

## 철도기준점을 활용한 지오이드고의 추정

### Geoid Height Estimation Using Rail-road Reference Points

허준<sup>†</sup> · 송영선\* · 김성훈\*\* · 문정균\*\*\*

Joon Heo · Yeong-Sun Song · Sung-hoon Kim · Cheung-Kyun Moon

**Abstract** This paper evaluated applicability of railroad reference points for determining geoid heights. For this research, reference points on the Honam express railroad which contain ellipsoid heights estimated by GPS/Leveling and orthometric heights by leveling were used. Geoid heights were calculated using orthometric and ellipsoid heights of 360 railroad reference points, and the RMSE's with respect to different intervals of reference points were analysed which were induced by interpolation methods. The results showed that no significant difference of RMSE's among interpolation methods. RMSE's of 0-4km interval of reference points were determined within 2cm and 5-8km were within 3cm. Also, this research confirmed that GPS leveling with Geoid model is not accurate enough to be used for railroad surveying as yet.

**Keywords** : Railroad reference points, Geoid Height, Ellipsoid Height, Orthometric Height, GPS/Leveling, Honam-express train

요 지 본 연구에서는 지오이드고 산정을 위해서 철도기준점의 활용가능성을 평가하였다. 사용된 자료는 호남고속 철도 건설을 위해서 구축된 철도기준점으로써 GPS/Leveling에 의해 산정된 타원체고와 수준측량에 의한 정표고에 대한 정보를 포함하고 있다. 360개의 철도기준점의 타원체고와 정표고를 이용하여 지오이드고를 산정하고, 산정된 지오이드고를 이용하여 공간차리방법으로 정확도 및 철도기준점의 간격에 따른 오차를 평가하였다. 그 결과 공간차리연산자에 따른 오차는 거의 유사하였고, 기준점 간격별 분석에서는 0-4km 구간에서는 2cm, 5-8km 구간에서는 3cm의 오차범위안에서 지오이드고가 결정됨을 알 수 있었다. 이와 같은 연구결과를 통해 철도측량에 있어 GPS측량과 지오이드보간을 활용한 수준측량을 활용할 수 없음을 확인할 수 있었다.

주요어 : 철도기준점, 지오이드고, 타원체고, 정표고, GPS/Leveling, 호남고속철도

## 1. 서론

지구상 어느 지점의 높이를 표현하는 방법으로 준거타원체로부터의 높이인 타원체고와 지오이드(평균해수면)를 기준으로한 정표고로 정의할 수 있으며, 대부분 측량과 관련된 각종 건설, 토목공사에 있어서는 정표고를 기준으로 한다. 측량작업을 진행함에 있어 정표고는 대부분 수준측량을 통해 결정되었으며, 최근에는 GPS측량을 통해 결정하

고 있다. 그러나 GPS측량을 통해 정표고를 측량하기 위해서는 GPS로부터 측정되는 타원체고를 정표고로 변환해야 하며, 이를 위해서는 측량지역의 지오이드고(모델)를 알아야 한다.

특정지역의 지오이드고를 결정하는 작업은 매우 어려운 작업으로서 중력관측에 의한 방법과 지구중력장 모델을 활용하는 방법 등이 있으며, 지구중력장 모델이 지오이드 모델링을 위한 기준면의 결정을 위해서 주로 사용되어 왔다.

1980년대 이후로 많은 지구중력장 모델이 개발되어 왔으며, EGM96과 EIGEN-GL04C 모델이 전세계적으로 사용되어 왔고, 최근에는 미국의 NGA에 의해 EGM2008 모델이 개발되었다. 그러나 이러한 모델에 근거한 지오이드고의 산정은 해석상의 어려움, 경제적 시간적 문제, 전문인력

<sup>†</sup> 책임저자 : 정회원, 연세대학교, 토목환경시스템공학부, 부교수  
E-mail : jheo@yonsei.ac.kr

TEL : (02)2123-5797 FAX : (02)364-5300

\* 인하공업전문대, 지형공간정보과, 전임강사

\*\* 연세대학교 토목환경시스템공학부, 석사과정

\*\*\* 정회원, (주)한국철도기술공사, 차장

의 요구, 단순 측량작업에서 적용의 난해함 등의 문제가 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 정표고가 결정된 각종 기준점과 GPS/Leveling 방법을 적용하여 간단하게 해당 지점의 지오이드고를 산정할 수 있고, 이 지오이드고를 이용하여 인근 지역의 타원체고를 지오이드고로 변환하는데 활용할 수 있다[1].

지오이드고를 추정한 국내의 연구 현황 사례를 보면, 우리나라를 5대 광역권으로 나누어 수준점과 삼각점 및 기준점을 GPS측량을 실시하여, 관측된 수준점에 기존의 정확한 표고 값을 통해 고정 망조정을 실시하여 구하고자하는 점의 정표고 및 지오이드고를 산출하고 분석하여 GPS측량을 수준측량으로 적용할 수 있는 한계와 우리나라 광역별 지오이드고의 경향을 분석하였다. 또한 국내외에서 발표된 지오이드고모델인 EGM96, OSU91A, KGEIOD98 등과 GPS/Leveling에 의해 구해진 지오이드를 분석함으로써, 우리나라에서의 지오이드 모델 적용 가능성과 GPS/Leveling의 실용화 방안을 제시하였다[2].

본 연구에서는 호남고속철도 건설사업을 목적으로 약 500m 간격으로 매설된 철도기준점과 GPS/Leveling을 이용하여 해당 노선(오송~광주, 183km 구간)을 따라 지오이드고를 산정하였다. 산정된 360지점의 지오이드고를 기초로 다양한 공간자료 처리기법을 적용하여 보간방법에 따른 지오이드고의 오차를 분석하고, 최적의 보간방법을 제시하였다. 연구를 위하여 사용된 호남고속철도 철도기준점은 GRS80 타원체를 기준으로 한 타원체고와 동일지점에 대한 수준측량 결과인 정표고값을 포함한다.

보간을 위해서 사용된 공간자료 처리기법은 IDW, RBF, Kriging이며, Kriging은 관심있는 지점에서 특성값을 이미 알고 있는 주위의 값들의 가중선형조합으로 예측하는 방법으로 그 가중치는 대개 예측오차를 최소화 하면서 그 추정식이 편향되지 않도록 결정한다. 특히 같은 입력에 대해서 동일한 응답을 주는 결정적인 응답을 바탕으로 하기 때문에 보간 모델로서의 활용성이 중요하게 인식되고 있다.

마지막으로, 본 연구에서는 보간을 위해 사용된 기준점 간의 간격에 따른 추정된 지오이드고의 오차전과를 분석함으로써 요구되는 지오이드고의 정밀도에 따라 최소 필요한 기준점의 간격을 제시하였다.

## 2. 연구 대상 지역 및 자료 추출

### 2.1 연구 대상 지역

호남고속철도는 경부고속철도와 더불어 우리나라의 양대 기간망으로써 교통 및 생활축을 형성하고, 국토의 균형 발전을 통해 효율적이고 합리적인 교통수단간 분담 및 연

계가 가능한 통합 국가교통체계를 구축하기 위한 대규모 건설사업으로 현재 호남고속철도 표준 설계지침을 기초로 기본설계가 이루어지고 있다.[3]

호남고속철도건설 기본계획은 호남고속철도의 분기역으로 선정된 오송에서 목포까지 총 230.9km 구간을 10조 5,417억원의 사업비를 들여 고속철도 신노선을 건설하고 서울에서 오송까지는 현재의 경부고속철도 노선을 이용하게 된다. 정차역은 오송역, 남공주역(가칭), 익산역, 정읍역, 광주역, 목포역 등 6개소와 광주차량기지로 계획되어 있다. 건설기간은 오송~광주구간을 우선 착수하여 2015년에 완공하고, 광주~목포구간은 2017년까지 완공하게 된다. 본 연구에서 사용된 철도기준점은 전체 구간중에서 오송에서 광주까지의 약 183km 구간이다.

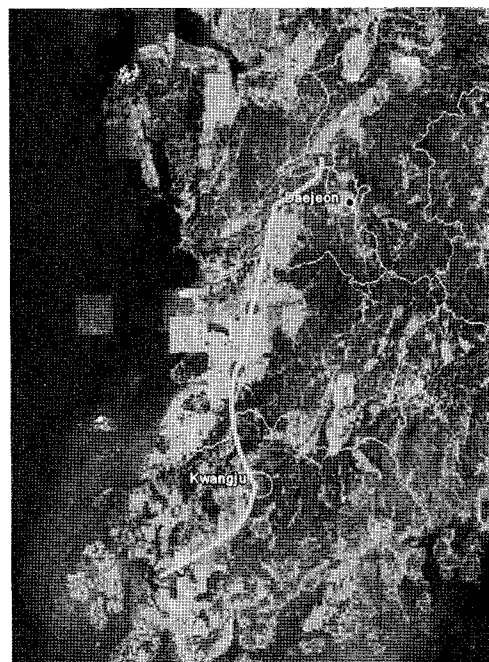


그림 1. 좌표 취득 대상지역

### 2.2 자료 취득

본 연구에서 사용된 자료는 “호남고속철도 건설사업 기본설계 항공측량 용역”에서 매설한 철도기준점으로써, 철도기준점이란 “철도의 설계, 건설, 유지관리 등에 의거하여 기준을 제공하는 기준점을 말한다.” 철도기준점측량은 평면위치측량과 수준측량으로 구분할 수 있으며 평면위치측량의 경우 “GPS에 의한 기준점측량 작업규정” 중 3등기준점측량에서 정하는 방법에 의한다. 철도기준점 설치장소는 지반이 견고하며 시야가 확보되어야 하고 GPS장비 등을 사용하기 위해 전파 수신 장애가 없어야 하고 철도 기준점의 간격은 500m이다. 철도 기준점의 수준측량은 국토지리정보원 “수준측량작업규정” 중 2등 수준측량에 관한 규정

을 준용하여 실시하였고, 왕복관측을 원칙으로 하고 1급 레벨 이상의 성능을 가진 기기를 사용한다[4]. 특히 철도 기준점에 대한 수준측량시 왕복관측값에 대한 교차 및 폐합차의 제한은

- 첫째, 왕복관측값의 교차 :  $5.0mm \times \sqrt{s}$
- 둘째, 환폐합차 :  $5.0mm \times \sqrt{s}$
- 셋째, 기지점에서 다른 기지점까지 폐합차 :  $15.0mm \times \sqrt{s}$  (s : 편도 관측거리(km))

로써 이를 초과시에는 재측을 해야한다. 따라서 본 연구에서는 기준점의 간격을 약 500m이므로 허용범위는 3.5mm가 된다.

위 사업은 오송으로부터 송정까지 183km 구간의 호남고속철도 속철도 부지지역으로 철도 중심선형으로부터 노선 양측간 200m 범위의 폭으로 측량이 실시되었으며, 본 연구에서는 약 500m 간격의 360개의 중심점을 이용하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 각 철도기준점에는 GPS측량으로부터 산정된 GRS80 타원체기준의 X, Y 평면직각좌표와 Z의 GRS80 타원체고, 그리고 동일지점에 대한 Bessel타원체상의 X, Y 평면직각좌표와 Z의 정표고의 값이 포함되어 있다.

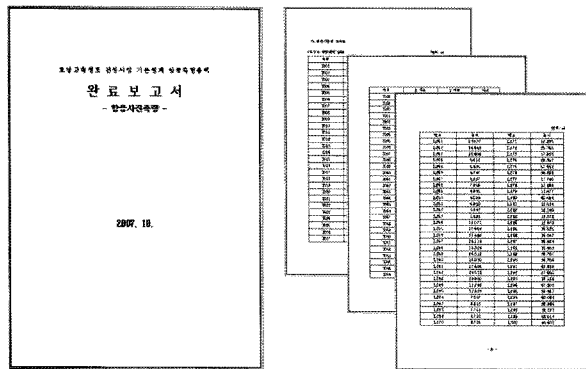


그림 2. 철도기준점 좌표 자료

### 2.3 연구수행 과정

GPS의 기준타원체면을 기준으로 할때 지표상의 한점으로부터 타원체고, 지오이드고, 정표고의 관계는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 위의 그림 3에 의한 것처럼 타원체고와 정표고를 이용하여 지오이드고를 산출할 수 있다. GPS에 의한 지오이드고의 결정은 사전에 표고가 정확하게 결정된 철도기준점을 고정하여 GPS로부터 조정 산출된 타원체고의 연산을 통하여 수행된다.

따라서 수준성고가 평균해면으로부터 정밀하게 결정되었다면 GPS를 이용한 지오이드고를 산출하고 보간법을 적용하는 것이 지오이드고를 결정하는데 있어 중력 또는 위성고도 자료에 의한 방법보다 효율적이고 경제적이라고 할

수 있다.

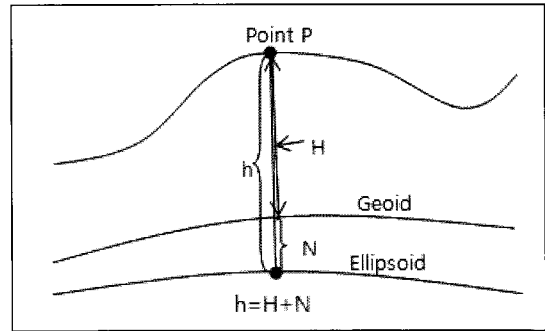


그림 3. 지오이드고(N), 타원체고(h), 정표고(H)의 관계

본 연구에서는 GRS80타원체상의 좌표와 Bessel타원체상의 좌표간의 일치성을 확인하기 위해 좌표변환을 수행하여 검증하였으며, 동일지점에 대한 GRS 80타원체상의 타원체고와 정표고를 추출하고, 타원체고에서 정표고를 제거함으로써 360개 지점에 대한 각각의 지오이드고를 산정하였다.

산정된 지오이드를 기초로 거리별로 지점들을 추출하고, 공간자료 분석을 수행하였다. 또한 지오이드고 모델 추정간 가장 최적의 지오이드고를 추정할 수 있는 공간자료 처리기법으로 IDW, RBF, Kriging의 방법을 선정하여 자료처리를 실시하였다. 그림 4는 본 연구에서 수행한 자료처리 과정을 나타내고 있다.



그림 4. 연구수행 과정

### 3. 공간자료분석기법

본 연구에서 사용된 공간자료분석기법으로써 많이 사용되고 있는 IDW, RBF, Kriging 사용하였으며, 각각의 방법별 특징은 다음과 같다.

### 3.1 IDW(Inverse Distance Weighted)

IDW(Inverse Distance Weighted)의 기본가정은 공간적으로 인접한 지점사이의 값은 공통된 위치요인으로 인하여 유사성을 갖게 되는 반면에 두 지점 사이의 거리가 증가할수록 이러한 유사성은 상대적으로 감소하게 된다는 것에 기초한다. IDW에 대한 기본 수식은 식 (1)과 같이 표현된다.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (1)$$

여기서  $\hat{Z}(s_0)$ 는 위치  $s_0$ 에서 우리가 예측하고자 하는 값을 나타내며,  $N$ 은 관측지점의 수,  $\lambda_i$ 는 관측지점에 사용할 가중치,  $Z(s_i)$ 는 관측지점에서의 관측값을 나타낸다. 위 식 (1)에서 가중치  $\lambda_i$ 는 식 (1)과 같이 거리가 증가함에 따라 그 값이 줄어들게 된다.

$$\lambda_i = d_{i0}^{-p} / \sum_{i=1}^N d_{i0}^{-p} \quad \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \quad (2)$$

식 (2)에서  $d_{i0}$ 는 관측지점  $s_i$ 와 예측지점  $s_0$  사이의 거리를 나타내며, 지수에 포함된  $p$ 는 거리에 따른 가중치 변화의 정도를 결정한다[5].

### 3.2 RBF(Radial Basis Function)

RBF(Radial Basis Function)는 예측된 Z값이 생성하는 표면의 곡률 총합이 최소가 되도록 미관측지점의 값을 예측하는 보간법이다. 앞에서 설명한 IDW와 비교할 때 RBF의 특징은 IDW가 예측값이 관측값의 범위를 벗어날 수 없는 것에 반하여 RBF는 관측된 최대값, 최소값 보다 예측값이 크거나 작게 나타날 수 있다. RBF는 고도데이터와 같이 공간상 완만하게 변화하는 데이터의 보간에 적합한 것으로 알려져 있다[5].

RBF보간법을 식으로 표현하면 다음 식 (3)과 같다.

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N w_i \phi(\|s_i - s_0\|) + w_{n+1} \quad (3)$$

여기서  $\phi$ 는 radial basis function을 나타내며,  $\|s_i - s_0\|$ 는 예측지점  $s_0$ 와 각 관측지점  $s_i$ 와의 거리를 나타낸다.  $w_i : i = 1, 2, \dots, n+1$ 는 각 관측값에 대한 가중치를 나타내며,  $w_{n+1}$ 은 bias 파라미터를 뜻한다. RBF는 식 (3)에 포함된 radial basis function을 어떻게 구성하는가에 따라 completely regularized spline function, spline with tension function, multiquadric function, inverse multiquadric function, thinplate spline function 등으로 구분된다.

### 3.3 Kriging

크리깅(kriging)은 미관측지점의 값을 이미 알고 있는 주

위의 값들을 가중선형 조합으로 예측하는 기법이다. 여기서 가중치는 거리에 따른 함수로 예측값과 참값 사이의 오차가 최소가 되도록 결정되며 많은 경우에 추정값이 편향되지 않아야 한다는 조건을 추가하여 그 값을 결정한다.

크리깅기법에는 단순크리깅, 정규크리깅, 일반크리깅, 구역크리깅, 공동크리깅 등 다양한 종류가 있다[5].

#### 3.3.1 단순크리깅(Simple Kriging)

단순크리깅은 공간적 확률과정이 2차정상성(stationarity)을 만족하며, 평균값은 우리가 이미 알고 있다고 가정한다. 여기서 2차정상성은 평균이 위치에 무관하게 상수로 일정하다는 것과 공분산이 자료의 위치에 의존하지 않고 단지 주어진 자료사이의 거리에 따라 변화하는 함수임을 의미한다. 이상의 가정을 전제로 단순크리깅은 예측오차를 최소로 하는 가중치를 구하여 공간보간을 수행하게 된다. 예측오차를 최소로 하는 가중치는 오차분산을 이용하여 계산할 수 있다. 단순크리깅은 크리깅기법 중 가장 간편한 방법이라 할 수 있다. 그러나 평균을 이미 알고 있을 때 적용 가능한 방법으로 많은 경우 사전에 평균을 알 수 있는 경우가 드물어 적용에 한계를 갖는다.

#### 3.3.2 정규 크리깅(Ordinary Kriging)

정규 크리깅은 모집단의 평균을 사전에 알 수 없지만, 그 값은 고정되어 있다는 것으로 가정한다. 단순크리깅은 추정식이 편향되어 있어 추정식의 평균이 모집단의 평균과 일치하지 않는 문제점이 있다[6]. 이를 극복하기 위해 정규 크리깅은 추정식이 편향되지 않기 위한 제한조건을 부여한다. 편향은 모집단의 평균과 추정식의 평균차이로 정의되며 이 차이가 없을 경우 편향되어 있지 않다고 할 수 있다. 이로부터 편향되어 있지 않기 위해서는 가중치의 총합이 1이 되어야 한다는 제약조건 이유도 되며 이 제약조건하에서 오차분산이 최소가 되도록 가중치를 구하고 이를 이용하여 미지의 값을 예측하게 된다. 제약조건하에서 최소·최대를 구하는 문제는 라그랑지 인자법(Lagrange parameter method)에 의하여 계산될 수 있다.

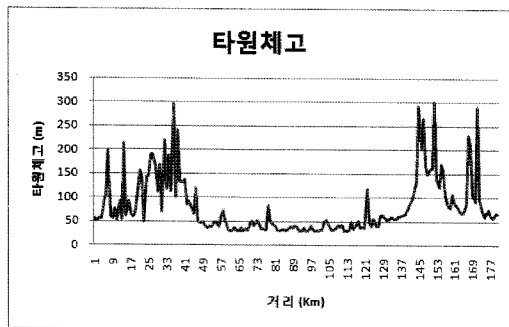
#### 3.3.3 일반크리깅(Universal Kriging)

2차정상성은 모든 공간프로세스를 유발하는 확률과정에서 만족되는 것은 아니다. 2차정상성은 모집단의 평균이 위치에 상관없이 같은 값을 갖는다고 가정하나 실제계의 자료들의 평균은 공간적 추세가 존재하는 경우가 많다. 이럴 경우 해당자료는 2차정상성을 더 이상 만족하지 않으며, 공간적 추세를 무시하고 크리깅을 기법을 적용할 경우 예측값이 잘못될 가능성이 커지게 된다. 이러한 문제점을 극

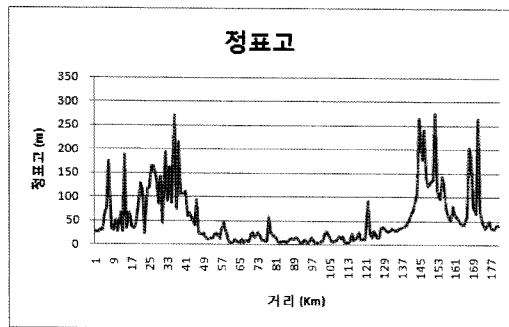
복하기 위하여 일반 크리깅에서는 평균이 갖는 공간적 추세를 제거한 잔차를 이용하여 베리오그램을 추정한 후 이를 이용하여 미관측 지점의 값을 예측하게 된다.

#### 4. 자료처리 및 분석

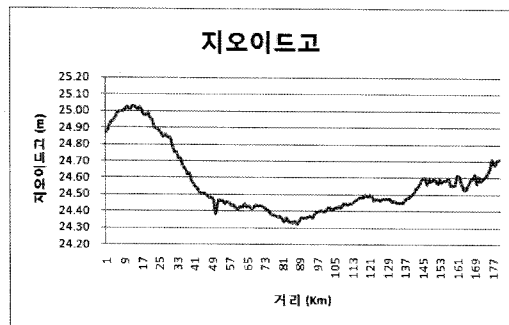
본 연구를 수행 위해서 먼저 철도기준점으로부터 지오프이드고를 산정하였다. 그림 5(a)는 철도기준점에 포함된 GRS 80타원체로부터 추출된 타원체고이며, 그림 5(b) 또한 철도기준점에 포함된 수준측량으로부터 추출된 정표고이다. 그림 5(c)는 타원체고와 정표고로부터 산정된 지오프이드고이다. 대상지역의 타원체고는 최소 29.12m에서 300.10 m, 정표고는 최소 4.76m에서 최대=275.45m, 그리고 두 값으로부터 산정된 지오프이드고는 최소 24.32m, 최대 25.03m사이의 분포를 보였다.



a) GPS로부터 추출된 타원체고



(b) 수준측량으로부터 추출된 정표고



(c) 타원체고 및 정표고로부터 산정된 지오프이드고  
그림 5. 타원체고, 정표고 및 계산된 지오프이드고

360개의 철도기준점의 X, Y, Z 좌표값을 표 1에서 보는 바와 같이 구간별로 분류하여 거리에 따라 발생하는 오차를 분석하였다. 각 점들의 간격은 500m이며 거리에 따라 각 포인트를 기준점과 검사점으로 구분하여 자료를 처리하였다.

표 1. 사용된 데이터수

구간	기준점 수	검사점 수
1km	180	180
2km	90	270
3km	60	300
4km	45	315
5km	36	324
6km	30	330
7km	26	334
8km	23	337
9km	20	340
10km	18	342

본 연구에서는 IDW, RBF, Ordinary Kriging, Simple Kriging을 적용하여 분석한 자료에 대해 검증을 실시하였고, 평균오차와 RMSE를 구하여 각각의 오차를 분석하였다. RMSE의 값이 크면 기준점으로부터 생성된 점들과 검사점 간의 값의 차가 커지므로 오차가 더 커지게 됨을 의미한다. 구간의 거리에 따른 검증의 결과는 표 2. 와 그림 6. 에서 정리되어 있다. 표 2.에서 보는 바와 같이 IDW는 0.01742m에서 0.03331m, RBF는 0.01770m에서 0.03500m, Ordinary Kriging은 0.01722m에서 0.03224m, Simple Kriging은 0.01693m에서 0.03454m의 분포를 나타내었으며 약간의 차이가 있지만 Kriging에 의한 분석결과가 RMSE값이 작게 나왔다. 종합적인 판단으로는 약간의 차이가 있지만 모든 보간 방법이 거의 비슷한 결과 값을 나타내었다.

또한, 모든 1km이상의 간격에서 보간방법의 선택에 관계없이 RMSE는 약 1.7cm보다 큰 값이었다. 기존의 철도기준점 수준측량의 기준인 2등 수준측량에 관한 규정을 준용하여 500m 간격의 기준점을 이용할 때 요구되는 정확도인 1.06cm를 모두 크게 초과함을 알 수 있었다. 따라서 GPS 측량과 지오프이드고의 보간에 의한 수준측량 방법은 철도측량에는 아직 활용될 수 없음을 확인할 수 있다.

표 2. Validation의 결과

기준점 간격	method	Validation	
		Mean(m)	RMSE(m)
1km	IDW	-0.0019147	0.01742
	RBF	-0.0021117	0.01770
	Ordinary Kriging	-0.0020375	0.01821
	Simple Kriging	-0.0020685	0.01824
2km	IDW	-0.0003194	0.01933
	RBF	-0.0004242	0.02004
	Ordinary Kriging	-0.0003072	0.01863
	Simple Kriging	-0.0004581	0.01859
3km	IDW	-0.0012425	0.01913
	RBF	-0.0013298	0.01862
	Ordinary Kriging	-0.0009939	0.01766
	Simple Kriging	-0.0013118	0.01764
4km	IDW	0.0032763	0.01930
	RBF	0.0032092	0.01809
	Ordinary Kriging	0.0037784	0.01727
	Simple Kriging	0.0030542	0.01693
5km	IDW	-0.0029603	0.02396
	RBF	-0.0031762	0.02394
	Ordinary Kriging	-0.0023787	0.02263
	Simple Kriging	-0.0035477	0.02178
6km	IDW	0.0005136	0.02454
	RBF	0.0000708	0.02346
	Ordinary Kriging	0.0009434	0.02274
	Simple Kriging	-0.0004097	0.02231
7km	IDW	0.0033785	0.02472
	RBF	0.0037680	0.02200
	Ordinary Kriging	0.0042231	0.02346
	Simple Kriging	0.0025218	0.02343
8km	IDW	0.0081957	0.02523
	RBF	0.0266027	0.02140
	Ordinary Kriging	0.0091916	0.02241
	Simple Kriging	0.0071840	0.02303
9km	IDW	-0.0029455	0.03192
	RBF	-0.0018557	0.03049
	Ordinary Kriging	-0.0013421	0.02997
	Simple Kriging	-0.0042825	0.02964
10km	IDW	-0.0067375	0.03331
	RBF	-0.0050241	0.03500
	Ordinary Kriging	-0.0047220	0.03224
	Simple Kriging	-0.0087972	0.03454

### 5. 결론

본 연구에서는 철도기준점을 기반으로 최적 지오프이드고 추정의 가능성을 평가하기 위해서 호남고속철도 건설을 위해 매설된 철도기준점을 기반으로 하여 지오프이드고추정하고 정확도를 평가하고자 하였다.

이를 위해 호남고속철도의 철도기준점을 이용하여 약 500m의 간격으로 360개의 철도기준점에 대한 GPS의 타원체고와 수준측량으로 결정된 정표고의 값을 이용하여 지오프이드를 산출하였다. 산출된 철도기준점상의 지오프이드고를 공간자료처리기법인 IDW, RBF, Ordinary Kriging, Simple Kriging 방법을 이용하여 방법별과 거리별로 평균오차와 평균제곱근오차(RMSE)를 계산함으로써 정확도를 평가하고 최적의 공간처리방법과 거리별로 발생하는 지오프이드고의 오차를 제시하였다.

연구 결과, 일반적으로 Kriging의 방법이 가장 일반적으로 사용되는 2차원자료의 보간 방법으로 알려져 있지만, 이 연구에서는 면보간이 아니라 선형보간의 형태이므로 대체적으로 모든 구간에서 보간방법들간의 정확도에는 큰 변화가 없는 경향을 보였다. 또한 구간별 거리가 길어짐에 따라 RMSE의 값이 비례하는 일반적인 경향을 보이고 있으며, 모든 방법들에 있어서 1km 간격에서는 약 1.8cm 이내, 1-4km 구간에서는 약 2cm 이내에서, 5-8km 구간에서는 약 2.5cm 이내의 오차 범위 안에서 지오프이드고 결정됨을 알 수 있었다. 특히, 모든 방법들에 있어 기준점 간격이 8km 이하일 때 지오프이드고의 오차의 변화폭이 적으나 8km 이상으로 증가할 때 지오프이드고의 오차가 3cm 이상으로 크게 증가함을 알 수 있었다.

이 연구결과는 호남고속철도 공사지역에는 4km마다 지오프이드고를 아는 기준점이 있을 때 나머지 지역에서 GPS 측량과 지오프이드의 공간보간법을 수행하면 약 2cm 안쪽의 정확도를 갖는 정표고를 추정할 수 있음을 의미한다. 이와 같은 기준점 간격별 정표고 추정의 정확도는 지오프이드의 기하학적인 변동성에 따라 변하므로 지역에 따라 다른 값을 가진다. 호남지역과 달리 지형의 기복이 크고, 중력이상 지역이 다수 분포한 곳에서는 더 큰 오차가 예상된다. 또한 본 연구에서 철도측량에서 요구되는 표고정확도를 GPS 측량과 지오프이드의 공간보간법에 의해서 수행할 수 없음을 확인하였다.

한편 서두에 언급한 것처럼 철도 기준점의 직접 수준측량시 관측의 허용범위는 500m의 기준점을 설정하였을 때, 3.5mm의 정밀 수준측량이 요구되지만 본 연구에서 제시한 지오프이드 모델의 결과는 정확한 수준측량의 결과 확보의 목적보다는 산지나 구릉지에서 의 토량 산출 및 지반고 결

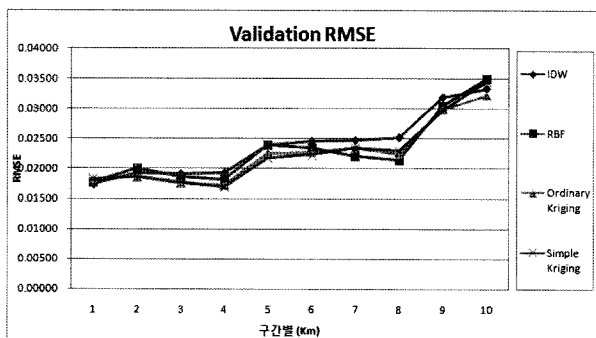


그림 6. Validation RMSE 그래프

정 등 직접수준측량에 대한 보조적인 방법으로써 이용이 가능하다고 판단된다. 또한 국지적인 지역에 대하여 GPS 타원체고와 정표고의 상관관계를 이용하여 독립적인 지오이드 모델을 생성하고, 경향을 파악함으로써 상관관계를 유추 공식화하여 노반구조물 및 처짐현상 등의 유지관리에 활용할 수 있을 것이며, 이에 대한 추가 연구가 진행되어야 할 것이다.

추후 연구 방향으로는 현재 국토지리정보원에서 고시하고 있는 정표고와 철도기준점을 이용하여 생성한 선형형태의 국지적 지역지오이드모델을 비교, 상관관계를 산출하여 비교 함으로써 철도기준점으로부터 산정된 지오이드고의 정확도를 보다 높일 수 있는 보완적 방법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 강준목, 박은용, 김홍진, 최종현(1995), "GPS/Leveling 기법과 연직선 편자를 이용한 Bessel 지오이드고 산정에 관한 연구," 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제15권, 제4호, pp. 945-952.
2. 최윤수, 권재현, 조문형, 황병호(2005), "GPS/Leveling을 이용한 지역별 지오이드고 분석," 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제25권 제5D호, pp. 757-765.
3. 문정균, 허준, 강상구, 김일주, 박재홍, 김성훈(2007), "철도기준점을 이용한 철도중심선형 좌표변환에 관한 연구," 한국철도학회 논문집, 한국철도학회, 제 10권, 제6호, pp. 685-691.
4. 한국철도시설공단(2005), "철도건설측량지침안 제정."
5. 조홍래, 정종철(2006), "강우자료에 대한 공간보간 기법의 적용," 한국 GIS학회 논문집, 한국GIS학회, 제 14권, 제1호, pp. 29-41.
6. 최종근(2002), "공간정보 모델링 크리깅과 최적화 기법," 구미서관.

접수일(2009년 2월 21일), 수정일(2009년 4월 23일),  
게재확정일(2009년 8월 5일)