

# UTM-K 도입에 따른 지도 투영왜곡 분석

## Analysis of Map Projection Distortion for UTM-K

송영선<sup>1)</sup> · 허 준<sup>2)</sup> · 손홍규<sup>3)</sup> · 김우선<sup>4)</sup>

Song, Yeong-Sun · Heo, Joon · Sohn, Hong-Gyoo · Kim, Woo-Sun

### Abstract

Recently, the single plane coordinate system which has one origin is required to create and manage continuous geographic framework data of entire Korean peninsula. For this, UTM-K (Univercial Transverse Mercator-K) was established in 2005. In this paper, the level of distortion was analyzed with respect to the central meridian and scale factor of UTM-K. The latitude and longitude values of the center point of 1/25000 scale digital maps were used for calculating the scale factor which was created by projection and the scale factor was used for index that presents the degree of distortion. As a result, accumulated distortion of scale factor by UTM-K map projection showed about  $23.744 \times 10^{-2}$ . On the other hand, the minimum distortion which was about  $5.1435 \times 10^{-2}$  occurred when central meridian is  $127^{\circ} 42'$  and scale factor of central meridian was 0.99994 respectively.

Keywords : UTM-K, Central meridian, Scale factor, Framework data, Accumulated distortion

### 초 록

전국 규모의 연속적인 자료구조를 가진 기본지리정보의 생산 및 구축을 효율적으로 수행하기 위해서는 하나의 원점을 가진 좌표계의 도입이 요구된다. 이를 위해서 우리나라는 한반도 전역을 포괄하는 한국형 UTM 좌표계(UTM-K)를 도입하였으며, 본 연구에서는 UTM-K 좌표계에서 설정된 투영중앙 자오선 및 투영중앙 자오선의 축척계수에 대한 왜곡정도를 분석하였다. 투영왜곡의 분석을 위해서 2005년 말까지 제작된 1/25,000 수치지도들의 중심 경위도 좌표를 이용하여 투영으로 인한 축척계수를 계산하고, 이를 왜곡정도의 지표로 사용하였다. 그 결과, 현행 UTM-K에서 정의한 것을 근거로 했을 경우 지도투영으로 인한 축척계수의 누적 왜곡량은  $23.744 \times 10^{-2}$ 로 나타났다. 반면에 투영중앙 자오선이  $127^{\circ} 42'$ 이고, 이때의 축척계수가 0.99994로 설정했을 경우  $5.1435 \times 10^{-2}$ 의 최소 누적 왜곡량을 보였다.

핵심어 : 한국형 UTM 좌표계, 중앙자오선, 축척계수, 기본지리정보, 누적왜곡량

## 1. 서 론

GIS를 기반으로 하는 첨단 산업의 활성화에 따라서 GPS, GIS, LBS, 그리고 텔레메틱스 등의 활용에 적합한 전국단위의 연속된 단일 데이터베이스 구축을 위한 좌표계의 도입이 요구되고 있다. 이러한 배경 하에서 전국규모의 연속적인 자료구조를 가진 기본지리정보의 생산·구축에 활용하기 위하여 “기본지리정보구축을 위한 단일평

면직각좌표계”를 측량법 시행령 제2조의5 제2항의 규정 에 의거 고시하였다. 기본지리정보는 여러 지리정보를 통합 및 활용하기 위해서 위치적 혹은 내용적 참조체계를 제공하거나 통합모델을 구현하기 위한 기본 틀이 되는 지리정보로서 국가지리정보체계의 구축 및 활용 등에 관한 법률에 의거하여 구축되는 행정구역, 교통, 해양 및 수자원(수계를 포함), 지적, 측량기준점, 지형, 시설물(국가 및 시·도지정문화재를 포함), 위성영상 및 항공사진, 기타

1) 연결저자 · 정회원 · KT SI 사업본부(E-mail:point196@kt.co.kr)

2) 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수(E-mail:jheo@yonsei.ac.kr)

3) 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 부교수(E-mail:sohn1@yonsei.ac.kr)

4) 정회원 · 연세대학교 사회환경시스템공학부 석사과정(E-mail:wskim@yonsei.ac.kr)

위원회의 심의를 거쳐 관계중앙행정기관의 장이 선정하는 지리정보이다(이재기, 2005). 최윤수(2006) 등은 좌표계 통일을 위한 또 다른 측면으로서 향후 남북한 통일을 고려하기 위해서 남북한 현재 측량제도 및 지리정보의 효율적인 통합을 위한 연구를 발표하였고, 이영진(1999) 등은 세계좌표계의 도입에 따라 벡셀타원체에서 GRS80타원체로의 변환으로 인해 발생하는 두 체계간의 도엽체계에 대한 특성과 경향을 파악하고, 좌표변화량에 관한 연구를 수행하였다.

고시된 단일평면직각좌표계(UTM-K, 한국형 UTM 좌표계)는 한반도 전역을 대상으로 하며, 전국단위의 연속적인 기본지리정보의 위치기준을 통일함으로써 분야별 기본지리정보와 여러 GIS 자료들을 연계·통합할 수 있다. 이 좌표계의 원점 경도는 동경 127° 30′ 00.000″, 위도는 북위 38° 00′ 00.000″, 투영법은 TM(Transverse Mercator)로 하고 축척계수는 0.9996이며, 투영원점의 수치는 기존 직각좌표와의 혼란방지과 차별화하기 위해 투영원점의 수치를 X(남북방향) 방향으로 2,000,000m, Y(동서방향) 방향으로 1,000,000m로 결정되었다(최윤수 등, 2004).

TM 혹은 UTM(Universal Transverse Mercator) 투영법은 등각투영으로서 회전타원체의 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 왜곡정도를 투영으로 인한 지도 왜곡의 지표로서 활용할 수 있다(전재홍 등, 1998).

본 연구에서는 UTM-K 도입에 따라 결정된 단일직각좌표계의 투영중앙 자오선과 투영중앙 자오선의 축척계수의 타당성을 2005년 말까지 제작된 1/25,000 수치지도를 기반으로 하여 검증하고자 하였으며, 이를 위해서 먼저, UTM-K에서 제시하고 있는 내용들을 근거로 발생하는 투영 축척계수의 왜곡을 계산하였다. 또한, 현재의 상황 및 UTM-K의 내용을 고려하여 3가지의 경우(경우 1, 경우 2, 경우 3)에 대해서 자료처리를 수행하고 결과를 도출하였으며, 마지막으로 경우 4에서는 가장 적은 투영 축척계수 누적 왜곡을 보이는 자오선과 이때의 축척계수를 제시하였다.

(경우 1) : 투영중앙 자오선의 축척계수를 1로 설정했을 경우 최적 투영중앙 자오선은 어디인가?

(경우 2) : 투영중앙 자오선의 축척계수를 0.9996(UTM-K의 투영중앙 자오선의 축척계수)으로 설정했을 경우 최적 투영중앙 자오선은 어디인가?

(경우 3) : 투영중앙 자오선을 127° 30′(UTM-K의 투영중앙 자오선)으로 설정했을 경우 최적의 투영중앙 자오선의 축척계수는 얼마인가?

(경우 4) : 최소의 투영 축척계수 왜곡을 가지는 투영중앙 자오선과 이때의 투영중앙 자오선의 축척계수는 얼마인가?

## 2. TM 투영법에서 축척계수의 계산

지도투영에서 축척계수는 타원체상에서의 거리( $ds$ )와 투영면에서의 거리( $dS$ )의 비율인 아래 식 (1)로 표현할 수 있다. 투영방법에 따라서 투영중앙 자오선으로부터 거리에 의해 축척계수는 다양하게 변한다(Blachut 등, 1979).

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

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

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

여기서,  $l$ 은 투영 중앙 자오선( $\lambda_0$ )과 축척 계수를 구하고자 하는 자오선( $\lambda$ )과의 차이를 의미하며, 식 (1)에서 계수  $a_8, a_{10}$ 은 위도( $\phi$ )의 함수로서 식 (3)과 같다.

$$a_8 = \frac{1}{2} \cos^2 \phi (1 + e'^2 \cos^2 \phi) \quad (3)$$

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

식 (3)에서  $e'^2$ 은 제 2이심률의 제곱이다. 타원체가 변하게 되면  $e'^2$ 값이 바뀌므로 전체적으로 축척계수도 변하게 된다. 임의의 TM 좌표( $x, y$ )로부터 축척계수의 계산은 아래의 식 (4)로 계산할 수 있다.

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

식 (4)에서 계수인  $b_8, b_{10}$ 은 meridional arc의 길이에 대응하는 위도( $\phi_1$ )에 관한 함수로서 아래 식 (5)와 같다.

$$b_8 = \frac{1}{2}R_1^{-2} = \frac{1}{2}e^{-2}(1+e'^2\cos^2\phi_1)^2 \quad (5)$$

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

만약, 축척계수를 계산하고자 하는 임의의 경도( $\lambda$ )가 투영중앙 자오선으로부터  $\pm 3^\circ 30'$  이내에 존재한다면 식 (5)에서 세 번째 항까지만 이용하더라도 0.01ppm이하의 오차를 가지는 축척계수( $m$ )을 계산할 수 있다.

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

$$m = m_0(1 + b_8y^2 + b_{10}y^4 + \dots) \quad (6)$$

### 3. 자료처리 및 결과

본 연구에서는 1/25,000 수치지도들의 중심경위도 좌표를 기준으로 축척계수를 계산하고, 축척계수의 왜곡을 산정하였다. 수치지도는 2005년 말 기준으로 제작된 총 797장의 도엽중에서 육지에서 비교적 멀리 떨어진 28도엽의 섬 지역(홍도, 대흑산, 황도, 어청, 울릉, 중청, 소흑산, 도두, 제주, 함덕, 금령, 우도, 한림, 귀일, 오라, 와산, 송당, 신양, 고산, 저지, 회수, 한라산, 위미, 표선, 무릉,

모슬포, 강정, 서귀)을 제외한 총 769도엽을 활용하였다.

그림 1은 본 연구에서 사용된 1/25,000 수치지도의 중심 경위도 좌표를 도엽코드를 근거로 계산한 후 도시한 것이다. 아래 그림 1에서 ▲은 축척계수의 왜곡을 계산하기 위해서 사용된 1/25,000 수치지도 도엽들 각각의 중심 좌표이고, ✓은 육지에서부터 비교적 떨어져 있다고 판단되어 축척계수의 누적 왜곡량 산정에서 제외된 도엽들의 중심좌표이다. 추출된 도엽들의 중심경위도로부터 축척 왜곡을 계산할 때, 4가지의 경우 모두 세계좌표계에서 사용될 GRS80 타원체를 근거로 하였다.

먼저, 경우 1로서 투영중앙 자오선의 축척계수를 1로 가정했을 때 최적의 투영중앙 자오선을 탐색하기 위해서 자오선의 범위는  $126^\circ$ 에서  $129^\circ$ 까지 한정하고 투영중앙 자오선의 변화량은  $1'$  간격으로 설정한 후 축척계수의 누적 왜곡량을 산정하였다. 그림 2는 투영중앙 자오선의 변화에 따른 총 769도엽 축척계수의 누적 왜곡량의 변화를 나타낸 것으로서  $127^\circ 42'$ 에서 가장 낮은  $6.6874 \times 10^{-2}$ 의 축척계수의 누적 왜곡량을 보였다. 그림 3은 투영중앙 자오선을  $127^\circ 42'$ , 투영중앙자오선의 축척계수를 1로 설정했을 때 각각의 도엽에서 발생하는 투영왜곡을 나타낸 그림이다. 그림 3에서 원의 크기는 왜곡량의 크기와 비례하며, 그림 5, 7, 9도 동일하며, 그림에서 원의 크기가 작은 것들이 많이 분포하는 것이 이상적인 것으로 간주할 수 있다.

두 번째로, UTM-K에서 정의한 것을 근거로 투영 중앙 자오선을  $127^\circ 30'$ 을 기준으로 했을 때 투영중심 자오선의 축척계수의 간격을 0.00001로 하여 누적 축척계수 왜곡량을 계산하였다. 그 결과는 그림 4에서의 변화특성을 보였고 투영중앙자오선의 축척계수가 0.99994일 때 가장 낮은  $5.5296 \times 10^{-2}$  누적 축척계수의 왜곡량을 보였다. 그림 5는 이때의 각각의 도엽에서 발생하는 투영왜곡을 나타낸 그림이다.

세 번째로 UTM-K에서 정의한 대로 투영중앙 자오선의 축척계수를 0.9996으로 설정했을 경우 최적의 투영중앙 자오선을 찾기 위해서 탐색간격을  $1'$ 으로 투영중앙 자오선의 탐색범위를  $123^\circ$ 에서  $133^\circ$ 까지 축척계수의 누적 왜곡량을 산정하였다. 계산 결과 투영중앙 자오선의 변화에 따른 축척계수의 누적 왜곡량의 변화는 그림 6과 같고, 투영중앙 자오선이  $128^\circ 56'$ 일 때 최소의 축척계수 누적 왜곡량인  $20.0393 \times 10^{-2}$ 을 나타내었다. 이때의 각 도엽에서의 왜곡발생 분포는 그림 7과 같다.

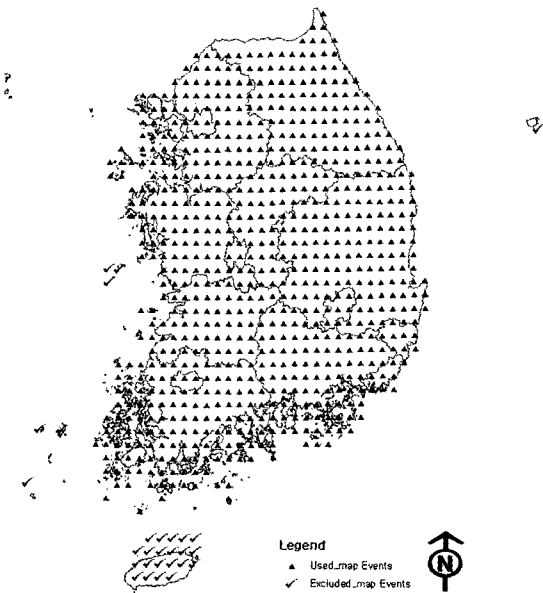


그림 1. 1/25,000 수치지도의 중심 경위도

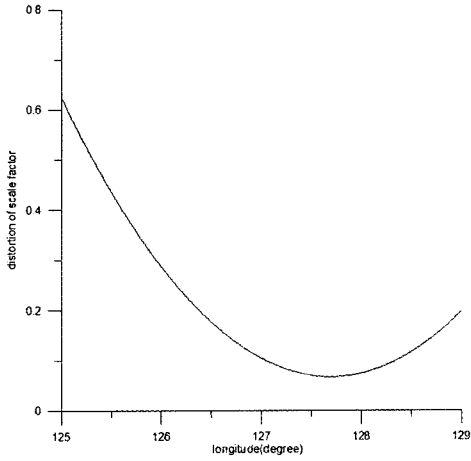


그림 2. 투영중앙 자오선의 축척 계수가 1일 때 투영중앙 자오선의 변화에 따른 축척계수의 누적 왜곡량 변화

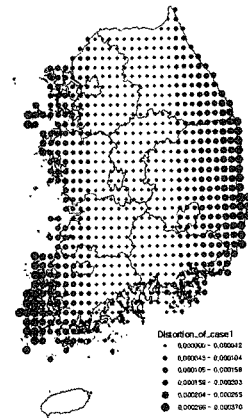


그림 3. 투영중앙 자오선이 127°42'이고 투영중앙자오선의 축척계수가 1일 때의 축척계수 왜곡 분포

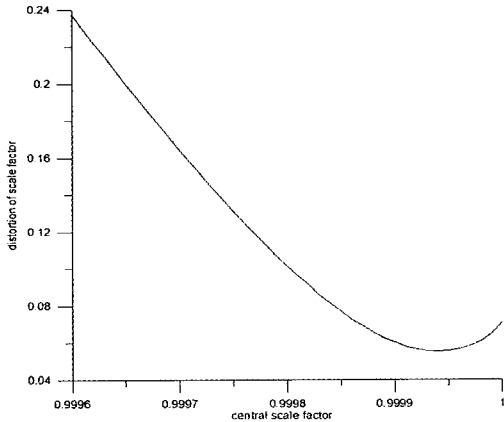


그림 4. 투영중앙 자오선이 127°30'일 때 투영 중앙 자오선의 축척변화에 따른 축척계수의 누적 왜곡량 변화

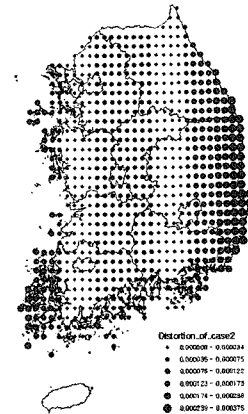


그림 5. 투영중앙 자오선이 127°30'이고 투영중앙 자오선의 축척계수가 0.9994일 때의 축척계수 왜곡 분포

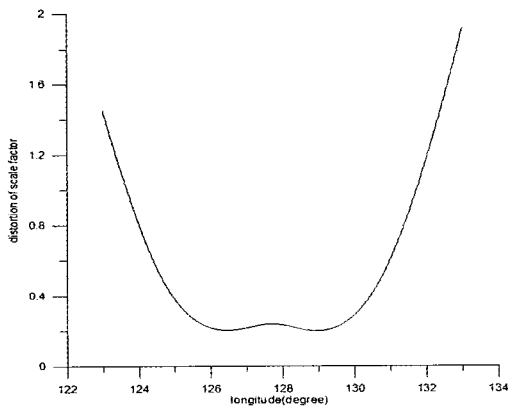


그림 6. 투영중앙 자오선의 축척계수를 0.9996일 때 투영중앙 자오선의 변화에 따른 축척계수의 누적 왜곡량 변화

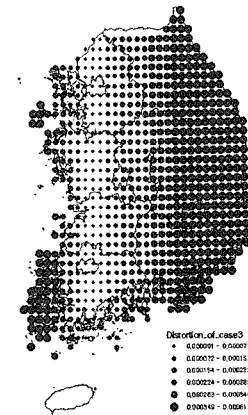


그림 7. 투영중앙 자오선이 128°56'이고 축척계수가 0.9996일 때의 축척계수 왜곡 분포

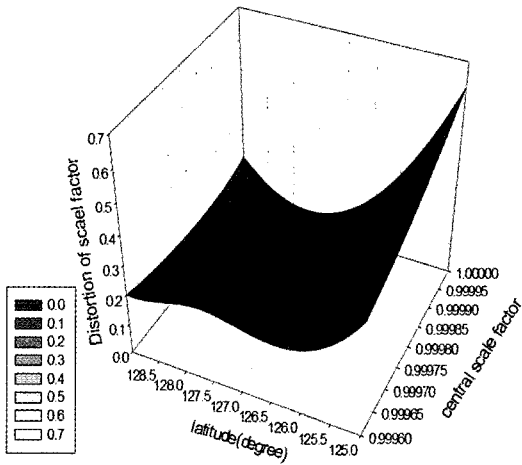


그림 8. 투영중앙 자오선과 투영 중앙자오선의 축척계수에 따른 축척계수의 누적 왜곡변화

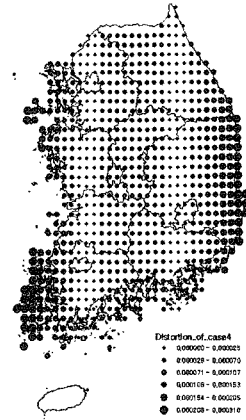


그림 9. 투영중앙 자오선과 투영 중앙자오선의 축척계수에 따른 축척계수의 누적 왜곡분포

표 1. UTM-K와 4가지 경우의 비교

	투영중앙 자오선	투영중앙 자오선의 축척계수	축척계수 누적 왜곡량
UTM-K	127° 30'	0.99960	$23.744 \times 10^{-2}$
경우 1	127° 42'	1.00000	$6.6873 \times 10^{-2}$
경우 2	127° 30'	0.99994	$5.5296 \times 10^{-2}$
경우 3	128° 56'	0.99960	$20.0393 \times 10^{-2}$
경우 4	127° 42'	0.99994	$5.1435 \times 10^{-2}$

네 번째로, 가장 적은 축척계수의 누적 왜곡량을 보이는 투영중앙 자오선과 이때의 투영중앙 자오선의 축척계수를 탐색하기 위해서 투영중앙 자오선의 탐색간격을 1', 투영중앙 자오선의 축척계수 탐색간격을 0.00001로 설정하여 계산을 수행하였다. 계산 결과 투영중앙 자오선의 변화 및 투영중앙 자오선의 축척계수 변화에 따른 축척계수의 누적 왜곡량의 변화형상은 그림 8과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 투영 중앙자오선이 127° 42'이고 이때의 투영중앙 자오선의 축척계수가 0.99994일때 축척계수의 최소 누적 왜곡량( $5.1435 \times 10^{-2}$ )을 보였다. 그림 9는 계산 결과를 근거로 각각의 도엽에서 발생하는 축척계수의 왜곡량을 나타낸 것이다.

현재 고시된 UTM-K를 기준으로 계산된 축척계수 누적 왜곡량과 본 연구의 4가지 경우를 비교하면 표 1 및 그림 10과 같다. 표 1 및 그림 10에서 보는 바와 같이 현행 UTM-K의 경우  $23.744 \times 10^{-2}$ 의 축척계수 누적 왜곡량을 보였으며, 외부 환경요소(UTM의 원 축척계수, 현행 우리나라의 평면직각좌표의 원점, 분단위 자릿수 표현

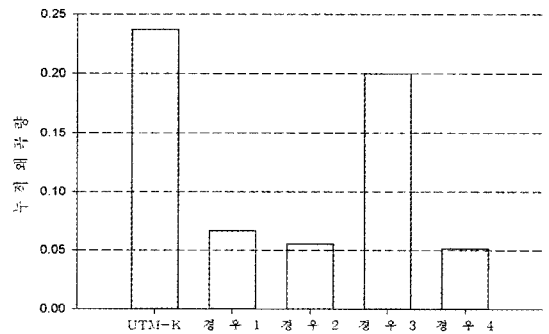


그림 10. UTM-K와 4가지 경우의 비교

등)를 전혀 고려하지 않고 단순히 왜곡 수치만 비교했을 경우 4가지 경우 중에서 가장 많은 왜곡이 발생하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 우리나라가 하나의 단일좌표계를 유지

하기 위해서 도입된 UTM-K의 투영중앙 자오선과 이때의 투영중심자오선의 축척계수에 대한 검증은 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 중심자오선의 축척계수가 1이고, 자오선(경도) 탐색간격을 1'으로 했을 때 최소의 축척계수의 누적 왜곡량을 가지는 투영중심의 자오선은 127° 42'이었으며, 이때의 축척계수 누적왜곡은  $6.6873 \times 10^{-2}$ 를 보였다.

둘째, UTM-K에서 제시한 바와 같이 투영중앙 자오선을 127°30'으로 설정하고 축척계수의 탐색간격을 0.00001로 설정했을 때 최소의 축척왜곡을 가지는 투영중심의 축척계수는  $6.6873 \times 10^{-2}$  이었다.

셋째, 투영중앙 자오선의 축척계수를 0.9996로 가정했을 경우, 투영중앙 자오선이 128° 56'일 때 최소의 누적 축척계수 왜곡량  $20.0393 \times 10^{-2}$ 를 보였다.

넷째, 우리나라를 하나의 좌표계로 표현하고자 할 때, 투영중심자오선을 127° 42'로 설정하고, 이때의 투영중심자오선의 축척계수를 0.99994로 할 경우 가장 적은 축척계수의 왜곡인  $5.1435 \times 10^{-2}$ 를 보였다.

본 연구에서는 1/25,000 도엽을 기준으로 남한지역에 한정하여 UTM-K 도입에 따른 축척 계수의 왜곡정도를 분석하였다. 현재 구축되어 있는 1/1,000 혹은 1/5,000 축척의 수치지도 중심좌표를 사용할 경우 누적 투영축척 왜

곡량의 절대적인 값에는 변화가 있으나 각각의 경우에 대한 상대적인 값의 변화에는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 그러나 단순한 투영축척의 누적 왜곡량 이외에도 보다 정밀한 투영이 요구되는 도시지역에서 최소의 왜곡을 발생하도록 가중치를 고려하거나 통일시대를 고려하여 한반도 전체지역에 대한 분석이 추후에 추가되어야 할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 이영진, 차득기, 김상연 (1999), GRS80타원체로의 지도변환과 좌표변화량 분석, 한국측량학회지, 제17권, 제3호, pp. 265-272.
- 이재기 (2005), 기본지리정보 묘화기반 표준연구, 11-1500714-000030-01, 국토지리정보원, pp. 70-73.
- 전재홍, 조규전 (1998), 지도투영과 투영왜곡에 관한 연구, 한국측량학회지, 제 16권, 제 2호, pp. 327-335.
- 최윤수, 김건수, 박흥기 (2004), 우리나라 기본지리정보 좌표계 (UTM-K) 도입에 관한 연구, 한국측량학회지, 제22권, 제4호, pp. 313-321.
- 최윤수, 박흥기, 이호남 (2006), 남북한 측량제도 및 지리정보 통합방안 연구, 한국측량학회지, 제 24권, 제 2호, pp. 193-200.
- Blachut, T. J., Adam, C., and Jouko, H. S. (1979), Urban Surveying and Mapping, Springer-Velag New York Inc., New York, pp. 27-32.

(접수일 2006. 8. 22, 심사일 2006. 10. 10, 심사완료일 2006. 10. 15)