

가우스 이중투영과 가우스크뤼게 투영법에 대한 연구 A Study on Gauss Conformal Double and Gauss-Krüger's Map Projection

전재홍* · 조규전**

Jeon, Jae-Hong · Cho, Kyu-Jon

要 旨

우리나라는 역사적으로 Gauss 이중투영과 Gauss-Krüger 투영이 혼용되어 현장실무자들에게 있어서 혼돈이 되고 있다. 본 연구에서 이러한 두가지 투영법에 대한 특성과 차이 및 적용에 따른 문제점을 재조명하고자 한다. 결론적으로 이들 투영법에 의한 차이가 기준점의 허용오차를 15센티미터 이내로 할 경우에는 GIS나 지도제작에는 문제가 없으나, 기준점의 성과계산에서는 투영에 따른 차이점이 고려되어야 할 것이다.

ABSTRACT

In Korea, map coordinates has been confused in use since the map projection system has been complicated by using two different methods i.e., Gauss conformal double projection and Gauss-Krüger projection which are complicated in using through history. So, we have to understand the two projections' characteristics and differences. In this study, we would find out a fact that the maximum difference occurred in longitude and latitude is about 15cm at the Korean peninsular. This shift is accepted as proper in GIS and cartographic application but should be considered carefully in converting of the geodetic control point coordinates.

1. 서 론

등각투영법 중에서 가우스 크뤼게 투영을 횡머케이터(TM)투영이라고도 부르고 있으며 이는 가우스 이중투영계산법으로 부터 개선한 투영법이다. 가우스 이중투영은 타원체에서 1차적으로 구체(球體)에 사상투영시킨 후에 이를 다시 평면에 이중으로 투영하는 것이고 전자의 경우 타원체로부터 직접 평면으로 투영하는 것이다.¹⁾ 가우스 이중투영법은 1910년대 우리나라의 측지계설정 당시에 적용되었으며 가우스 크뤼게 투영법은 해방이후에 혼용되어져 오고 있다.^{2,3)} 본 연구에서는 이들 두가지 투영법에 대하여 경도와 위도별로 한반도 지역에 대한 등간격 격자망에 의하여 북위38°와 동경127°를 투영원점으로 하여 두가지의 투영법과 실용성과의 좌표차이를 수치분석을 통하여 연구하고자 한다.

2. 가우스 이중투영법 (Gauss' conformal double projection)

가우스 이중투영은 원점위도에 대한 평균곡률을 구하고 지구타원체에서 1차적으로 구면상에 투영한 후에 다시 평면에 투영하는 것으로 회전타원체의 異性위도(isometric latitude) 및 경도를 (q, λ) , 球의 이성위도와 경도를 (ω, λ) 라 한다. 회전타원체면으로부터 구면상에 등각 투영하면 회전타원체의 자오선과 평행선은 구의 자오선과 평행선이 서로 대응하게 된다. 기준자오선에서는 $\lambda=\lambda_0$, $\lambda=0$ 가 되며 $q-\lambda$ 평면으로부터 구면상에 등각사상(等角寫像)투영을 하면 구면의 이성위도 ω 와 경도 λ 는 다음과 같다.^{4,5)}

$$\begin{aligned} \omega+i\lambda &= f(q+i\lambda) \\ \omega+i\lambda &= \alpha(q+i(\lambda-\lambda_0))+a \end{aligned} \tag{1}$$

단, α, a =일정상수 일때
 $\lambda = \alpha(\lambda - \lambda_0)$ 라 하면
 $\omega = \alpha \cdot q + a$ 이다.

*경기대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
**경기대학교 공과대학 토목공학과 교수

또한 지구의 평균반경

$$A = \sqrt{M_0 \cdot N_0} = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \cdot \sin^2\phi_0}$$

$$\alpha = \sqrt{1+e^2 \cdot \cos^4\phi_0}$$

$$U_0 = \sin^{-1} \left(\frac{1}{\alpha} \cdot \sin\phi_0 \right) \quad (2)$$

$$K = \frac{\tan^\alpha \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi_0}{2} \right) \cdot \left(\frac{1-e \cdot \sin\phi_0}{1+e \cdot \sin\phi_0} \right)^{\frac{\alpha-e}{2}}}{\tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{U_0}{2} \right)}$$

$$U = 2 \cdot \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{K} \cdot \tan^\alpha \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) \cdot \left(\frac{1-e \cdot \sin\phi_0}{1+e \cdot \sin\phi_0} \right)^{\frac{\alpha-e}{2}} \right\} - \frac{\pi}{2}$$

$$\cos U = \frac{\sin Y}{\sin A}$$

$$\sin U = \sin(U_0 + X) \cdot \cos Y$$

$$\cos U \cdot \cos A = \cos Y \cdot \cos(U_0 + X) \quad (3)$$

$$X = \tan^{-1} \left(\frac{\tan U}{\cos A} \right) - U_0$$

$$Y = \sin^{-1} (\cos U \cdot \sin A)$$

$$x = AX$$

$$y = A \ln \cdot \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{Y}{2} \right) \quad (4)$$

여기에서 A : 지구반경, x-y : 평면좌표, K : 정수,
U : 구면상위도, X-Y : 구면직각좌표,
ω : 이성위도, Λ : 이성경도, φ-λ : 축점의
위 · 경도, φ₀-λ₀ : 투영원점의 위 · 경도이다.

3. 가우스 크뤼게(Gauss-Krüger) 투영법

가우스 크뤼게 투영은 타원체면상의 점 (φ, λ)를 평면상의 점 (x, y)에 등각사상으로 투영한 것으로 기본 공식은 다음과 같다.

$$x_{y=0} = f(q) = B = \int_0^q M d\phi$$

$$x = m_0 \left\{ f(q) - \frac{\Delta\lambda^2}{2} \cdot \frac{d^2f(q)}{dq^2} + \frac{\Delta\lambda^4}{24} \cdot \frac{d^4f(q)}{dq^4} - \frac{\Delta\lambda^6}{720} \cdot \frac{d^6f(q)}{dq^6} \right.$$

$$\left. + \frac{\Delta\lambda^8}{40320} \cdot \frac{d^8f(q)}{dq^8} - \dots \right\}$$

$$y = m_0 \left\{ \Delta\lambda \cdot \frac{df(q)}{dq} - \frac{\Delta\lambda^3}{6} \cdot \frac{d^3f(q)}{dq^3} + \frac{\Delta\lambda^5}{120} \cdot \frac{d^5f(q)}{dq^5} \right. \quad (5)$$

$$\left. - \frac{\Delta\lambda^7}{5040} \cdot \frac{d^7f(q)}{dq^7} + \dots \right\}$$

$$\frac{df(q)}{dq} = \frac{dB}{d\phi} \cdot \frac{d\phi}{dq} = M \cdot \frac{N \cdot \cos\phi}{m} = N \cdot \cos\phi$$

$$x(N) = m_0 \left\{ B + \frac{\Delta\lambda^2}{2} \cdot \frac{N}{\rho^2} \cdot \sin\phi \cdot \right.$$

$$\cos\phi + \frac{\Delta\lambda^4}{24} \cdot \frac{N}{\rho^4} \cdot \sin\phi \cdot \cos^3\phi \quad (6)$$

$$\cdot (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) + \frac{\Delta\lambda^6}{720} \cdot N \cdot \frac{N}{\rho^6} \cdot \sin\phi \cdot \cos^5\phi$$

$$\cdot (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^2\eta^2 + 445\eta^4 + 324\eta^6 - 680\eta^4t^2 + 88\eta^2 - 600\eta^6t^2 - 192\eta^8t^2) + \frac{\Delta\lambda^8}{40320} \cdot$$

$$\left. \frac{N}{\rho^8} \cdot \sin\phi \cdot \cos^7\phi (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) \right\}$$

$$y(E) = m_0 \left\{ \Delta\lambda \cdot \frac{N}{\rho} \cdot \cos\phi + \frac{\Delta\lambda^3}{6} \cdot \frac{N}{\rho^3} \cdot \cos^3\phi \cdot (1 - t^2 + \eta^2) + \right.$$

$$\frac{\Delta\lambda^5}{120} \cdot \frac{N}{\rho^5} \cdot \cos^5\phi \cdot (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 -$$

$$58t^2\eta^2 + 13\eta^4 + 4\eta^6 - 64\eta^4t^2 - 24\eta^6t^2) + \quad (7)$$

$$\left. \frac{\Delta\lambda^7}{5040} \cdot \frac{\cos^7\phi}{\rho^7} \cdot (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \right\}$$

$$\text{단 } t = \tan\phi, \eta^2 = 1 + e^2 \cdot \cos^2\phi$$

M=자오(子午)선의 곡률반경, mo=투영원점의 축척계수, N=묘유(卯留)선의 곡률반경

Gauss-Krüger 투영은 적도로부터 X축의 길이가 일정하게 유지되며 중앙자오선으로부터 거리가 Y가 된다. 변환공식은 일정하게 끝나는 공식이 아니라 다음과 같이 Taylor 급수에 의한 무한급수형태로 나타낼 수 있다.^{6,7)}

$$Y = a_0 - a_2\lambda^2 + a_4\lambda^4 - a_6\lambda^6 + \dots \quad (8)$$

$$X = a_1\lambda - a_3\lambda^3 + a_5\lambda^5 - a_7\lambda^7 + \dots$$

최초의 변수 a₀는 변환하고자 하는 점에 대한 자오선의 호장이고, λ는 중앙자오선으로부터의 경도차로서

Radian값을 사용하며 일반적으로 식 (9)에 의하여 구한다. 본 연구에서는 식 (10)을 수치해석법으로 자오선의 길이를 구하였다.⁷⁾

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \int_0^\phi M d\phi \\
 a_1 &= N \cdot \cos\phi \\
 a_2 &= \frac{1}{2} \cdot N \cdot \cos^2\phi \cdot t(-1) \\
 a_3 &= \frac{1}{6} \cdot N \cdot \cos^3\phi \cdot (-1+t^2-\eta^2) \\
 a_4 &= \frac{1}{24} \cdot N \cdot \cos^4\phi \cdot t(5-t^2+9\eta^2+4\eta^4) \\
 a_5 &= \frac{1}{120} \cdot N \cdot \cos^5\phi \cdot (5-18t^2+t^4+14\eta^2-58t^2\eta^2) \\
 a_6 &= \frac{1}{720} \cdot N \cdot \cos^6\phi \cdot t(-61+58t^2-t^4-270\eta^2+330t^2\eta^2) \\
 a_7 &= \frac{1}{5040} \cdot N \cdot \cos^7\phi \cdot (-61+47t^2-179t^4+t^6)
 \end{aligned} \tag{9}$$

또는 다음의 적분식으로도 구한다.⁹⁾

$$\begin{aligned}
 a_0 &= \int_0^\phi M d\phi \\
 a_1 &= \int_0^\phi \frac{a \cdot (1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\phi)^3}} d\phi
 \end{aligned} \tag{10}$$

3.1 자오선의 계산

자오선의 호장계산은 투영에 있어서 중요한 요소로 적도를 출발점으로 하여 축점위도까지 이르는 타원체 또는 구체에 접한 경도선에 대한 길이를 말한다. 자오선 길이의 계산은 뉴턴 법(Newton's method)에 의하

여 다음과 같이 구하게 된다.⁹⁾

$$x^{(n+1)} = x^n - \frac{f(x^n)}{f'(x^n)} \tag{11}$$

즉, n회 반복조작 한 추정치

$$f(\phi_1^n) = \int_0^{\phi_1^n} \frac{a \cdot (1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2\sin^2\phi)^3}} d\phi - B_1 \tag{12}$$

(n+1)회 반복조작

$$\phi_1^{n+1} = \phi_1^n - f(\phi_1^n) \cdot \frac{\sqrt{(1-e^2\sin^2\phi_1^n)^3}}{a \cdot (1-e^2)} \tag{13}$$

적도로부터 위도 ϕ 에 있어서 자오선 길이를 구하게 된다. 이러한 뉴턴의 해법보다 컴퓨터 시스템을 이용한 적분법으로 간단하게 계산할 수 있다. 이러한 자오선에 대한 길이를 수치해석적으로 풀이하는 방법은 Simpson, Gauss-Legendre 및 Recursive Trapezoid 등의 방법으로 구할 수 있다.⁹⁾

3.2 Gauss Krüger 투영의 자오선장 계산

자오선 길이의 계산은 적분법에 의하여 쉽게 해결할 수 있지만 컴퓨터가 사용되지 않았을 시기에 이의 계산은 복잡한 상수식에 의하여 풀어야만 하였다. 이를 수치 해석적으로 많이 사용되고 있는 적분법에 의하여 적도로부터 위도 38°지점에 대한 자오선의 호장을 계산한 결과 다음의 표 1과 같이 적분구간 간격에 따른 정도의 차이가 나타났다. 따라서 이의 수치적분에 따른 최적의 구간설정에 주의를 하여야 할 것이다. 수치적분법은 열줄 이하의 간단한 프로그램에 의하여 복잡한 호

표 1. 적분법에 의한 호장(북위38°)

구분	Gauss법	Trapezoid법	Simpson법	Recursive Tr.법
호 장	N=2 4207089.35982388	N=100 4207077.93475246	N=2 4207060.28873	N=1 4207649.392997
	N=3 4207077.66501800	N=1000 4207077.71001872	N=10 4207077.68123	N=3 4207113.193147
	N=4 4207077.70782252	N=4700 4207077.70785147	N=20 4207077.70609	N=5 4207079.924639
	N=5 4207077.70774866	N=5000 4207077.70783950	N=30 4207077.70742	N=7 4207077.846301
	N=6 4207077.70774869	N=6000 4207077.70781174	N=40 4207077.70765	N=9 4207077.716408
	N=7 4207077.70774869	N=7000 4207077.70778697	N=50 4207077.70771	N=11 4207077.708289
	N=8 4207077.70774868	N=8000 4207077.70778146	N=60 4207077.70773	N=13 4207077.707783
	N=9 4207077.70774868	N=9000 4207077.7077672	N=70 4207077.70774	N=15 4207077.707751
	N=10 4207077.70774869	N=10000 4207077.70777136	N=80 4207077.70774	N=17 4207077.707749
	N	N>4	N>7000	N>80

참고 : Gauss-Krüger 계산식에 의한 북위38°대한 호장 : 4207077.70785425 m, 사용 축지원자 : Bessel, 원점축척계수(Ko)=1, 투영원점(38°N, 127°E)

표 2. 호장차이에 의한 평면위치(Northing)의 변위(위도 : 38°N 기준)

구분	Gauss법	Trapezoid법	Simpson법	Recursive Rr.법
차이	N=3 -0.0428362*	N= 100 0.22689821	N= 2 -17.419124293	N= 1 571.686851424
	N=4 -0.0000317	N=1000 0.00216447	N=10 -0.0266242493	N= 3 35.4852930503
		N=4700 -0.0000027	N=20 -0.0017642491	N= 5 2.21678485069
			N=30 -0.0004342496	N= 7 0.13844635058
				N= 9 0.00855395011
비고	* Gauss법에서 N=3인 경우 자오선장과 Northing차이 4207077.665018-4207077.70785425=-0.04283625 m N : 구간수 또는 변수항			

장을 계산할 수가 있다.⁸⁻¹⁰⁾

3.2.1 Simpson Rule

$$\int_A^B f(x)dx \approx h/3[f(A)+f(B)]+2h/3 \sum_{k=1}^{M-1} f(x_{2k})+4h/3 \sum_{k=1}^M f(x_{2k-1}) \quad (14)$$

3.2.2 Composite Trapezoidal Rule

$$\int_A^B f(x)dx \approx h/2[f(A)+f(B)]+h \sum_{k=1}^{M-1} f(x_{2k}) \quad (15)$$

INPUT A,B,M

H=(B-A)/M

SUM=0

FOR K=1 TO M-1 DO

X=A+H*K

SUM=SUM+F(X)

SUM=H*(F(A)+F(B)+2*SUM)/2

단, $f(x)=a*(1-e^2)/(1-e^2*\sin^2(x))^{1.5}$, 또 a=지구장반경, e=이심률

3.2.3 Recursive Trapezoidal Rule

$$\int_A^B f(x)dx \approx h/2 \sum_{k=1}^2 [f(x_{k-1})+f_k] \quad (16)$$

3.2.4 Gauss-Legendre Quadrature Rule

$$\int_A^B f(x)dx \approx 0.5 \times (B-A) [Wn, 1f(tn, 1)+Wn, 2f(tn, 2)+\dots+Wn, nf(tn, n)] \quad (17)$$

(Wn : Weight Coefficients, Tn : Gauss Points, f(x) : 호장계산함수식, A-B : 적분한계)

위도 38°N에 대한 호장을 위의 4가지 적분법에 의하

여 분석한 결과 표 1과 2에서 나타난 것과 같이 Gauss-Legendre법은 N=3인 경우 Gauss-Krüger공식과 비교하여 약 4 cm 차이가 생기며 N>4 경우 31.7 μm로 정확하게 되며 Simpson공식의 경우 적도로부터 북위38°까지 약 20구간 이상으로 세분하여 적분하면 2 mm밖에 차이가 생기지 않는다. 이러한 호장의 길이가 직접 북좌표(Northing)값에 영향을 주기 때문에 가우스 크뤼게 투영에 있어서 중요한 요소가 된다. 표 2는 적분법에 따른 자오선의 길이와 북좌표성과와 비교한 것으로, 호장이 북좌표에 직접적으로 영향을 주지만 동좌표(Easting)에는 영향을 거의 미치지 않는 것을 보여 준다. 이러한 네가지의 적분법은 가우스 크뤼게 투영에 따른 호장과 비교한 결과 일정 구간 이상을 설정하거나 프로그램에서 순환식을 사용하여 필요 이상의 정도를 구할 수가 있다.^{10,11)}

4. Gauss 이중투영과 Gauss-Krüger 투영좌표 수치분석

한반도 지역을 한계범위로 1개의 투영원점(38°N, 127°E)을 설정하여 위도 33°N 에서 43°N 까지와 경도 124°E에서 130°E까지를 변화시킨 결과 그림 1과 2에서 보는 것과 같이 두가지 투영법에 대한 좌표성과에 있어서 투영원점 지역으로부터 대칭형태로 위도변위가 생기며 최대 20 cm이내 었다. 최저의 변위는 표 3과 4에 서와 같이 위도 38°N의 투영원점에 있으며 경도별로 127°E 경도선상에서 두가지 투영법의 위치변위가 가장 크며 중앙자오선으로부터 멀어질수록 적게 나타나고 중앙자오선에 대하여 대칭적이다. 동서변위는 동경 127°E 상에서는 가우스 이중투영과 가우스 크뤼게 투영간에 차이가 없고 중앙자오선으로부터 멀어질수록

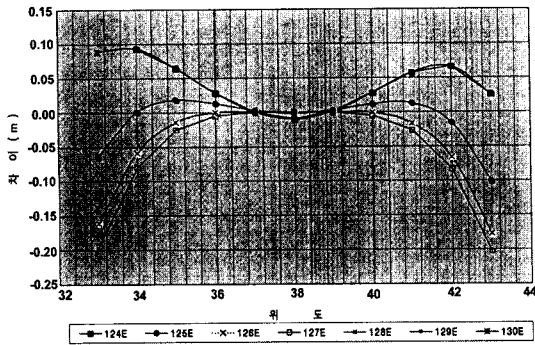


그림 1. 가우스 이중투영과 가우스크뤼게 투영의 북좌표 (Northing)차이

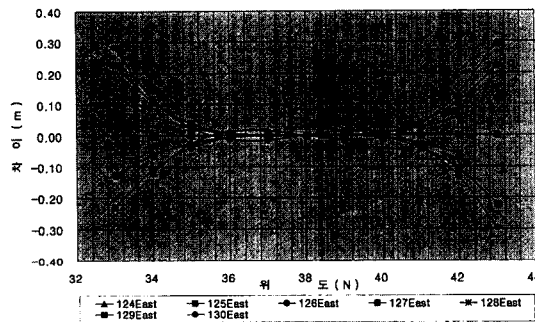


그림 2. 가우스 이중투영과 가우스크뤼게 투영의 동좌표 (Easting)차이

동서 차이가 크게 나타났다. 위도별로는 투영원점에서 위도가 멀어질수록 차이가 크게 발생한다. 최대 차이의 경우는 경도124°E와 130°E이고 위도33°E와 43°E인 경우이다. 예를 들어 중부원점에 대한 제주도의 서남부에 해당되는 지역의 경우 약 30 cm의 차이가 발생한다. 하지만 서부원점으로 적용할 경우에는 이의 약 1/2에 해당되는 15 cm정도의 오차가 수반된다.^{3,12,13)}

표 3. 가우스 이중투영과 크뤼게 투영 북좌표(Northing) 차이

경도	위도	G-D*	G-K*	차 이(m)
126°	33°	-554247.17546	-554247.01448	-0.16097
126°	34°	-443338.66854	-443338.60939	-0.05915
126°	35°	-332412.76203	-332412.74801	-0.01402
126°	36°	-221469.19014	-221469.18997	-0.00016
126°	37°	-110507.71552	-110507.71630	0.00078
126°	38°	471.87021	471.87034	-0.00012
126°	39°	111469.74609	111469.74537	0.00072
126°	40°	222486.06135	222486.06208	-0.00073
126°	41°	333520.93506	333520.95138	-0.01632
126°	42°	444574.45576	444574.52168	-0.06592
126°	43°	555646.68112	555646.85871	-0.17759

* G-D(Gauss-Double), G-K(Gauss-Krüger)투영

표 4. 가우스 이중투영과 크뤼게 투영 동좌표(Easting) 차이

경도	위도	G-D	G-K	차 이(m)
126°	33°	-93444.16794	-93444.04186	-0.12608
126°	34°	-92375.61496	-92375.55178	-0.06318
126°	35°	-91278.90387	-91278.87828	-0.02559
126°	36°	-90154.35100	-90154.34421	-0.00679
126°	37°	-89002.28143	-89002.28108	-0.00035
126°	38°	-87823.02893	-87823.02893	0.00000
126°	39°	-86616.93593	-86616.93633	0.00040
126°	40°	-85384.35345	-85384.36023	0.00678
126°	41°	-84125.64108	-84125.66596	0.02487
126°	42°	-82841.16690	-82841.22704	0.06014
126°	43°	-81531.30741	-81531.42522	0.11780

가우스 이중투영과 가우스 크뤼게 투영성과를 1910년대 우리나라 측지계의 설정당시의 기준점 성과와 비교한

표 5. 가우스 이중투영, 가우스 크뤼게투영과 실용성과와의 비교

삼 각 점 명	투 영 법	N(X)	E(Y)	실용성과와 차이	
				dN(m)	dE(m)
오 덕 산 B=41°45'55.196" L=126°54'14.973"	Gauss-D	418033.2000	-7968.6289	0.0400	0.0311
	Gauss-K	418033.2649	-7968.6339	0.0249	0.0261
	구 체	419110.6776	-7956.8269		
	실용성과	418033.2400	-7968.66		
차 일 봉 B=40°00'57.298" L=127°02'43.844"	Gauss-D	223775.1198	3885.5688	0.0498	0.5488
	Gauss-K	223775.1251	3885.5692	0.0551	0.5492
	구 체	224385.7151	3880.2044		
	실용성과	223775.0700	3885.0200		

표 5. 계속

삼 각 점 명	투 영 법	N(X)	E(Y)	실용성과와 차이	
				dN(m)	dE(m)
홀 양 산 B=39°21'46.253" L=126°50'57.370"	Gauss-D	151283.5291	-12988.7372	0.0009	0.0428
	Gauss-K	151283.5301	-12988.7376	0.0001	0.0424
	구 체	151704.7748	-12971.2900		
	실용성과	151283.5300	-12988.7800		
오 봉 산 B=38°43'15.520" L=128°06'09.411"	Gauss-D	80599.4521	95879.3054	0.0121	0.0154
	Gauss-K	80599.4516	95879.3052	0.0116	0.0152
	구 체	80825.9436	95754.0101		
	실용성과	80599.4400	95879.2900		
용 마 산 B=37°34'06.076" L=127°05'41.805"	Gauss-D	-47900.0045	8386.9651	0.0045	0.0151
	Gauss-K	-47900.0045	8386.9651	0.0045	0.0151
	구 체	-48040.7581	8376.5540		
	실용성과	-47900.0000	8386.9400		
거 제 도 B=34°50'56.7549" L=128°41'34.1968"	Gauss-D	-349565.7799	-28088.8515	0.0015	0.0000
	Gauss-K	-349565.7502	-28088.8417	0.0282	0.0098
	구 체	-350673.0773	-28058.2176		
	실용성과	-349565.7784	-28088.8515		

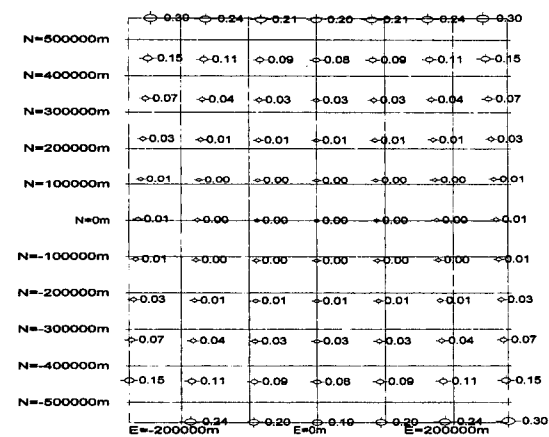


그림 3. 가우스 이중투영과 크뤼게투영 좌표차이 분포(단 위 : m)

결과 표 5에서 보는 바와 같이 거제도의 대삼각점의 경우 가우스 이중투영성과 거의 동일하며 투영원점에서 멀어질수록 실용성과와 많은 차이가 발생하고 있다. 실용성과와 두가지 투영법을 비교한 결과 모두 5 cm 이내이다. 따라서 실용상에 있어서 두가지 투영법 모두 적용이 가능하다고 보아야 할 것이다.¹⁴⁾

5. 결 론

Gauss 이중투영과 Gauss Krüger 투영 및 실용좌표의

분석결과 그 차이는 미소하게 나타났으며 구체적으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 한반도 전지역을 하나의 투영원점(38°N, 127°E)을 사용했을 경우 가장자리에 해당되는 경우인 (124°E, 33°N), (124°E, 43°N), (130°E, 33°N), (130°E, 43°N) 지역에서 최대 좌표차이는 이론적으로 약 15 cm가 될 수 있다.

2. 가우스 이중 투영성과와 가우스 크뤼게 투영성과를 실용성과와 비교한 결과 5 cm 이내였으며 투영원점 부근 지역과 대삼각점(거제도)에서는 거의 동일하다.

3. Gauss-Krüger 투영의 자동선장 계산을 적분법으로 산출한 결과 1 mm 이상의 정도로 수렴 가능하다.

따라서 지도의 제작이나 지형정보의 구축에 있어서 두가지의 투영법이 혼용되더라도 큰 문제는 없겠지만 국가기준점의 설정, 좌표계산과 국가 기준점 관리에 있어서 주의하여 사용해야 될 것이다.

참고문헌

1. 조규전, TM투영에서의 좌표변환에 관한 연구, 한국측지학회 14권 제2호, 1996, 119-126.
2. 한국측지학회, 수치지도 품질개선 및 관리를 위한 세미나 개요집, 1998, 87-88.
3. 국립지리원, 수치지도 좌표계에 관한 연구, 1998.6, 61-63.
4. Charles H. Deetx, Elements of Map Projection, U.S.De-

- partment of Commerce, 1944, 57-60.
5. 日本測量協會, 測地測量I, 1989, 91-96.
 6. 大野重保, 測地學の方法, 東海書店, 1987, 17-19.
 7. G.Bakker, Delft University of Technology, Radio Position at Sea, 89-90.
 8. Dr.S.J.Yoon, Computational Methods in Structural Mechanics, Gu Mi Seo Kwan Publishing Co.1997, 71-86.
 9. John H.Mathews, Numerical Methods for Mathematics, Science, and Engineering, 1992, 346-399.
 10. 石川甲子男, 測量計算プログラム, 山海堂, 45-49.
 11. John P. Snyder, Map Projections used by the U.S.Geological Survey, U.S.Government Printing Office, 1982, 230-233.
 12. Paul D.Thomas, Conformal Projection in Geodesy and Cartography, U.S.Government Printing Office, 1952, 2-5.
 13. R.D'Hollander, IGN Paris, Topographie/Topométrie, 1976, 23-27.
 14. 原田健久, 測量嚴密計算法, 鹿島書版會, 1992, 75-76.