

지도투영과 투영왜곡에 관한 연구 A Study on Map Projection and Distortion

전재홍* · 조규전**

Jeon, Jae-Hong · Cho, Kyu-Jon

요 旨

여러 가지의 지도투영법이 사용되고 있지만 지구를 왜곡 없이 평면으로 나타낼 수 있는 방법은 없다. 이러한 투영에 따른 왜곡을 극복하고 좌표계에 의한 지형에 대한 수치정보를 연속적으로 표현하기 위하여 본 논문에서 한반도 지역에 대한 지도 정확성과 투영특성 및 최적의 방법모색, 왜곡오차의 원인, 위치변위 및 정도 향상 등에 대한 것을 연구하였다.

ABSTRACT

Many kinds of map projection have been used, since this cannot be done without a distortion and seamless representation of the globe. To overcome the continues representation of large digital terrain information by the global coordinate system , to find out the sources of projection error and optimizing method, and to increase the map accuracy, specific map projection researches are needed. In this study, improvements of map projections are suggested for small scale mapping which covering entire Korean peninsula based on theoretical evaluation and limits of current map projection. Furthermore, distortion factors, positional errors, and accuracy increasing method are evaluated.

1. 서 론

등각투영은 회전타원체의 표면을 투영면인 평면으로 변환하는 과정에 있어서 어느 지점에서나 두 개의 미소 선분이 이루는 작은 항상 일정하기 때문에 국부적인 평면의 형상이 항상 유지되는 투영으로서 타원체에서 서로 직교하는 경선과 위선이 투영된 지도에서도 서로 직교하는 특징이 있으며 대표적인 등각투영은 Mercator 투영, Lambert 투영, Stereographic 투영이다. 이러한 등각투영의 특성을 분석하기 위하여 한반도 주변지역에 대하여 경도와 위도를 각각 10' 간격으로 구분하여 각 격자점의 축척계수를 산출하여 축척계수도를 작성하고 축척계수량과 원점의 축척계수 설정을 위한 전체적인 왜곡량 판단에 사용하고 이를 세분하여 경위도의 좌표 계산, 축척계수, 축척계수도 작성, 축척왜곡량을 산출하고 축척원점과 축척계수를 변화시키며 격자의 간격

및 간격변위, 축척계수, 축척계수량 및 왜곡오차를 분석하였다.

2. 투영법별 축척계수

횡Mercator, Lambert, Stereo와 같은 등각투영은 투영특성에 따라서 자오선과 묘유선 방향에 따라 각각 위치와 방향을 다르게 하여 그 나라의 형상에 적합하도록 설정하는 것이 일반적이다. TM투영법은 자오선 방향으로 일정한 축척계수를 유지하고 묘유선 방향에 있어서는 축척계수가 중앙자오선으로부터 멀어짐에 따라 축척계수가 점차적으로 증가하게 된다. 반대로 Lambert 투영법의 경우 동서방향의 왜곡변화량이 일정하여 이 방향으로 긴 형태의 국가에서 채용하는 투영법으로 특히 1~2개의 표준위선을 설정하여 그 위선의 축척계수가 1이 되도록 투영시킨다. Stereo투영법의 경우에는 투영중심에서 방사상으로 멀어질수록 왜곡이 증가하게 되는 것으로 전자의 두 가지 투영법을 조합한 것과 비슷하다.

*경기대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

**경기대학교 공과대학 토목공학과 교수

2.1 TM투영의 축척계수 및 평면위치변위

표준Mercator 투영법은 적도와 투영면이 일치하기 때문에 적도에 근접할 수록 오차가 적어지며 TM투영은 이를 90°로 회전시켜 자오선에 접하도록 원통을 설정하여 왜곡을 적게한다. 즉 표준형 원통투영을 90°회전시킨 형태로서 중앙자오선과 원통면이 접하게 되어 중앙자오선의 축척계수가 1이 된다. 따라서 중앙자오선에서는 위도의 변화에 관계없이 1:1의 축척을 가진다. 표 1은 위도 38°N를 기준으로 하여 경도의 변화에 따른 축척왜곡의 현상을 나타낸 것으로 중앙자오선 127°E를 중심으로 하여 좌우대칭이며 중앙자오선에서 멀어질수록 축척오차가 커짐을 알 수 있다. 127°E에서 동서간 1°간격에 해당되는 자오선에서 발생하는 왜곡은 8.78 m로 1:50000 도면에서 약 0.176 mm가 되기 때문에 인간의 시력에 의하여 식별할 수 있는 선의 간격을 0.2 mm로 볼 때에 1°간격의 왜곡은 시각적으로 구분할 수가 없다.

2.1.1 위도변화에 따른 축척계수 및 평면위치변위

TM투영에 있어서 중앙자오선의 위도변위에 따른 축척계수는 위도와는 무관하게 1로 투영거리와 실제거리가 같게 된다. 위도변위에 따른 평면위치는 투영변환좌표를 비교한 결과, 그 간격이 일정하지 않고 위도가 높아질 수록 그 간격이 넓어져서 특히 90°에서는 무한의 간격이 되어 투영법을 적용하여 도면작성이 불가능하기 때문에 UTM의 경우 최대 84°N(또는 80°S)까지 적용 한계를 설정하여 사용한다. 하지만 표준위도(38°N)를 기준으로 하여 상하간격이 다르게 되는 특성이 있다. 즉 북위 38°~39°와 북위39°~40°간의 간격 거리차이는 0.134 m가 된다. 물론 이 차이는 미소하여 1:50000의 지도에서 0.00268 mm로 무시할 수 있으며, 38°N~37°N 구간과 37°N~36°N 구간의 경우에는 그 간격차이가 0.204 m가 발생하여 지형도에서는 0.00408 mm로 전자의 경우와 마찬가지로 무시할 수 있을 것이다.

2.1.2 대각변위에 대한 축척계수 및 변위

표 1. 위도38°에서 동서방향의 축척계수와 변위분석(Bessel, M단위)

| 경도(E) | 124° | 125° | 126° | 127° | 128° | 129° | 130° |
|------------------|------------|------------|-----------|--------|----------|-----------|-----------|
| 축척계수 | 1.00086 | 1.00038 | 1.00010 | 1.0000 | 1.00010 | 1.00038 | 1.00086 |
| Easting | -263495.21 | -175652.59 | -87823.03 | 0.0 | 87823.03 | 175652.59 | 263495.21 |
| EW왜곡량(Scale-1)*E | 226.61 | 66.74 | 8.78 | 0.0 | 8.78 | 66.74 | 226.61 |
| Northing | 4249.21 | 1887.87 | 471.87 | 0.0 | 471.87 | 1887.88 | 4249.21 |
| NS왜곡량(Scale-1)*N | 3.56 | 0.717 | 0.047 | 0.0 | 0.047 | 0.717 | 3.65 |

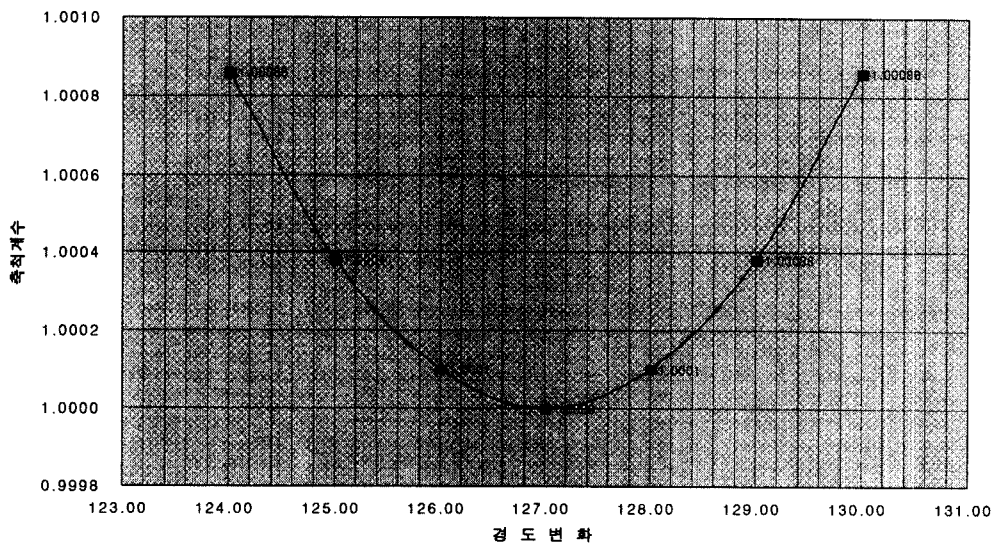


그림 1. TM투영의 경도변화에 따른 축척계수

표 2. TM투영의 위도변위에 따른 왜곡 및 변위

| 위도 | 축척계수 | Easting | 왜곡량 | Northing | 위도간격(m) | 위도간격차(m) |
|-----|---------|---------|------|-------------|------------|----------|
| 42° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | 444090.776 | 111051.477 | 19.267 |
| 41° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | 333039.299 | 111032.210 | 19.155 |
| 40° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | 222007.089 | 111013.055 | 19.021 |
| 39° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | 110994.034 | 110994.034 | - |
| 38° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | - |
| 37° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | -110975.172 | 110975.172 | - |
| 36° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | -221931.172 | 110956.490 | 18.682 |
| 35° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | -332869.674 | 110938.012 | 18.478 |
| 34° | 1.00000 | 0.00 | 0.00 | -443789.434 | 110919.760 | 18.252 |

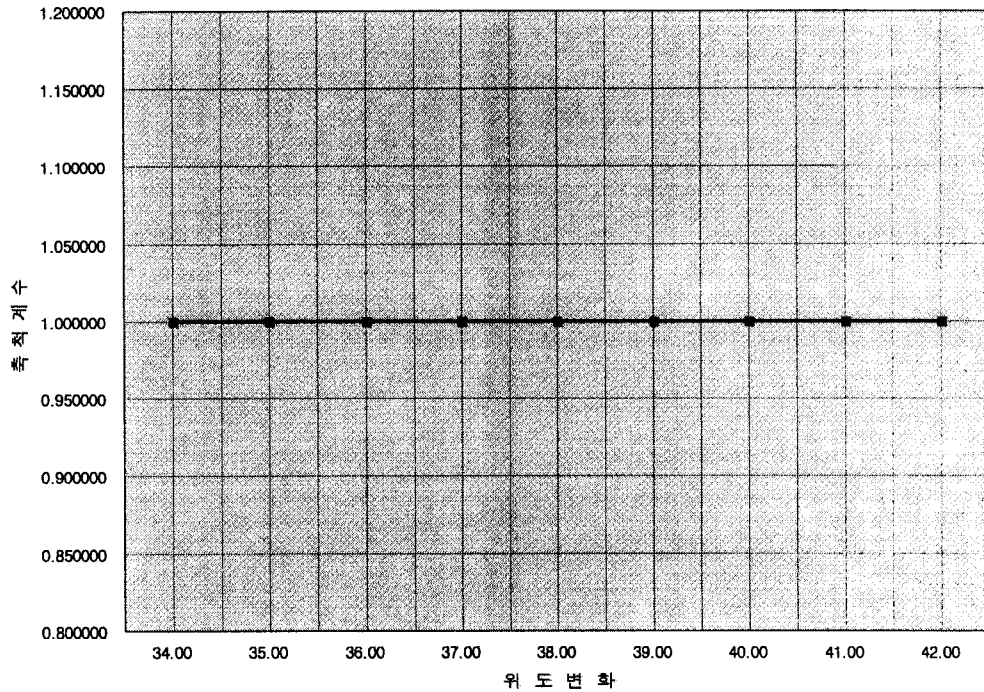


그림 2. TM투영의 위도변화에 따른 축척계수

표 3과 그림 3은 대각변위에 대한 분석 결과이다. 대각변위는 경도와 위도를 동시에 일정한 간격으로 변화할 경우 대각선 방향으로의 축척계수 왜곡변위를 분석한 것이다. 대각변위에 따른 축척계수는 TM투영법의 경우에는 위도38°N과 경도127°E에서 축척계수가 1이 되며 Lambert투영과 Stereo투영의 경우 언제나 표준위선에서의 축척계수가 1이 된다. 따라서 TM투영에서와 같이 투영원점이 1이 되지 않고 이보다 항상 작거나 크게된다. 이러한 대각변위 값은 동서변위와 남북변위가 동시에 발생되어 대각선방향에서 최대의 왜곡오차분포

가 나타나게 된다. TM투영의 경우 투영원점의 축척계수가 1이 되고 동서 및 남북방향으로 멀어질수록 축척계수가 크게 되며, 그 변화율도 크게 나타난다. 가장 작은 축척계수는 위도 38°N과 경도 127°E에서 나타난다. TM투영에서 대각변위의 특징은 앞의 2.1.1에서와 같이 경도변화의 경우 축척계수가 그림 1과 같이 127°N를 중앙으로 하여 동서 대칭의 축척계수와 그래프로 나타났지만 대각변위의 경우 위도가 동시에 변하였기 때문에 축척계수는 표 3에서 볼 수 있듯이 투영원점인 위도 38°N과 경도 127°E에서 축척계수가 1이고 대각선방향

표 3. 대각변위에 따른 등각투영 축척계수비교

| 위도 | 경도 | TM축척계수 | Lambert축척계수 | Stereo축척계수 |
|--------|---------|----------|-------------|------------|
| 37°00' | 126°00' | 1.000098 | 0.996843 | 1.000898 |
| 37°10' | 126°10' | 1.000067 | 0.996745 | 1.000970 |
| 37°20' | 126°20' | 1.000043 | 0.996655 | 1.001049 |
| 37°30' | 126°30' | 1.000024 | 0.996573 | 1.001135 |
| 37°40' | 126°40' | 1.000011 | 0.996499 | 1.001228 |
| 37°50' | 126°50' | 1.000003 | 0.996434 | 1.001329 |
| 38°00' | 127°00' | 1.000000 | 0.996377 | 1.001436 |
| 38°10' | 127°10' | 1.000003 | 0.996328 | 1.001550 |
| 38°20' | 127°20' | 1.000010 | 0.996287 | 1.001671 |
| 38°30' | 127°30' | 1.000023 | 0.996255 | 1.001800 |
| 38°40' | 127°40' | 1.000041 | 0.996231 | 1.001935 |
| 38°50' | 127°50' | 1.000064 | 0.996216 | 1.002077 |

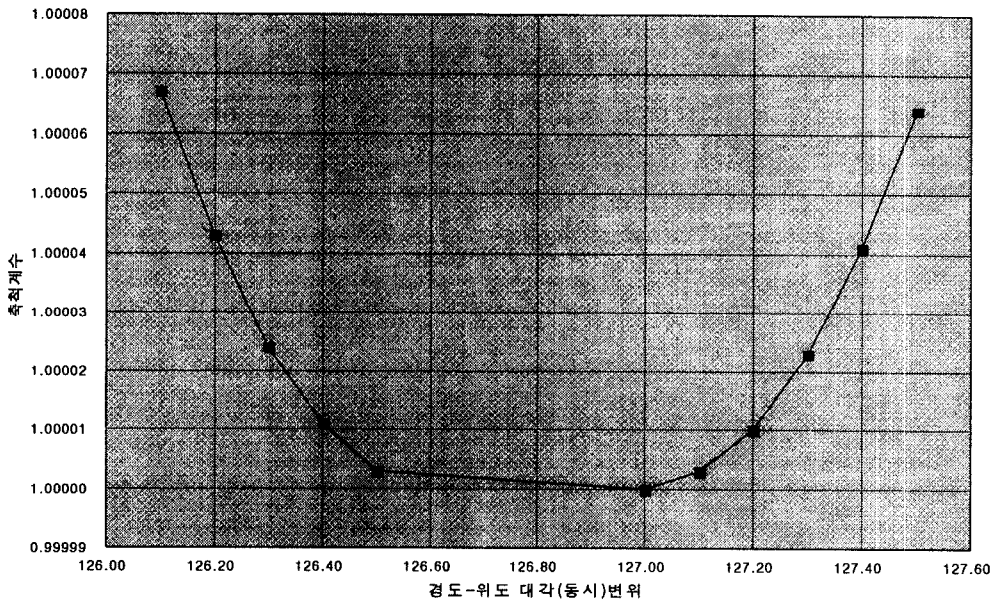


그림 3. 경위도 대각변위와 축척계수

으로 변위량이 50'인 위도37°10',경도126°10'과 투영원점의 대각위치에 있는 위도38°50'경도 127°50'에 있는 지점의 축척계수는 1.000067과 1.000064로 0.000003차이가 발생된다.

2.1.3 TM투영법에 의한 등축척계수도

TM투영의 등축척계수도 는 그림 4에서와 같이 축척계수의 분포가 평면직각좌표상에 어떻게 분포되고 있는가를 도식적으로 나타낸 것으로 축척계수의 분포를 보면 동서방향에 있어서는 중앙자오선인 127°에서 Easting=0.0이 되고 자오선축을 따라서 등 축척으로 나

타난다. 중앙자오선으로부터 멀어짐에 따라 원점의 축척계수 1보다 크게 나타난다.

2.2 Lambert 투영법

표 4와 그림 5는 경위도별 Lambert투영에 대한 평면위치와 축척계수를 나타낸 것으로 축척계수K는 위도에 따른 축척계수를 나타내고 H는 경도에 따른 동서방향의 축척계수를 나타낸다. 이 투영법은 주로 동서방향 남북방향에 비하여 넓은 국가에서 채용하는 투영법으로 동서 변위가 위도별로 일정하게 나타나지만 남북방

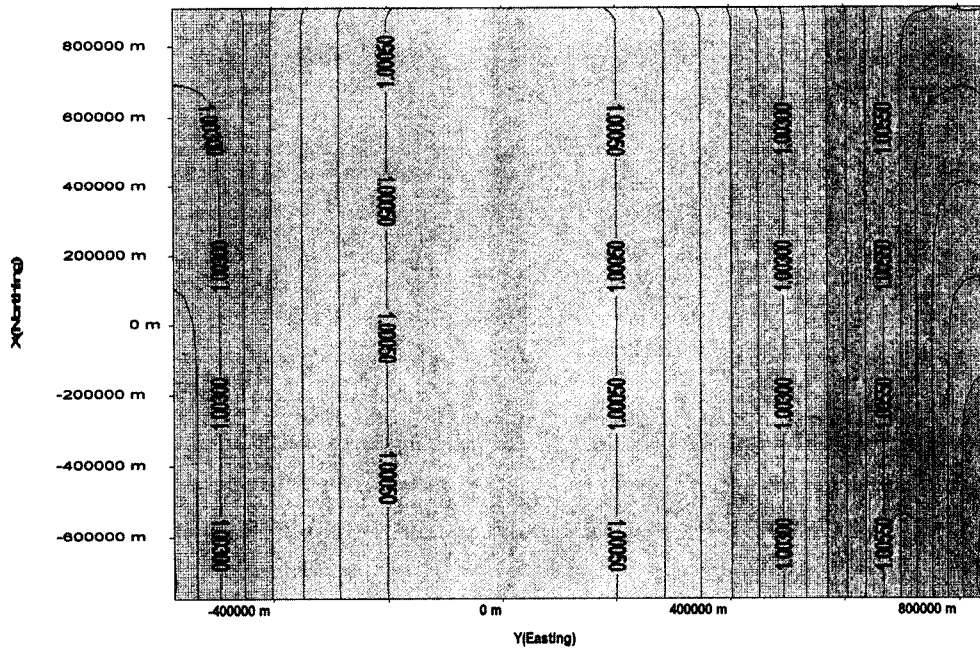
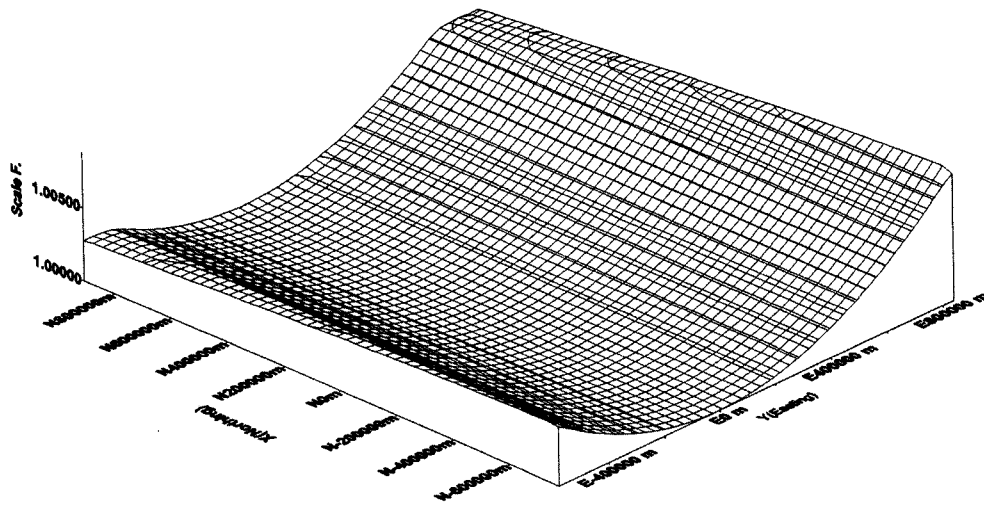


그림 4. TM투영 등축척계수도

향은 중앙자오선과 제1,2표준자오선의 설정에 따라서 변하게 된다. 축척계수는 원점축척계수 K_0 가 1보다 적어도 표준위선에서는 항시 1.0이 되며 2표준위선의 사이에서는 K 가 1보다 작게되고 표준위선 바깥쪽은 항시 축척계수가 1보다 크게 된다.

Lambert투영에서 남북방향의 축척계수 K 와 동서방향의 축척계수 H 는 $K \times H = 1$ 의 관계가 성립되어 남북방향의 축척에 따른 왜곡을 동서방향의 축척계수로 상

호 상쇄하고 있다. $37^\circ N$ 에서 $38^\circ N$ 에 이르는 구간의 위도차에 따른 왜곡량은 $110913.59 \times (1 - 0.99954) = 49.011$ m로 1:50000의 지형도상에서 0.98 mm에 해당하여 그 왜곡량은 미소하다. 남북방향에 있어서 표준위선은 투영원점으로부터 남쪽이 북쪽보다 넓게 되는 원추형으로 변한다. 그림 6의 등축척계수도와 같이 Lambert투영은 TM투영과 대조적으로 동서방향의 축척계수는 같은 위도에서는 같게 나타나고 동일경도상에서 위도가

표 4. Lambert투영의 위도변화에 따른 평면위치와 투영축척계수

| 경도 | 위도 | Lamb E. | Lamb N. | 축척계수K | 축척계수H |
|------|-----|-----------|---------|---------|---------|
| 127° | 32° | 111317.79 | 146.13 | 1.00475 | 0.99528 |
| 127° | 33° | 111171.66 | 113.72 | 1.00312 | 0.99689 |
| 127° | 34° | 111057.94 | 81.11 | 1.00179 | 0.99821 |
| 127° | 35° | 110976.83 | 48.22 | 1.00075 | 0.99925 |
| 127° | 36° | 110928.61 | 15.02 | 1.00000 | 1.00000 |
| 127° | 37° | 110913.59 | - | 0.99955 | 1.00045 |
| 127° | 38° | - | - | 0.99939 | 1.00061 |
| 127° | 39° | 110932.17 | - | 0.99954 | 1.00046 |
| 127° | 40° | 110984.81 | 52.64 | 1.00000 | 1.00000 |
| 127° | 41° | 111072.04 | 87.23 | 1.00077 | 0.99923 |
| 127° | 42° | 111194.48 | 122.44 | 1.00186 | 0.99814 |
| 127° | 43° | 111352.82 | 158.34 | 1.00327 | 0.99674 |

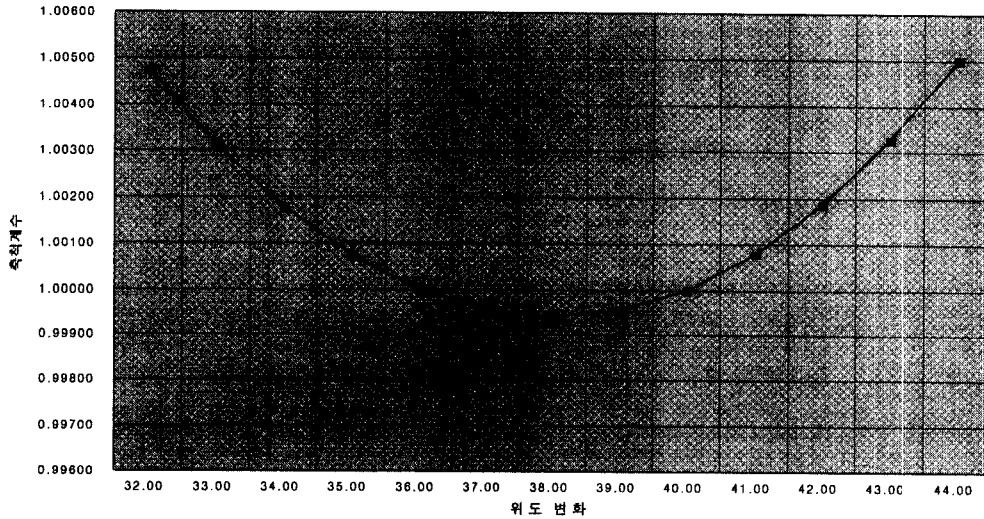


그림 5. Lambert 투영의 위도변화와 축척계수

변하게되며 경도에 따라서 표준위선 위치에 따라 변하게 되는 것으로 나타난다.

2.3 Stereographic 투영법

스테레오 투영법은 특정 구역이 아닌 특정지점으로부터 방사상으로 축척계수가 왜곡되는 정점형의 투영법으로 마치 원통투영법과 Lambert등각투영법을 결합한 형태와 유사하며 남북 양방향의 축척계수의 변위가 정확하게 동일하게 나타난다. 따라서 중요한 지역에 대하여 왜곡을 최소화하기 위하여 선택할 수 있을 것이다.

2.3.1 위도고점에 의한 경도변위에 따른 축척계수 및 변위관계

표 5는 경도에 따른 축척계수를 나타낸 것으로 중앙경선으로부터 경도변화에 따라 축척계수는 대칭적으로 크지게 된다. 경도선에 따른 축척계수의 왜곡량은 126°E~127°E에 있어서 4.39 m로 1:50000의 지형도에서 보면 극히 미소한 반면에 123°E 지역의 경우 축척계수가 1.00076으로 왜곡량은 266.96 m가 된다.

2.3.2 Stereo 투영법의 등축척계수도

Stereo투영에 의한 등축척계수의 분포형태는 그림 7에서와 같이 투영원점을 중심으로하여 방사상으로 일정한 축척의 변화가 나타난다. 투영원점에서의 축척계수는 표준위선의 축척계수설정 값이 변하게 된다. 즉 표준위선에서 축척계수가 1로 왜곡이 없게 나타나고

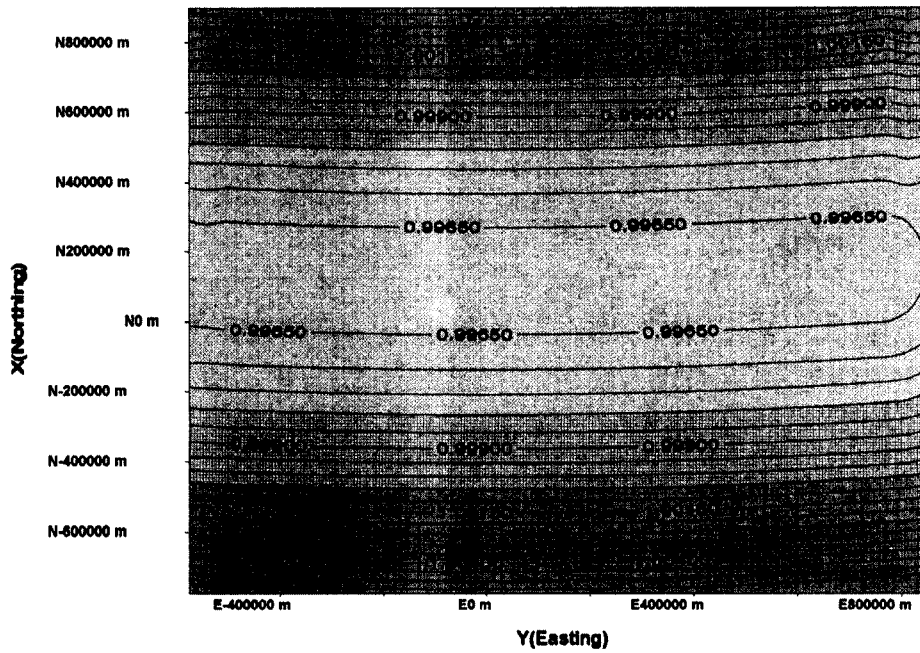
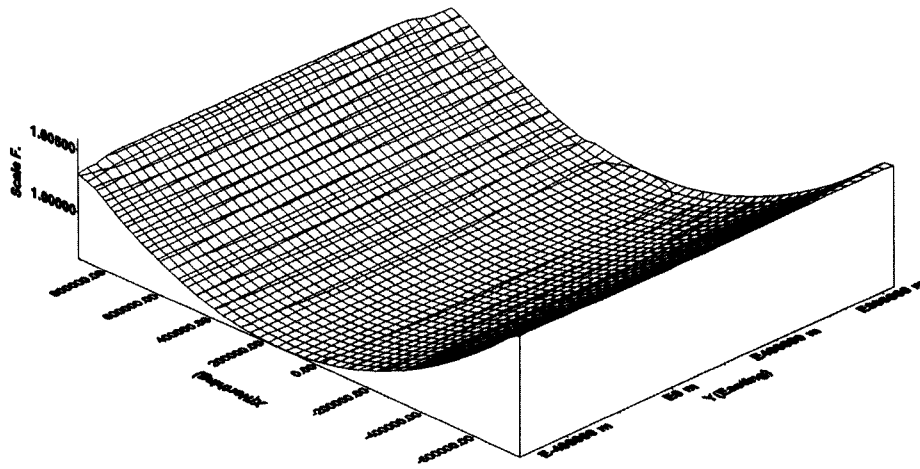


그림 6. Lambert 투영 등축척계수도

표 5. 경도변위에 따른 축척계수분포 (좌표단위 : m)

| 경도 | 123° | 124° | 125° | 126° | 127° | 128° | 129° | 130° | 131° |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 축척계수 | 1.00076 | 1.00043 | 1.00019 | 1.00005 | 1.0000 | 1.00005 | 1.00019 | 1.00043 | 1.00076 |
| Easting | 351269.48 | 263458.12 | 175641.60 | -87821.65 | 0.0 | 87821.65 | 175641.60 | 263458.12 | 351269.48 |
| E 왜곡량 | 266.96 | 113.29 | 33.37 | 4.39 | 0.0 | 4.39 | 33.37 | 113.29 | 266.96 |
| Northing | 11753.39 | 7520.67 | 1879.72 | 469.89 | 0.0 | 469.89 | 1879.67 | 4229.72 | 7520.67 |
| N 왜곡량 | 8.93 | 3.2 | 0.35 | 0.023 | 0.0 | 0.023 | 0.35 | 3.2 | 8.93 |

그 중앙부에 해당되는 투영원점은 항상 1보다 작은 왜곡분포가 동심원으로 나타난다. 따라서 극지방이나 어

느 특정지점에 대하여 투영하고자 할 경우에 이 투영법을 적용하는 것이 바람직 할 것이다. 그림 7에서 보는

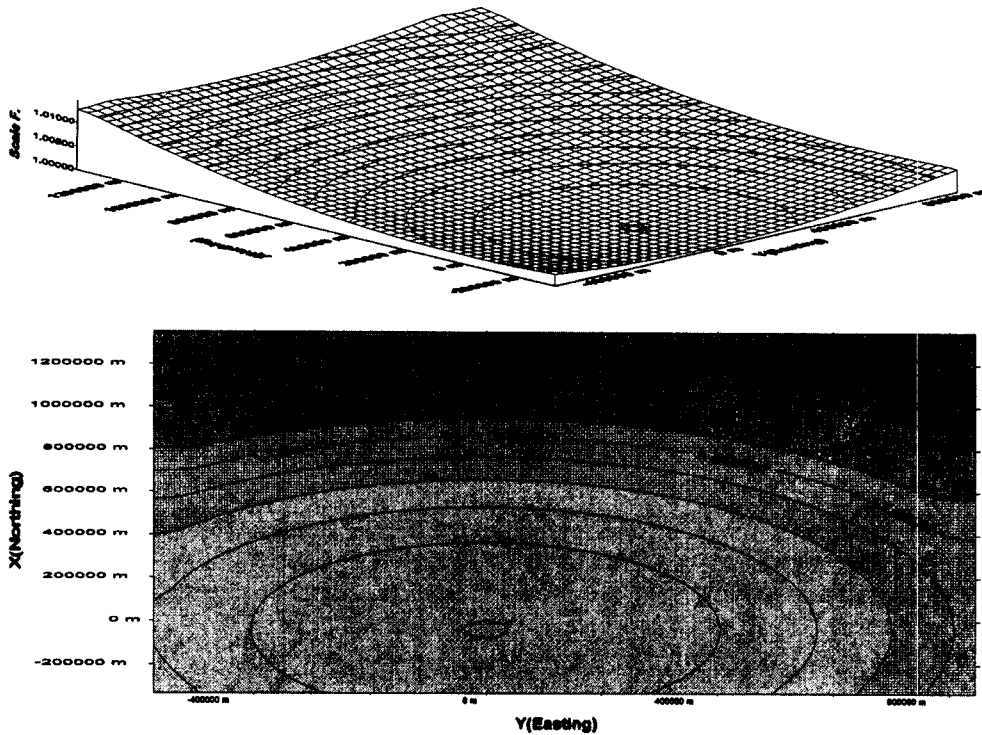


그림 7. Stereo투영법의 등축척계수도

바와 같이 중심부의 좌표는 (0,0)이 되고 왜곡은 가장자리로 갈수록 크지게 된다.

3. 등각투영법의 종합분석

지금까지 각 등각 투영법별로 경·위도에 대한 축척 계수의 변화량을 분석하였으나 여기에서는 각각의 변위량을 상호 비교하고자 한다. 우선 경·위도의 변화에 따른 위치계산과 축척계수를 구하여 분석대상치로 하였다. 분석 결과 각 투영법의 왜곡분포도를 작성하여 그 추이를 알 수 있으며 축척계수에 의한 왜곡체적을

산출하여 동일 경위도에 따른 전체적인 평면에 대한 체적을 산출하여 3가지 투영법에 대한 상대적인 왜곡률을 분석하였다.

표 6에서 보는 바와 같이 등각투영방법에 따른 X (Easting)방향의 위치왜곡은 TM투영에서 가장 크게 나타나며 Lambert 투영이 가장 적게 나타나고 Stereo투영은 중간 크기였다. 즉 TM투영과 Lambert투영은 상호 반대방향의 왜곡특성을 나타내고 그 중간적인 성질을 Stereo투영법이 가지고 있다. 즉, Stereo투영은 남북방향과 동서방향의 왜곡이 적게 나타내는 2가지의 성질을 잘 나타내고 있다. 이러한 투영의 방법은 방향성이

표 6. 투영법별 격자간격, 범위, 축척계수(단위 : M)

| 투영법 | TM | Lambert | Stereo |
|--------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Grid size dX | 34598.8 m | 34573.9 m | 34704.2 m |
| Grid size dY | 34377.5 m | 34408.4 m | 34249.7 m |
| X-Range | -573453~845099 | -573332~844197 | -575834~847037 |
| Y-Range | -776442~908057 | -332701~1353310 | -776350~901887 |
| K-Range | 1~1.00881 | 0.9999992~1.101484 | 0.996206~1.00597 |
| Volume | 2.3949E+012 m ³ | 2.40056E+012 m ³ | 2.38586E+012 m ³ |

있기 때문에 투영에 따른 왜곡은 단순한 양적인 요소뿐만 아니라 형상적인 성격이 더욱 강조되어야 한다. 일반적으로 투영특성에 있어서 TM투영이 남북방향에 있어서 가장 적은 왜곡현상을 나타내며 동서방향에서는 Lambert투영법이 가장 적게 난다. 축척계수 K의 범위는 TM투영법의 경우 1.100881, Lambert투영법의 경우 1.101486, Stereo투영법은 1.009764로서 Lambert투영법이 전체적으로 변위차가 가장 심하고 TM투영법이 가장 작다.

4. 결 론

본 연구에서는 중·대축척 지도제작에서 많이 사용하고 있는 등각투영을 중심으로 투영과정에서 필연적으로 발생하는 왜곡현상이 투영점의 위치변화 및 투영 지역의 크기에 어떻게 영향을 주며 한반도 전지역을 대상으로 할 경우 최적의 투영조건을 찾고자 하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. TM투영의 경우 중앙자오선의 축척계수의 조정에 의하여 왜곡오차를 줄일 수 있으며 Lambert 투영과 Stereo투영은 표준위선의 위치에 따라서 왜곡오차를 조정할 수 있었다.

2. 한반도 전체지역에 대한 왜곡오차를 분석한 결과 투영방법에 따라서 TM : Lambert : Stereo 투영의 왜곡량 비율은 2.395 : 2.400 : 2.396의 비율로 TM투영이 가장 적게 나타났다.

3. 원점의 축척계수가 1인 경우 TM투영에서 Simpson방식에 의하여 전체평균을 계산한 바 전체 축척계수가 1.00013이 었으며 원점계수를 이 값보다 작게 택 하면 왜곡오차를 줄일 수 있다.

4. 축척계수의 범위는 TM=1.100881, Lambert=1.101486, Stereo=1.009764로 Lambert투영이 전체적인 왜곡변위가 심하고 TM투영의 왜곡변위가 가장 적었다.

이상과 같은 분석결과는 기존의 지도투영과 그에 따른 왜곡의 이해 뿐만 아니라 새로운 지도제작이나 지형

정보시스템의 구축에 있어서 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 조규진, TM투영에서의 좌표변환에 관한 연구, 한국측지학회지, 제14권 제2호, 1996, 119~126.
2. 조규진, 標準測量學, 보성출판사, 1996.
3. 최재화, 우리나라 평면 직각좌표계에 관한 연구. 한국측지학회지, 제1권 제2호, 1983, 42~59.
4. 최재화, 우리나라 대축척지도제작을 위한 최적지도투영법의 선택에 관한 연구, 한국측지학회지. 제5권 제2호, 1987, 23~31.
5. A.REY(1961)-IGN "Notions Sommaires sur La Figure de la Terre et sa Representation Plane".
6. American Cartographic Association, Choosing a World Map-Attributes, Distortions, Classes, Aspects, Bethesda, MD : American Congress on Surveying and Mapping. Congress on Surveying and Mapping, 1988.
7. Cambell, J, Intoductory Cartography(2nd ed.), Englewood Cliffs, N.J. : Prentice-Hall, 1991.
8. Canters, F. and Decler, H., The World in Perspective : A Director of World Map Projection, Chichester : John Willey, 1989.
9. Chamberin, W., The Round Earth on Flat Pater : A Description of th Map Projection Used by Cartographers, Washington, DC : National Geographic Society, 1947.
10. Charles H. Deetz, Oscar S. Adams, Elements of Map Projection, U.S. Dept. of Commerce, Coast and Geodetic Survey, 1981.
11. Oblique Orthographic World Projection, Cartographic Journal, 24, 21~27.
12. Deetz, C.H. and Adams, O.S., Elements of Map Projections, United States Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, Special Publication No. 68. Washington, D. C. : USGPO, 1944.
13. 日本測量協會, 現代測量學 第4卷, 1981, 95~102.
14. 千葉忠二, 測量結果のデータ處理方法, オーム社, 1978, 584~595.
15. 森澤武司郎, 3次元測量, 東海出版會, 1992, 50~53.