보구축을 위한 단일평면직각좌표계”를 도입하고 있다. 이때 측량법 시행령 제2조의5 제2항의 규정에 의거 단일평면직각좌표계의 명칭은 UTM-K(한국형 UTM좌표계)로 하고, 경위도 원점은 동경 127°30′00.000″, 북위 38°00′00.000″로 하였으며, 투영법은 T.M(Transverse Mercator)로 하고 축척계수는 0.9996으로 정하고 있다. 적용 대상은 한반도 전역으로 하였으며 투영 원점의 수치는 기존 직각 좌표와의 혼란 방지와 차별화하기 위해 X(N) 2,000,000m, Y(E) 1,000,000m로 정하였다.

이러한 단일표준좌표계의 설정과 좌표변환 및 좌표계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이용창(1998) 등은 UTM 투영에 의한 Bessel과 WGS84 타원체간의 2차원 측지좌표변환 연구를 수행하여 UTM 좌표간 변환 계수를 산출하고 이를 점검점에 적용 및 검증하였다. 이영진(1996) 등은 한국측지 좌표계의 재정립에 대한 연구를 통하여 지적 및 GIS/LIS 데이터베이스 관리 분야에 널리 활용할 수 있는 새로운 측지 기준 좌표계의 설정 방안을 제시하였으며, 별도의 연구(1999)를 통하여 세계 좌표계의 도입에 따라 Bessel 타원체에서 GRS80 타원체로의 변환으로 인해 발생하는 두 체계간의 도엽 체계에 대한 특성과 경향을 파악하고, 좌표 변화량에 관한 연구를 수행하였다. 조규전(1996)은 TM투영에서의 좌표 변환에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 최윤수(2006) 등은 남북한의 현재 측량 제도 및 지리 정보의 효율적인 통합을 위한 연구를 수행하여 통일 이후 남북한 좌표계 통일 방안을 제시하였다. 또한, 전재홍(1998) 등의 연구 결과에 따르면, TM 혹은 UTM(Universal Transverse Mercator) 투영법은 등각투영으로서 회전 타원체의 표면을 투영면인 평면으로 변환하는 과정에 있어서 어느 지점에서나 두 개의 미소 선분이 이루는 각은 항상 일정하기 때문에 국부적인 평면의 형상이 항상 유지되는 투영으로서 타원체에서의 직교하는 경선과 위선이 투영된 지도에서도 서로 직교하는 특징이 있다. 따라서 TM투영의 경우 축척계수의 왜곡 정도를 투영으로 인한 지도 왜곡의 지표로서 활용할 수 있다.

본 연구에서는 통일 시대를 대비하여 한반도 전역에 적용이 가능하도록 UTM-K 좌표체계의 투영 중앙 자오선 및 축척계수를 결정하기 위한 연구로서 송영선(2006) 등이 수행하였던 남한 지역을 대상으로 한 연구의 연장선상에 있다. 단일의 표준 UTM-K 좌표계는 궁극적으로는 한반도 전역에 적용을 해야 하므로 남한 지역에 국한된 연

구 보다는 한반도 전역을 대상으로 한 최적 투영 중앙 자오선 및 축척계수를 선정하는 것이 통일 시대를 대비하기 위해 매우 필요하다고 하겠다. 따라서 본 연구는 송영선(2006) 등이 남한 지역에 적용한 것과 동일한 연구 방법을 이용하되 연구 범위를 한반도 전 지역으로 확장하였다. 이때 남한 지역을 대상으로 한 연구에 적용한 것과 같이 다음의 4가지 경우에 해당되는 해답을 찾기 위하여 투영 중앙 자오선 및 축척계수 조합을 상정하고, 각각에 대하여 한반도 전역의 1/25,000 도엽 중심점에 누적되는 축척계수 누적 왜곡량을 계산하였다. 이러한 누적 왜곡량의 비교 평가를 통하여, 한반도 전 지역에 적용될 투영 중앙 자오선 및 투영 중앙 자오선 축척계수의 최적 조합을 찾아내었고 이것을 결론으로 제시하였다.

- (경우 1) : 투영 중앙 자오선의 축척계수를 1로 설정했을 경우 최적 투영 중앙 자오선은 어디인가?
- (경우 2) : 투영 중앙 자오선을 127° 30′(UTM-K의 투영 중앙 자오선)으로 설정했을 경우 최적의 투영 중앙 자오선의 축척계수는?
- (경우 3) : 투영 중앙 자오선의 축척계수를 0.9996(UTM-K의 투영 중앙 자오선의 축척계수)으로 설정했을 경우 최적 투영 중앙 자오선은 어디인가?
- (경우 4) : 최소의 투영 축척계수 왜곡을 가지는 투영 중앙 자오선과 이때의 투영 중앙 자오선의 축척계수는 얼마인가?

2. TM 투영법에서 축척계수의 계산

축척계수는 타원체상에서의 거리(ds)와 투영면에서의 거리(dS)의 비율인 아래 식 (1)로 표현할 수 있다(Blachut 등, 1979; Bomford, 1962).

$$m = \frac{ds}{dS} \quad (1)$$

TM 투영법의 축척계수는 위도와 투영 중앙 자오선의 거리에 대한 함수로서 임의의 경위도 좌표(ϕ, λ)에 대한 축척계수(m)의 계산은 식 (2)로부터 계산할 수 있다.

$$m = 1 + a_8 l^2 + a_{10} l^4 + \dots \quad (2)$$

식 (2)에서 l 은 투영 중앙 자오선(λ_0)과 축척계수를 구하고자 하는 자오선(λ)과의 차이를 의미한다.

$$a_8 = \frac{1}{2} \cos^2 \phi (1 + e'^2 \cos^2 \phi)$$

$$a_{10} = \frac{1}{24} \cos^2 \phi [-4 + (9 - 28e'^2) \cos^2 \phi + 42e'^2 \cos^4 \phi + \dots] \quad (3)$$

식 (2)에서 계수 a_8, a_{10} 은 위도(ϕ)의 함수로서 식 (3)과 같으며 식 (3)의 e'^2 은 제 2이심률이다.

임의의 TM 좌표(x, y)로부터 축척계수를 계산하기 위한 식은 아래 식 (4)와 같다.

$$m = 1 + b_8 y^2 + b_{10} y^4 + \dots \quad (4)$$

식 (4)에서 계수인 b_8, b_{10} 은 meridional arc의 길이에 대응하는 위도(ϕ_1)에 관한 함수로서 아래 식 (5)와 같이 계산된다.

$$b_8 = \frac{1}{2} R_1^{-2} = \frac{1}{2} e^{-2} (1 + e'^2 \cos^2 \phi_1)^2$$

$$b_{10} = \frac{1}{24} R_1^{-4} (1 + 4e'^2 \cos^2 \phi_1 + \dots) \quad (5)$$

TM 및 UTM 투영에서 투영 중앙 자오선의 축척계수를 m_0 로 변경했을 경우, 임의의 위치에서의 축척계수는 식 (6)과 같이 조정된다.

$$m = m_0 (1 + b_8 y^2 + b_{10} y^4 + \dots) \quad (6)$$

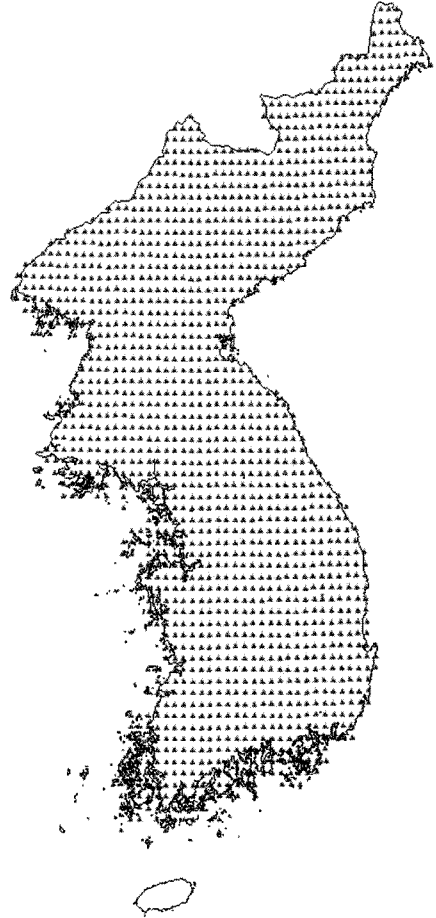


그림 1. 1/25,000 수치지도의 중심 경위도

3. 자료처리 및 결과

본 연구에서는 1/25,000 수치 지도들의 중심점에 대한 경위도 좌표를 기준으로 축척계수를 계산하고, 축척계수의 왜곡을 누적하여 결과를 산출하였다. 수치지도는 2005년 말 기준으로 제작된 총 1684장의 도엽을 활용하였다.

그림 1은 본 연구에서 사용된 1/25,000 수치지도의 중심 경위도 좌표를 도엽코드를 근거로 계산한 후 도시한 그림이다. 그림 1에서 ▲은 축척계수의 투영 왜곡을 계산하기 위해 사용된 1/25,000 수치지도 도엽들 각각의 중심 좌표이고, 도엽 중 제주도, 울릉도를 포함하여 육지와 멀리 떨어진 도서 지역은 연구 대상에서 제외하였다.

또한 투영 왜곡은 1과 해당 도엽에서의 scale factor와의 차이를 절대값으로 표현하여 원으로 표시하였고, 누적 투영 왜곡량은 전체 1684도엽의 중심 좌표에서의 투영 왜곡의 합을 의미한다.

추출된 도엽들의 중심 경위도로부터 축척 왜곡을 계산

할 때, 연구를 위해 가정한 4가지의 경우 모두에 대해 세계 좌표계에서 사용될 GRS80 타원체를 근거로 하였다.

먼저, 경우 1은 투영 중앙 자오선의 축척계수를 1로 가정하고 최적의 투영 중앙 자오선을 탐색하는 것이었다. 이때 자오선의 탐색 범위는 126°에서 129°까지 한정하고 투영 중앙 자오선의 변화량은 1' 간격으로 설정한 후 누적 투영 왜곡량을 산정하였는데 127°23'이 최적의 결과를 나타냈다. 그림 2는 투영 중앙 자오선을 127°23', 투영 중앙 자오선의 축척계수를 1로 설정했을 때 각각의 도엽에서 발생하는 투영 왜곡을 나타낸 그림이다. 그림 2에서 원의 크기는 투영 왜곡량의 크기와 비례하며, 투영 왜곡이 없는 부분은 가장 작은 크기의 점으로 표시하였다. 그림 4, 6, 8도 동일하다. 그림에서 원의 크기가 작은 것들은 투영 왜곡량이 적은 것이므로 이러한 작은 점이 많이 분포하는 것을 이상적인 것으로 간주할 수 있다. 그림 3

은 투영 중앙 자오선의 변화에 따른 총 1684도엽의 누적 투영 왜곡량의 변화를 나타낸 것으로서 127°23'에서 가장 낮은 25.7711×10^{-2} 의 누적 투영 왜곡량을 보였다.

경우 2는 투영 중앙 자오선을 127° 30'으로 설정하고 최적의 축척계수를 찾는 것이었다. 이때, 투영 중심 자오

선의 축척계수의 간격을 0.00001로 하여 누적 투영 왜곡량을 계산하였다. 그림 4는 각각의 도엽에서 발생하는 투영 왜곡을 나타낸 그림이며 그림 5는 투영 왜곡의 변화 특성을 보여주는 그림이다. 결과적으로 투영 중앙 자오선의 축척계수가 0.99991일 때 가장 낮은 21.0924×10^{-2} 의

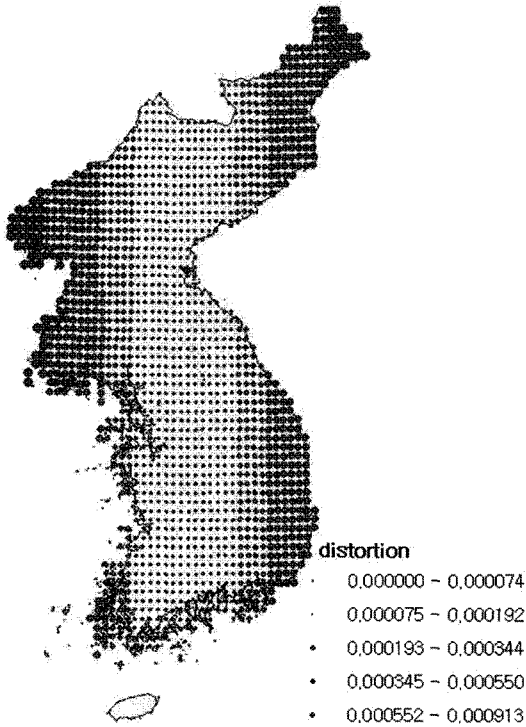


그림 2. 투영 중앙 자오선이 127°23'이고 투영 중앙 자오선의 축척계수가 1일 때의 투영 왜곡 분포

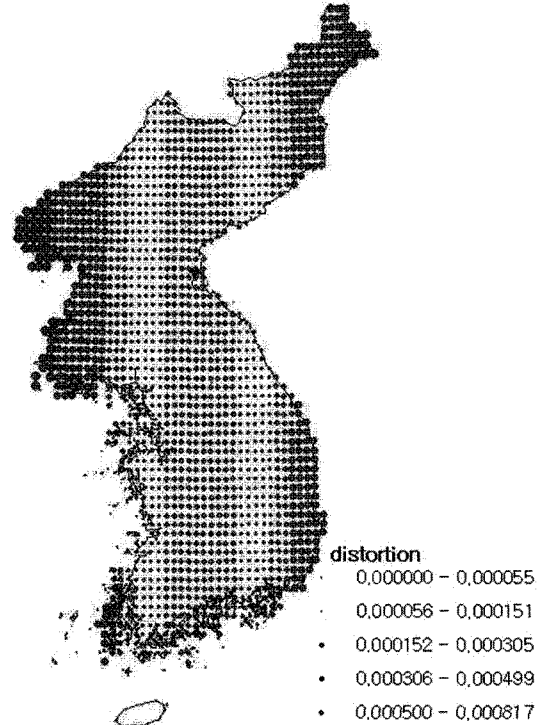


그림 4. 투영 중앙 자오선이 127°30'이고 투영 중앙 자오선의 축척계수가 0.9991일 때 투영 왜곡 분포

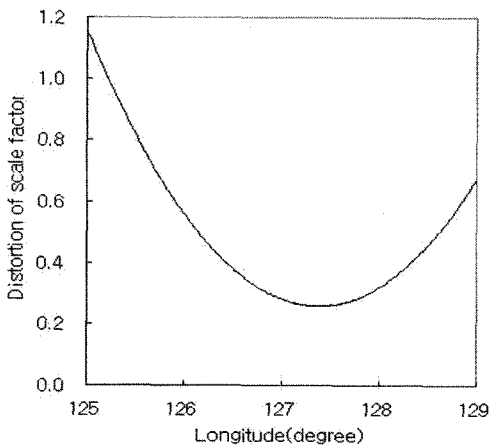


그림 3. 투영 중앙 자오선의 축척계수가 1일 때의 투영 중앙 자오선의 변화에 따른 누적 투영 왜곡량 변화

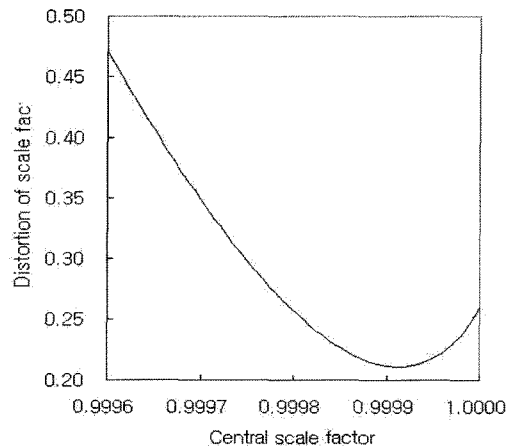


그림 5. 투영 중앙 자오선이 127°30'일 때의 투영 중앙 자오선의 축척변화에 따른 누적 투영 왜곡량 변화

누적 투영 왜곡량을 보였다.

경우 3은 투영 중앙 자오선의 축척계수를 0.9996으로 설정하고 최적의 투영 중앙 자오선을 찾는 것이었다. 이때, 자오선의 탐색범위를 123°에서 133°까지로 한정하고 탐색간격을 1'으로 하여 누적 투영 왜곡량을 계산하였다.

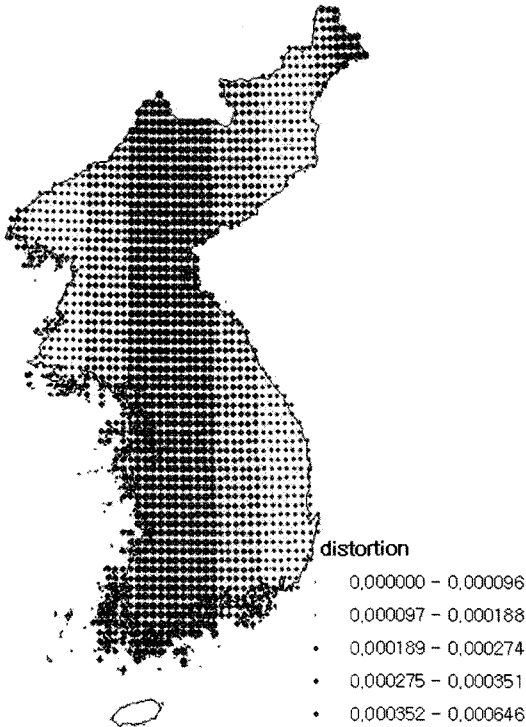


그림 6. 투영 중앙 자오선이 127°10'이고 투영 중앙 자오선의 축척계수가 0.9996일 때의 투영 왜곡 분포

결과적으로 투영 중앙 자오선이 127° 10'일 때 최소의 누적 투영 왜곡량인 46.6659×10^{-2} 을 나타내었다. 각 도엽에서의 왜곡 발생 분포는 그림 6과 같고, 계산 결과 투영 중앙 자오선의 변화에 따른 누적 투영 왜곡량의 변화는 그림 7과 같다.

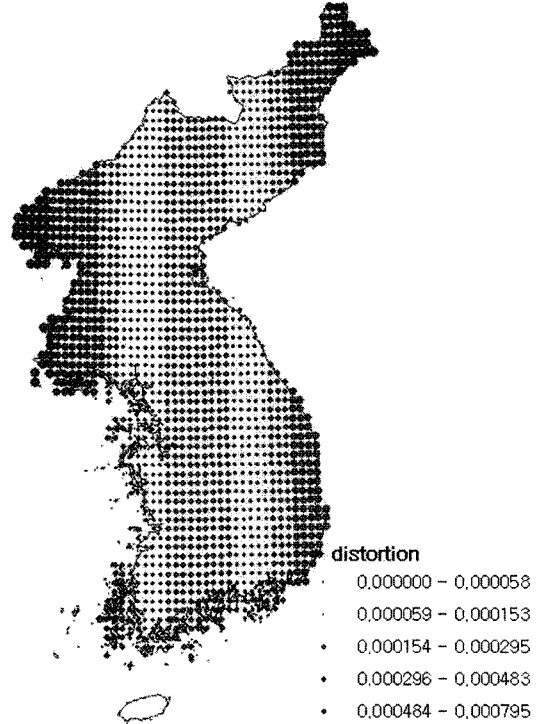


그림 8. 투영 중앙 자오선이 127°26'이고 투영 중앙 자오선의 축척계수가 0.9991 일 때의 투영 왜곡 분포

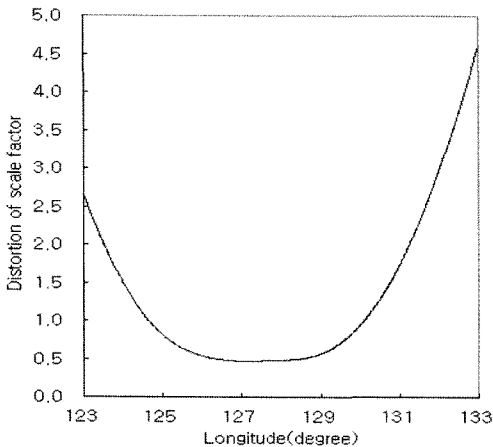


그림 7. 투영 중앙 자오선이 127°10'이고 투영 중앙 자오선의 축척계수가 0.9996일 때의 누적 투영 왜곡량 변화

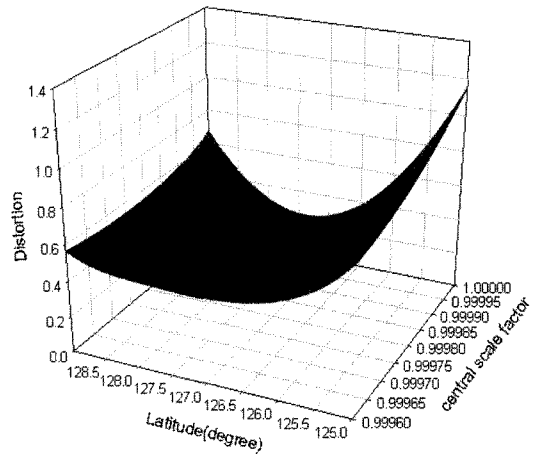


그림 9. 투영 중앙 자오선과 축척계수의 변화에 따른 누적 투영 왜곡량 변화

표 1. UTM-K와 4가지 경우의 비교

	투영 중앙 자오선	투영 중앙 자오선의 축척계수	누적 투영 왜곡량
UTM-K	127° 30'	0.99960	47.0837×10 ⁻²
경우 1	127° 23'	1.00000	25.7711×10 ⁻²
경우 2	127° 30'	0.99991	21.0924×10 ⁻²
경우 3	127° 10'	0.99960	46.6659×10 ⁻²
경우 4	127° 26'	0.99991	21.0495×10 ⁻²

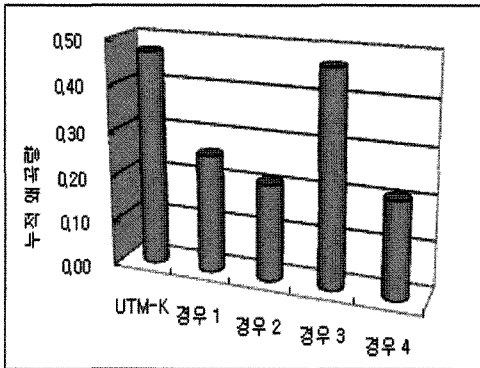


그림 10. UTM-K와 4가지 경우의 비교

경우 4는 가장 적은 누적 투영 왜곡량을 보이는 투영 중앙 자오선과 이때의 투영 중앙 자오선의 축척계수를 탐색하는 것이었다. 이를 위해 투영 중앙 자오선의 탐색간격을 1', 투영 중앙 자오선의 축척계수 탐색간격을 0.00001로 설정하여 계산을 수행하였다. 계산결과 최적의 중앙 자오선은 127° 26', 이때의 투영 중앙 자오선의 축척계수는 0.99991, 그리고 투영 왜곡의 값은 21.0495×10⁻²로 나타났다. 그림 8은 위의 최적 중앙 자오선 및 축척계수를 적용할 때 각각의 도엽에서 발생하는 투영 왜곡 분포를 나타낸 것이며 그림 9는 투영 중앙 자오선의 변화 및 축척계수 변화에 따른 누적 투영 왜곡량의 변화 형상을 보여준다.

현재 고시된 UTM-K를 기준으로 계산된 누적 투영 왜곡량과 본 연구에서 설정한 4가지의 경우를 비교하면 표 1 및 그림 10과 같고, 표 및 그림에서 보는 바와 같이 현행 UTM-K의 경우 47.0837×10⁻²의 누적 투영 왜곡량을 보였다. 단순히 왜곡 수치만 비교한다면 UTM-K 기준을 한반도 전체에 적용 하였을 경우에 가장 많은 왜곡이 발생하는 것으로 나타났다.

표 2. 누적 투영 왜곡량 비교

	남한 지역	한반도 전역
UTM-K	23.744×10 ⁻²	47.0837×10 ⁻²
경우 1	6.6873×10 ⁻²	25.7711×10 ⁻²
경우 2	5.5296×10 ⁻²	21.0924×10 ⁻²
경우 3	20.0393×10 ⁻²	46.6659×10 ⁻²
경우 4	5.1435×10 ⁻²	21.0495×10 ⁻²

4. 비 교

이미 남한 지역을 대상으로 수행되었던 UTM-K 도입에 따른 지도 투영 왜곡 분석결과와 본 연구에서 수행한 한반도 전역에 적용할 최적의 투영 중앙 자오선 및 축척계수 결정에 대한 연구의 누적 투영 왜곡량을 비교해 보면 다음의 표 2와 같다. 표에서 보여주는 바와 같이 누적 투영 왜곡량은 남한 지역에 비하여 한반도 전역에 적용했을 경우 약 2.3~4.1배 정도 증가하였음을 알 수 있으며 각각의 경우에 대한 결과는 경우 4가 가장 작은 누적 투영 왜곡량을 보이는 반면에, UTM-K 기준을 적용한 경우를 제외하면 경우 3에서 가장 큰 누적 투영 왜곡량이 발생함을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 통일 시대를 대비하여 한반도 전역에 적용 가능한 단일 좌표계를 설정하기 위해 최적의 투영 중심 자오선과 축척계수의 조합을 찾고자 하였다. 이를 위하여 1/25,000 도엽을 기준으로 제주도 및 울릉도 그리고 육지와 멀리 떨어진 도서 지역을 제외한 한반도 전역에 대하여 기준에 도입된 UTM-K의 투영 중앙 자오선과 이때의 축척계수에 4가지 경우를 상정하여 변화를 주면서 각각에 대해 투영 왜곡 정도를 분석하였다. 또한 기준에 남한 지역을 대상으로 수행되었던 연구 결과와 한반도 전

역을 대상으로 한 본 연구의 누적 투영 왜곡량 검증 결과를 비교해 보았다.

각각의 경우에 대한 기존 연구 및 본 연구 결과를 분석해 보면, 경우 3에서 동일하게 가장 큰 누적 투영 왜곡량이 발생한 반면에 경우 4에서는 가장 작은 누적 투영 왜곡량이 발생하였음을 알 수 있었다. 다음으로 경우 2와 경우 1의 순서로 누적 투영 왜곡량이 증가한 것을 확인할 수 있었다. 각각의 경우에 대한 결과는 다음과 정리할 수 있다.

첫째, 중심 자오선의 축척계수가 1이고, 자오선(경도) 탐색 간격을 1'으로 했을 때 최소의 투영 왜곡이 발생하는 투영 중심의 자오선은 127°23'이었으며, 이때의 누적 투영 왜곡량은 25.7711×10^{-2} 이었다.

둘째, 투영 중앙 자오선을 127°30'으로 설정하고 축척계수의 탐색 간격을 0.00001로 설정했을 때 최소의 투영 왜곡이 발생하는 투영 중심의 축척계수는 0.99991이었으며 누적 투영 왜곡량은 21.0924×10^{-2} 이었다.

셋째, 투영 중앙 자오선의 축척계수를 0.9996로 가정했을 경우, 투영 중앙 자오선이 127° 10'일 때 최소의 투영 왜곡이 발생하는데 누적 투영 왜곡량은 46.659×10^{-2} 이었다.

넷째, 한반도 전역을 하나의 좌표계로 표현하고자 할 때, 투영 중심 자오선을 127° 26'로 설정하고, 이때의 투영 중심 자오선의 축척계수를 0.99991로 할 경우 가장 작은 투영 왜곡이 발생하며 이때의 누적 투영 왜곡량은 21.0495×10^{-2} 이었다.

이상의 결과에서 논의된 것과 같이 UTM-K의 투영 중앙 자오선과 중앙 자오선에서의 축척계수를 어떻게 조합하는가에 따라 전 국토에 대한 누적 투영 왜곡량은 큰 차

이가 발생함을 알 수 있었다. 현행 UTM-K에서 정의한 기준을 적용 했을 경우 지도 투영으로 인한 누적 투영 왜곡량은 47.0837×10^{-2} 이 발생하였다. 반면에 투영 중앙 자오선이 127° 26'이고, 이때의 축척계수가 0.99991로 설정했을 경우 누적 투영 왜곡량은 21.0495×10^{-2} 으로 가장 작게 발생함을 알 수 있었다. 따라서, 이와같은 좌표체계를 적용한다면 현재 UTM-K의 좌표체계에서의 축척계수로 인해 요청되는 거리 보정의 양을 평균 50% 이하로 줄일 수 있게 된다. 이상과 같은 연구 결과를 기초로 통일 시대를 대비하여 한반도 전역에 적용할 최적의 기준 지도 투영법의 결정이 필요함을 제안한다.

참고문헌

- 국토지리정보원 (2005), 기본지리정보 묘화기반 표준연구.
송영선, 허준, 손홍규, 김우선 (2006), UTM-K 도입에 따른 지도 투영왜곡 분석, 한국측량학회지, 제24권, 제4호, pp. 313-318.
이영진, 조규진, 김원익 (1996), 한국측지좌표계의 재정립에 대한 연구, 한국측지학회지, 제14권, 제3호, pp. 141-150.
이영진, 차득기, 김상연 (1999), GRS80타원체로의 지도변환과 좌표변화량 분석, 한국측량학회지, 제17권, 제3호, pp. 265-272.
이용창, 강준목 (1998), UTM투영에 의한 Bessel과 WGS84 타원체간의 2차원 측지좌표변환 연구, 한국측지학회지, 제16권, 제2호, pp. 149-158.
조규진 (1996), TM투영에서의 좌표변환에 관한 연구, 한국측지학회지, 제14권, 제2호, pp. 119-126.
전재홍, 조규진 (1998), 지도투영과 투영왜곡에 관한 연구, 한국측량학회지, 제16권, 제2호, pp. 327-335.
최운수, 박홍기, 이호남 (2006), 남북한 측량제도 및 지리정보 통합방안 연구, 한국측량학회지, 제24권, 제2호, pp. 193-200.
Blachut, T. J., C. Adam, H. S. Jouko (1979), *Urban Surveying and Mapping*, Springer-Verag Heidelberg Berlin Inc.
Bomford, A. G. (1962), *Transverse Mercator Arc-to-Chord and Finite Distance Scale Factor Formulae*, Empire Survey Review.

(접수일 2007. 1. 10, 심사일 2007. 1. 16, 심사완료일 2007. 2. 13)

