

# UTM투영에 의한 Bessel과 WGS84 타원체간의 2차원 측지좌표변환 연구

## A Study on the Transformation of Two Dimensional Geodetic Coordinates between Bessel and WGS84 Ellipsoids by UTM Projection

이용창\* · 강준묵\*\*

Lee, Yong-Chang · Kang, Joon-Mook

### 要 旨

본 연구에서는 GPS에 의한 2차원 실용좌표의 획득면에 중점을 두고 WGS84와 벡셀타원체간의 3차원 좌표변환에 필수요소인 지역지오이드 모델없이 두 타원체간 투영좌표의 상호 변환모델식을 구성하여 점점점에 적용하고 실용성과 비교 고찰함으로써 UTM투영좌표에 의한 타원체간 2차원 좌표변환의 산정법을 제시한 것이다. 인천시 지역을 시험모델로 관내 11개 삼각점으로부터 상호변환계수를 도출하고 점점점인 15개 지적삼각점에 적용하여 양방향의 변환정밀도를 분석한 결과, 측지좌표의 경우 위도 및 경도성분에서 각각  $\pm 0.006$ 초,  $\pm 0.013$ 초, 평면직교좌표의 경우는 남북 및 동서방향에서 각각  $\pm 17$  cm 및  $\pm 30.0$  cm의 표준편차로 변환할 수 있었다. 또한, 남한지역을 대상으로 한 광역망, 경인·충남지역의 지역망 및 인천지역의 국소망으로부터 3-매개변환, 7-매개변환 및 UTM좌표간 변환계수를 각각 산출하여 점점점에 적용하고 변환넓이에 따른 변환기법별 변환특성도 고찰하였다.

### ABSTRACT

The aim of this paper is to propose the technique of the two dimensional geodetic coordinates conversion between WGS84 and Bessel spheroids by the two-dimensional affine transformation modeling based on the UTM plane coordinates without the local geoid model which is essential to three dimensional coordinates conversion. Area of approximately  $25 \times 11$  square km in the city of Incheon was selected as the test area. The transformation parameters were determined using the eleven triangulation control points in test area. And then, those parameters were applied to the fifteen cadastral control points which selected as checking points for precision checking of transformation parameters. The average and standard deviations of the absolute values of the conversion residuals of checking points in latitude/longitude and N/E(UTM) and/or x/y(TM) are  $\pm 0.006''/\pm 0.013''$  and  $\pm 17$  cm/ $\pm 30$  cm respectively. Also, coefficients for 7-parameters, 3-parameters and UTM model transformation computed according as sizes of transformed area, and then the transformed characteristics of checking points according to transformation methods analyzed synthetically.

### 1. 서 론

GPS 측량방식이 국내에 도입된 이래로 제점의 위치 결정, 지형정보의 구축 등 여러분야에서 그 효용성이 입증되어 왔다.<sup>1)</sup> 특히, 측위분야에서의 GPS는 측점간의 시통문제와 기상문제를 극복하여 한 차원 높은 측정

기술로서 국가 측지기준망의 검토투와 일반 측량작업은 물론 항공사진의 촬영점 위치결정에 매우 효율적으로 활용되고 있다. 그러나 GPS로 부터 획득되는 위치정보는 WGS84 타원체에 기초한 3차원 좌표인 반면, 우리나라는 벡셀타원체를 채택하고 있어 WGS84 좌표를 곧바로 실용화 할 수 없는 불편한 점이 있다. 특히 구성 요소가 다른 두 타원체간의 3차원 좌표변환을 위해서는 우선, 해당지역에 적합한 지역지오이드의 모형이

\*시립인천전문대학 토목과 조교수

\*\*충북대학교 공과대학 토목공학과 교수

개발되어야 하며 또한, 변환지역 및 변환범위에 따른 좌표변환의 특성을 신중히 검토하여 소요정도와 지역 특성에 맞는 좌표변환계수를 산출해야 하는 난점이 부가된다.<sup>2,3)</sup> 그러나, GPS의 응용분야 중 지적측량, 공사 기준점측량 및 해상위치측량에서는 2차원 좌표의 획득이 주 목적인 경우가 많다. 따라서, 이들 응용분야에서는 2차원 좌표만이 필요하므로 매우 어려운 산출과정을 통하여 구성되는 지역지오이드고의 모델이 불필요하게 된다.

이에 본 연구에서는 GPS에 의한 2차원 실용좌표의 획득면에 중점을 두고 인천지역에 고루 분포된 3, 4등 삼각점 11개 측점에 대한 GPS관측을 수행하여 실용성과 GPS관측성적을 획득한 다음, 각 측정의 벡셀 및 WGS84 타원체상의 측지 경·위도를 각각의 타원체를 기준으로 UTM(Universal Transverse Mercator Projection) 투영하여 투영좌표를 산정하고 두 타원체간 투영좌표의 상호 변환관계를 2차원 Affine 모델식으로 모델링하며 변환계수의 상관성을 검토한다. 이들 모델식의 타당성을 검토하기 위해 인천시 관내 지적삼각점 15개 측점을 선점하여 GPS관측으로부터 산출된 WGS 84 좌표의 UTM투영좌표를 모델식에 적용하고 벡셀측지좌표와 TM(Transverse Mercator Projection)좌표를 산출합은 물론, 남한지역내 고루 분포한 30개의 1, 2등 삼각점 및 경인·충남지역내 11개의 1, 2등 삼각점으로 구성된 광역망 및 지역망으로부터 3- 및 7- 매개변환계수와 4) UTM좌표간 변환계수를 산출하여 지적점의 변환에 각각 적용하고 변환기법별, 변환구역의 범위에 따른 변환계수의 변환특성을 실용지적성적을 기준으로 종합적으로 비교 검토함으로써 UTM 투영에 의한 타원체간 2차원 좌표변환의 산정법을 제시하며 그 효용성을 검토한다.

## 2. 해석이론

### 2.1 좌표변환모델링

두 타원체간 UTM투영좌표의 상호변환은 2차 회귀다항식 모델의 일종인 다음과 같은 2차원 Affine 변환모델식을 구성하여 최소제곱조정에 의해 변환계수를 산출하고 변환계수의 통계검정을 수행하였다. 식 (1)과 식(2)는 각각 WGS84 좌표로부터 벡셀좌표로 벡셀좌표에서 WGS84좌표로 변환하기 위한 기본모델식이다.<sup>5,8)</sup>

$$N_{BES} = a_1 + b_1 * E_{WGS} + c_1 * N_{WGS} \quad (1)$$

$$E_{BES} = a_2 + b_2 * E_{WGS} + c_2 * N_{WGS}$$

$$N_{WGS} = a'_1 + b'_1 * E_{BES} + c'_1 * N_{BES} \quad (2)$$

$$E_{WGS} = a'_2 + b'_2 * E_{BES} + c'_2 * N_{BES}$$

여기서,  $E_{WGS}$ ,  $N_{WGS}$  : WGS84 타원체상의 UTM 투영좌표

$E_{BES}$ ,  $N_{BES}$  : 벡셀 타원체상의 UTM 투영좌표

$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2, a'_1, b'_1, c'_1, a'_2, b'_2, c'_2$  타원체간 투영좌표의 변환계수

산출된 계수의 적합도를 규명하기 위하여 분산분석(ANOVA : ANalysis Of VAriance)을 하고 적합도(Goodness of Fit), 상관계수(Correlation coefficient) 및 귀무가설( $H_0$ =부분회귀계수는 0이다. 즉, 회귀성이 없다. 만일, F값이 한계값 FC보다 크면 귀무가설은 기각되고 대립가설이 채택됨.)에 기초한 F-검정을 수행하여 상관성을 검토하였다.<sup>9)</sup>

### 2.2 지도투영

타원체상 임의 측정점의 2차원 측지좌표( $\phi, \lambda$ )를 투영평면상의 직교좌표  $x, y$ 로 변환하는 투영의 기본방정식은 식 (3)과 같다.<sup>9)</sup>

$$x = f_1(\phi, \lambda), y = f_2(\phi, \lambda) \quad (3)$$

대부분의 측지학적 응용에는 상사투영(Conformal projection)에 기초한 TM 및 UTM 투영의 평면지도좌표가 이용되고 있다. 횡원통투영(TM)은 타원체를 경도 3°씩 120개 지역으로 나누고 각 지역의 중앙을 중심자오선으로 하여 등각투영하는 방법으로 우리나라는 편의상 중앙자오선의 방향을 x축, 적도방향을 y축, 중앙자오선의 축척계수를 1.0000로 설정하고 있다.

국제횡원통투영(UTM)은 TM투영의 개량형으로 타원체를 6°의 경도간격으로 60개 Zone으로 분할하고 자오선방향을 N, 적도방향을 E, 중앙자오선의 축척계수를 0.9996로 취하는 투영으로 우리나라의 대부분 지역은 Zone 52대에 속하며 일부 서해 도서지역이 Zone 51대에 속한다. 본 연구에서는 투영기본방정식에 근거하여 WGS84 및 벡셀타원체상의 측지경위도를 UTM 투영 평면좌표로 또한 벡셀타원체상의 측지 경·위도를 TM투영 평면좌표로 상호 변환할 수 있는 프로그램을 각각 구성하여 적용하였다.<sup>8,11,12)</sup>

### 3. 위성관측 및 자료처리

인천시지역을 대상으로 그림 1과 같이 3등 및 4등 삼각점 11개 측점을 선점하여 기준망을 구성하고 점검점으로 그림 2와 같은 15개 지적삼각점을 선점, 총 26개 측점에 대한 GPS위성관측을 수행하였다. 그림 1 및 2에서 ▲와 ⊕는 각각 삼각점 및 지적삼각점의 위치를 나타내며 첨자는 측점의 일련번호이다. GPS관측을 위

한 기준점은 Trimble 4000SSI L1/L2수신기(Compact L1/L2 Ground Plane 안테나)를 이용하여 대덕관측소(TAEJ)<sup>13)</sup>와 공동관측를 수행하여 설정한 시립 인천전문대학 공학관 옥상의 임시 고정점을 이용하였고, 인천시 관내 삼각점과 지적점의 관측에는 Trimble 4600LS 수신기를 활용하여 측점당 1시간씩 고도 15°이상인 위성만으로 부터 15초 간격으로 L1주파수를 수신하였다. 수신된 자료는 Trimble사의 GPSurvey 및 Trimnet S/

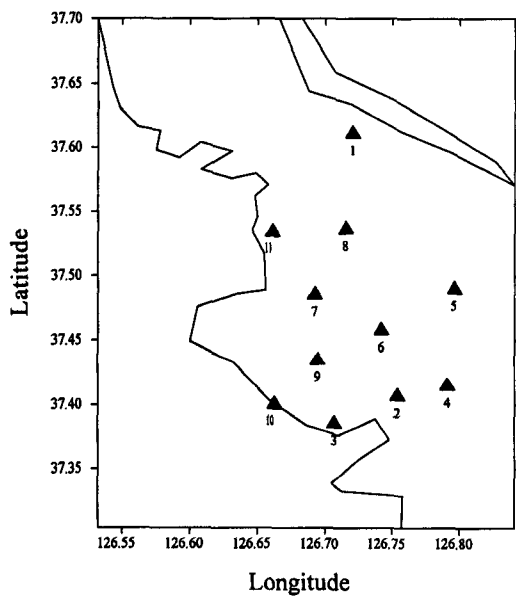


그림 1. 기준점의 분포

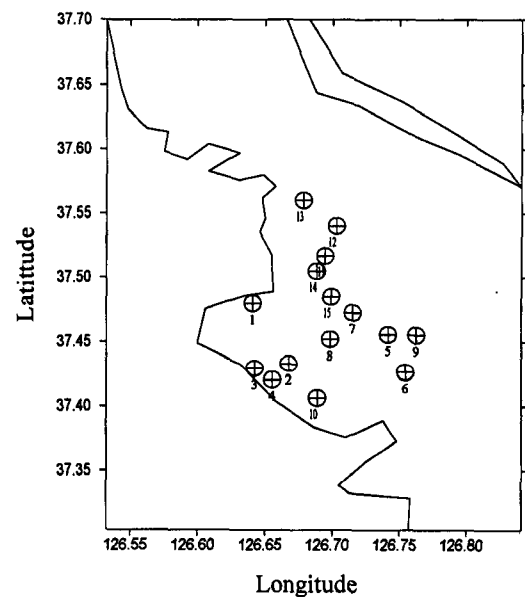


그림 2. 점검점의 분포

표 1. 삼각점의 벡셀 및 WGS84 측지 경·위도좌표 (단위 : ° ' ')

순번	삼각점	벡셀타원체		WGS 84 타원체	
		위도	경도	위도	경도
1	김포 421	37-36-29.110	126-43-21.515	37-36-39.187	126-43-14.046
2	안양 456	37-24-13.812	126-45-21.397	37-24-23.966	126-45-13.915
3	인천 425	37-22-56.927	126-42-33.302	37-23-07.089	126-42-25.835
4	안양 452	37-24-42.593	126-47-35.056	37-24-52.744	126-47-27.569
5	안양 302	37-29-13.001	126-47-54.057	37-29-23.125	126-47-46.589
6	인천 420	37-27-18.360	126-44-38.841	37-27-28.497	126-44-31.360
7	인천 413	37-28-56.901	126-41-40.778	37-29-07.033	126-41-33.307
8	인천 449	37-32-01.369	126-43-03.189	37-32-11.497	126-42-55.732
9	인천 305	37-25-53.970	126-41-48.049	37-26-04.116	126-41-40.582
10	인천 428	37-23-50.771	126-39-53.347	37-24-00.926	126-39-45.887
11	김포 443	37-31-53.026	126-39-48.077	37-32-03.140	126-39-40.625
임시 고정점(인천전문대학 공학관 옥상)				37-28-12.497	126-45-55.231

표 2. 지적삼각점의 벡셀 및 WGS84 측지경·위도좌표 (단위: ° ' ")

순번	지적삼각점	벡셀타원체		WGS84 타원체	
		위도	경도	위도	경도
1	인천 10	37-28-38.261	126-38-35.294	37-28-48.394	126-38-27.855
2	인천 11	37-25-49.783	126-40-12.707	37-25-59.934	126-40-05.261
3	인천 16	37-25-36.556	126-38-41.124	37-25-46.707	126-38-33.679
4	인천 17	37-25-4.172	126-39-28.110	37-25-14.321	126-39-20.656
5	인천 18	37-27-10.679	126-44-37.294	37-27-20.812	126-44-29.805
6	인천 19	37-25-25.832	126-45-23.997	37-25-35.981	126-45-16.514
7	인천 20	37-28-12.260	126-43-2.502	37-28-22.399	126-42-55.037
8	인천 21	37-26-58.143	126-42-1.583	37-27-08.284	126-41-54.119
9	인천 22	37-27- 9.488	126-45-52.389	37-27-19.628	126-45-44.908
10	인천 23	37-24-13.597	126-41-27.525	37-24-23.752	126-41-20.080
11	인천 24	37-30-51.358	126-41-48.006	37-31-01.480	126-41-40.548
12	인천 25	37-32-16.105	126-42-18.073	37-32-26.215	126-42-10.614
13	인천 29	37-33-26.788	126-40-50.868	37-33-37.253	126-40-43.426
14	인천 30	37-30-8.540	126-41-25.814	37-30-18.665	126-41-18.358
15	인천 31	37-28-56.628	126-42-4.648	37-29-06.762	126-41-57.193

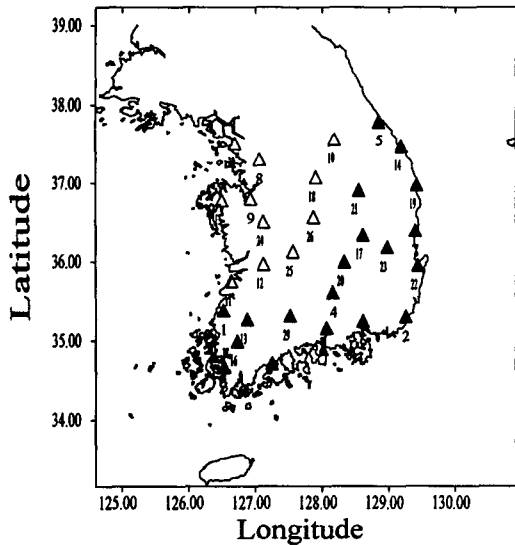


그림 3. 광역망 및 지역망의 측점분포

W로 처리하여 WGS84 타원체상의 좌표를 경도 및 위도에서 평균  $\pm 5$  mm 이내의 표준편차로 산정하였다.

표 1 및 표 2는 각각 GPS관측이 수행된 11개 측점의 삼각점과 15개 측점의 지적점에 대한 벡셀 및 WGS84 측지경·위도좌표를 나타낸 것이다.

그림 3은 남한지역내 고루 분포한 30개의 1, 2등 삼각점 및 경인·충남지역내 11개의 1, 2등 삼각점으로 구성

된 광역망 및 지역망으로서 1993~1995년 중에 대덕관측소를 고정점으로 Trimble 4000 SSE 수신기 3대를 이용하여 측점당 3시간씩 관측하고 경도, 위도 및 고도성분에서 평균  $\pm 5$  cm 이내의 표준편차로 산정하였다. 그림 3에서 ▲와 △는 삼각점의 위치를 나타내는데, 특히 △는 경인·충남지역을 대상으로 지역망을 구성하는 삼각점의 분포이며 첨자는 측점의 일련번호이다.<sup>9)</sup>

## 4. 비교 분석

### 4.1 좌표변환모델링

인천시 지역 관내 3, 4등 삼각점 11개 측점의 WGS84 및 벡셀타원체상의 측지경·위도좌표를 UTM투영 좌표로 변환하여 식 (1), (2)에 근거한 2차원 Affine 변환계수를 산출하고 계수의 상관성을 검토하였다. 표 3은 WGS84 타원체상의 UTM좌표를 벡셀타원체상의 UTM좌표로 변환하기 위한 계수를 나타낸 것이다. N 및 E성분의 잔차에 대한 표준편차는 각각  $\sigma_N = \pm 0.192$  m,  $\sigma_E = \pm 0.168$  m로 산정되었다. 계수의 적합도와 상관성은 N, E 변환모델 모두, 거의 1에 가까운 결과를 나타냈고 귀무가설에 의한 검정값은  $F_E = 292774688.0$ ,  $F_N = 83451440.0$ 로 자유도  $v_1 = 2$ ,  $v_2 = 8$ , 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 정의된 한계값  $F_c = 4.46$  보다 월등히 크게 나타나

**표 3. UTM 투영좌표간의 변환모델식(WGS84 → 벡셀)**

$$N_{WGS} = 678.38377439 - 0.00003339 * E_{BES} + 1.00001506 * N_{BES}$$

$$E_{WGS} = -354.07786721 + 1.00003865 * E_{BES} + 0.00003434 * N_{BES}$$

**표 4. UTM 투영좌표간의 변환모델식(벡셀 → WGS84)**

$$N_{BES} = -678.75688746 + 0.00003356 * E_{WGS} + 0.99998501 * N_{WGS}$$

$$E_{BES} = 354.12723160 + 0.99996122 * E_{WGS} - 0.00003434 * N_{WGS}$$

상관성이 높은 계수로 판단되었다.

표 4는 벡셀타원체상의 UTM좌표를 WGS84 타원체상의 UTM좌표로 변환하기 위한 변환모델로서 N 및 E 성분의 잔차에 대한 표준편차는 표 3의 변환모델과 유사하게 각각  $1\sigma_N = \pm 0.191$  m,  $1\sigma_E = \pm 0.168$  m로 산정되었다. 계수의 적합도와 상관성은 N, E 변환모델 모두, 거의 1에 가까운 결과를 나타냈으며 귀무가설에 의한 검정값도  $F_E = 9840.1$ ,  $F_N = 205598528.0$ 로 자유도  $v_1 = 2$ ,  $v_2 = 8$ , 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 정의된 한계값  $F_c = 4.46$  보다 월등히 크게 나타나 종합적으로는 두가지 상호 변환모델 모두 상관성이 매우 양호한 것으로 판단되었다.<sup>9)</sup>

**4.2 변환모델의 적용**

표 3 및 표 4의 변환모델식을 점검점인 인천시 관내 지적삼각점 15개 측점에 적용하여 타원체간 측지좌표

를 상호변환하고 실용지적성과 및 지적점의 위성관측 성과와 비교함은 물론, 광역망 및 지역망으로부터 3- 및 7- 매개변환계수와<sup>9)</sup> UTM투영좌표간의 변환계수를 산출, 점검점의 변환에 적용하고 변환구역의 넓이에 따른 변환기법별 계수의 변환특성도 함께 검토하였다.

**4.2.1 WGS84좌표에서 벡셀좌표로의 변환**

표 5는 벡셀타원체상 지적삼각점의 UTM좌표 및 표 3의 계수를 지적삼각점의 WGS84 좌표에 적용하고 벡셀타원체상의 UTM좌표로 변환한 후, 변환된 UTM좌표에서 지적삼각점의 UTM좌표를 감하여 산정한 변환잔차를 나타낸 것이다. 15개 지적삼각점에 대한 변환잔차의 표준편차는  $\sigma_N = \pm 0.146$  m,  $\sigma_E = \pm 0.300$  m로서 표 3에서 제시한 변환계수의 표준편차와 비교할 때 N성분은 유사하게 나타낸 반면, E성분은 약 2배 증가된 표준편차로 WGS84 좌표로 부터 벡셀타원체상의 UTM좌표로 변환하였다. 표 6은 지적삼각점의 WGS84 좌표를 벡셀타원체상의 UTM좌표로 변환한 좌표를 다시 측지좌표로 변환하고 고시된 벡셀 측지경·위도좌표(표 2)와의 성분별 잔차를 나타낸 것이다. 변환잔차의 표준편차는 위도 및 경도성분에서 각각  $\sigma_\theta = \pm 0.005''$ ,  $\sigma_\lambda = \pm 0.012''$ 로 위도성분의 변환결과가 경도성분에 비해 양호하게 변환되었다.

표 7은 지적삼각점의 고시된 TM투영좌표 및 WGS

**표 5. 지적삼각점의 UTM좌표와 WGS84좌표의 변환잔차 (단위 : m)**

순번	지적삼각점	벡셀타원체상 UTM 좌표		변환잔차	
		N	E	ΔN	ΔE
1	인천 10	4150016.947	291623.208	0.088	0.420
2	인천 11	4144764.786	293887.459	0.179	0.414
3	인천 16	4144413.088	291626.340	0.122	0.343
4	인천 17	4143386.209	292756.412	-0.018	0.180
5	인천 18	4147099.738	300450.143	-0.061	-0.389
6	인천 19	4143840.939	301520.693	0.134	-0.148
7	인천 20	4149053.814	298167.088	0.268	0.085
8	인천 21	4146805.921	296614.838	0.101	0.065
9	인천 22	4147019.028	302294.371	0.161	-0.104
10	인천 23	4141755.037	295653.698	0.041	0.551
11	인천 24	4154001.883	296457.153	0.183	0.118
12	인천 25	4156595.795	297259.070	0.065	0.094
13	인천 29	4158838.095	295172.875	-0.066	0.389
14	인천 30	4152695.566	295879.925	0.146	0.157
15	인천 31	4150455.841	296779.314	0.223	0.251

표 6. WGS84에서 변환된 벡셀 측지좌표잔차(단위 : m)

순번	지적삼각점	벡셀타원체	
		위도	경도
1	인천 10	0.003	0.017
2	인천 11	0.006	0.017
3	인천 16	0.004	0.014
4	인천 17	0.000	0.007
5	인천 18	-0.002	-0.016
6	인천 19	0.004	-0.006
7	인천 20	0.009	0.003
8	인천 21	0.003	0.003
9	인천 22	0.005	-0.004
10	인천 23	0.002	0.022
11	인천 24	0.006	0.005
12	인천 25	0.002	0.004
13	인천 29	-0.002	0.016
14	인천 30	0.005	0.006
15	인천 31	0.007	0.010

표 7. 지적삼각점의 TM좌표와 변환잔차 (단위 : m)

순번	지적삼각점	벡셀타원체상 TM좌표		변환잔차	
		X	Y	ΔX	ΔY
1	인천 10	442051.140	168182.800	0.086	0.418
2	인천 11	436848.760	170557.620	0.200	0.420
3	인천 16	436449.280	168304.730	0.132	0.348
4	인천 17	435446.690	169456.170	-0.005	0.186
5	인천 18	439322.060	177068.710	-0.060	-0.394
6	인천 19	436086.960	178207.980	0.129	-0.140
7	인천 20	441227.110	174744.920	0.279	0.088
8	인천 21	438947.040	173240.830	0.099	0.073
9	인천 22	439280.490	178914.080	0.152	-0.108
10	인천 23	433877.440	172387.030	0.055	0.558
11	인천 24	446137.320	172930.560	0.171	0.102
12	인천 25	448747.400	173677.110	0.071	0.102
13	인천 29	450944.640	171543.960	-0.054	0.398
14	인천 30	444819.150	172381.230	0.163	0.164
15	인천 31	442599.260	173327.850	0.225	0.258

84 좌표를 벡셀타원체상의 측지좌표로 변환하고 이를 다시 TM투영하여 산정한 TM투영좌표에서 고시된 TM좌표를 감하여 산출한 변환잔차를 나타낸 것이다. 변환잔차의 표준편차는  $\sigma_x = \pm 0.150$  m,  $\sigma_y = \pm 0.304$  m 로서 표 5에서 제시한 UTM변환의 변환정밀도와 매우

유사한 변환결과를 얻을 수 있었다.

표 8, 9 및 표 10은 광역망(Large), 지역망(Medium) 및 국소망(Small)으로부터 각각 3-매개변환기법, 7-매개변환기법 및 UTM좌표간 변환기법 별로 산출한 변환계수와 계수의 표준편차를 나타낸 것으로 국소망의

표 8. 광역망의 변환기법별 좌표변환계수

계수	성분	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)	χ(°)	φ(°)	ω(°)	s(ppm)
3-P		145.330	-504.272	-685.057	.	.	.	.
1σ		1.791	1.410	1.439				
7-P		125.873	-477.689	-661.475	-2.181	-2.337	1.802	-6.349
1σ		8.373	6.586	8.153	0.242	0.244	0.212	0.828
UTM		$N_{WGS} = -762.21025502 + 0.00001826 * EBES + 1.00000641 * N_{BES} (\sigma = \pm 0.928 \text{ m})$ $E_{WGS} = 275.90443619 + 1.00000590 * E_{BES} - 0.00001877 * N_{BES} (\sigma = \pm 0.483 \text{ m})$						

표 9. 지역망의 변환기법별 좌표변환계수

계수	성분	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)	χ(°)	φ(°)	ω(°)	s(ppm)
3-P		145.330	-503.154	-686.277	.	.	.	.
1σ		1.206	1.214	1.004				
7-P		113.022	-459.494	-646.619	-2.526	-2.692	2.028	-10.555
1σ		17.223	12.572	14.072	0.498	0.471	0.369	1.523
UTM		$N_{WGS} = -740.51767361 + 0.00002358 * EBES + 1.00000053 * N_{BES} (\sigma = \pm 0.640 \text{ m})$ $E_{WGS} = 295.96948750 + 1.00000526 * E_{BES} - 0.00002367 * N_{BES} (\sigma = \pm 0.192 \text{ m})$						

표 10. 국소망의 변환기법별 좌표변환계수

계수	성분	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$	$\chi(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	$\omega(^{\circ})$	s(ppm)
3-P		138.634	-492.780	-679.065	.	.	.	.
	1 $\sigma$	0.083	0.083	0.083				
7-P		31.082	-380.132	-548.064	-3.547	-4.343	3.656	-31.735
	1 $\sigma$	85.310	58.596	56.305	2.482	2.010	1.641	6.259

UTM투영변환계수는 표 3를 이용하였다. 변환지역의 범위가 축소됨에 따라 계수의 표준편차는 3-매개변환 요소법과 UTM좌표간 변환기법의 경우, 점차 감소하는 반면, 7-매개변환요소는 오히려 증가하는 경향이 나타나 좁은 변환지역 내에서 독립적으로 변환계수를 산출할 경우, 구속조건이 많은 7-매개변환계수의 산출에 주 의가 요망됨이 사료된다.

표 11, 12 및 표 13은 각각 변환범위에 따라 변환기법별로 산출된 변환계수를 15개 점검점의 WGS84 좌표에 적용하여 벡셀타원체상의 측지좌표, UTM투영좌표(N/E) 및 TM투영좌표(X/Y)로 각각 변환하고 지적점의 해당 실용좌표를 기준으로 변환잔차의 표준편차를 위도/경도, N/E 및 X/Y 성분별로 나타낸 것이다. 그림 4-7 및 그림 8, 9는 각각 변환구역의 범위에 따른 변환기법별 위도/경도, N/E 및 X/Y 성분의 변환잔차를 도 시한 것이다.

변환된 벡셀타원체상의 측지경·위도와 N/E 및 X/

표 11. 점검점의 측지좌표 변환표준편차 (단위 : ")

변환계수	성분	7-매개변환	3-매개변환	UTM
광역계수	$\Delta\varphi$	0.024	0.113	0.031
	$\Delta\lambda$	0.017	0.066	0.013
지역계수	$\Delta\varphi$	0.005	0.063	0.020
	$\Delta\lambda$	0.014	0.039	0.029
국소계수	$\Delta\varphi$	0.010	0.007	0.005
	$\Delta\lambda$	0.009	0.010	0.012

표 12. 점검점의 UTM좌표 변환표준편차 (단위 : m)

변환계수	성분	7-매개변환	3-매개변환	UTM
광역계수	$\Delta N$	0.738	3.458	0.952
	$\Delta E$	0.392	1.695	0.300
지역계수	$\Delta N$	0.136	1.906	0.588
	$\Delta E$	0.355	0.993	0.719
국소계수	$\Delta N$	0.321	0.206	0.146
	$\Delta E$	0.232	0.237	0.300

표 13. 점검점의 TM좌표 변환표준편차 (단위 : m)

변환계수	성분	7-매개변환	3-매개변환	UTM
광역계수	$\Delta X$	0.733	3.495	0.949
	$\Delta Y$	0.401	1.627	0.311
지역계수	$\Delta X$	0.136	1.927	0.600
	$\Delta Y$	0.350	0.958	0.698
국소계수	$\Delta X$	0.324	0.209	0.150
	$\Delta Y$	0.234	0.236	0.304

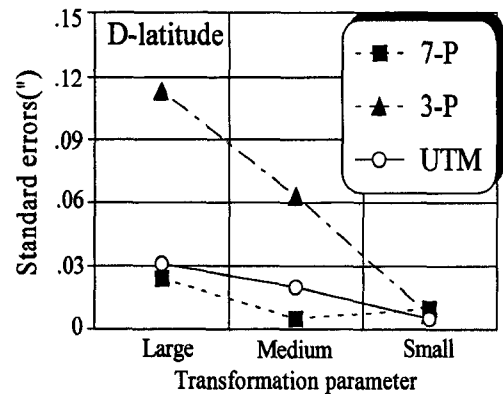


그림 4. 변환 범위/기법 별 위도의 변환편차

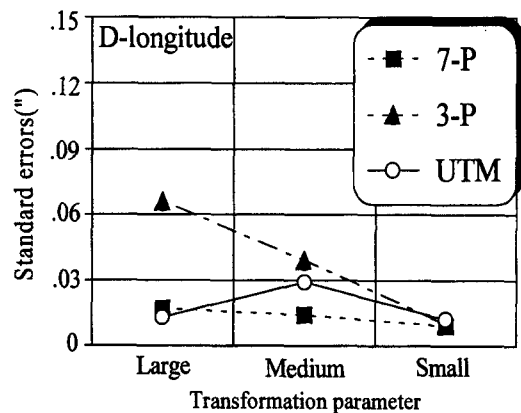


그림 5. 변환 범위/기법 별 경도의 변환편차

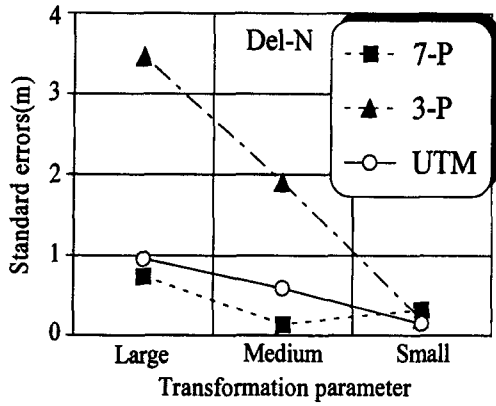


그림 6. 변환 범위/기법 별 N의 변환편차

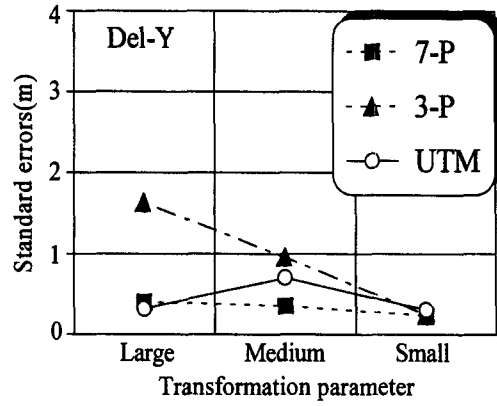


그림 9. 변환 범위/기법 별 Y의 변환편차

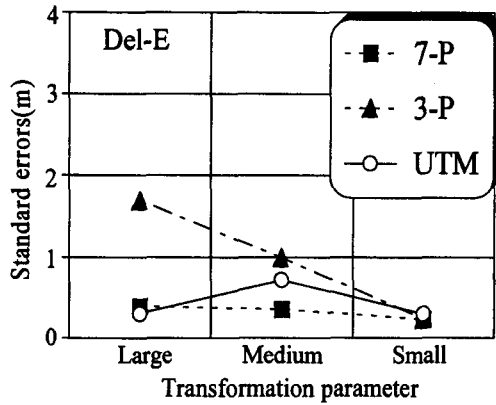


그림 7. 변환 범위/기법 별 E의 변환편차

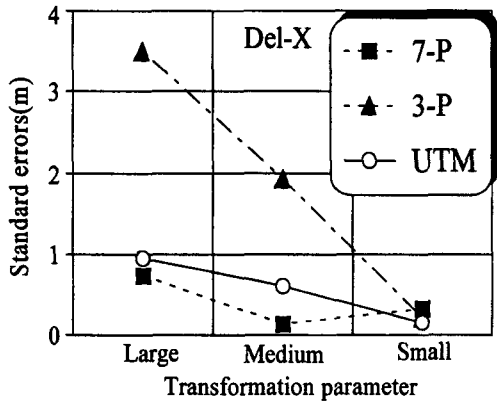


그림 8. 변환 범위/기법 별 X의 변환편차

Y에 대한 표준편차의 분포는 변환범위 및 기법별로 위도 및 경도성분에서 전반적으로 동일한 경향을 나타냈다. 점검점의 변환정확도는 남한전역을 대상으로 산출

된 광역계수보다 경인·충청지역의 지역계수를 적용할 경우가 양호하였고 특히, 인천시를 대상으로 산출한 국소계수를 적용한 경우가 기법별로 가장 양호한 결과를 보였다.

변환범위에 따라 산출된 계수의 변환정확도를 변환기법별로 고찰해 보면 광역망에서 산출된 계수의 경우, 7-매개변환기법과 본 연구에서 제안한 UTM좌표간 변환기법이 경·위도, N/E 및 X/Y성분에서 근소한 변환편차를 나타내었고 3-매개변환기법에 비해 월등히 양호한 변환결과를 나타내고 있다. 지역계수를 점검점에 적용한 경우에서도 7-매개변환, UTM좌표간 변환기법, 3-매개변환요소기법 순의 변환결과를 나타내었는데 특히, 자오선방향성분에서는 광역망에 비해 변환편차가 현저히 감소하는 경향으로 나타난 반면, 묘유선방향성분인 측지경도, E 및 Y성분에서 UTM좌표간 기법의 경우 편차가 증가된 점은 향후, 좀더 심도있는 검토가 요망된다. 국소망으로부터 산출된 변환계수를 적용한 경우는 3가지 변환기법에서 평균 변환편차  $\pm 25\text{cm}$ 의 매우 근소한 변환결과를 나타내었는데 특히, 자오선방향에서는 UTM좌표간 변환기법이 묘유선방향에서는 매개변환기법이 근소한 차이로 양호하게 나타났다. 위의 변환결과를 토대로 변환범위에 따른 기법별 변환특성을 종합적으로 고찰해 보면 2차원 좌표변환이 주목적인 경우, 본 연구에서 제시하는 UTM좌표간 변환기법이 3-매개변환기법보다 양호하며 7-매개변환의 결과와 대등한 변환정확도를 나타내므로 향후, 변환계수의 산출에 사용될 기준점을 신뢰도 및 기하학적 배점을 고려하여 신중히 선정한다면 지역지



표 14. 지적삼각점의 UTM좌표와 벡셀좌표의 변환잔차 (단위 : m)

순번	지 적 삼각점	WGS84타원체상 UTM좌표		변환잔차	
		N	E	ΔN	ΔE
1	인천 10	4150748.110	291423.345	-0.182	0.440
2	인천 11	4145495.886	293687.498	-0.273	-0.435
3	인천 16	4145144.201	291426.208	-0.216	-0.363
4	인천 17	4144117.129	292556.126	-0.076	-0.201
5	인천 18	4147830.412	300249.714	-0.031	0.367
6	인천 19	4144571.724	301320.434	-0.227	0.126
7	인천 20	4149784.923	297967.111	-0.361	-0.106
8	인천 21	4147536.882	296414.700	-0.195	-0.086
9	인천 22	4147749.861	302094.296	-0.253	0.082
10	인천 23	4142485.894	295453.839	-0.134	-0.572
11	인천 24	4154733.038	296257.313	-0.275	-0.139
12	인천 25	4157326.844	297059.326	-0.157	-0.115
13	인천 29	4159569.117	294973.422	-0.027	-0.410
14	인천 30	4153426.684	295680.057	-0.239	-0.178
15	인천 31	4151186.973	296579.498	-0.316	-0.272

오이드고에 대한 정보없이도 타원체간의 원활한 2차원 좌표변환을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4.2.2 벡셀좌표에서 WGS84좌표로의 변환

표 14는 WGS84 타원체상 지적삼각점의 UTM투영 좌표 및 지적삼각점의 벡셀좌표를 표 4의 변환계수를 적용하여 WGS84 타원체상의 UTM좌표로 변환한 후, 지적삼각점의 UTM좌표를 감하여 산정한 잔차를 나타 낸 것이다. 15개 지적삼각점의 변환잔차에 대한 표준편차는  $\sigma_N = \pm 0.227$  m,  $\sigma_E = \pm 0.312$  m로서 표 4에서 제시 한 변환계수의 표준편차와 비교할 때 앞서 검토한 WGS84좌표에서 벡셀좌표로 변환한 결과인 표 5의 변 환 정밀도와 유사한 경향으로 나타났다.

표 15는 지적삼각점의 벡셀 측지경·위도를 변환계 수를 적용하여 WGS84 타원체상의 UTM좌표로 변환 한 다음, WGS84 타원체상의 측지경·위도로 변환하여 고시된 측지좌표(표 2)와 위도 및 경도성분에서의 잔차 를 산정한 것이다. 변환잔차의 표준편차는 위도 및 경 도성분에서 각각  $\sigma_\phi = \pm 0.007''$ ,  $\sigma_\lambda = \pm 0.013''$ 로서 WGS 84 성과를 벡셀성가로 변환할 때와 유사한 경향으로 위 도성분의 변환결과가 경도성분에 비해 양호하게 변환 되었다.

따라서, 인천시 관내 11개 삼각점으로부터 WGS84 및 벡셀타원체 상호간의 변환을 위한 모델식을 두 타원

표 15. 벡셀 측지좌표에서 변환된 WGS84 측지좌표잔 차 (단위 : m)

순 번	지 적 삼각점	WGS84 타원체	
		위 도	경 도
1	인천 10	-0.006	-0.018
2	인천 11	-0.009	-0.017
3	인천 16	-0.007	-0.015
4	인천 17	-0.003	-0.008
5	인천 18	-0.001	0.015
6	인천 19	-0.007	0.005
7	인천 20	-0.012	-0.004
8	인천 21	-0.006	-0.003
9	인천 22	-0.008	0.004
10	인천 23	-0.005	-0.023
11	인천 24	-0.009	-0.005
12	인천 25	-0.005	-0.005
13	인천 29	-0.001	-0.017
14	인천 30	-0.008	-0.007
15	인천 31	-0.010	-0.011

체간 UTM좌표의 변환관계로부터 구성하여 점검점인 15개 지적삼각점에 적용하고 상호변환한 결과를 고찰 함과 아울러, 변환범위에 따른 변환기법별 점검점의 변 환특성을 종합적으로 고찰한 결과, GPS의 응용분야 중 지적측량, 공사기준점측량 및 해상위치측량과 같이 2차원 좌표의 획득이 주 목적인 경우, 매우 어려운 산 출과정을 통하여 구성되는 지역지오이드고의 모델없이 도 GPS로부터 조정산출된 WGS84 타원체상의 좌표를 벡셀타원체상의 좌표로 혹은 GPS관측 없이도 벡셀타 원체상의 좌표로부터 WGS84좌표를 획득할 수 있는 변환방법을 모색할 수 있었다.

## 5. 결 론

GPS에 의한 2차원 실용좌표의 획득면에 비중을 두 고 광역망, 지역망 및 국소망으로부터 벡셀 및 WGS84 타원체간의 좌표변환을 위해 3- 및 7-매개변환계수와 UTM좌표간 변환모델계수를 각각 산출하고 점검점인 15개의 지적삼각점에 적용하여 변환 해석한 결과 다음 의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 인천시 관내 11개 삼각점으로부터 벡셀 및 WGS 84 타원체간 UTM투영좌표의 상호 변환계수를 산출하 고 통계검정 및 변환편차를 검토한 결과, 양 방향 변환

에서 상관성이 거의 1이며 변환 표준편차가 평균  $\sigma_N = \pm 19$  cm,  $\sigma_E = \pm 0.17$  cm인 모델식을 도출할 수 있었다.

2. 모델식의 적합성을 검토하기 위해 15개의 지적삼각점으로 구성된 점검점에 적용하고 상호 변환한 결과, 평면좌표의 경우는 남북 및 동서방향에서 평균  $\pm 16$  cm 및  $\pm 30$  cm, 측지좌표의 경우, 위도 및 경도성분에서 평균  $\pm 0.006''$ ,  $\pm 0.013''$ 의 표준편차로 변환할 수 있었다.

3. 변환넓이에 따라 산출된 변환계수를 점검점에 적용하고 검토한 결과, 본 연구에서 제안한 UTM좌표간 변환기법이 대체로 3-매개변환기법보다 양호하며 7-매개변환의 결과와 대등한 변환정확도를 나타내므로 지역오이드의 모델 없이도 타원체간의 원활한 2차원 좌표변환을 할 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 자유전문대 과제(과제번호 : 1997-004-E00318) 연구비 지원에 의하여 수행된 연구로서 한국학술진흥재단에 깊은 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 강준목, 신봉호, 이용창, 윤철규, "매개변환요소에 따른 WGS84와 Bessel 타원체간의 좌표 변환", 대한토목학회 논문집, 14권 5호, 1994, 1209-1218.
2. 이용창, "GPS에 의한 측지학적 정밀 3차원 좌표결정에 관한 연구", 충남대학교박사학위논문, 1994.
3. DMA TR 8350.2-A, TR 8350.2-B 1 December 1987, DMA TR 8350.2 2nd, 1 September 1991.
4. 이용창, 강준목, "GPS 측위범위에 따른 타원체간의 좌표 변환특성 연구", 한국측지학회지 제13권 제2호, 153-162, 1995.
5. 조규전, 전재홍, 차득기, 어수창, "소지역에서 GPS좌표 변환에 관한 연구", 한국측지학회지 제15권 제2호, 253-261, 1997.
6. Ramesh L. Shrestha and Bon A. Dewitt, "An Evaluation of NAD-27 to NAD-83 Plane Coordinate Transformation for the State of Florida", Journal of Surveying and Mapping, 49(4), 1989, 179-183.
7. T. Vincenty, "Conformal Transformations Between Dissimilar Plane Coordinate Systems", Journal of Surveying and Mapping, 47(4), 1987, 271-274.
8. DMA TR 8358.1 "DATums, Ellipsoids, Grids and Grid Reference Systems".
9. John C. Davis, "Statistics and Data Analysis in Geology", John Wiley & Sons, INC. 1973.
10. Bomford G., "Geodesy", 3th ed., 1971.
11. Alfred Leick, "Geometric Geodesy, 3D-Geodesy, Conformal Mapping", Report No.19, University of Maine at Orono. 1980.
12. 일본측량협회, "현대측량학시리즈 측지측량 ①, 측지측량 ②", 昭和56年.
13. 박필호, 한인후, 김천휘, 강준목, "GPS 측지기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제 9권 1호, 37-45., 1991.