

철도기준점을 이용한 철도중심선형 좌표변환에 관한연구 - 호남고속철도 계획노선을 중심으로 -

문정균* · 허준** · 강상구*** · 김성훈****
Moon, Cheung-Kyun Heo, Joon Kang, Sang-Du Kim, Sang-Hoon

Abstract

In this paper through Honam high-speed railroad which is planned with the north and south axis, we will verify the feasibility of the coordinate conversion using railroad control points after regarding current planned-railroad as the linear central axes. From analysis, distortion of Y axis varies 21cm to 40cm diminishing to a gentle straight line, distortion of X axis varies 14cm to 29cm. Through a revision, the deviation value between the coordinates were 6mm to 9mm and it satisfied the allowable error of national geographic information institute which is following ITRF (International Terrestrial Reference Frame) and cadastral boundary survey(10cm). consequently the coordinate conversion is possible using railroad control points as common control points.

국문요약

건설교통부는 2007. 1. 1 (2009.12. 신구좌표병행) 세계측지계 전면 시행 방침에 따라 철도측량의 내실화 그리고 기술력 제고를 위하여 호남고속철도건설 사업수행에 요구되는 수치지도를 항공측량을 통해 제작하였으며 이와 함께 철도기준점(GPS 정밀 3등기준점)측량을 실시하여 보다 정밀한 철도 중심선형 좌표값 과 수준값을 획득할 수 있었다. 국토지리정보원은 측지좌표계로의 변환을 위해 국가좌표변환계수 및 왜곡량 모델을 고시하였다. 이러한 좌표변환은 공통기준점(Common Point)의 성과 및 망구성의 강도(strength), 기준점밀도 등에 의해 결정된다. 호남고속철도의 경우 좌표변환을 위해 공통기준점을 새로이 설치하지 않고 중심측량 및 중횡단측량을 위해 이미 구축된 철도기준점을 공통기준점으로 가정하여 변환을 실시하고자 한다.

따라서 본 논문은 남북축으로 계획된 호남고속철도 사례를 통해 현재의 계획노선을 선형 중심축으로 가정하고 철도기준점을 이용한 좌표변환을 실시후 결과에 대한 분석을 통해 변환가능성 여부를 판단하고자 한다. 좌표변환 실시 후 분석결과 Y축 왜곡량 값이 최소 21cm에서 최대 40cm까지 완만한 직선축으로 감소함을 확인할 수 있었고, X축은 14cm ~ 29cm 의 왜곡량을 보였으며 이러한 왜곡량을 보정한 결과 좌표간 편차량이 6mm ~ 9mm로 국토지리정보원의 세계측지계 변환지침에 에 따른 허용오차 및 지적경계측량 허용오차인 10cm를 만족시켰다. 따라서 철도기준점을 공통기준점(Common Point)으로 이용한 철도중심선형의 좌표변환이 가능함을 알 수 있었다.

1. 서 론

호남고속철도 건설은 경부고속철도와 더불어 우리나라 양대 기간망으로서 새로운 교통망 및 생활 축을 형성하고 국토의 균형발전을 통해 효율적이고 합리적인 교통수단 분담 및 연계가 가능한 통합교통체계를 구축하기 위함을 목적으로 사업을 추진, 시행하고 있다. 현재 호남고속철도표준 설계지침(2007)을 기초로 기본설계가 이루어지고 있으며 과거 경부고속철도에서 전국적 단일망(Network)을 구성하지 않고 철도기준점 및 수준점 측량을 기준으로 시공 및 감리를 수

* 문정균, (주)한국철도기술공사 과장, 연세대학교 대학원 박사과정, 회원, sepper@paran.com
** 허준, 연세대학교 토목환경공학과, 조교수, 비회원, jheo@yonsei.ac.kr
*** 강상구, 지적공사 지적연구원 선임연구원, 비회원, sgukang@kcsc.co.kr
**** 김성훈, 연세대학교 대학원 석사과정, 비회원

행한 결과로 공구경계간 오차가 발생, 공사간 많은 문제점을 야기했었다. 또한 지구중심좌표계는 용지폭 결정 및 용지매수를 위한 지적좌표계와의 구조적 차이로 인해 수백 m의 평면위치 차이가 발생한다. 게다가 현재로서는 토목(노반) 계획 및 설계이후 용지폭 결정 및 용지매수를 위해 지적도면으로 중심선형으로 이동 해야하는 문제가 남아있다. 세계좌표계를 지적좌표계로 또는 지적좌표계를 세계좌표계로 변환해야 한다. 그러나 현재로서는 지적좌표계로의 변환계수가 고시되지 않았기에 차선책으로 이와 유사한 측지좌표계로 변환을 실시 적용해야 할 것이며 이러한 변환결과 값이 요구 성과 내에 미치지 못할 경우 좌표변환을 위한 공통기준점을 설치하여 좌표변환을 실시하거나 도화 원도를 측지좌표계로 수치화하여 수치지도를 다시 제작해야 하는 문제가 발생할 수 있다. 이로인한 경제적 비용과 과업기간도 증가 할 것이다.

호남고속철도에서는 전국적 단일망을 구성, 평면기준점 및 수준오차를 최소화하여 계획/설계하였고 2007. 01월 세계측지계변환지침에 따라 지구중심좌표계(ITRF)를 사용하여 계획/설계하고 있다. 그러나 용지폭 결정 및 용지매수를 위해서 지적측량법에서 규정하고 있는 베셀(Bessel)타원체 중심의 지적좌표계를 사용해야 되므로 중심선형 이동시 많은 문제점이 예상된다. 현재로서는 세계측지계에서 지적좌표계로의 좌표변환계수, 변환방법등에 대해 관련규정이 없는 관계로 호남고속철도 철도기준점을 공통기준점으로 가정하고 좌표변환을 실시, 우선 측지좌표계로 변환하여 철도중심선형이동시 오차를 최소화 하고자 한다. 또한 변환방법으로는 국토지리정보원에서 고시한 국가좌표변환계수 및 왜곡량산출 프로그램을 (KASM2.2, 대한 측량협회)이 용하여 간접변환을 통해 측지좌표계로의 변환가능여부를 판단하고자 한다.

2. 좌표계의 이원화 및 노선선정

가. 기준점체계의 이원화

국가좌표체계(세계측지계)로의 전환(2009.12 병행)을 앞두고 있는 지적좌표체계의 현실은 향후 많은 문제점이 예상된다. 동시에 다양한 측량원점체계와 기준점간의 성과 불일치문제를 해결 할 수 있는 좋은 기회이기도 하다. 철도계획 및 설계에 사용되는 좌표계는 현재 국가좌표체계(세계측지계)의 사용을 원칙으로 하고 있으며 다만 보완 및 재설계등에서 과거의 측지좌표계가 사용될 경우는 제외 하고 있다. 그러나 세계좌표계는 토목 및 노반설계등에 적용되는 좌표계이며 용지폭 결정 및 용지매수를 위한 경계좌표는 지적좌표계를 사용하고 있다. 지적좌표계를 즉시 변환하기에는 많은 문제점을 가지고 있다. 1910년대부터 국가 토지의 효율적 관리와 국민의 소유권 보호를 목적으로 구축되기 시작한 지적정보를 단순히 기술적 발전 추세에만 그 기준을 맞추어 현행 지적좌표체계를 새로운 좌표체계로 전환 하는데 근 100년간 유지되어온 현행 지적시스템의 메커니즘으로 인해 많은 부작용이 발생할 수 있다.(지적학회, 송동섭) 이와 같은 지적체계의 특성으로 인해 현재 추진하고 있는 철도계획 및 설계시 용지폭결정 및 용지매수에 있어 많은 애로사항이 존재한다. 현행 철도계획 및 설계/시공에 적용되는 좌표계는 세계측지계(GRS80)로 지적(용지)측량에서 적용되고 있는 좌표계인 베셀(Bessel)타원체기반의 지적좌표계와 이원화되어 통일성 및 상호호환에 있어 문제점을 가지고 있다. 또한 용지도작성 및 지형도면 고시를 위한 선형중심축 이동시, 지적공부상 경계와의 오차가 기존 측지좌표계 와 지적좌표계와의 오차보다 증가하는 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 이유로 국토지리정보원은 2003년 세계측지계 변환지침 제정에 따라 우선, 세계측지계와 베셀타원체 기반의 측지좌표계간 변환에 국가변환계수(7-Parameter)를 이용할 것을 고시하였고 관련 좌표변환프로그램인 G-Trans를 배포하여 수치지도 좌표변환을 실시토록 하고 있다.

나. 노선선정

노선선정 및 철도선형결정은 기술적검토, 사회경제지표, 교통수요 등을 고려하여 도상 선정후 현장실측답사 및 선점을 통해 결정하는 것으로 토목 및 노반설계에서 가장 중요한 철도계획 및 설계의 한 분야이다.

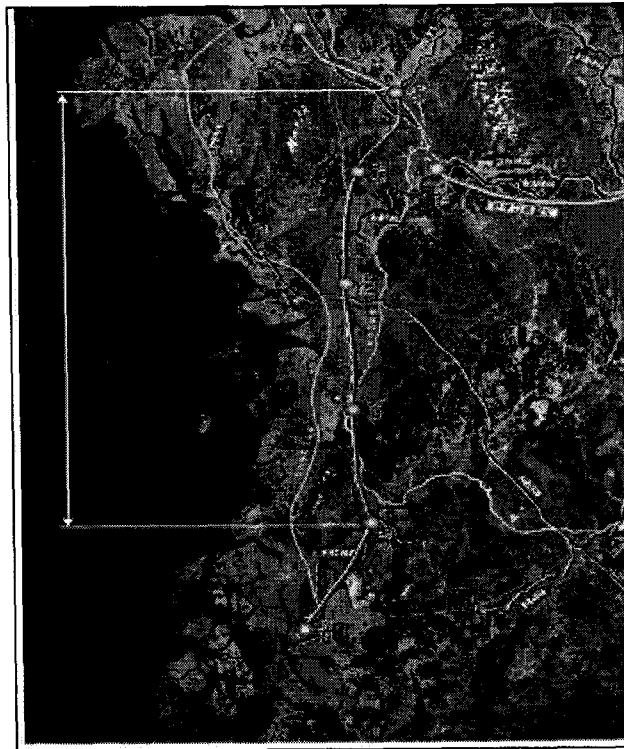


그림1. 호남고속철도 노선계획도

노선선정은 경제성 및 장래성을 고려하여 사회적 요구를 충족하고 기술적 검토이후 결정되는 최적의 선형을 말한다. 노선결정 순서로는 도상결정 → 답사 → 예측 → 실측 → 설계의 순서로 접근하며 도상선정시 1/50000 및 1/25000 의 수치지도를 사용하는 것이 일반적이다. 답사는 몇 개의 비교노선을 계획하여 현지답사를 통해 정거장, 교량, 문화재지역등을 고려하여 적정한 노선을 선택하는 것을 말하며 예측은 선택된 비교노선에 대한 개략측량이다. 실측은 예측 및 기본설계 검토 결과에 대한 노선을 현장에서 정밀히 측량하는 것을 말한다. 이후 이러한 자료를 기반으로 수치지도화 하여 토목 및 노반의 필요사항을 설계도서로 작성하게 된다. 이렇게 결정된 노선을 바탕으로 직접계산 및 관련프로그램을 이용하여 IP(Intersection Point), SP(Secant point), BC(Beginning Curve), EC(End of Curve), PC(Parabola curve), PS(Parabola straight) 를 결정하여 중심선형좌표(X,Y)를 결정한 것을 철도중심선형 이라고 한다.

다. 철도기준점

철도기준점이란 “철도의 설계, 건설, 유지관리 등에 의거하여 기준을 제공하는 기준점 말한다.”(철도측량지침, 2005). 철도기준점측량은 평면위치측량과 수준(고저)측량으로 구분할 수 있으며 평면위치측량의 경우 “GPS에 의한 기준점측량 작업규정”중 3등기준점측량에서 정하는 방법에 의한다. 철도기준점 설치장소로는 지반이 견고하며 시야가 확보되어야 하며 GPS장비 등을 사용하기 위하여 전파수신 장애가 없어야 한다. 철도기준점의 설치간격은 500m로 한다. 또한 철도기준점의 표고측량은 국토지리정보원 “수준측량작업규정”중 2등 수준측량에 관한 규정을 준용하여 실시한다. 왕복관측을 원칙으로 하고 1급레벨 이상의 성능을 가진 기기를 사용한다.

3. 이론적 배경

가. 기본이론

1) 세계측지계로의 변환계수(7-변환계수) 결정

상사성(등각성)에 의거한 좌표변환 변환계수를 결정하기 위하여 사용되는 수학적 모델식들은 Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, Veis 등 여러 모델식을 사용할 수 있다. 이들 수학적 모델식들은 미지변환계수를 최소제곱조건에 의하여 계산함으로써 변환계수를 결정한다. 이 단계에서는 상사성에 의거한 좌표변환 변환계수를 결정하기 위하여 구 측지기준(지역적인 측지좌표계)과 새로운 측지기준(세계좌표계)에 기준한 좌표를 가진 공통점(기준점)을 사용하여야 한다. 고시된 국가변환 계수는 Molodensky-Badekas 모델에 의하여 결정된 것이며 그 값은 다음과 같다.

도표 1. 국가변환계수

구분	평행이동량(m)			회전량(")			축척변화량(ppm)
	Δx	Δy	Δz	Rx	Ry	Rz	λ
변환계수	-145.907	505.034	685.756	-1.162	2.347	1.592	6.342

2) 수치지형도의 평면직각좌표를 측지좌표로 변환

좌표변환을 실시하고자 하는 수치지형도의 평면직각좌표(TM투영의 Gauss-Krüger 투영식)를 다양한 데이터 파일포맷(DXF, NGI)을 읽어 역투영식에 의하여 측지좌표(또는 지리좌표)로 계산한다. 수치지형도는 CAD나 GIS소프트웨어에서 제공되는 다양한 포맷을 사용하여 제작되었거나 편집되었으므로 수치지형도상의 객체들의 위치좌표는 평면직각좌표로 표시되어 있다. 따라서 각 객체들의 평면직각좌표를 역 TM투영식에 의하여 측지좌표(지리좌표 또는 경·위도좌표)로 계산하고, 계산된 측지좌표는 3차원 직각좌표계에 기준한 3차원 직각좌표로 변환한다.

3) 측지좌표계에서 세계측지계로의 변환

앞에서 계산된 3차원직각좌표를 7개 변환계수를 사용하여 새로운 측지기준인 세계측지계에 기준한 3차원직각좌표로 계산한다. 측지좌표를 3차원직각좌표로 변환하는 식은 다음의 식을 사용하도록 한다.

$$\begin{bmatrix} X_{od} \\ Y_{od} \\ Z_{od} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (v+h) \cos \phi \cos \lambda \\ (v+h) \cos \phi \sin \lambda \\ v(1-e^2)+h \sin \phi \end{bmatrix}$$

$$v = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2) \sin^2 \phi}}$$

여기서, ϕ , λ 는 측지좌표(위도, 경도)이고, h 는 타원체고, e 는 편평률, a 는

Bessel타원체의 장반경(6377397.155 m)이다. 측지좌표계에서 세계측지계로의 변환에서 계산된 3차원직각좌표를 7개 변환계수를 사용하여 새로운 측지기준인 세계측지계에 기준한 3차원직각좌표로 계산할 수 있으며 계산식은 『국토지리정보원 고시 제2003-497호』에서 제시한 다음의 식을 사용한다.

$$\begin{bmatrix} X_g \\ Y_g \\ Z_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1+\lambda) \begin{bmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_b - X_o \\ Y_b - Y_o \\ Z_b - Z_o \end{bmatrix}$$

단, X_g, Y_g, Z_g : GRS80 타원체상의 3차원 직각좌표(세계 측지계)

X_b, Y_b, Z_b : Bessel 타원체상의 3차원 직각좌표(한국 측지계)

X_o, Y_o, Z_o : 좌표변환 기준좌표

4) 세계측지계에 기준한 3차원 직각좌표를 측지좌표로 역변환

도표 2. 국가변환좌표값

구 분	기 준 좌 표		비 고
	Bessel => GRS80	GRS80 => Bessel	
X_o	-3,159,521.31	-3,159,666.86	
Y_o	4,068,151.32	4,068,655.70	
Z_o	3,748,113.85	3,748,799.65	

위에서 변환된 3차원 직각좌표(X_g, Y_g, Z_g)를 측지좌표로 역계산한다. 역 계산은 다음의 식을 사용하여 외삽법에 의하여 요구하는 정밀도(10^{-6})에 수렴할 때까지 계산하여야 한다.

$$p = \sqrt{X_g^2 + Y_g^2}$$

$$h_o = p \sec \phi - v$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Y_g}{X_g}\right)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{Z_g(1 - e^2) - \frac{v}{v+h}}{p}$$

5) 측지좌표를 평면좌표로 변환

위에서 계산된 결과인 측지좌표는 새로운 측지기준인 GRS80타원체에 기준하여 TM투영법(Gauss-Krüger투영식)으로써 평면직각좌표를 계산한다.

다. 왜곡량

왜곡량이란 좌표변환을 거쳐 계산된 평면직각좌표와 GPS 관측을 통하여 세계측지계로 기준하여 결정된 평면직각좌표간의 차이를 X축, Y축 성분으로 구분하여 계산하고 이 차이를 X축, Y축 “ 왜곡량 ” 이라고 정의한다.(수치지형도 좌표변환지침 : 국토지리정보원) 또한 새로이 채택된 세계측지계의 기준한 수치지형도의 표고 기준은 기초의 국가수준기준면(인천만의 평균해수면)을 준수하므로 표고 방향의 왜곡량은 계산할 필요가 없다.

1) 잔여 왜곡량의 계산과 왜곡량 모델링

위에서 결정한 x축, y축 왜곡량의 경향(trend)을 분석하여 선형 및 비선형 회귀식을 사용하여 최소제곱법에 의한 회귀방정식을 결정하고, 결정된 회귀방정식 (여기서는 경향방정식이라고 한다)을 사용하여 왜곡량으로부터 경향값을 빼내어 x축, y축의 잔여 왜곡량을 계산한다. 계산된 x축, y축의 잔여 왜곡량을 사용하여 왜곡모델링을 수행하도록 하며, 모델링을 위한 수학적인 함수로서는 최소제곱 콜로케이션법(Least Square Collocation)법을 사용하도록 한다. 최소제곱 콜로케이션법에 의한 왜곡량의 추정을 위하여 각 축의 잔여왜곡량값을 사용하여 경험적인 공분산을 구하고, 이들 경험적 공분산값에는 해석적 공분산 함수인 Gaussian 및 Reilly함수를 사용하여 함수의 파라미터들을 결정한 후에 이들을 사용하여 일정한 규격의 격자파일로 각 축의 왜곡량을 모델링한다. 추정된 왜곡량 모델링 결과를 경향방정식에 더한 후에 7개 변환파라미터에 의하여 변환된 수치지도의 좌표에 보정을 실시한다.

각 공통점의 성과 중에서 구축지계에 기준한 성과를 7개 변환계수와 변환식을 사용하여 세계측 지계의 성과로 변환을 실시한다. 이 변환성과와 확보한 세계측지계의 성과와의 평면직각좌표계상의 차이를 구하여 x축, y축의 왜곡량을 계산하고 분석할 수있다.

2) 비상사점의 분류 및 제거

비상사점이란 공통점별로 각 축(X축, Y축)의 왜곡량의 크기가 공통점 대부분의 왜곡량보다 현저히 크게 발생된 것으로 비상사점인 공통점을 제거하도록 한다. 왜곡량 모델링 결과의 신뢰성을 확보하고, 일관성을 유지하기 위하여 평면직각좌표계의 각 축별 왜곡량의 표준편차(±σ)보다 3배(±3σ)이상의 차이를 보이는 공통점을 비상사점으로 판단한다.

3) Data Thining

편중성이란 공통점의 분포가 고르게 이루어지지 않고 일부 집중되어 모여있는 것으로 편중된 공통점을 제거하도록 한다 고르게 분포되지 않은 공통점중에서 특정점의 예측치가 편기되는 문제를 발생시켜 불규칙한 데이터 분포로 인한 불완전한 왜곡 모델링의 수행을 방지하기 위하여 일정한 공간적 분포를 얻기 위한 데이터의 편중성을 분석하여 편중된 데이터를 그림과 같이 제거한다.

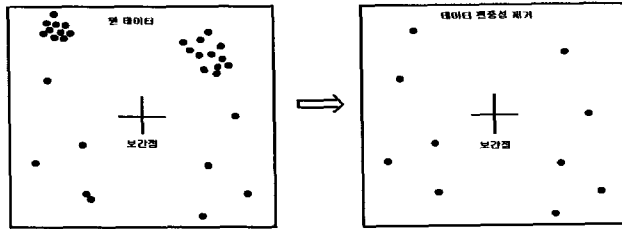


그림2. 보간과정에서 DATA Thining

4) 왜곡량 경향분석 및 왜곡량 계산

비상사점과 편중성이 제거된 공통점의 X축, Y축의 왜곡량에 대한 경향(trend)을 분석하고 선형 회귀식을 사용하여 최소제곱법에 의한 X축, Y축의 경향방정식을 결정하거나 또는 부등각사상변환(affine변환) 식을 이용 미지수를 결정한다. 결정된 경향방정식 또는 부등각사상변환을 사용하여 공통점의 위치에서 경향값을 계산한 뒤 이 경향값을 공통점의 왜곡량에서 가감하여 X축, Y축의 잔여 왜곡량을 계산한다.

5) 왜곡량의 모델링

가) 왜곡량 모델링

X축, Y축의 잔여 왜곡량에 대한 경험적 공분산 함수를 계산하되 경험적 공분산 함수에 최소제곱 곡선접합법(Least Square Curve Fitting)을 사용한다. 경험적 공분산함수들에 대한 적절한 해석적 모델을 선택하여 2가지 변환계수인 초기공분산(분산)값과 상관거리(Correlation Length)를 계산한다. 해석적 공분산 함수식에는 다음의 가우시안 공분산 함수를 사용하도록 한다.

$$C(S) = C(0) e^{-S^2/A^2}$$

공분산 함수식에서 S는 거리, A는 상관거리, C(0): S=0일 때에 C(S)로써 취한 값인 초기 분산값이다

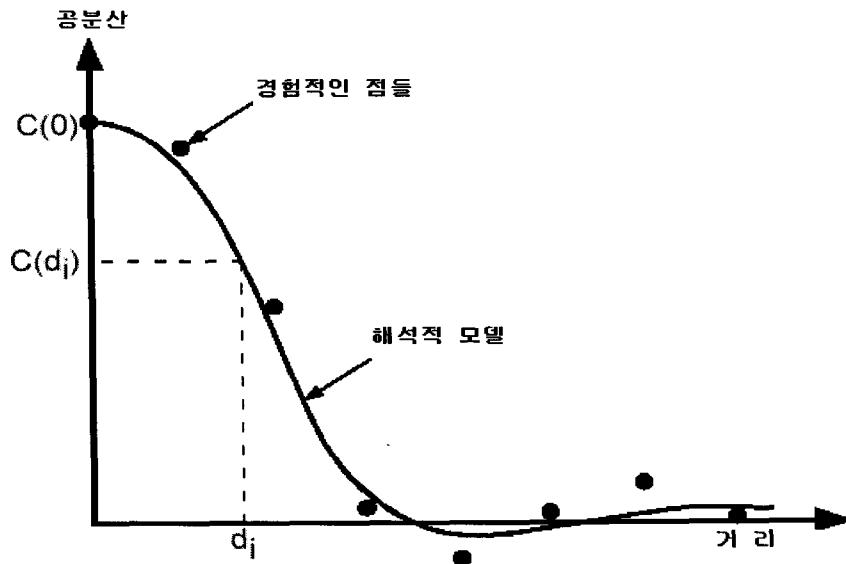


그림3. 거리에 따른 공분산함수

나) 격자 간격의 왜곡량 산정

각 공통점에서의 X축, Y축 왜곡량으로부터 격자 간격의 왜곡량을 생성하고 결정하고자 하는 왜곡량 모델의 격자파일의 각 격자점에서 X축, Y축 왜곡량 성분을 최소제곱콜로케이션법 및 보간법들을 사용하여 계산한다. 최소제곱콜로케이션법에 의한 왜곡량 모델링을 적용할 경우에는 다음식을 사용하도록 한다.

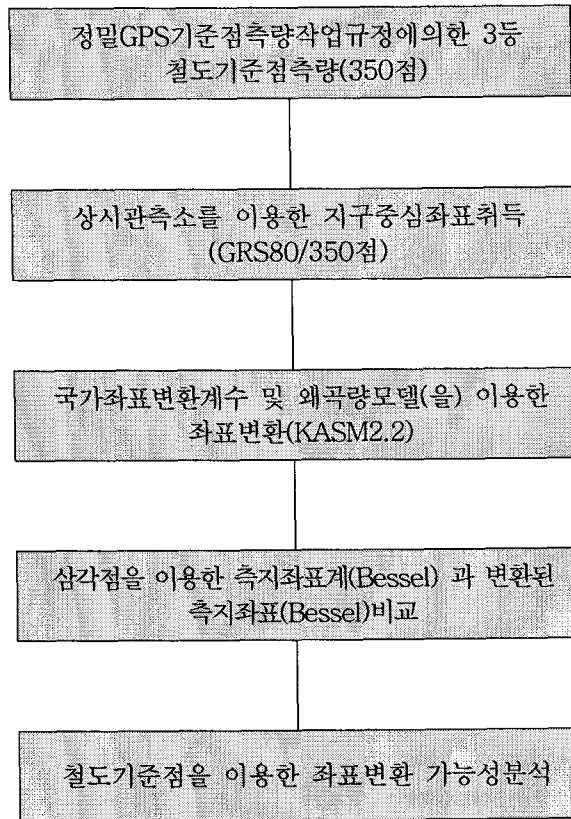
$$\hat{\delta} = \alpha(S)C_D^{-1}I$$

위 식에서 $\hat{\delta}$ 는 추정된 왜곡량이고, 벡터 $C(S)$ 의 요소들은 데이터 점들과 보간점간의 거리를 사용하여 해석적 공분산 함수로부터 구한 값이다. 또한, 매트릭스 C_D 의 요소들은 공통점들의 모든 조합에 의하여 거리를 사용하여 해석적 공분산 함수로부터 계산된다. 벡터 I 은 각 공통점들에서 왜곡을 포함하고 있는 관측치이다.

4. 연구방법

건설교통부는 2003년 세계좌표계 변환지침을 제정하고 2007.01.01 세계측지계를 전면 시행하여, 기존의 사용 중인 지역타원체(Bessel)를 지구중심타원체(GRS80)로 변환할 것을 고시하였다. 그러나 혼란을 방지하고자 다만 2009.12 월까지 기존좌표와 병행하기로 하였다. 철도시설공단은 철도측량의 내실화와 기술력 제고를 위하여 호남고속철도건설 사업수행에 요구되는 수치지도 획득을 위해 항공측량을 실시하여 수치지도를 지구중심좌표계(ITRF)로 제작하였다. 또한 철도기준점측량(GPS 3등 정밀기준점)을 통해 GRS80(WGS84)좌표와 베셀타원체를 산출하여 철도기준점으로 매설하였다. 이러한 철도기준점을 공통기준점으로 가정하여 국가좌표변환계수를 이용한 좌표변환 결과와 측지좌표를 비교 철도 및 도로선형과 같은 노선길이가 긴 선형형태의 좌표변환 실시 후 이를 토대로 변환가능성 여부를 살피고자한다.

도표 3. 국가변환계수



우선 철도기준점 350점을 기준으로 상시관측소와 연계 지구중심좌표계 즉 세계측지계 좌표와 국가삼각점을 기준으로하는 측지좌표를 취득하였으며 이를 직선축으로 가정하고 KASM2.2 (대한측량협회,2007) 프로그램 내 국가좌표변환계수만을 이용한 결과와 현 삼각점의 베셀좌표값을 이용한 좌표값을 비교 왜곡량을 산출하였다. 산출과정은 아래 그림과 같이 철도기준점을 공통점으로 가정하고 왜곡량산출 결과를 바탕으로 GRS80 좌표를 측지좌표로 변환하여 최초 공통점 즉 철도기준점의 측지좌표와 비교하여 차이에 대한 평균값을 얻었다.

KASM Trans Ver2.2 - 전기용 / 전기용

점번호	측량점	측량 GRS80 X	측량 GRS80 Y	측량 Bessel X	측량 Bessel Y	합성화
1	NO001	346790.042	229306.337	346403.272	229234.963	0
2	NO002	345482.252	229558.366	345155.476	229485.009	0
3	NO003	345161.090	229745.009	345054.308	229674.651	0
4	NO004	345948.406	230439.989	345641.512	230368.639	0
5	NO005	345305.009	230466.190	345078.210	230413.823	0
6	NO006	345113.071	231137.093	344906.260	231065.741	0
7	NO007	344751.346	231038.763	344444.535	230967.405	0
8	NO008	344578.602	231448.861	344271.785	231377.506	0
9	NO009	343511.835	231531.353	343305.012	231460.186	0
10	NO010	343190.220	231807.415	342883.368	231736.045	0
11	NO011	342456.482	231812.002	342149.650	231740.622	0
12	NO012	341956.269	231642.908	341645.436	231571.520	0
13	NO013	341581.783	231901.101	341280.956	231623.720	0
14	NO014	341054.127	231814.177	340747.287	231742.777	0
15	NO015	340468.146	232010.848	340162.301	231939.441	0
16	NO016	339902.221	232072.801	339595.372	232001.366	0
17	NO017	339206.533	232117.780	338969.741	232046.364	0
18	NO018	338618.861	232247.739	338312.006	232176.305	0
19	NO019	338043.981	232162.918	337737.124	232091.474	0
20	NO020	337496.816	232157.295	337159.956	232005.637	0
21	NO021	337030.456	231921.137	336702.596	231749.681	0
22	NO022	336871.083	231790.743	336564.219	231719.280	0
23	NO023	336395.387	231896.985	336078.522	231615.514	0
24	NO024	335903.015	231695.303	335496.943	231613.830	0
25	NO025	335254.826	231724.079	334947.948	231652.681	0
26	NO026	334716.340	231540.570	334409.470	231469.076	0
27	NO027	334344.398	231271.624	334037.526	231200.123	0
28	NO028	334225.939	231250.942	333919.087	231188.439	0

좌표변환 방법 설정: 정변환(Bessel->GRS80) / 역변환(GRS80->Bessel) | 등거리관계 특연점 설정: 등부 설정 / 등거리관계의 10.45초 보정 여부

구분자 설정: 점 | 공통점 데이터 입력 | 공통점 데이터 분석 | 공통점 데이터 저장 | 왜곡량 산출

주의사항 보기 | 백터(데이터) 보기 | 도움말 자동 JOIN | 프로그램 종료

그림4. 공통점 (Common point)을 이용한 왜곡량 산출

이러한 왜곡량값은 X 축과 Y축의 값이 노선길이에 따라 일정한 값을 보였으며 7 Parameter 를 이용한 변환값은 그 자체값을 적용하기에는 무리가 있었다. 따라서 왜곡량보정후 차이값을 통해이 중심 선형좌표에 대한 일괄변환을 실시 오차를 최소화 하였다.

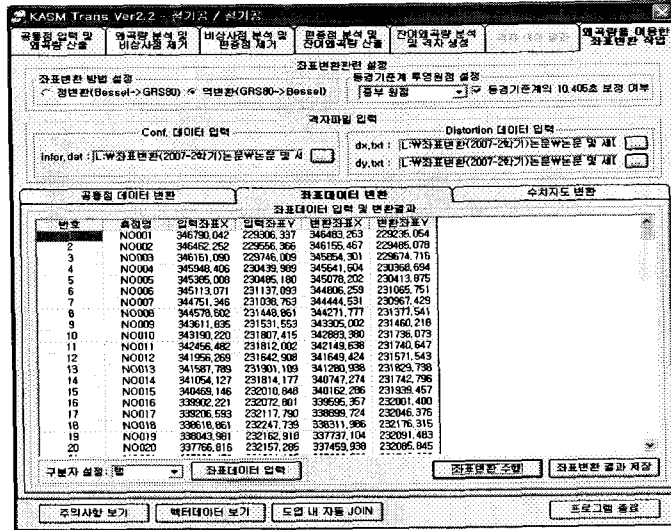
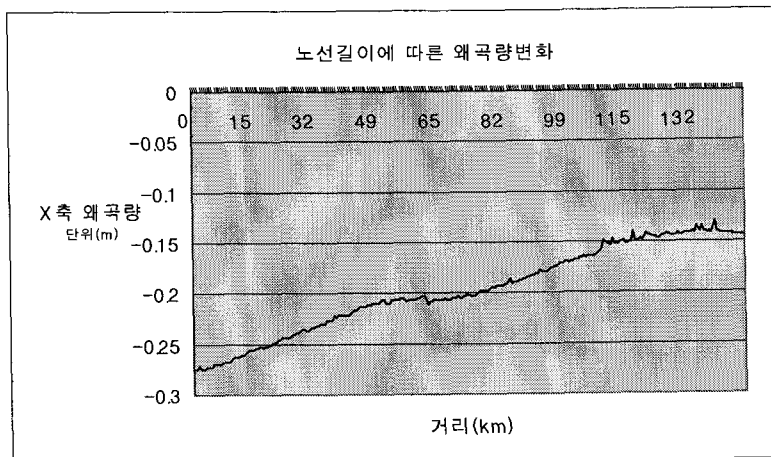


그림.5 왜곡량 산출결과를 이용한 GRS80 좌표의 변환

5. 분석 및 확인

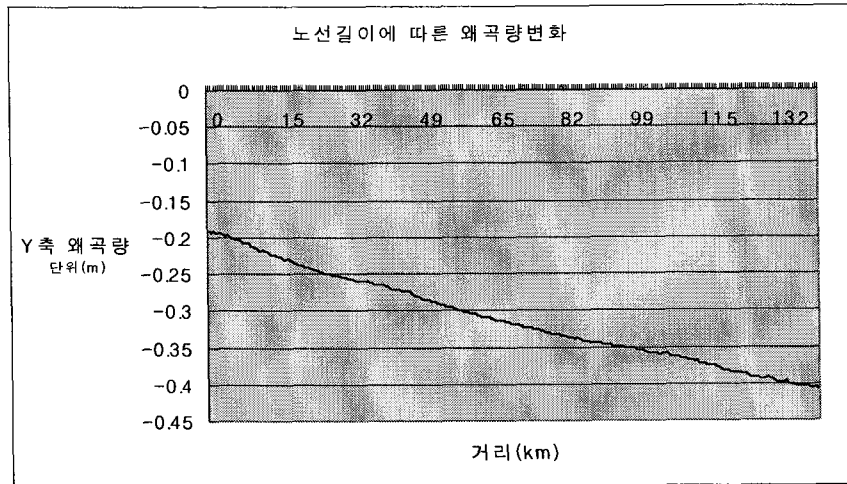
호남고속철도 노선상에 측설한 철도기준점을 공통기준점으로 가정하고 데이터를 처리한 결과 국가좌표변환 계수만을 이용한 좌표변환결과 값은 기존 측지좌표계와 X축으로는 평균 21cm , Y축은 평균 29 cm 의 오차 즉 왜곡량이 발생하였다.

도표. 4 노선길이에 따른 X축변위량의 변화



이러한 결과는 본 논문의 목적인 좌표변환의 철도노선계획 및 설계에 활용하기 위한 오차한계에 부합되지 않으며 용지폭설정 및 용지경계확정을 위한 철도선형축을 지적도면내로 중심이동 하기위한 지적경계측량의 허용오차 10cm 를 만족하지 못하였다.

도표.5 노선길이에 따른 Y축 변위량의 변화



물론 이러한 좌표변환 결과를 기초로 지적경계측량 및 현황측량 실시하여 상호관계를 확인할 수 있으나 이러한 내용은 현장중심의 측량방법이며 우리가 계획 및 설계시 준수해야 하는 변환결과에 대한 허용오차는 아니므로 만족할 만한 결과라고 할 수 없다. 따라서 이러한 오차(왜곡량)는 용지폭설정 및 경계확정에까지 영향을 미쳐 과소토지 및 과대토지가 발생할 수 있는 요인으로 남을 것이다.

도표.6 왜곡량산출 및 표준편차

구분	평균왜곡량	표준편차	비고
X	- 0.2154	0.0513	
Y	- 0.2962	0.0641	

따라서 이러한 왜곡량을 최소화 하기 위해 왜곡량보정프로그램(KASM2.2)를 이용해 왜곡량을 보정한결과 기존 삼각점을 기준으로 한 측지좌표계값의 차이가 평균 X축 으로는 6mm Y축으로는 9mm 의 최종 변위량을 나타냈다.

도표. 7 왜곡량보정후 좌표값 비교

구분	왜곡량보정전 평균값	왜곡량보정후 평균값	비고
X	- 0.2154	- 0.006	
Y	- 0.2962	- 0.009	

따라서 호남고속철도 계획노선상의 철도기준점을 공통기준점으로 가정하여 좌표변환을 실시할 경우 세계측지계전환지침에서 규정하고 있는 허용오차 범위 및 지적측량경계측량 허용오차를 모두 만족함을 알 수 있다. 따라서 GRS80 타원체를 준거타원체로 설계한 세계측지좌표계의 호남고속철도 선형중심축은 베셀타원체를 준거타원체로 한 측지좌표계로 변환이 가능하다.

5. 결론 및 향후 연구방향

충청남도 및 대전, 전라남북도로 이어지는 호남고속철도(약180km) 노선의 좌표변환을 위해 왜곡량을 분석한 결과 왜곡량은 남부지방으로 이동할 수록 X축 변위량이 증가하는 반면 Y축의 값은 감소하였다. 최소 21cm에서 최대 40cm 로 세계좌표계에서 측지좌표계로의 변환이 후 좌표간 차이값은 6~9mm로 허용오차 이내의 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 향후 철도중심선형에 대한 좌표변환시 새로운 공통기준점을 설치하지 않고 철도기준점을 이용한 좌표변환이 가능함을 알 수 있었다. 그러나 이는 기존 측지분야의 좌표계 와 지적분야의 좌표계간 차이는 반영되지 않은 것이므로 철도중심선형에 대한 좌표변환 이후 지적측량분야에 활용시 오차를 최소화 하기위해 교점(IP, Intersection Point) 으로부터 완화곡선끝(PC, Parabola of Curve)의 연직축 방향으로 이어지는 지점을 현장중심의 지적경계측량 및 확정측량을 실시하여 간접좌표취득후 중심선형 이동결과와 비교하며 용지폭결정 및 용지경계설정이 병행되어야 할 것이다. 또한 현재의 좌표변환후 오차한계는 수치지도제작(Mapping) 에 대한 오차한계로서 철도계획 및 설계시 요구되는 좌표변환시의 오차범위가 규정되어 있지 않아 다소 미흡한 부분이 있다. 따라서 향후 이에 대한 규정마련 및 관련 법규등이 정비되어야 할 것이며, 일제강점기 이후 다원화된 지적좌표계의 특성을 고려 구소삼각 및 특별소삼각지역 좌표계등의 간접변환방법에 관한 연구가 병행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 국토지리정보원(2003) “ 1/1000 수치지형도 좌표변환 작업 지침”
2. 유복모(2005) “측량공학”
3. 김대경(2003), “왜곡모델링을 통한 측지좌표계 변환의 정확도 향상에 관한 연구”
4. 송동섭(2007), “국가GIS와 연계를 위한 지적기준점의 세계측지계 변환실험”
5. 박수범(2007), “상시관측소를 이용한 철도기준점 좌표변환방법에 관한연구”
6. 행정자치부, “GPS 지적측량기법 개발에 관한 연구”, 2002, 12
7. 행정자치부, “GPS를 이용한 지적측량 기술개발에 등에 관한 연구”, 2005, 3