

# 철도건설공사를 위한 측량에서의 고도화 정착에 관한 연구

## A Study on the Advancement to establish for Surveying of Railway Construction

문제우\*, 김영하\*\*, 오병수\*\*\*, 한춘득\*\*\*\*

Moon, Jae-Woo\* Kim, Young-Ha\*\* Oh, Byung-Soo\*\*\* Han, Chun-Deuk\*\*\*\*

---

### Abstract

Modern surveying techniques have been progressed to get the absolute position of a single coordinate system at any point on the earth with the advent of the Global Navigation Satellite System and One-stop digital equipment. In addition, as the speed of the railway has been increasingly faster, in determining the location of major facilities including the center of tracks, it is required to the sophisticated precision. The surveying of railway construction has applied the technical supports and procedures in accordance with the current requirements. In this study, the applicable guidelines of surveying on practical issues and alternatives would be examined, analyzed, and presented by using the empirical data of pilot areas in the process of design, construction, and the maintenance of railway.

Key words: Global Navigation Satellite System, Absolute position, Guidelines for the surveying of Railway construction.

---

### 요 지

현대의 측량기술은 위성항법시스템 및 원스톱디지털장비의 등장으로 지구공간상 어느 지점이라도 단일좌표체계의 절대성위치 취득이 가능한 시대로 진보하고 있다. 한편 철도의 속도는 나날이 고속화 되어가고 있어 철도건설시 궤도중심을 포함한 주요시설물 등의 위치를 결정할 때 고도화된 정밀성이 요구된다. 이에 따라 철도건설공사측량에서는 기술지원과 절차가 지킴화되어 적용되고 있다.

본 연구에서는 철도건설의 설계와 시공 그리고, 유지관리로 이어지는 과정에서 철도건설측량지킴 적용에 따른 측량시 문제점에 대한 대안을 시범지구의 실태이터를 통해 분석·연구·제시하였다.

핵심용어 : 위성항법시스템, 절대위치, 철도건설측량지킴

- 
- \* 한국철도시설공단 영남본부 건설처 사업총괄팀장  
E-mail : ktx2000@empal.com
  - \*\* 한국철도시설공단 영남본부 건설처장  
E-mail : korail64@hanmail.net
  - \*\*\* 한국철도시설공단 영남본부장  
E-mail : ohbs315@empal.com
  - \*\*\*\* (주)한국해양과학기술 전무이사  
E-mail : kosecgps@korea.com

## 1. 서론

과거의 기준점측량은 측점간 가시성이 확보된 범위에서 삼각망을 구성한 후에 이들 측점의 내각을 측량, 삼각도형방식에 의해 기선을 증대시키고 위치를 결정하는 삼각측량, 기지점으로부터 미지점간을 다각(Traverse)형태의 관측망을 구성하고 각 측점에서 각과 거리를 실측하여 위치를 결정하는 다각측량, 삼각측량 network에서 전과 또는 광과거리측정기에 의해 삼변을 관측하는 삼변측량방식으로 발전해 왔다. 한편, 종래의 건설공사를 위한 설계 및 시공측량에서는 주로 다각측량 방법으로 위치를 결정하였다. 철도건설에서는 2005년 철도건설측량지침이 제정된 이후는 GPS 측량에 의한 방법으로 규정하고 있다. 90년대 GPS에 의한 측량기술의 등장은 전세계를 통합 연결하는 VLBI(Very Long Baseline Interferometry)와 같은 초장기선위치관측체계와 함께 network으로 연계되어 세계가 하나의 단일좌표시대로 진입하게 하면서, 위성신호의 수신에 의한 위치추적정확성은 복수의 위성수신장비에 의한 동시관측에서 0.1ppm이내의 측정이 가능하게 되었다.(Alfred Leick, 1990)

종래 도로 및 철도건설공사 등에서 측량허용오차의 한계는 최종성과품이 종이도면위에 그려질 때 해상능력을 기준으로 판단·결정하였다. 이는 철도건설공사의 경우 허용하는 정밀성의 시공오차와는 괴리가 있는 모순된허용오차라 할 수 있다. 그러나, 현재는 날로 고속화 되어가고 선형의 속성상 모순된 허용오차가 배제되는 절대성 위치가 요구되고 있다.

여기에 건설과정 또는 이후 공간상 어느 지점이라도 알고 하는 위치정보는 컴퓨터매체를 통한 디지털데이터를 실시간 제공받는 시대이다. 이를 상용·정착하기 위하여는 측량자, 시공자, 감리자, 감독자가 최신측량에 의한 방법과 성과품의 표준화·디지털화가 규정되어 있는 철도건설측량지침을 반드시 준수하여야 하는 제도적인 절차가 확립되어야 한다고 사료된다.

## 2. 연구배경

세계측지계로 전환된 측량기준과 현대의 첨단측량장비에 의한 위치결정기술을 기반으로한 “철도건설측량지침”은 설계, 공사관리, 준공 및 유지관리 분야에 적법하고 일관성 있는 규정을 제공하여 철도건설공사의 품질향상과 안전을 도모하고 디지털·표준화된 데이터관리의 효율성을 확립하기 위하여 제정(2005년)되었다.

그러나, 이 후 고속철도와 일부 일반철도건설공사를 제외한 다수의 일반철도건설과 철도설계를 위한 측량시 실시설계사 또는 시공사별로 임의로 측량전문가를 통해 시행된 설계측량 또는 착공측량은 과거의 관행된 절차와 방법에 의거하여 작업을 수행하고 있는 것이 현실이다.

기준이 적법하지 못하고 부정확한 측량은 국가기준점과의 성과괴리, 설계 및 건설공사에서 건설공사오차 불균형분포 및 과대오차발생과, 공구간 일관성 및 연계성 등에 문제를 유발시켜 부정확한 수량산출이 될 수 있으며, 공사진행과정에 발견이되어도 오차수정이 불가능하며, 국가시설물통합정보화정책 등에 부정확한 위치정보가 제공할 수밖에 없으며, 타기관과 각종공사 및 인접 공구간 연결시 불일치가 예상되며, 궤도부설시 임의선형 및 과정발생이 불가피하게 되어 노반중심과 궤도중심 불일치가 발생될 수 있어 어느 하나라도 발생되지 않아야할 요소에 영향을 미치게 한다.

본 연구는 시범지구에서 다양한 모형으로 측량결과의 변동량을 분석·연구하여 철도건설을 위한 지침적용시 실용상의 문제점과 해결 그리고 정착을 위한 방안을 제시하고자 한다.

## 3. 연구방법

철도건설측량지침적용 및 건설공사위치정보 고도화를 위한 시범연구지역은 2009년 4월 동시에 착공된 동해중부선(울산~포항~삼척) 전체 12개 공구 구간을 대상으로 하였다. 측량팀은 전체구간을 3개지역으로 나누어 4개공구를 묶어서 시공사가 각각 지정한 3개측량팀 (가칭A,B,C)을 구성하도록 하고 측량사로부터 인원, 장비, 절차, 방법, 기간, 측량업등록 관련서류 등이 기록된 작업계획서를 제출하도록 하여 작업수행능력의 적격여부를 점검하였다. 대상 구간은 Bessel타원체에 준

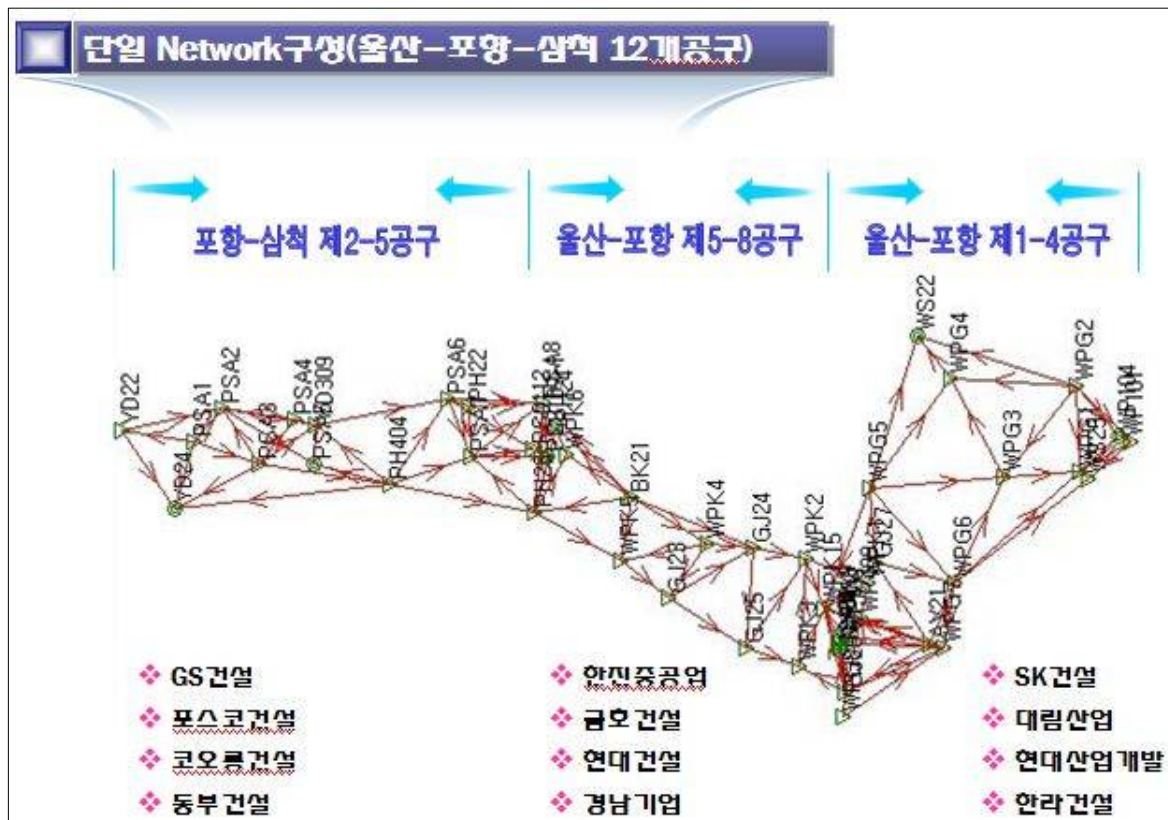
거한 동경측지계를 기준으로 설계되었으며 당시에 전 구간에 일정간격으로 철도기준점을 설치하고 위치좌표를 결정한 후에 이들을 기준으로 설계측량이 진행되었다.

본 연구에서는 설계당시에 설치·측량된 철도기준점의 위치신뢰성 점검과 공사를 위한 측량작업이 공구별로 각각 수행될 때 공구인접간 동일사용기준점의 위치결정, 공구간 인터페이스 오차발생 여부를 점검하고 연구하는데 주안점을 두었다. 특히 설계를 위한 철도기준점은 설계수량산출, 교량 및 터널과 같은 시설물설계, 용지경계 결정과 같은 건설공사의 핵심요소와 연계되는 기준으로써 그 위치좌표가 갖는 고도화의 중요성은 두 말할 나위도 없다. 때문에 기준좌표의 신뢰성은 정밀하고 적법성있게 점검되어야 한다.

측량작업은 A·B·C 3개팀이 각각 국토지리정보원이 고시한 주변 국가삼각점을 고정으로 철도기준점과의 GPS관측망을 형성한 후에 철도건설측량지침에서 정한 GPS 정지식측량방식의 세선단위 관측, 동시연속관측 4시간이상을 준수하도록 하여 공구별 철도기준점에 대한 위치를 결정하였다. 그 다음은 기지점으로 고정한 국가삼각점의 위치오차와 GPS측량에서 발생한 오차를 전체구간에 걸쳐 균형있게 분포시키기 위하여 3개팀이 측량한 GPS데이터를 하나로 묶는 단일GPS망을 재구성하여 전체공구의 철도기준점 좌표를 동시 망조정·계산·산출하였다. 이 때 GPS기선해석과 망조정 계산은 라이카사의 상용소프트웨어 LGO(Leica Geo Office)를 사용하였다.

표고(H)의 결정은 건설공사 예정지 주변 국도를 따라 약 2~4km 간격으로 매설되어 국토지리정보원으로부터 표고값이 결정·고시된 국가수준점을 기준하여 각 측량팀별 철도기준점과 끊임없이 연결·결합하여 철도기준점의 높이를 결정하고 이들 팀별 관측데이터를 전체 연결하여 국가수준점 오차 및 수준측량과정의 발생오차를 균형있게 조정하여 공사구간 전체의 철도기준점 높이를 결정하였다.

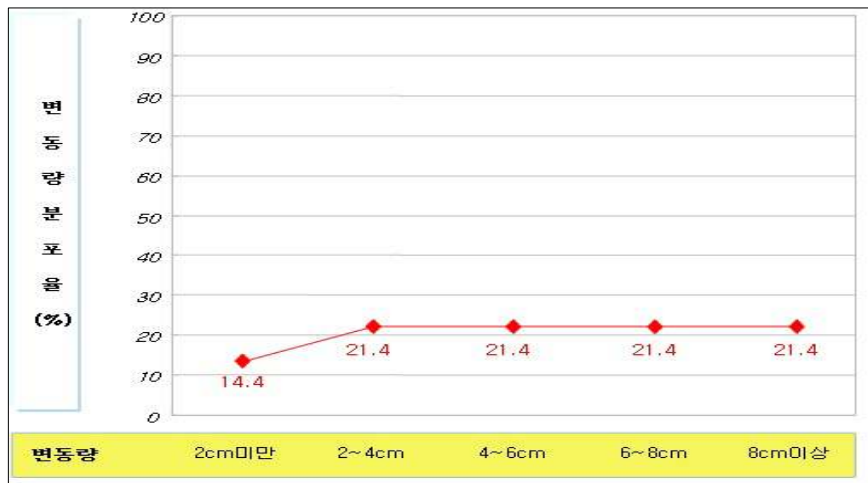
위와 같이 결정된 데이터들은 당초설계값 및 측량팀별 공구에서의 결정값을 상호 비교·검증하는 절차로 연구가 수행되었다.



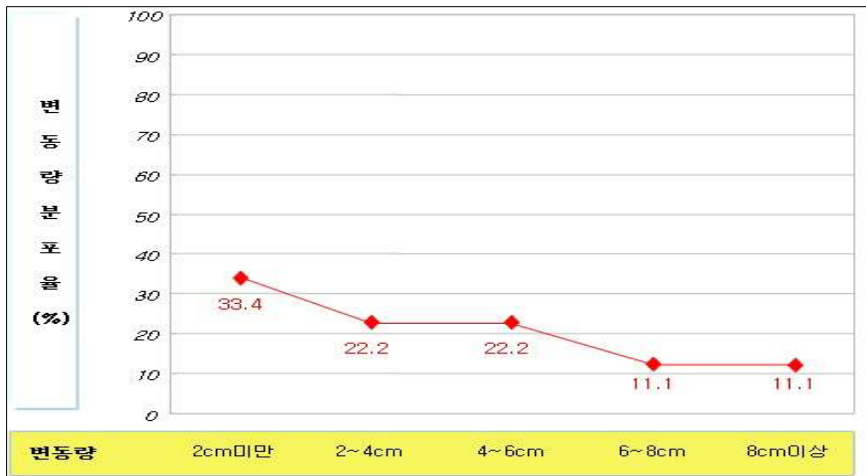
#### 4. 위치결정과 결과값 분석

긴 노선을 따라 건설공사단위 공구로 분할된 지역에서 공구별 각각 측량을 수행할 때 측량의 기준이 되는 기지점의 배치 및 고정과 관측망구성방법 및 측량에서 발생된 오차가 실용적으로 잘 정리되지 못하면 인접공구간에서 동일기준점 성과(X,Y,H)의 괴리와 오차의 불균형조정으로 인한 시공시간 연결성오차와 같은 부실시공요인이 발생하게 된다.

본 연구에서는 철도건설공사시에 위치기준을 제공하는 철도기준점의 좌표결정과 이를 기초하여 이어지는 각 공구간 노반(궤도)중심 및 시설물등의 연결성오차 최소화를 위한 정확도 확보방안도출을 목표로 측량과정에서 위 요인의 발생여부와 처리방안을 분석하였다. 그 결과는 A,B,C 팀이 각각의 공구 구간에서 별도 GPS관측망 측량에 의한 철도기준점의 좌표값과, 이들 3개팀의 GPS관측데이터를 통합한 network에서 산출된 좌표값을 기준값으로 하여 비교할 때 차이가 있는 평면위치(X·Y)를 거리로 환산한 비교값이 A팀 지역에서는 평균 4.8cm, B팀 평균 3.5cm, C팀은 평균 4.2cm의 변동량을 확인하였다. 이는 공구간 별도측량에서 동일한 측량지침적용과 동일한 기지점을 고정하여도 기지점의 배치및 GPS관측에서 발생된 오차분포와 조정에 따라 인접공구간에서는 오차 불균형현상이 불가피하게 발생하게 된다. 또한 전체공구 구간을 단일 network으로 구성·측량할 때도 고정되는 기지점의 개수와 배치를 변경시킴에 따라 산출되는 철도기준점성과의 변동량이 크게는 15cm까지 발생되었다. 이와 함께 설계 당시 측량·결정된 철도기준점 좌표값도 약 10cm이내의 변동량이 있음을 확인하였다.



<그림4-1>A팀공구의 철도기준점 평면위치 변동량



<그림4-2>B팀공구의 철도기준점 평면위치 변동량



<그림 4-3> C팀공구의 철도기준점 평면위치 변동량

<그림4-1>~<그림4-3>은 통합 network에서 산출된 철도기준점들의 좌표값과 각 팀별 공구 구간의 GPS관측데이터에 의한 좌표값을 비교하여 이를 거리로 산출한 변동량분포이다. 그 분포를 보면 같은 기지점과 같은 측량데이터를 통합과 분리의 좌표산출 방식에 따라 전체미지점(철도기준점)의 위치결정에 영향을 미치게 된다. 결과적으로 이러한 변동량의 발생원인은 고시된 국가삼각점이 갖는 오차 분포의 불규칙성과 같은 기지점의 위치신뢰성 부분이 크다고 사료된다.

### 5. 위치결정과정에서 나타난 문제점 분석

3개팀이 측량한 GPS데이터를 합성하여 단일 network로 구성하는 과정에서 측량팀간 인접지역에서 중복관측된 데이터의 교차허용값 초과, 고정기지점의 선정여부에 따른 과대오차발생 등은 GPS관측의 절차, 방법, 사용기지점의 고정좌표 신뢰성 등을 정확하게 이해하고 판단·해결하는 참여기술자의 능력과 역할이 중요하다 할 수 있다. 한편, 동해중부선 12개공구 공사보다 먼저 시작되어 지금은 고정시설물이 시공되는 과정에서 당해 공사공구구간과 연계되는 동해남부선 9공구중점부, 경부고속철도 신경주역사, 포항~삼척 1공구는 동해중부선의 금번 연구에서 측량·결정된 철도기준점과의 좌표연결성비교에서 경부고속철도 신경주역사 등은 10cm이내의 변동량이 발생하여 이로 인한 연결성문제와 시공시 오차와 파정발생과 같은 우려현상을 없애기 위해 부득이 기측량되어 건설공사에서 기준되고 있는 철도기준점(신경주2점, 울포1공구2점, 경부고속철도1점)을 당해 연구과정의 전체 기준점 단일 network에 포함시키고 좌표계산시 주변 삼각점과 함께 기지점으로 고정하여 공구간 인터페이스오차를 최소화 하도록 하였다. 표고(H)는 포항~삼척1공구와의 연결에서 약 10cm이내의 변동량을 확인하여 당해공구로 하여금 조정·조치하도록 하였다.

<표5-1>측량데이터의 점검내용과 조치사항

철도기준점 매설		평면위치(X,Y) : GPS		표고(H) : Leveling	
점검내용	조치사항	점검내용	조치사항	점검내용	조치사항
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 매설지침 위배 (규격, 재료)</li> <li>- 점의조서 작성불량 및 오기 (표준양식, 기록내용)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 재설치</li> <li>- 제작성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기준점 명칭의 일관성 결여                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 공구간 명칭 동일</li> <li>• 기록부, 계산부, 점의조서, 성과표에서 명칭이 서로 다름</li> </ul> </li> <li>- 허용오차 이상의 계산오차</li> <li>- 관측데이터 불량</li> <li>- 좌표변환 (GRS80→Bessel)</li> <li>- 성과품 및 양식표준화 미비</li> <li>- 기준점 설치 불량</li> <li>- 데이터연결성 불량 및 허용오차규정 위배</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전체공구의 기준점 명칭 변경                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• “예” : WS001, PS001</li> <li>• 기록부, 계산부, 점의조서, 성과표에서 명칭 동일하게 수정·보완</li> </ul> </li> <li>- 점검·보완측량, 재계산</li> <li>- 재측량</li> <li>- 망조정에 의한 각기 (GRS80, Bessel)망조정 계산</li> <li>- 지침에서 정한대로 수정 및 보완</li> <li>- 재설치→측량→계산</li> <li>- 재관측</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 전체공구간 직접측량 연결성 미비</li> <li>- 인터페이스 오차발생</li> <li>- 기 시공중인 공구와 연결성 오차</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 보완 및 재측량</li> <li>- 재측량 및 수정·보완</li> <li>- 확인→점검→수정보완(관계자간의 확인·협의)</li> </ul>

측량사 선정단계부터 엄선과 지침준수를 수차 고지하였음에도 불구하고 <표5-1>측량데이터의 점검내용과 조치사항을 보면 각 팀별 참여기술자들의 측량기술논리성과 이해력부족과 같은 기본적인 문제점이 나타나고 있다. 철도기준점설치의 부실, 관측데이터의 구성조건불량, 공구간의 연결성오차, 허용이상의 관측오차는 지침의 기본 준수사항 부실이며, 기준점번호부여시 공구간 동일번호 사용, #1, #2와 같은 디지털형식에 어긋나는 명칭부여로 인접 공구간 순차적으로 부여하는 일관성결여, 서로 다른 양식사용 등은 표준화와 디지털데이터의 필수 요건 부재라 할 수 있다. 이와 같은 내용은 분석·연구·조치 과정이 없었더라면 여과되지 못하고 공사에 그대로 영향을 줄 수 있었던 사항이다. 이와 같은 사항을 철도공단에서 동해중부선 감리단과 시공사 책임자 및 착공측량 책임을 담당하였던 측량책임자가 모인 회의자리에서 측량사 잘못된 부분과 수정된 사항을 발표하였을 때 참여하였던 책임자들은 철도측량의 현주소를 깨닫게 되었고, 착공측량의 중요성과 착공측량시 수행된 측량결과가 그대로 준공시 유지관리 측량으로 연결되어 궤도부설시 오차를 안고 부설되는 오류가 반복될 수 밖에 없음을 깨닫게 되었다. 본 연구를 계기로 기술자의 교육, 감리·감독 업무강화의 필연성을 다시한번 확인할 수 있었다.

## 6. 결론

본 연구는 철도건설을 위한 측량에서 절대성의 기준제공과 설계선형 및 시설물위치등의 위치결정고도화를 확립하기 위한 방안도출을 목표로 그 범위와 결론은 동시에 착공되는 동해중부선 12개공구 구간 전체를 대상으로 건설공사의 위치기준 제공을 위하여 설치된 철도기준점에 대하여 GPS에 의한 평면위치(X·Y)와 정밀수준측량에 의한 표고(H)를 측량·산출한 데이터를 연구자료로 하여 이들을 별도 공구(A,B,C측량팀)간 또는 전체 합성하여 분석·처리한 결과를 토대로 결론을 도출하였다.

1. 철도건설사업을 위한 실시설계시 약 500m 간격으로 설치되는 철도기준점은 공사착공시 시공사별로 정해진 구간(공구) 단위별로 측량을 수행하는 것은 기지점이 갖고 있는 오차와 측량과정에서 발생하는 오차의 불균형 조정으로 인한 공구간 철도기준의 괴리현상 등이 발생하게 된다. 이는 선형 및 시설물의 공구간 인터페이스 불량을 유발하게 됨으로, 이를 최소화하기 위해서는 노선단위별로 전체구간을 단일 network으로 한 철도기준점망구성과 측량 그리고 신뢰성이 확보된 기지점을 고정된 조정·계산에 의해 위치좌표가 결정되어야 한다.
2. 측량의 절차와 방법은 “철도건설측량지침”을 준수하여야 하며 측량성과품작성에서 향후 신속하고 편의성 있는 유지관리와 각종시스템의 기반자료 구축에 대비한 표준화·디지털화가 되어야 한다. 특히, GPS관측기록부 성과표, 수준측량계산부, 점의조서, 정확도 관리표와 같은 측량의 특정장비사용과 무관한 과정에서의 공통된 성과품은 양식, 글씨의 모양과 규격등이 일관성있게 정리되어야 할 것이다.
3. 철도의 설계와 건설공사에서 측량부실은 철도선형과, 소음, 진동, 감속, 유지관리비용증대 등과 같은 철도운행시 문제점을 유발시키게 된다. 철도건설공사에서 설계된 좌표와 시공된 위치가 일치되는 위치정보의 고도화를 구현하기 위하여는 제도적으로 철도건설측량지침의 적용기준의 강화, 지침내용의 이해와 숙지를 위한 체계적인 관련자교육, 엄격한 감리·감독기준확립, 측량부실결과(과정, 인터페이스불량, 과대오차, 기준의적법성위배) 발생시 관련자 벌칙규정강화를 확립하여야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 한국철도시설공단, 2005, 철도건설측량지침
2. 문제우, 권영철, 박병은, 한춘득, 2009, 철도건설공사를 위한 전문시방서 제·개정 및 적용에 관한 연구, 한국철도학회지
3. 한춘득, 2009, GAMIT과 LGO를 사용한 정밀궤도력에 의한 GPS자료처리결과의 비교·분석, 국회도서관, 박사학위논문
4. 국토지리정보원, 2001, “GPS에 의한 기준점측량 작업 규정”, 국토지리정보원 내규 제2001-93호 제2조 제2항
5. 국토지리정보원, 2006, “국가기준점 망조정에 관한 연구”, 국토지리정보원 연구위탁 보고서
6. 국토지리정보원, “GPS기준점서비스”, [http://gps.ngii.go.kr/open\\_content/main\\_page.asp](http://gps.ngii.go.kr/open_content/main_page.asp).
7. 村井後治, 2001, “空間情報工學”, 日本測量協會
8. 西修二郎, 2007, “GPS 測位の理論”, 日本測量協會, 勝媚印刷株式會社.
9. Alfred Leick, 1990, “GPS Satellites Surveying”, John Wiley&Sons,Inc., New York.
10. B. Hofman - Wellenhof, 1992, “Global Positioning System”, Springer - Verlag, Wien, New York.