

# 새로운 국가 측지기준계의 도입에 따른 지리정보의 좌표변환

윤 홍 식 성균관대학교 토목환경공학과 교수

## 1. 서론

지구의 표면은 산과 바다로 구성되어 있는 복잡한 형상으로서 그 지리적인 특성을 지도화하기 위하여는 지형적인 불규칙성을 기록할 수 있는 공간적인 기준계가 필요하다. 이러한 공간적인 기준계는 사용하기 쉽고 간단하여야 하며, 지물들의 위치를 명확하게 표시할 수 있는 측지학적인 기준과 좌표계 등이 포함되어야 하고, 직관적으로 사용할 수 있도록 물리적인 세계와 관련되어야 한다. 즉, 측지기준 좌표계(Geodetic Reference Coordinate System)는 지구상의 諸点의 위치를 결정하기 위한 측지기준(Geodetic Datum), 좌표에 대한 해설, 좌표계(Coordinate System), 데이터의 처리방법과 국제적으로 채택된 상수값 및 투영법을 포함하는 “완전한 기준계”를 의미한다.

측지기준 좌표계는 일련의 좌표값들으로써 구현되며, 이와 같이 구현된 기준좌표계를 기준골격(reference frame)이라고 한다. 이 측지기준 좌표계는 하나의 측지기준과 하나의 좌표계로써 정의되는 단일 기준좌표계와 2개 이상의 측지기준과 좌표계로써 정의되는 복합 기준좌표계로 나뉘어 진다. 이러한 측지기준 좌표계는 위치정보의 기준이 되는 것으로서 그 적용범위는 한 국가를 대상으로 하는 경우와

국제협력을 통하여 전 세계적으로 활용되는 경우 등 다양하며, 국가 단위의 측지기준 좌표계는 일반적으로 법령에 기초하여 국가가 정의하여 유지·관리하고, 측지기준 좌표계의 골격(Reference Frame)이 되는 측지 기준점(삼각점, 수준점)은 위치결정의 정확한 위치기준으로 사용된다.

## 2. 측지기준(Geodetic Datum)

지구표면을 지도화하기 위하여 필요한 기준모델을 일반적으로 측지기준이라고 하는데 측지기준은 “지도상에 지표면상의 위치를 표현하거나 계산하기 위하여 필요한 파라미터들 즉, 지구의 형상으로 표현되는 수학적인 지구모델인 기준타원체의 크기와 좌표계의 원점과 방향을 표시하는 파라미터들”로 정의할 수 있다.

측지기준은 수학적인 개념이므로 어떤 지역을 포괄하는 무한한 수의 기준면들을 정의하는 것이 이론적으로 가능하다. 이상적으로는 모든 데이터가 공통된 좌표계를 기준하도록 한 국가나 지역에서 1개의 측지기준을 사용하여야 하나 실질적으로는 기술적 또는 정치적인 이유로 2개 이상의 측지기준을 사용하는 경우가 있다. 예로써 기존의 지도제작을 위해 사용되고 있는 지역적인 측지기준(그림 1의 적색)과 최

근들어 위성항법을 위해 도입되는 새로운 지심 측지 기준(그림 1의 녹색)을 들 수 있다. 따라서, 2개의 측지기준 상에서 각각 정의된 측정점의 위도, 경도 및 표고좌표는 분명히 다르며, 이러한 차이가 발생하는 원인으로서는 타원체의 형상이 다양하고, 타원체의 중심이 수백미터 정도로 차이가 나며, 두 기준면의 3차원 직각좌표축들이 평행하지 않거나 축적이 다르기 때문이다. 이러한 측지기준은 지구의 물리화학적 특성에 따라서 2가지 형태로 고려할 수 있는데 모든 위치들이 고정되어 있거나 시간에 따라서 변화하지 않는다고 가정할 “정적인 측지기준 (Static Datum)”과 위치들의 좌표가 시간의 함수로서 변화하는 것을 표현하기 위하여 도입된 “동적인 측지기준” (Dynamic Datum)이다. 정적인 측지기준은 지구의 표면이 지각운동으로 인하여 지속적으로 변하고 있기 때문에 부정확한 가정이다.

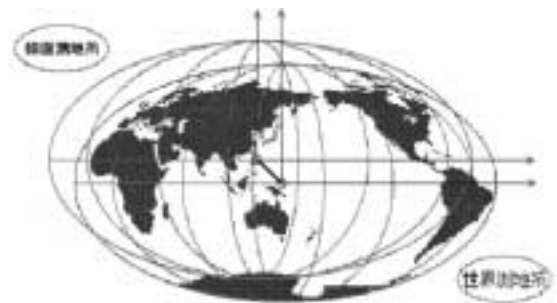
사용목적에 따라서는 수평, 수직 및 엔지니어링 기준으로 분류되며, 수평기준 (Horizontal Datum)은 좌표계와 지구와의 관계를 설정하기 위하여 타원체로서 2차원 또는 3차원 좌표계를 위한 기준으로서 사용되며, 수직기준(Vertical Datum)은 지오이드 (Geoid: 평균해수면에 가장 부합하는 면)라고 하는 면과 중력학적인 관계가 있는 표고와의 관계를 설정하기 위하여 사용된다. ISO/DIS 19111 국제표준에 의하면 수평기준이나 수직기준이외의 기준들을 엔지니어링기준이라고 정의하고 있다.

또한, 지역에 따라서는 지역적인 측지기준(Local Geodetic Datum)과 지심측지기준(Geocentric Datum)으로 분류되는데 지역적인 측지기준은 평균해수면의 특정 부분의 크기와 형상에 최적합하게 부합시킨 타원체과 그 위치 및 방향에 의하여 정의되는 것으로서 타원체의 중심이 지구의 질량중심과는 일

치하지 않는다. 최근까지도 대부분의 국가에서는 공간정보시스템을 이 지역적인 측지기준에 기준하고 있으며, 예로써 우리나라의 경우에는 동경 측지기준 (Tokyo Datum) 1918을 기준하여 오고 있다. 이 동경 측지기준은 타원체로는 Bessel 1841을 채용하고, 그 원점은 동경의 구 동경천문대내에 설치하였으며, 방향은 천문측량에 의하여 鹿野山 1등 삼각점의 방위각 (156° 25' 28".442)으로 고정하였다.

지심측지 기준은 전반적으로 지구의 크기와 형상에 최적합하게 부합하도록 설정한 기준으로서 타원체의 중심이 지구의 질량중심과 일치하며, 지구상의 특정부분과 부합되도록 설정한 것은 아니다.

1 |



이와 같은 지역적인 측지기준이나 지심측지기준은 지구 표면상의 각종 지형공간정보를 지도화하거나 GIS데이터를 구축하기 위한 기준면으로 사용되는데 이 기준면에 좌표계를 설정함으로써 지형공간정보의 좌표를 제공할 수 있다. 다시 말하면 지도화하거나 GIS데이터로 구축되는 지형공간정보들은 좌표라고 하는 수치를 가지고 타원체면상에 공간상의 위치를 표시하게 된다. 따라서 측지기준계 (또는 측지좌표계)라는 것은 측지기준인 특정한 타원체상에 3차원 좌표계를 설정하여 구성하게 된다.

### 3. 측지기준좌표계의 전환

높은 정확도의 측지좌표를 필요로 하는 사용자들이나 공간데이터에 막대한 투자를 하려고 하는 사용자들은 기존의 측지기준을 요구조건에 맞는 측지기준으로 변경하기를 원하지만 반면에 이미 막대한 투자를 한 사용자들이나 높은 절대 정확도를 필요로 하지 않는 사용자들은 측지기준을 변경하게 될 경우에 공간데이터 시장에 혼란을 발생시킬 수 있으므로 기존의 측지기준을 장기적으로 유지시키기를 원할 것이다.

측지기준을 변경하는 것은 고정된 좌표의 혼란을 일으킬 수 있으므로 단기적인 관점에서 보면 지구의 동적인 운동을 무시할 수 있으나, 장기적인 관점에서 본다면 Step함수에 의하여 동적인 문제가 모델링되어야 한다. 따라서, 측지기준을 변경하기 위한 적절한 시기를 결정하는 것은 매우 중요한 문제이다. 새로운 측지기준을 도입하는 데에 필요한 주된 요인들은 측지기준점들의 실질적이고, 분명한 운동(지각변동의 결과), 새로운 측지측량으로부터 얻어지는 좌표 갱신 및 국제적인 기준계로의 변경 등을 들 수 있다.

우리 나라에서 채택한 측지기준은 일본에 의하여 채택된 Bessel 1841이며, 좌표계의 원점(Origin Point)은 일본의 동경에 위치하고 있는 동경원점(Origin of Tokyo Datum)으로서 커다란 지오이드 경사를 가지고 있고, 1점 1방향만을 고정시킨 측지기준이다. 이것은 지오이드 경사가 급한 일본지역에 부합하도록 작은 규격의 타원체를 채택하고, 1점의 원방위점을 선택하여 측지기준(타원체)을 설정하게 됨에 따라서 동경원점으로부터 멀리 떨어져 있고, 지오이드 경사가 완만한 우리나라 지역에는 부합하지 않는 결과를 가져왔으며, 이로 인하여 측지골격인 삼각점에 계통적인 오차를 포함하게 되었다.

최근들어 인공위성을 이용한 GPS측량, 수치지도 제작, GIS기술 등 측량기술의 급속한 발전 및 초고속 정보통신망의 정비에 따라서 일반사용자들이 언제, 어디서나, 고정밀도의 측량성과를 얻을 수 있는 동시에 종이지도로부터 수치지도의 시대를 맞이하여 측량성과의 고도화, 다양화가 급속하게 진전되고 있다. 우리나라에서도 다양한 분야에서 GPS가 사용되고 있는데 특히 측량/지도제작분야에서는 필수적인 장비로서 사용되고 있다. 이러한 GPS측위시스템의 도입으로 인한 문제는 새로운 지심측지기준의 도입과 기존 지역적인 측지기준간의 변환 및 정밀한 지오이드의 결정 문제라고 할 수 있다.

우리나라는 GPS측위의 효율성을 높이고, 21C 정보화 시대를 대비한 고 정밀도위치정보를 제공하기 위하여 새로운 측지기준 좌표계를 도입하여야 할 필요성에 따라 측지기준으로서 GRS80타원체를, 좌표계로서 ITRF2000를 채용하는 측지기준좌표계의 전환을 (2000년 4월 6일 건설교통부장관 방침) 위한 측지2002프로젝트를 추진하였으며, 지도의 체계적인 수정과 갱신을 추진하기 위한 계획 (02.11.15 원장방침) 및 세부추진계획 (03.1.23)을 추진하고 있다. 측량법에 의거하여 2003년 1월 1일부터 세계 측지기준계를 전면적으로 시행하여야 하나 측량법(측량에 관한 경과조치)에 의거하여 기존의 측지기준계와 세계 측지기준계를 2006년 12월 31일까지 병행하여 사용하도록 고시(02.12.31)한 바 있다. 따라서 2007년 1월 1일부터 전면적으로 새로운 좌표계에 의한 위치정보의 제공과 사용이 이루어져야 되므로 기존의 모든 위치정보를 포함하고 있는 데이터베이스와 측지기준점(삼각점, 수준점 등)의 좌표를 변환하여야 한다.

이에 따라서 국토지리정보원에서는 각종 축척의 수치지도를 7-변환계수를 사용하여 변환할 수 있도록

Bursa-Wolf 7-

구 분	평행이동량(m)			회전량(°)			축척변화량(ppm)
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	Rx	Ry	Rz	$\lambda$
변환계수	-115.80	474.99	674.11	-1.16	2.31	1.63	6.43

Molodensky-Badekas 7-

구 분	평행이동량(m)			회전량(°)			축척변화량(ppm)
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	Rx	Ry	Rz	$\lambda$
변환계수	-145.907	505.034	685.756	-1.162	2.347	1.592	6.342

록 변환계수와 변환공식을 제공하고 있다. 그 변환계수는 2002년 12월 30일자 국립지리원 고시 제 2002-433호에 의하여 고시된 Bursa-Wolf모델에 의한 7-변환계수를 다음과 같다.

그러나 상기 변환계수는 Bursa-Wolf모델의 한계와 변환계수를 계산하기 위하여 사용된 기준점의 수 및 분포에 따른 한계로 인하여 2003년 12월 24일 국토지리정보원 고시 제 2003-497호에 의거하여 국립지리원 고시 제 2002-433호에 의하여 고시된 Bursa-Wolf모델에 의한 7-변환계수를 폐기하고, 아래의 Molodensky-Badekas모델에 의한 7-변환계수와 왜곡모델링 결과에 의한 보정을 통한 좌표의 변환을 수행하도록 하고 있다.

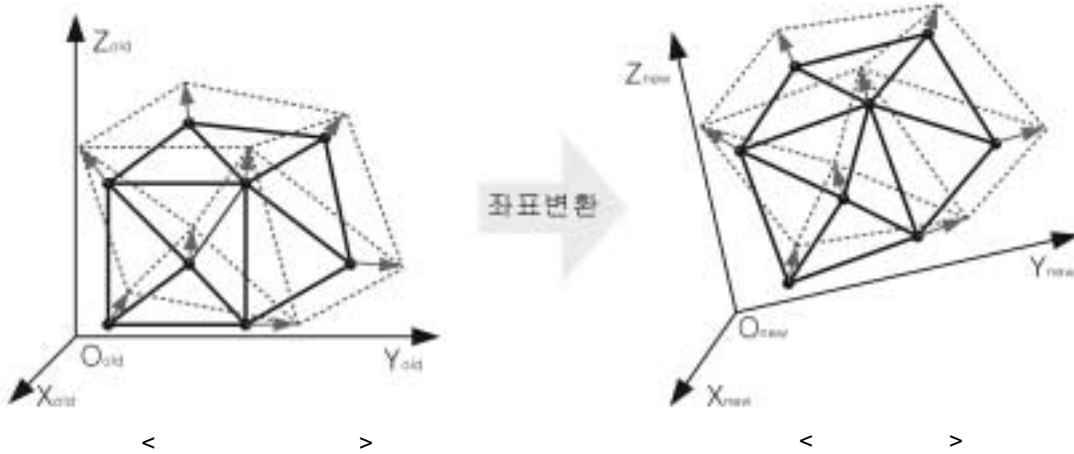
좌표의 변환은 좌표변환모델이나 좌표변환식이 비선형방정식으로 그 해를 구하는 데에 있어서 최소제곱법에 의거한 수학적으로 완벽한 함수가 아니므로 변환파라미터 계산에서나 좌표변환시에 오차가 포함되는 것은 다양한 일이다. 또한, 변환계수를 계산하면서 사용된 공통점(기준좌표와 새로운 좌표가 모두 있는 점)의 수와 점의 분포 그리고 공통점의 오차에 따른 영향은 무시할 수 있는 것이 아니다.

#### 4. 측지기준좌표계 전환의 문제점

우리나라의 기준점의 오차가 신성과의 경우에 절대적으로 평균 1 m이상의 오차를 포함하고 있고, 좌표변환식과 변환계수의 오차를 고려한다면 상사변환 방법인 7-변환계수만을 사용하여 좌표를 변환하는 것은 오차가 소거되는 것이 아니라 그대로 포함되어 변환되는 것이기 때문에 절대적인 측면에서의 1 m이상의 매우 큰 오차를 포함하는 것이다. 일반적으로 상대적인 측면에서 변환파라미터를 계산하여 그 정확도를 평가한 결과에 근거하여 좌표변환의 정확도가 높다는 결론은 내리고 있고, 지역별 변환파라미터 계산을 주장하는 것은 GPS측량의 정확도 확보와 정밀한 위치정보의 제공이라는 목표를 가지고 측지기준좌표계전환을 추진한 근본 목적을 희석시키는 우려를 범할 수 있다. 물론 지도의 축척에 따라서 그 허용하는 정확도를 고려한다면 7-변환계수만으로도 좌표의 변환이 충분하지만 대축척의 고 정확도를 요구하는 좌표변환 문제는 간단한 문제가 아니며, 이러한 문제를 해결하기 위하여는 몇가지 중요한 과제들이 해결되어야 한다.

우리나라의 측지기준점은 1910년대에 실시된 조선토지조사사업에 의하여 수평기준점인 삼각점을 삼각측량 방식으로 일본의 2등 삼각점에 상당하는 대삼각

2 |



본점 400점, 대삼각보점 2,401점, 및 일본의 3등 삼각점에 상당하는 대삼각점 31,646점을 측량하였으며, 전국의 삼각망은 몇 개의 망으로 분할하여 조건방정식에 의한 XY망 조정계산법에 의하여 조정되었기 때문에 비교적 큰 누적 계산오차가 포함되어 있으며, 측량 당시에 시일이 촉박하여 구소삼각측량 지역의 성과를 그대로 채용하였기 때문에 지역적으로 정확도의 불균등과 부정합이 존재하고 있다. 그나마도 6.25동란 약 80%의 삼각점이 손상되었고, 과거 관측 수부 등 중요한 관측기록이 소실되어 기준점의 좌표만이 존재하는 상황에서 정확한 국가의 측지골격을 설정하기 위하여 국립지리원이 1975년부터 기존의 1, 2등 삼각점을 기초로 삼변측량방식으로 정밀 1차 측지망 사업을 실시하였으며, 1986년부터 3, 4등 삼각점을 기초로 하여 정밀 2차 측지측량사업을 실시하여 오고 있다.

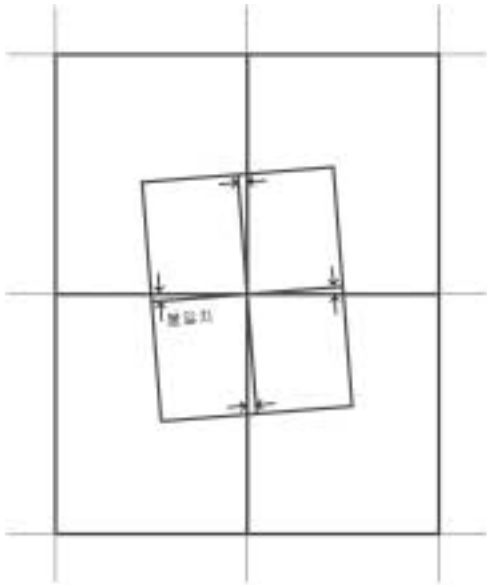
이처럼 정밀 1차 및 정밀 2차 측지망 구축 사업의 실시로 국가의 측지골격이 어느 정도는 정비되어가고 있으나 계통오차의 존재와 새로운 측지기준에 기준 삼각점 성과의 계산이 이루어지지 않고 있어 신

속한 삼각점 성과의 계산이 필요하고, 이를 통하여 삼각점의 전반적인 정확도 평가와 삼각점에 존재하는 계통적인 오차를 분석하여 정확한 왜곡모델링을 수행함으로써 좌표변환의 정확도를 확보하여야 한다. 또한, 표고좌표의 정확한 변환을 위하여 그동안 축적한 중력자료와 정밀 지형자료를 이용한 정밀지오이드의 개발이 필요하다.

특히, 좌표 변환시에 고려하여야 하는 문제로는 7-변환계수만을 사용하여 좌표를 변환하는 방법은 변환후에 큰 오차를 포함하고 있으며, 다음과 같은 중대한 문제점을 가지고 있다. 즉, 위치정보 좌표변환을 위하여 기존 상사변환방법으로써 변환하는 경우에는 변환대상인 위치정보에 좌표변동량 (또는 오차)이 존재함으로 인하여 변환 정확도가 향상될 수 없다. 이러한 원인은 그림2에 표시한 바와 같이 기존 지역측지기준내의 위치정보에 존재하는 변동량이 변환후에도 그대로 존재하여 소거되지 않기 때문이다.

그림 2에 표시한 바와 같이 상사변환 방법에 의한 좌표변환에서는 기준점이나 위치정보의 좌표에 존재하는 좌표 변동량이 새로운 좌표로 변환된 후에도 소

3 |



거되지 않고 그대로 잔존하기 때문에 변환된 기준점이나 위치정보의 좌표가 정확하지 않다. 따라서 변환된 기준점이나 위치정보 사용하여 현장에서 위치를 측정하면 상대적인 정확도는 높일 수 있으나 절대 정확도, 즉 새로이 채택한 측지기준계에 기준한 위치정보의 좌표는 큰 오차를 포함하고 있어 정확도가 크게 떨어진다. 또한, 변환계수를 계산할 때에 사용된 기

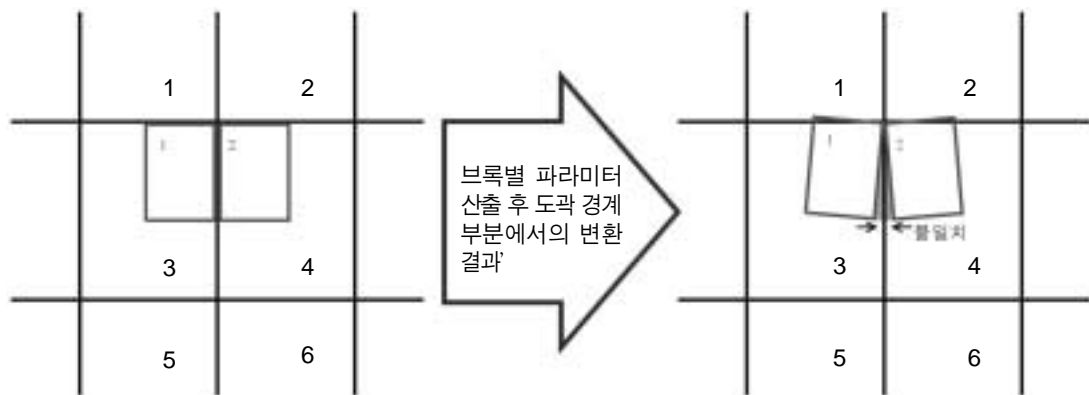
준점 이외의 다른 기준점이나 상시관측소를 연결하여 현장에서 공간좌표를 측정하게 되면 큰 오차를 포함하게 된다.

따라서 사용하는 기준점과 기준점의 등급에 따라서 제작된 수치지도와 각종 지리정보 및 공간정보 데이터는 상호 불일치, 동일지역에 대한 공간좌표계(경·위도선)불일치, 도곽 불일치 및 위치오차 등이 포함되는 것이 불가피하다. 그림 3은 축척변화에 따른 공간좌표계 불일치 문제를 표시한 것이다.

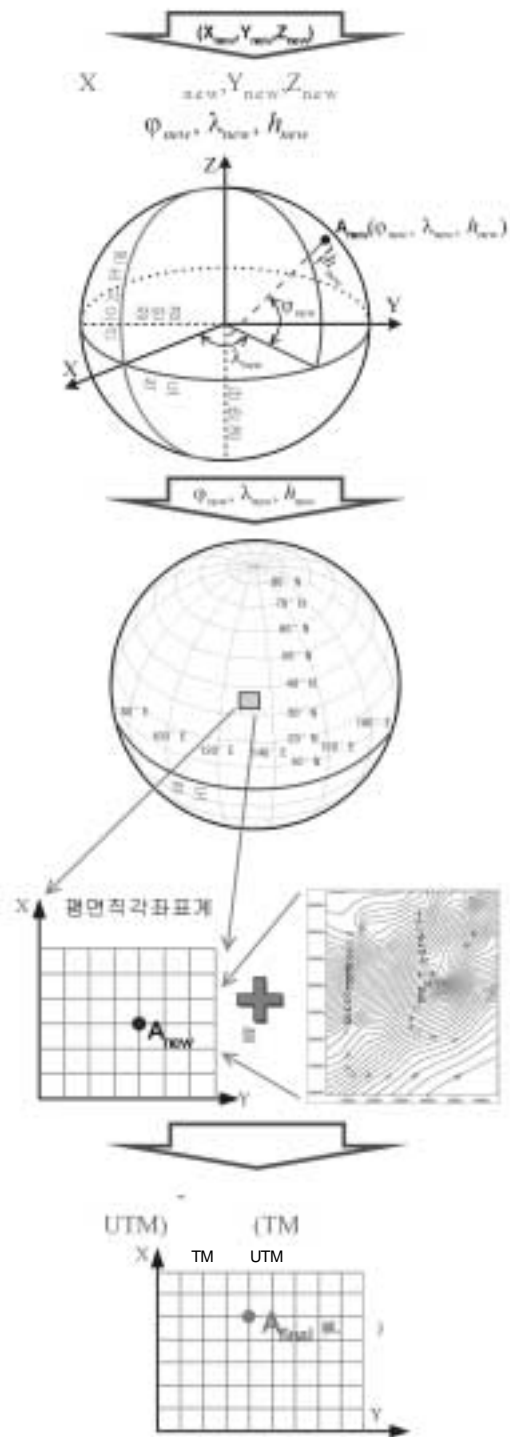
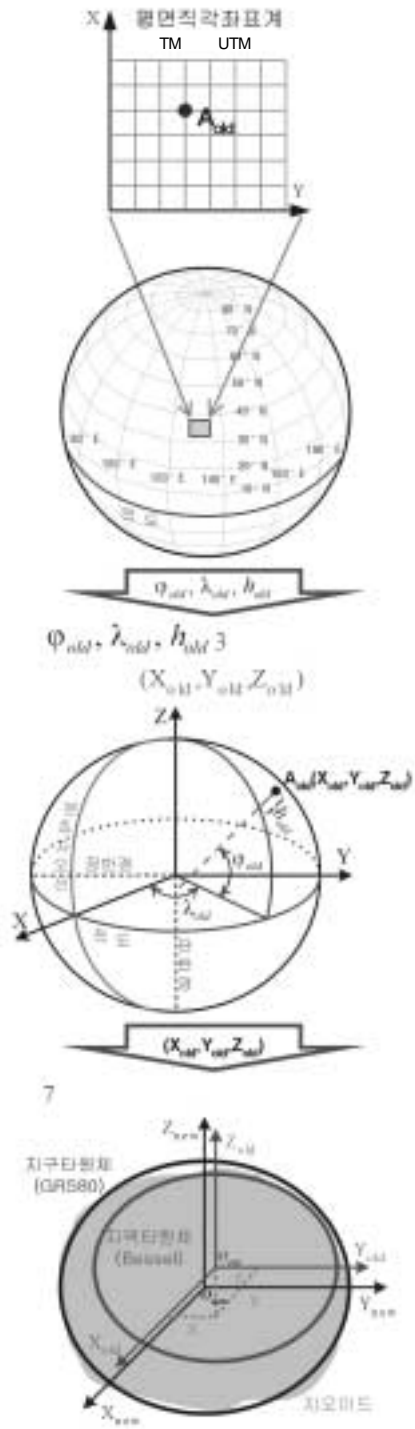
좌표변환 파라미터를 브릭별로 계산하여 좌표변환을 실시하는 경우에는 브릭간의 인접부분에서 도곽이 불일치하는 경우가 발생하게 되는데 그림 4에 표시한 바와 같다. 그림 4에서 알 수 있는 것은 좌표변환계수가 각각 다른 브릭간의 좌표변환시에 발생하는 인접부분의 도곽 불일치로 인한 큰 오차의 발생을 표시한 것이다.

따라서 좌표변환 파라미터만을 사용하여 공간정보나 지리정보 및 수치지도의 위치좌표 변환을 실시하는 것은 전국적으로 좌표의 일관성이 떨어지게 되고, 인접된 브릭내에 위치하는 기준점이나 상시관측소를 연결하여 측량을 실시하는 경우에는 큰 오차가 발생

4 |



5 | GIS



하는 문제가 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여는 통일된 단일 좌표변환 파라미터와 기준점에 존재하고 있는 왜곡량을 모델링하여 좌표변환의 오차를 최소화하여야 한다. 그림 5는 이러한 좌표변환의 과정을 도식적으로 표시한 것이다.

## 5. 결론

국가 측지기준계의 전환에 따른 위치정보를 표시하는 좌표는 다양한 종류의 지구타원체(측지기준)를 기준으로 하여 표시할 수 있다. 다양한 종류의 지구타원체가 존재한다는 것은 타원체의 크기가 다르고, 타원체의 중심과 회전축이 불일치한다는 것을 뜻하므로 이 타원체에 기준하여 설정한 측지좌표계 또한 불일치하게 된다. 이러한 지구타원체와 측지좌표계 간의 불일치는 지역간, 국가간의 위치정보의 불일치를 가져왔으며, 최근과 같이 인공위성을 이용하여 위치를 결정하는 시대에서는 과거의 측량 및 지도좌표의 기준인 지역적인 측지좌표계와 인공위성을 이용한 위치결정의 기준이 되는 지구중심좌표계간에 큰 차이가 발생하게 되었다. 이러한 차이는 인공위성을 이용하여 위치정보를 획득하는 사용자가 곧바로 위치정보를 사용할 수 없는 문제점을 발생시키며, 사용

자들이 인공위성을 이용한 위치정보를 곧바로 사용하도록 하기 위하여는 기존의 지역적인 측지좌표계와 상호 연관성을 갖도록 할 필요가 있게 되었다. 따라서 이러한 연관성을 갖도록 하는 것은 복잡한 수학적 이론과 몇가지 단계를 거쳐 상호간에 위치좌표의 변환(좌표변환)이 이루어져야 하며, 보다 정밀한 위치좌표 변환을 위하여는 보다 정확한 이론과 단계를 개발할 필요가 있게 되었다. 또한, 현재 국가적으로 구축한 각종 GIS시스템내의 지리정보들의 위치정보를 효율적으로 좌표변환하기 위하여는 GIS시스템의 특성을 고려한 좌표변환 툴의 개발과 문제점 들을 분석하여 오류가 없는 좌표변환을 추진하여야 한다.

본 고에서는 국가의 새로운 측지기준 좌표계를 도입함에 따른 문제점과 위치정보 좌표변환 방법에 대한 고려사항 등을 살펴보고, 보다 정확한 좌표변환 방법으로써 왜곡모델링의 도입 필요성, 이에 따른 국가 기준점(삼각점)의 시급한 성과계산의 필요성을 강조하였으며, 기존의 좌표변환을 위한 연구와 주장들에서 간과된 문제들을 제시함으로써 각종 위치정보의 좌표를 변환하는 데에 있어서 독자들의 정확한 이해를 돕고자 하였다.