

TM 및 다면체 投影法의 比較考察

A Study on the Comparision Between Map Projection Methods of TM and Polyhedric

박 외 근 *
Park wei - keun

要 旨

지형 및 공간에 관한 많은 양의 정보들은 축척 또는 활용목적 등에 따라 분류되어 다양한 형태의 지도로 만들어지고 있다. 그러나 단일 투영법을 근거로 생산되는 지도가 축척 및 활용목적 등의 다양한 요구조건을 만족시키는 데에는 적합하다고 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 중·대 축척인 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000, 1/1,000 지도를 제작하는데 활용되고 있는 기존의 TM 투영법에 대해서 다면체 투영법과 비교·분석하여 다면체 투영법의 활용가능성을 확인해 보고자 하였다. 연구의 수행 방식은 타원체면에서 자오선 호장, 평행권 호장 그리고 타원체 면적을 계산하고, 이들 값을 TM과 다면체투영법을 활용하여 직교 평면에 투영하고 타원체 및 투영평면에서 투영 왜곡량을 산출하였다. 또한 지도의 축척별 오차의 허용범위를 규정하고, 두 가지의 투영법에 따른 왜곡량을 지도의 축척별 오차의 허용범위를 결정하였다

ABSTRACT

Much information on the terrain and the space has been depicted to maps of various form according to the map scale and the application. In Korea the base map system was made by only one projection method(Transvers Mercator projection). This is the reason to study this paper, because I think singular map projection method can't satisfy the various map scales and application. In this paper Meridian Arc Length, Parallel Arc Length of ellipsoid and the area of ellipsoidal surface — the length, the width and area of the map scale 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000, 1/1,000, will be calculated and transformed to the plane length and area by Transvers Mercator projection and Polyhedral projection. The projection distortion which came into existence on this occasion was compared and analyzed by this Paper. And Properties on TM and Polyhedral projection were understood. Lastly this paper intended to present suitable map projections according to the map scales and the purpose of use.

* 포항 1 대학 토목과 교수

1. 서 론

지도투영이란 곡면인 지구표면을 투영평면 즉 지도상에 표현하는 작업을 말하고 그 방법을 투영법이라 한다. 한편 지도의 투영이란 곡면인 지구 타원체상의 경·위선을 평면인 지도상에 어떻게 그대로 표현하는가 하는 문제로 귀결된다. 지도투영법은 투영하는 과정에 있어서 거리, 면적 그리고 각도를 정확히 유지하도록 하여야 하나, 엄밀하게 세 가지 요소를 동시에 만족시키는 것은 불가능한 일이며, 이 세 가지 요소 중에서는 어느 것을 정확하게 유지시키는가에 따라서 등거리투영법, 등적투영법 그리고 등각투영법으로 구분된다. 그리고 투영면에 따른 투영법은 투영면을 평면, 원통, 원추 등을 쓰는가에 따라서 방위도법, 원통도법, 그리고 원추도법 등으로 구분된다.

근래 들어서 여러 분야에서 지도의 활용도가 다양해지고 있는 상황에서 본 연구에서는 원통, 원추도법에 근거한 TM 투영법과 다면체도법을 선택하여 투영계산을 실시한 후 투영의 왜곡량을 파악하고 투영법의 특성과 활용목적을 확인하기 위한 연구를 수행하였다. 연구의 수행에서 타원체는 베셀타원체(Bessel ellipsoid)를 기준으로 국가기본도 1:50,000, 1:25,000, 1/5,000 축척의 지형도와 국가지리정보체계(NGIS) 사업에서 수치지도 제작 중 가장 대축척 지도에 해당하는 1/1,000 수치지도 등을 선택하여 이들 지도의 중·횡선에 해당하는 타원체면의 자오선 호장, 평행권 호장 및 타원체 면적을 계산하고 타원체 및 투영평면과의 관계에서 투영 왜곡량을 파악하였다. 또한 지도제작에 있어서 위치오차 및 인식오차에 의하여 계산되는 지도제작의 허용오차 범위를 규정하고 투영 왜곡량을 각 축척별 지도의 허용오차 범위와 비교·분석하여 TM 투영법의 투영왜곡에 대한 검증과 다면체 투영법의 활용가능성을 확인해 보고자 하였다.

2. 타원체 요소의 계산

TM 및 다면체 투영에 의하여 계산된 투영평면 및 타원체 요소와의 관계에서 투영 왜곡량을 계산하기 위

하여 우선적으로 타원체면에서 자오선 호장(Meridian Arc lengths), 평행권 호장(length of a Parallel arc) 및 면적(The Area on the surface of an ellipsoid) 등을 계산하였다.

2.1 자오선 및 평행권 호장의 계산

그림 2.1의 타원체 요소에서 타원체의 자오선 호장 계산은 $ds = M d\phi$ 식으로 정의 될 수 있으며, 위도 ϕ_1, ϕ_2 를 갖는 두 점 사이의 자오선 호장 계산은 식 (2.1)과 같은 적분식으로 표현된다.

$$s = \int_{\phi_1}^{\phi_2} M d\phi = a(1-e^2) \int_{\phi_1}^{\phi_2} \frac{d\phi}{W^3} \quad (2.1)$$

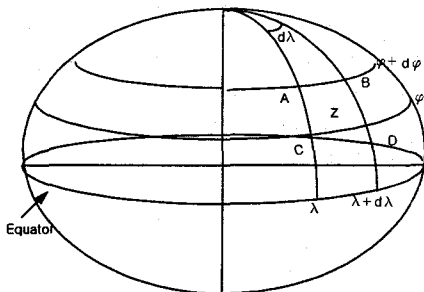


그림 2.1 타원체 요소

식에서 M : 자오선곡률반경, ϕ : 위도, e : 타원체의 이심률, $w = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}$ 이며, $\frac{1}{W^3}$ 식을 Maclaurin 전개를 통하여 하여 A, B, C, D, E, F 등의 계수를 구하고 그 값은 식 (2.2)과 같다.¹⁾ 또한 타원체상의 자오선 호장 계산한 식 (2.3)에서 $\phi_m = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2}$, $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ 을 의미한다.

$$A = 1 + \frac{3}{4} e^2 + \frac{45}{64} e^4 + \frac{175}{256} e^6 + \frac{11025}{16384} e^8 + \frac{43659}{65536} e^{10} + \dots$$

$$B = \frac{3}{4} e^2 + \frac{15}{16} e^4 + \frac{525}{512} e^6 + \frac{2205}{2048} e^8 + \frac{72765}{65536} e^{10} + \dots$$

$$C = \frac{15}{64} e^4 + \frac{105}{256} e^6 + \frac{2205}{4096} e^8 + \frac{10395}{16384} e^{10} + \dots$$

$$D = \frac{35}{512} e^6 + \frac{315}{2048} e^8 + \frac{31185}{131072} e^{10} + \dots$$

$$E = \frac{315}{16384} e^8 + \frac{3465}{65536} e^{10} + \dots$$

$$F = \frac{693}{131072} e^{10} + \dots$$

(2.2)

타원체 면적을 계산하면 식 (2.6)으로 정의된다.¹⁾

$$Z = \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)b^2}{2} \left[\frac{\sin \varphi}{1 - e^2 \sin^2 \varphi} + \frac{1}{2e} \ln \frac{1 + e \sin \varphi}{1 - e \sin \varphi} \right] \Big|_{\varphi_1}^{\varphi_2} \quad (2.6)$$

$$S = a(1 - e^2) [A\Delta\phi - B \cos 2\phi_m \sin \Delta\phi + \frac{C}{2} \cos 4\phi_m \sin 2\Delta\phi - \frac{D}{3} \cos 6\phi_m \sin 3\Delta\phi + \frac{E}{4} \cos 8\phi_m \sin 4\Delta\phi - \frac{F}{5} \cos 10\phi_m \sin 5\Delta\phi + \dots] \quad (2.3)$$

한편 평행권 호장의 계산은 동일 위도에서 호의 길이 를 의미하며 그 계산은 식(2.4)로 정의된다. 식에서 N은 묘유선 곡률반경, P는 평행권 호장, Δλ는 평행 권에 있어서 경도의 차를 의미한다.

$$L = P\Delta\lambda = N \cos \phi \Delta\lambda \quad (2.4)$$

$$P = N \cos \phi$$

2.2 타원체 면적의 계산

타원체에서 면적의 계산은 자오선 호장과 평행권 호장에 의하여 계산된다. 우선적으로 그림 2.1 에서 타 원체 면적을 표현하는 각 점 A, B, C, D 로부터 AC=BD=Mdφ 그리고 CD=Ncosφdλ 로 정의 할 수 있다. 따라서 타원체 미소면적을 dZ으로 표현한다 dZ=CD·BD=MNcosφ·dφ·dλ 가 된다. 한편 타 원체 면적은 자오선에 대하여 λ₁와 λ₂ 그리고 위선 에 대하여 φ₁와 φ₂ 사이를 나타내고 있으며 이를 적 분 식으로 표현한다면 식 (2.5)와 같다.

$$Z = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_{\phi_1}^{\phi_2} MN \cos \phi \, d\phi \, d\lambda \quad (2.5)$$

식에서 경도 λ에 대하여 적분을 수행하고 다시 자오 선 곡률반경 및 묘유선 곡률반경 M, N 값을 대입하여

3. 투영이론

3.1 TM 투영법

타원체에 대하여 원통을 횡방향으로 둘러싸우고 타 원체면을 원통면에 투영한 후 원통 면을 절개하면 투영평면이 얻어지는데 이와 같은 투영법을 횡원통도 법 또는 횡멜카톨 도법(Transverse Mercator Projection) 이라고 부른다. 하나의 횡원통을 지구타원체에 둘러 씌 유을 때 원통은 하나의 자오선에 접하게 되는데 이 자 오선을 원자오선이라 하며, 자오선 방향을 X축, 자오선 과 직교하는 방향을 Y 축으로 하여 원통을 펼쳐 평면 직각좌표를 얻게 된다. 원자오선에 있어서 축척계수는 1.0000이고 Y축 방향에 따라 축척계수는 1.0000보다 커 지므로 평면상의 거리가 타원체상의 거리보다 항상 커 지게 된다. 가우스-크뤼거(Gauss-Krüger Projection) 투영법은 1912년 L. Krüger가 Gauss상사이중투영법을 개량, 발전시킨 것으로 회전타원체에서 평면으로 직접 투영하는 방식이며, 회전타원체면에서 구면으로 그리고 구면에서 평면으로 투영하는 가우스상사이중투영법 (Gauss conformal double projection)에 비하여 수식전 개가 간단하다. 타원체에서의 지리적 경위도(λ, φ)로부 터 평면직각좌표 (x, y), 계산은 식 (3.1), (3.2)과 같이 정의된다.^{2,3)}

$$\begin{aligned} x = m_0 [& B + \frac{A\lambda^2}{2} \cdot \frac{N}{\rho^2} \sin \phi \cos \phi + \frac{A\lambda^4}{24} \cdot \frac{N}{\rho^4} \sin \phi \cos^3 \phi \\ & (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{A\lambda^6}{720} \cdot \frac{N}{\rho^6} \sin \phi \cos^5 \phi \\ & (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^2\eta^2 + 445\eta^4 + 324\eta^6 \\ & - 680\eta^4t^2 + 88\eta^8 - 600\eta^6t^2 - 192\eta^8t^2) \\ & + \frac{A\lambda^8}{40320} \cdot \frac{N}{\rho^8} \sin \phi \times \cos^7 \phi (1385 - 311t^2 + 543t^4 - t^6)] \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$y = m_0 [\Delta \lambda \cdot \frac{N}{\rho} \cos \Phi + \frac{\Delta \lambda^3}{6} \cdot \frac{N}{\rho^3} \cos^3 \Phi (1 - t^2 + \eta^2) + \frac{\Delta \lambda^5}{120} \cdot \frac{N}{\rho^5} \cos^5 \Phi \times (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2 \eta^2 + 13\eta^4 + 4\eta^6 - 64\eta^4 t^2 - 24\eta^6 t^2) + \frac{\Delta \lambda^7}{5040} \cdot \frac{\cos^7 \Phi}{\rho^7} (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6)]$$

(3.2)

$H = (\Phi_2 - \Phi_1)M_m$: 도곽의 높이 (경선의 호장)

N_1, N_2 : Φ_1, Φ_2 에 대한 횡곡률반경(N)

M_m : $\Phi_m = \frac{(\Phi_2 + \Phi_1)}{2}$ 에 대한 자오선곡률반경

$$W = \sqrt{1 - e^2 (\sin^2 \varphi)}, N = \frac{a}{W}$$

$$M = \frac{a(1-e)}{W^3}, e^2 = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2}$$

여기서 각도의 단위는 도, 분, 초 그리고 $\rho = 180/\pi \cdot 3600''$ 의 정수, $t = \tan \Phi$, $\eta^2 = 1 + e^2 \cdot \cos 2\Phi$ 를 의미한다.

3.2 다면체 도법

다면체 도법은 일정한 경·위도 차이에 의한 경선과 위선을 구획하고, 그 4모서리 점을 연결한 평면을 투영 평면으로 하여 지구의 중심에 시점을 두고 중심 투영을 실시하는 방법이다. 이때 각 도엽의 외곽의 경위선은 바른 사다리꼴로 되며, 이 투영법은 엄밀하게 다윈 추 투영으로 분류된다. 지리좌표에서 평면직각좌표로의 좌표변환($\Phi, \lambda \rightarrow x, y$)은 식(3.3)과 같으며, 그 역계산($x, y \rightarrow \Phi, \lambda$)은 식(3.4)와 같다⁴⁾.

$$x = \frac{H(\Phi - \Phi_1)}{(\Phi_2 - \Phi_1)}, y = L + \frac{X(\lambda - \lambda_1)}{(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (3.3)$$

$$\Phi = \Phi_1 + \frac{(\Phi_2 - \Phi_1)y}{H} \quad (3.4)$$

$$\lambda = \lambda_1 + \frac{(x - L)(\lambda_2 - \lambda_1)}{X}$$

$$X = \frac{A(\Phi_2 - \Phi) + B(\Phi - \Phi_1)}{\Phi_2 - \Phi_1} \quad (3.5)$$

$$L = \frac{(A - B)(\Phi - \Phi_1)}{2(\Phi_2 - \Phi_1)}$$

여기서,

$$J = (\lambda_2 - \lambda_1)N_1 \cos \Phi_1,$$

$$K = (\lambda_2 - \lambda_1)N_2 \cos \Phi_2$$

4. 투영에 따르는 왜곡

넓은 지역에 대한 지도제작과 측량을 시행하는 경우에는 지구의 곡률을 고려하지 않으면 안되며, 이때 일정한 왜곡을 수반하지 않고 평면으로 표현하는 것은 불가능한 일이다.⁵⁾ 따라서 지도제작 및 측량을 실시하는 경우에는 곡률을 평면으로 표현하는 데에 필수적으로 발생하는 왜곡을 반드시 고려해야 하는 것이다. 왜곡의 주된 대상은 투영에 의하여 자오선·경선(길이), 방위각 또는 위·경선이 만드는 교각 그리고 면적의 변형 등이다. 본 연구에서는 타원체면의 임의의 좌표(φ, λ)와 이에 대응하는 지점의 좌표(φ', λ') 사이의거리와 타원체 면적이 평면상의 좌표 또는 면적으로 전개될 때에 발생하는 거리 및 면적의 왜곡, 즉 자오선의 왜곡과 평행권의 왜곡 및 타원체면과 투영평면과의 관계를 고려하였다.

4.1 거리의 왜곡

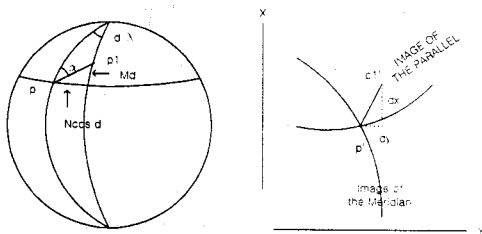
타원체 상의 점 (Φ, λ)가 투영평면 위에서 (X, Y)에 대응하는 경우 함수식은 $X = f(\Phi, \lambda)$, $Y = g(\Phi, \lambda)$ 가 되며 이를 미분 값으로 표현하면

$$\begin{aligned} dx &= \frac{\partial f}{\partial \phi} d\phi - \frac{\partial f}{\partial \lambda} d\lambda \\ dy &= \frac{\partial g}{\partial \phi} d\phi + \frac{\partial g}{\partial \lambda} d\lambda \end{aligned} \quad (4.1)$$

또는

$$\begin{aligned} dx &= f_\phi d\phi + f_\lambda d\lambda \\ dy &= g_\phi d\phi + g_\lambda d\lambda \end{aligned}$$

와 같다. 그림 4.1에서 두 점 P, P_1 은 타원체 상의 두 점간의 거리를 표현하고 있으며, 이 두 점은 투영면의 점 P', P'_1 과 대응한다. 이때 타원체면과 투영평면 상의 거리의 변형은 $\overline{PP_1} - \overline{P'P'_1}$ 로 표현할 수 있으며, 거리의 변형률은 $m_A = \overline{P'P'_1} / \overline{PP_1}$ 이고 이때 $m_A = 1$ 인 경우에는 거리의 왜곡이 없는 이상적인 상태를 의미한다.



<타원체> <투영평면>
그림 4.1 거리의 왜곡

그림 4.1의 투영평면에서 거리는 $\overline{P'P'_1} = dY'^2 + dX'^2$ 로 표현되고 타원체면의 두 점 사이의 거리는 $(\overline{PP_1})^2 = (Md\phi)^2 + (N \cos \phi d\lambda)^2$ 이다.⁽⁶⁾ 따라서

$$m_A^2 = \frac{dX'^2 + dY'^2}{M^2 d\phi^2 + N^2 \cos^2 \phi d\lambda^2} \quad (4.2)$$

식(4.1)의 값을 식(4.2)에 대입하면

$$m_A^2 = \frac{(f_\phi d\phi + f_\lambda d\lambda)^2 + (g_\phi d\phi + g_\lambda d\lambda)^2}{M^2 d\phi^2 + N^2 \cos^2 \phi d\lambda^2} \quad (4.3)$$

이 되며, 수식의 전개를 통하여 거리의 왜곡을 표현하

는 식 (4.4)를 얻는다.

$$m_A^2 = m_1^2 \cos^2 \alpha - P \sin \alpha \cos \alpha - m_2^2 \sin^2 \alpha \quad (4.4)$$

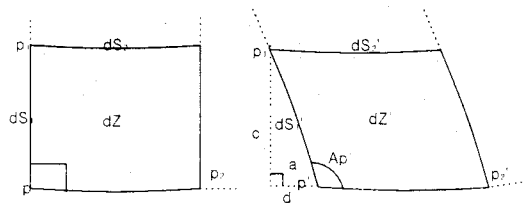
$$m_1^2 = \frac{f_\phi^2 + g_\phi^2}{M^2} \quad (4.5)$$

$$P = \frac{2(f_\phi f_\lambda + g_\phi g_\lambda)}{MN \cos \phi} \quad (4.6)$$

$$m_2^2 = \frac{f_\lambda^2 + g_\lambda^2}{N^2 \cos^2 \phi} \quad (4.7)$$

4.2 면적의 왜곡이론 정리

그림 4.2에서 타원체면과 투영평면의 면적을 dZ, dZ' 이라 한다면, 타원체의 미소면적은 $dZ = ds_1 \times ds_2$ 로 계산되며, 투영면에서의 면적 dZ' 는 두 변과 변 사이에 낀 각에 의하여 $dZ' = ds_1' \times ds_2' \times \sin A_p'$ 으로 계산된다. 이때 면적의 왜곡은 $dZ - dZ'$ 의 값이며, 면적의 왜곡율은 dZ'/dZ 으로 표현될 수 있다. 또한 $dZ'/dZ = 1$ 의 경우에는 면적의 왜곡이 전혀 일어나지 않은 것임을 알 수 있다.⁽⁶⁾



<타원체> <투영평면>
그림 4.2 면적의 왜곡

그러나 투영과정에서 면적의 왜곡은 필연적으로 발생하며 그 발생량은 식 (4.8) 과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dZ'}{dZ} &= \frac{ds_1' \times ds_2' \times \sin A_p'}{ds_1 \times ds_2} \\ &= \frac{ds_1'}{ds_1} \times \frac{ds_2'}{ds_1} \times \sin A_p' \\ &= m_1 \times m_2 \times \sin A_p' \end{aligned} \quad (4.8)$$

식 (4.8)에서 m_1 은 자오선 방향을 따르는 선형요소의 왜곡량을 표현하고 있고, m_2 는 위선방향을 따르는 선형요소의 왜곡률을 표현하는 값이다.

한편 $\alpha = 180 - A_p'$ 일 때 $\tan \alpha = \frac{c}{d}$, $\sin \alpha = \frac{c}{\sqrt{c^2 + d^2}}$

이라 하고 $\sin A_p'$ 를 정하면 식(4.9)를 얻는다.

$$\sin A_p' = \frac{f\lambda - g\phi - \phi g\lambda}{\sqrt{(f\lambda g\phi - \phi g\lambda)^2 + (\phi f\lambda + g\phi g\lambda)^2}} \quad (4.9)$$

또한 식 (4.8)과 (4.9)로부터 면적의 왜곡량 dZ'/dZ 은 식(4.10)가 된다.

$$\frac{dZ'}{dZ} = \sqrt{\frac{\phi^2 + g\phi^2}{M^2}} \times \sqrt{\frac{f\lambda^2 + g\lambda^2}{N^2 \cos^2 \phi}} \times \frac{f\lambda - g\phi - \phi g\lambda}{\sqrt{(f\lambda g\phi - \phi g\lambda)^2 + (\phi f\lambda + g\phi g\lambda)^2}} \quad (4.10)$$

5. 투영왜곡의 비교 · 분석

TM 및 다면체 투영법의 투영왜곡을 비교 · 분석하기 위하여 앞장에서 서술한 타원체 요소인 자오선 호장과 평행권 호장 및 타원체 면적 등을 계산한 후 가우스-크뤼거 투영법(TM) 및 다면체 투영법을 활용하여 좌표변환 성과를 구하였다. 또한 투영평면상에서 자오선과 평행권 호장의 투영길이 및 면적을 측정하여 타원체 및 투영평면에서 발생하는 투영 왜곡량을 계산하였다. 연구에 적용된 자오선과 평행권의 호장의 길이 및 면적은 국가기본도 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000 및 수치지도 축척 1/1,000에 해당하는 종선(자오선 방향) 및 종선의 직각방향인 횡선(평행권 방향)에 대하여 계산하였으며, 면적은 각 축척별 지도에서 자오선과 평행권이 만드는 지도의 면적을 활용하였다. 또한 위도 또는 경도에 따른 지역별 투영왜곡량의 차이를 확인하기 위하여 연구대상 도역을 위도 34° 30' ~ 37° 30', 경도 125° 30' ~ 128° 30' 에 대하여 16개 지역에 대하여 축척별로 16개 도역을 선택하였다. 또한 TM투영법의 기준자오선은 125°, 127°, 129° 를 기준으로 하였으며, 선 증대율은 1.0000으로 하였다. TM 및 다면체

투영의 투영기준면은 Bessel 타원체이다. 프로그램에 입력되는 데이터는 지도의 좌측하단 및 우측상단의 좌표이며, 계산을 통한 타원체 요소 및 투영평면 요소 그리고 축척별 투영 왜곡률은 표 5.1 ~ 4에 표현하였다.

그림 5.1에서 위도 38° 를 기준으로 남쪽 방향으로 I, II, III, IV지역을 구분하고, 경도 125° 30' 을 기준으로 동쪽방향으로 a, b, c, d 지역으로 구분하였다.

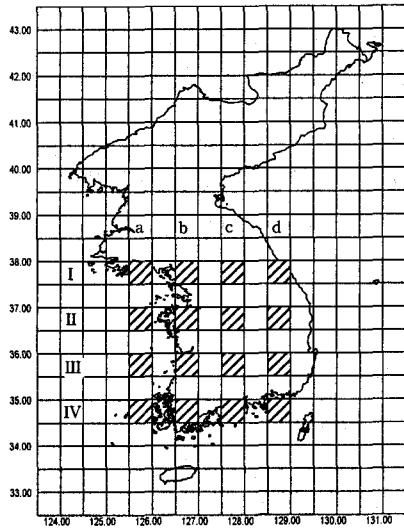


그림 5.1 연구 대상지역(빗줄친 부분)

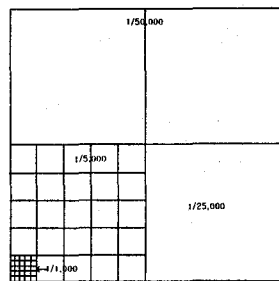


표 5.2 연구대상지역의 Index.

연구를 수행한 결과 타원체 요소의 계산은 표 5.5 - 5.8 및 그림 5.3 - 5.6에 표현된 바와 같이 타원체의 특성에 따라서 동일 위도권에서는 자오선 호장, 평행권 호장 그리고 타원체 면적의 값은 동일하게 계산되며, 자오선 호장의 경우에는 고위도 지역의 경우에 저위도 지역에 비하여 그 길이가 길게 계산되고 상대적으로

표 5.1 타원체 호장 및 면적 (1/50,000)

대지	1/50,000 도엽 입력좌표		타원체면적 (m ²)	TM 투영평면의 거리,면적 및 변형					다면체 투영평면의 거리, 면적 및 변형									
	시점 경·위도	종점 경·위도		자오선 호장(m)	평행권 호장(m)	평행권 변형	자오선 변형	투영면적	평행권 변형	면적변형	자오선 변형	투영면적	평행권 변형	면적 변형				
IV	a	34.50 125.50	34.75 125.75	27730.503	22857.252	635664088.531	27731.222	22858.197	635658847.820	1.000259	1.000411	1.0015549	27730.525	22857.258	635616818.202	1.000008	1.000008	1.0014988
	b	34.50 125.50	34.75 126.75	27730.503	22857.252	635664088.531	27731.222	22857.600	635642307.997	1.000259	1.000152	1.0015389	27730.525	22857.258	635616818.202	1.000008	1.000008	1.0014988
	c	34.50 127.50	34.75 127.75	27730.503	22857.252	635664088.531	27731.222	22858.196	635658847.820	1.000259	1.000411	1.0015549	27730.525	22857.258	635616818.202	1.000008	1.000008	1.0014988
	d	34.50 128.50	34.75 128.75	27730.503	22857.252	635664088.531	27731.222	22857.600	635642307.997	1.000259	1.000152	1.0015389	27730.525	22857.258	635616818.202	1.000008	1.000008	1.0014988
III	a	35.50 125.50	35.75 125.75	27735.074	22879.634	628044876.824	27735.775	22880.544	623062478.464	1.000253	1.000401	1.0016201	27735.097	22879.640	623022007.991	1.000008	1.000008	1.0015557
	b	35.50 126.50	35.75 126.75	27735.074	22879.634	628044876.824	27735.775	22879.989	623046532.359	1.000253	1.000148	1.0015947	27735.097	22879.640	623022007.991	1.000008	1.000008	1.0015557
	c	35.50 127.50	35.75 127.75	27735.074	22879.634	628044876.824	27735.775	22880.544	623062478.464	1.000253	1.000401	1.0016201	27735.097	22879.640	623022007.991	1.000008	1.000008	1.0015557
	d	35.50 128.50	35.75 128.75	27735.074	22879.634	628044876.824	27735.775	22879.989	623046532.359	1.000253	1.000148	1.0015947	27735.097	22879.640	623022007.991	1.000008	1.000008	1.0015557
II	a	36.50 125.50	36.75 125.75	27739.700	22885.091	620232774.899	27740.384	22895.967	621272741.801	1.000246	1.000391	1.0016761	27739.724	22895.968	621238829.319	1.000008	1.000008	1.0016140
	b	36.50 126.50	36.75 126.75	27739.700	22885.091	620232774.899	27740.384	22895.414	621257389.278	1.000246	1.000144	1.0016520	27739.724	22895.968	621238829.319	1.000008	1.000008	1.0016140
	c	36.50 127.50	36.75 127.75	27739.700	22885.091	620232774.899	27740.384	22895.957	621272741.801	1.000246	1.000391	1.0016761	27739.724	22895.968	621238829.319	1.000008	1.000008	1.0016140
	d	36.50 128.50	36.75 128.75	27739.700	22885.091	620232774.899	27740.384	22895.414	621257389.278	1.000246	1.000144	1.0016520	27739.724	22895.968	621238829.319	1.000008	1.000008	1.0016140
I	a	37.50 125.50	37.75 125.75	27744.377	22103.708	612229549.265	27745.043	22104.550	613291689.588	1.000240	1.000381	1.0017349	27744.402	22103.715	613254341.180	1.000009	1.000009	1.0016739
	b	37.50 126.50	37.75 126.75	27744.377	22103.708	612229549.265	27745.043	22104.018	613276839.426	1.000240	1.000140	1.0017108	27744.402	22103.715	613254341.180	1.000009	1.000009	1.0016739
	c	37.50 127.50	37.75 127.75	27744.377	22103.708	612229549.265	27745.043	22104.550	613291689.588	1.000240	1.000381	1.0017349	27744.402	22103.715	613254341.180	1.000009	1.000009	1.0016739
	d	37.50 128.50	37.75 128.75	27744.377	22103.708	612229549.265	27745.043	22104.018	613276839.426	1.000240	1.000140	1.0017108	27744.402	22103.715	613254341.180	1.000009	1.000009	1.0016739

표 52 타원체 호장 및 면적 (1/25,000)

대지	1/25,000 도엽 입력자료		자오선 호장(m)	평행권 호장(m)	타원체면적 (m ²)	TM 투상평면의 거리, 면적 및 변형						다면체 투상평면의 거리, 면적 및 변형						
	시 경·위도	중 점 경·위도				자오선	평행권	투영면적	자오선 변형	평행권 변형	면적변형	자오선	평행권	투영면적	자오선 변형	평행권 변형	면적 변형	
IV	a	34.50 125.500	34.625 125.625	13865.109	11478.628	159033551.760	13865.469	11479.007	159161827.422	1.000259	1.000030	1.0008066	13865.112	11478.629	159152484.552	1.000002	1.000001	1.0007478
	b	34.50 126.500	34.625 126.625	13865.109	11478.628	159033551.760	13865.469	11478.858	159159759.957	1.000259	1.000200	1.0007936	13865.112	11478.629	159152484.552	1.000002	1.000001	1.0007478
	c	34.50 127.500	34.625 127.625	13865.109	11478.628	159033551.760	13865.469	11479.007	159161827.422	1.000259	1.000030	1.0008066	13865.112	11478.629	159152484.552	1.000002	1.000001	1.0007478
	d	34.50 128.500	34.625 128.625	13865.109	11478.628	159033551.760	13865.469	11478.858	159159759.957	1.000259	1.000200	1.0007936	13865.112	11478.629	159152484.552	1.000002	1.000001	1.0007478
III	a	35.50 125.500	35.625 125.625	13867.393	11339.819	157131806.684	13867.744	11340.184	157262781.599	1.000253	1.000022	1.0006335	13867.366	11339.820	157253777.360	1.000002	1.000001	1.000762
	b	35.50 126.500	35.625 126.625	13867.393	11339.819	157131806.684	13867.744	11340.040	157260783.359	1.000253	1.000195	1.0006209	13867.366	11339.820	157253777.360	1.000002	1.000001	1.000762
	c	35.50 127.500	35.625 127.625	13867.393	11339.819	157131806.684	13867.744	11340.184	157262781.599	1.000253	1.000022	1.0006335	13867.366	11339.820	157253777.360	1.000002	1.000001	1.000762
	d	35.50 128.500	35.625 128.625	13867.393	11339.819	157131806.684	13867.744	11340.040	157260783.359	1.000253	1.000195	1.0006209	13867.366	11339.820	157253777.360	1.000002	1.000001	1.000762
II	a	36.50 125.500	36.625 125.625	13869.704	11197.548	155181757.252	13870.047	11197.899	155315396.854	1.000247	1.000014	1.0005612	13869.707	11197.548	155306731.112	1.000002	1.000001	1.0008053
	b	36.50 126.500	36.625 126.625	13869.704	11197.548	155181757.252	13870.047	11197.761	155313477.811	1.000247	1.000190	1.0005488	13869.707	11197.548	155306731.112	1.000002	1.000001	1.0008053
	c	36.50 127.500	36.625 127.625	13869.704	11197.548	155181757.252	13870.047	11197.899	155315396.854	1.000247	1.000014	1.0005612	13869.707	11197.548	155306731.112	1.000002	1.000001	1.0008053
	d	36.50 128.500	36.625 128.625	13869.704	11197.548	155181757.252	13870.047	11197.761	155313477.811	1.000247	1.000190	1.0005488	13869.707	11197.548	155306731.112	1.000002	1.000001	1.0008053
I	a	37.50 125.500	37.625 125.625	13872.041	11051.856	153183919.120	13872.375	11052.194	153320188.501	1.000240	1.000036	1.0005896	13872.044	11051.857	15331860.508	1.000002	1.000001	1.0008352
	b	37.50 126.500	37.625 126.625	13872.041	11051.856	153183919.120	13872.375	11052.061	153318343.501	1.000240	1.000186	1.0005775	13872.044	11051.857	15331860.508	1.000002	1.000001	1.0008352
	c	37.50 127.500	37.625 127.625	13872.041	11051.856	153183919.120	13872.375	11052.194	153320188.501	1.000240	1.000036	1.0005896	13872.044	11051.857	15331860.508	1.000002	1.000001	1.0008352
	d	37.50 128.500	37.625 128.625	13872.041	11051.856	153183919.120	13872.375	11052.061	153318343.501	1.000240	1.000186	1.0005775	13872.044	11051.857	15331860.508	1.000002	1.000001	1.0008352

단
은
기

표 53 타원체 호장 및 면적 (1/5,000)

대상 면적	1/5,000 도읍 입력자료		자오선 호장(m)	평행권 호장(m)	타원체 면적 (m ²)	TM 투영평면의 거리,면적 및 변형				다면체 투영평면의 거리, 면적 및 변형						
	시 경·위도	종 점 경·위도				자오선 호장	투영면적	자오선 변형	평행권 변형	면적변형	자오선	평행권	투영면적	자오선 변형	평행권 변형	면적변형
IV	a	34.500 125.500	34.525 125.525	2772.999	2285.725	6365065.700	2773.071	6366386.224	1.0000260	1.000273	1.0002026	2772.999	2285.725	6366946.149	1.0000000	1.0000000
	b	34.500 126.500	34.525 126.525	2772.999	2285.725	6365065.700	2773.071	6366386.684	1.0000260	1.000247	1.0002000	2772.999	2285.725	6366946.149	1.0000000	1.0000000
	c	34.500 127.500	34.525 127.525	2772.999	2285.725	6365065.700	2773.071	6366386.224	1.0000260	1.000273	1.0002026	2772.999	2285.725	6366946.149	1.0000000	1.0000000
	d	34.500 128.500	34.525 128.525	2772.999	2285.725	6365065.700	2773.071	6366386.684	1.0000260	1.000247	1.0002000	2772.999	2285.725	6366946.149	1.0000000	1.0000000
III	a	35.500 125.500	35.525 125.525	2773.455	2267.964	6289123.023	2773.525	6290424.673	1.0000253	1.000266	1.0002070	2773.455	2267.964	6290987.777	1.0000000	1.0000000
	b	35.500 126.500	35.525 126.525	2773.455	2267.964	6289123.023	2773.525	6290408.727	1.0000253	1.000241	1.0002044	2773.455	2267.964	6290987.777	1.0000000	1.0000000
	c	35.500 127.500	35.525 127.525	2773.455	2267.964	6289123.023	2773.525	6290424.673	1.0000253	1.000266	1.0002070	2773.455	2267.964	6290987.777	1.0000000	1.0000000
	d	35.500 128.500	35.525 128.525	2773.455	2267.964	6289123.023	2773.525	6290408.727	1.0000253	1.000241	1.0002044	2773.455	2267.964	6290987.777	1.0000000	1.0000000
II	a	36.500 125.500	36.525 125.525	2773.917	2239.509	6211217.157	2773.986	6212530.660	1.0000247	1.000260	1.0002115	2773.917	2239.509	6212215.938	1.0000000	1.0000000
	b	36.500 126.500	36.525 126.525	2773.917	2239.509	6211217.157	2773.986	6212515.307	1.0000247	1.000235	1.0002090	2773.917	2239.509	6212215.938	1.0000000	1.0000000
	c	36.500 127.500	36.525 127.525	2773.917	2239.509	6211217.157	2773.986	6212530.660	1.0000247	1.000260	1.0002115	2773.917	2239.509	6212215.938	1.0000000	1.0000000
	d	36.500 128.500	36.525 128.525	2773.917	2239.509	6211217.157	2773.986	6212515.307	1.0000247	1.000235	1.0002090	2773.917	2239.509	6212215.938	1.0000000	1.0000000
I	a	37.500 125.500	37.525 125.525	2774.381	2210.371	6131388.696	2774.451	6132723.791	1.0000241	1.000253	1.0002161	2774.381	2210.371	6132421.219	1.0000000	1.0000000
	b	37.500 126.500	37.525 126.525	2774.381	2210.371	6131388.696	2774.451	6132709.032	1.0000241	1.000229	1.0002137	2774.381	2210.371	6132421.219	1.0000000	1.0000000
	c	37.500 127.500	37.525 127.525	2774.381	2210.371	6131388.696	2774.451	6132723.791	1.0000241	1.000253	1.0002161	2774.381	2210.371	6132421.219	1.0000000	1.0000000
	d	37.500 128.500	37.525 128.525	2774.381	2210.371	6131388.696	2774.451	6132709.032	1.0000241	1.000229	1.0002137	2774.381	2210.371	6132421.219	1.0000000	1.0000000

표 5.4 타원체 호장 및 면적 (1/1,000)

대상 지역	1/1,000 도엽 입력자료		TM 부정형면의 거리, 면적 및 변형				타원체 부정형면의 거리, 면적 및 변형				다면체 부정형면의 거리, 면적 및 변형							
	시 경. 위도	종 경. 위도	자오선 호장(m)	평행권 호장(m)	타원체 면적 (㎡)	자오선 호장	평행권 호상	투영면적	자오선 변형	평행권 변형	면적변형	자오선	평행권	투영면적	자오선 변형	평행권 변형	면적 변형	
IV	a	34.500 125.500	34.505 125.505	554.598	459.145	254633.825	554.613	459.157	254654.724	1.0000260	1.0000262	1.0000821	554.598	459.1451	254641.427	1.0000000	1.0000000	1.0000299
	b	34.500 126.500	34.505 126.505	554.598	459.145	254633.825	554.613	459.156	254654.592	1.0000260	1.0000257	1.0000816	554.598	459.1451	254641.427	1.0000000	1.0000000	1.0000299
	c	34.500 127.500	34.505 127.505	554.598	459.145	254633.825	554.613	459.157	254654.724	1.0000260	1.0000262	1.0000821	554.598	459.1451	254641.427	1.0000000	1.0000000	1.0000299
	d	34.500 128.500	34.505 128.505	554.598	459.145	254633.825	554.613	459.156	254654.592	1.0000260	1.0000257	1.0000816	554.598	459.1451	254641.427	1.0000000	1.0000000	1.0000299
III	a	35.500 125.500	35.505 125.505	554.690	453.592	251595.696	554.704	453.604	251616.312	1.0000253	1.0000256	1.0000819	554.690	453.5928	251603.492	1.0000000	1.0000000	1.0000310
	b	35.500 126.500	35.505 126.505	554.690	453.592	251595.696	554.704	453.604	251616.184	1.0000253	1.0000251	1.0000814	554.690	453.5928	251603.492	1.0000000	1.0000000	1.0000310
	c	35.500 127.500	35.505 127.505	554.690	453.592	251595.696	554.704	453.604	251616.312	1.0000253	1.0000256	1.0000819	554.690	453.5928	251603.492	1.0000000	1.0000000	1.0000310
	d	35.500 128.500	35.505 128.505	554.690	453.592	251595.696	554.704	453.604	251616.184	1.0000253	1.0000251	1.0000814	554.690	453.5928	251603.492	1.0000000	1.0000000	1.0000310
II	a	36.500 125.500	36.505 125.505	554.782	447.901	248480.230	554.796	447.913	248500.561	1.0000247	1.0000250	1.0000818	554.782	447.9019	248488.219	1.0000000	1.0000000	1.0000321
	b	36.500 126.500	36.505 126.505	554.782	447.901	248480.230	554.796	447.912	248500.439	1.0000247	1.0000245	1.0000813	554.782	447.9019	248488.219	1.0000000	1.0000000	1.0000321
	c	36.500 127.500	36.505 127.505	554.782	447.901	248480.230	554.796	447.913	248500.561	1.0000247	1.0000250	1.0000818	554.782	447.9019	248488.219	1.0000000	1.0000000	1.0000321
	d	36.500 128.500	36.505 128.505	554.782	447.901	248480.230	554.796	447.912	248500.439	1.0000247	1.0000245	1.0000813	554.782	447.9019	248488.219	1.0000000	1.0000000	1.0000321
I	a	37.500 125.500	37.505 125.505	554.876	442.074	245298.253	554.889	442.085	245308.297	1.0000241	1.0000243	1.0000817	554.876	442.0742	245296.431	1.0000000	1.0000000	1.0000333
	b	37.500 126.500	37.505 126.505	554.876	442.074	245298.253	554.889	442.084	245308.179	1.0000241	1.0000238	1.0000812	554.876	442.0742	245296.431	1.0000000	1.0000000	1.0000333
	c	37.500 127.500	37.505 127.505	554.876	442.074	245298.253	554.889	442.085	245308.297	1.0000241	1.0000243	1.0000817	554.876	442.0742	245296.431	1.0000000	1.0000000	1.0000333
	d	37.500 128.500	37.505 128.505	554.876	442.074	245298.253	554.889	442.084	245308.179	1.0000241	1.0000238	1.0000812	554.876	442.0742	245296.431	1.0000000	1.0000000	1.0000333

평행권 호장 및 타원체 면적의 경우에는 저위도 지방이 보다 길고, 넓게 계산됨을 알 수 있다. 한편 타원체 요소 및 투영평면 요소와의 관계식 $m_A = \overline{P'P'} / \overline{PP'}$ 에서 $m_A = 1$ 로 표현되는 경우에는 거리의 왜곡이 없는 이상적인 상태를 의미한다. 그러나 연구결과 표 1~4에서 확인할 수 있듯이 타원체에서 평면으로의 투영은 왜곡은 반드시 수반됨을 알 수 있으며, 축척 별로 동일한 위도권에서 타원체 요소와 투영평면요소 사이의 평균 왜곡량은 표 5.5~5.8과 같고, 그림 5.3~5.6은 축척별 그리고 연구대상지역별로 투영요소의 왜곡량을 표현하고 있다.

투영법\투영지역		I	II	III	IV
자오선 (m)	TM	0.35	0.35	0.34	0.33
	다면체	0.003	0.003	0.003	0.003
평행권 (m)	TM	0.37	0.36	0.35	0.34
	다면체	0.001	0.002	0.0008	0.0008
면적 (Km ²)	TM	0.13	0.13	0.13	0.13
	다면체	0.12	0.12	0.12	0.12

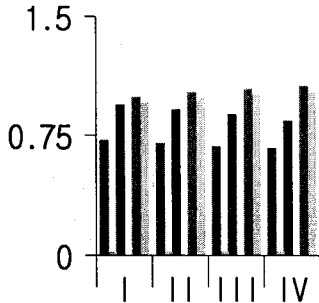


그림 5.3 적용 영역별 왜곡량

표 5.5 1/50,000도면의 평균 왜곡량

투영법\투영지역		I	II	III	IV
자오선 (m)	TM	0.072	0.070	0.680	0.670
	다면체	0.021	0.022	0.023	0.024
평행권 (m)	TM	0.940	0.910	0.880	0.840
	다면체	0.006	0.006	0.006	0.006
면적 (Km ²)	TM	0.99	1.02	1.04	1.05
	다면체	0.95	0.98	1.00	1.02

그림 5.3, 5.4, 5.5, 5.6는 가로 방향 순서로 I, II, III, IV지역의 자오선, 평행권 그리고 면적의 왜곡량을 표현하고 있으며, 그림 5.6의 경우에는 면적의 단위를 0.1 Km²에 대한 1/1,000 값으로 표현하였다.

표 5.6 1/25,000 도면의 평균 왜곡량

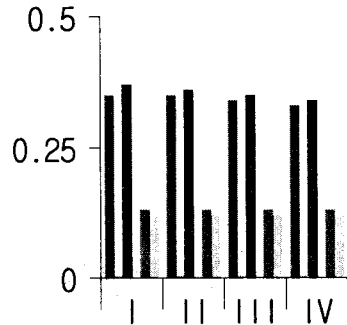


그림 5.4 적용영역별 왜곡량

표 5.7 1/5,000 축척 도면의 평균 왜곡량

투영법\투영지역		I	II	III	IV
자오선 (m)	TM	0.072	0.070	0.068	0.067
	다면체	0.000	0.000	0.000	0.000
평행권 (m)	TM	0.063	0.060	0.058	0.055
	다면체	0.000	0.000	0.000	0.000
면적 (Km ²)	TM	0.00129	0.0013	0.00129	0.00132
	다면체	0.00095	0.00097	0.0001	0.000102

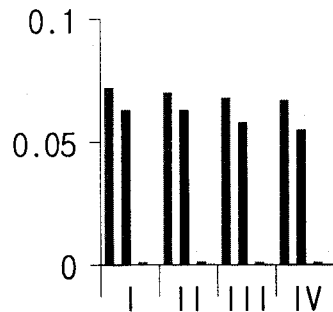


그림 5.5 적용 영역별 왜곡량

표 5.8. 1/1,000 축척 도면의 평균 왜곡량

오차량 \ 투영지역		I	II	III	IV
자오선오차 (m)	TM	0.0144	0.0141	0.0137	0.0130
	다면체	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
평행권오차 (m)	TM	0.0120	0.0116	0.0111	0.0105
	다면체	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
면적오차	TM	0.0201	0.0201	0.0200	0.0201
	다면체	0.0076	0.0080	0.0080	0.0080

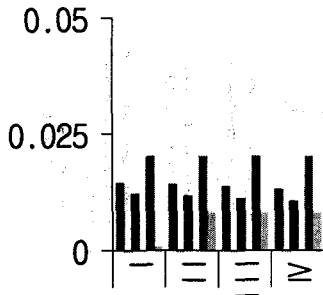


그림 5.6. 적용지역별 왜곡량

한편, 지도를 제작 할 때에 도형을 표현하는 최소간격을 0.05mm로 하고 사람의 도형에 대한 최소 분해능력이 0.02mm인 점을 감안할 때에 TM 투영법의 경우에는 1/50,000 축척에서 자오선 호장의 최대 투영오차인 0.72m는 지도상에서 0.014mm, 그리고 평행권 호장의 경우 최대 투영오차 0.94m는 지도상에서 0.018mm로 표현되고 1/25,000, 1/5,000, 1/1,000 등으로 대축척화 되어도 투영오차가 도상에 표현될 때 0.02mm 이하의 값을 유지하고 있음을 알 수 있다.

상대적으로 다면체 투영법의 경우에는 1/50,000 축척에 있어서 자오선 호장의 투영오차가 2.4cm 그리고 평행권 호장의 투영오차가 0.6cm 임으로 다면체 투영의 경우에는 투영오차가 매우 작음을 알 수 있다. 또한 1/5,000, 1/1,000 등 대축척의 경우에는 자오선 및 평행권 호장의 투영오차가 0m에 가까운 수치를 표현하므로 상당히 정확한 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 표 5.1 - 5.4에서 확인할 수 있는 바와 같이 다면체 투영법의 경우에는 TM 투영법에 비교할 때에 자오선 및 평행권의 경우에는 상당한 정확도를 확보하고

있음을 알 수 있어 지도제작 측면에서 도형 요소를 표현하는데 있어서 단일 도엽만으로 사용하는 경우에는 거의 문제가 없음을 확인할 수 있다. 한편, 지도의 축척에 따라서 투영왜곡에 의한 허용범위의 한계가 달라질 수 있으므로 지도의 축척별 허용오차 범위의 규정이 필요하다 할 수 있다. 지도의 축척별 허용오차의 한계는 측량의 위치오차와 인식오차의 관계에서 정의할 수 있다.⁷⁾⁸⁾ “대축척 지도제작을 위한 항측 기법에 관한 연구”(국립지리원, 1985)에 의하면 지도의 허용오차 범위는 다음 식으로 정의된다.

$$\begin{aligned}
 m_i &= \frac{1}{4} \times d \times S \\
 m_s &= \sqrt{(0.014Sm)^2 - m_i^2} \\
 e &= \sqrt{m_s^2 + \sigma_{xy}^2}
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

단위 : cm, m_i : 인식오차, m_s : 측량오차(cm), e : 지도의 허용오차, d : 도화기 부점의 직경, S: 항공사진 음화축척 분모, Sm: 지도의 축척분모, σ_{xy} : 1, 2, 3등 삼각점의 절대오차(3cm)를 의미한다.

지도의 허용오차는 지도의 정확도를 고려하는 것인데 지도오차의 주요원인은 1점의 위치오차, 2점의 상대오차, 대지표정오차, 지점표고오차, 사진모델오차 도화오차, 제도오차 등이 있다. 그러나 지도오차의 원인을 분석해보면 측량오차와 인식오차로 대별할 수 있다.⁸⁾ 따라서 본 연구에서는 지도의 측량오차와 인식오차를 고려한 지도의 축척별 허용오차를 고려하여 허용오차의 한계를 식(5.1)에 의하여 계산하였으며, 그 결과는 표 9에서 1/50,000 지형도의 경우 1/25,000 지형도의 편집도 이므로 오차의 허용한계를 1/25,000과 동일하다고 정의하였으며, 도화기 부점(Flotting mark)의 직경은 아날로그 방식에 의한 값을 채택하고 항공사진의 음화 축척을 1/37,500의 경우를 고려하였다. 상대적으로 1/1,000지형도의 오차의 허용한계는 수치도화(해석도화기 활용)를 하는 경우에 있어서 음화축척을 1/5,000 그리고 도화기 부점의 직경을 40 μ m로하여 계산한 값이다.

표 5.9 축척별 지도의 허용오차 (단위 : m)

지도축척	인식오차	측량오차	지도의 허용오차
1/1,000	0.05	0.14	0.14
1/5,000	0.28	0.69	0.69
1/25,000	0.65	3.4	3.4
1/50,000	0.65	3.4	3.4

표 5.9에서 1/1,000 지형도의 경우에 있어서 지도의 허용오차 범위가 14cm로 규정되었으며 TM 투영법의 경우에는 자오선 호장의 투영오차가 1.4cm 그리고 평행권 호장의 투영오차가 1.2cm인 점을 고려할 때 투영오차가 지도의 허용오차에 포함되고 있음을 알 수 있다. 상대적으로 다면체 투영법의 경우에는 거리 및 면적의 투영오차가 거의 없으므로 자오선 및 타원체 호장의 투영상의 문제점이 작다고 볼 수 있다. 표 5.7에 의하면 1/5,000지형도의 경우에는 오차의 허용한계를 69 cm로 규정하고 있으며, 이를 기준으로 할 때에 TM의 경우에는 허용범위 내에 들어오고 있음을 알 수 있다. 또한 1/25,000, 1/50,000축척 또한 투영오차 1m 이내이므로 TM 투영의 경우에는 투영왜곡이 지도의 활용에 있어서 거리 및 면적의 투영오차가 허용범위 이내이고, 다면체 투영의 경우에는 표 5.5-5.8에서 알 수 있듯이 모든 축척에 대하여 투영오차가 지도의 허용오차 범위에 들어오고 있음을 확인 할 수 있다. 면적의 왜곡에서는 TM투영법 및 다면체 투영법에 의한 투영은 투영평면의 면적이 타원체에 비하여 미소하나 크게 계산되고 있음을 알 수 있으며, 투영 왜곡량이 각 축척별 실제 면적에 차지하는 면적 비는 표 5.10과 같이 표현된다.

표 5.10에서 알 수 있는 바와 같이 TM 투영법 및 다

표 5.10 투영 면적비

축척	투영법	투영면적 (Km ²)	왜곡면적 (Km ²)	면적비(%)
1/50,000	TM	636.661	1.02	0.16
	다면체	636.610	0.98	0.15
1/25,000	TM	159.162	0.13	0.08
	다면체	159.152	0.12	0.075
1/5,000	TM	6.367	0.0012	0.02
	다면체	6.366	0.00095	0.015
1/1,000	TM	0.255	0.00020	0.008
	다면체	0.246	0.00008	0.003

면체 투영법에 의한 면적의 왜곡 즉 투영 면적비가 1/50,000의 경우 TM 투영법에서 0.16 % 그리고 다면체 투영법에서 0.15% 로 미소하게 표현되고 있으며, 1/1,000 축척의 경우에는 TM 투영법의 경우 0.008%, 다면체 투영법의 경우에는 0.003% 로서 투영 면적비를 통하여 판단 할 때에 현재 투영 왜곡량에 대한 규정은 없으나 면적이 자오선 호장 및 평행권 호장에 의하여 계산되고, 이들 값이 허용범위 내에 있음을 고려할 때에 두 가지의 투영법에 의한 왜곡이 지도제작에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 우리나라의 국가기본도 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000 그리고 국가 지리정보 구축사업(NGIS)의 수치지도 입력에 있어서 가장 대축척인 1/1,000 지형도에 해당하는 타원체상의 자오선 호장, 평행권 호장 그리고 타원체 면적과 이들 요소가 TM 투영법과 다면체 도법을 통하여 평면직각좌표로 변환할, 이때 발생하는 투영 왜곡과 지도의 허용오차 범위를 비교·분석하여 TM 투영법에 대한 정확도 검증과 다면체 투영법의 활용가능성을 확인하고자 했으며, 연구 결과는 다음과 같다.

1. 지도를 제작 할 때에 도형(선분)을 표현하는 최소 간격을 0.05mm로 하고 사람의 도형에 대한 최소 분해 능력이 0.02mm인 점을 감안할 때에 TM 투영법의 경우 1/50,000 축척에서 자오선 및 평행권 호장 최대 투영오차가 지도상에서 0.014mm, 0.018mm로 표현되고 있고 대축척 되어도 투영오차가 도상에 표현될 때 0.02mm 이하의 값을 유지하고 있음을 알 수 있어 TM 투영오차가 지도제작에 있어 문제가 되지 않음을 검증할 수 있다.
2. 1/1,000 지형도의 오차의 허용한계는 수치도화(해석도화기 활용)를 하는 경우 음화축척을 1/5,000 그리고 도화기 부점의 직경을 40 μ 으로 하여 계산하여 약 14cm 이다. 또한 TM 투영법이 1/1,000 지형도의 경우에 자오선 호장의 투영오차가 14cm 그리고 평행권호장의 투영오차가 12cm인 점을 고려할 때 투영오차가 지도의 허용오차에 포함되고 있음을 알

수 있다.

참 고 문 헌

3. 투영에 있어서 면적의 왜곡은 그 투영면적비가 1/50,000의 경우 TM 투영법에서 0.16 % 그리고 다면체 투영법에서 0.15% 로 미소하게 표현되고 있으며, 1/1,000 축척의 경우에는 TM 투영법의 경우 0.008% 다면체 투영법의 경우에는 0.003%로서 두 가지의 투영법에 의한 면적의 왜곡이 지도제작에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.
4. 다면체 투영법의 경우에는 1/50,000 축척에 있어서 자오선 호장의 투영오차가 2.4cm 그리고 평행권 호장의 투영오차가 0.6cm로 투영오차가 미소하다. 또한, 대축척 화되면서 1/5,000, 1/1,000 축척의 경우에는 자오선 및 평행권 호장의 투영오차 및 왜곡률이 0m에 가까운 수치로 표현되고있어 상당히 정확한 값을 유지하고 있음을 알 수 있다. 한편, 1/1,000축척의 경우에 투영오차 및 왜곡률이 가장 이상적인 1에 근사한 값으로 계산됨을 확인 할 때 다면체 도법에 의한 중·대축척 지도제작의 가능성을 확인할 수 있었다. 그러나 다면체 도법의 활용에 있어서는 축척의 단계에 따른 좌표값의 유지 및 도면의 접합 문제 등에 관한 보다 체계적인 연구가 필요 할 것으로 예상된다.
1. R.H.Rapp, "Geometric Geodesy Part I", OSU, pp. 36 - 45, 1989.
2. 최재화, "우리나라 평면직각좌표에 관한 연구", 한국측지학회지 제1권 2호, pp. 42 - 59, 1983.
3. 조규진, "TM투영에서의 좌표변환에 관한 연구" 한국측지학회지, 제 14 권 2호, pp. 119 - 126, 1996.
4. 日本測量協會, "現代測量學 別卷1 實用地圖學", 大日本印刷(株), pp. 82, 1983.
5. P. Richardus & K.Adler, "Map Projections for geodestists, Cartographer & Geographers" North-Holland com, pp. 1 - 120 1974.
6. L.Hradilek & A.C.Hamilton, "A Systematic Analysis of Distortions in Map Projection", Lecture-Note of The N.B, pp 3-14, 1973.
7. 국립지리원 보고서, "대축척지도제작을 위한 항측기법에 관한연구", pp. 71 - 85. 1985.
8. 최재화, 조제운, "우리나라 대축척지도제작을 위한 최적지도투영법의 선택에 관한 연구", 한국측지학회지 제 5권 1호, pp. 23 - 31, 1987.
9. 日本測量協會, "現代測量學 第 1卷 測量の 數學的基礎", 大日本 印刷(株),pp. 30 -34, 1983.