

측지 VLBI 구축 타당성 조사 및 기본계획수립을 위한 연구 (1)

김두환¹⁾ · T. SASAO¹⁾ · 양인태²⁾ · 이석배³⁾ · 배민수⁴⁾ · 이진우¹⁾
곽영희¹⁾ · 이원국¹⁾ · 이영균⁵⁾ · 이동하⁵⁾

- 1) 아주대학교 대학원 우주측정정보공학과(E-mail : thkim@ajou.ac.kr)
- 2) 강원도대학교 공과대학 토목공학과(E-mail : intae@mail.kangwon.ac.kr)
- 3) 진주산업대학교 공과대학 토목공학과(E-mail : sblee@jinju.ac.kr)
- 4) 하이게인 안테나 주식회사(E-mail : msbae@highgain.co.kr)
- 5) 성균관대학교

Abstract

This research performed "Study for Investigation for propriety of constructing geodetic VLBI and Establishment of the fundamental plan" as a project commissioned by National Geographic Information Institute. In this presentation, I will talk about the research results of propriety investigation for geodetic VLBI and SLR. I would like to present the results of the establishment of the fundamental plan for geodetic VLBI afterwards.

1. 서론

1995년에 우리나라에서는 처음으로 한·일 공동 측지 VLBI 관측을 수행해서 「세계측지계」에 의거한 측지 측지 VLBI 관측점을 결정하였다. 이것은 「한일측지·지도협력회의」에서 합의된 사업의 일환으로 실시됐으며, 이때 정해진 측지 VLBI 관측점을 근거로 「세계측지계」에 의거한 새로운 大韓民國經緯度原點의 좌표치가 결정된 것이다. 그 후 2001년 12월에 「세계측지계」의 도입을 위해 측량법이 개정됐으며, 이 개정 측량법에 의해 우리나라도 지리학적 경위도는 「세계측지계」에 따라 측정하게 되었다. 즉 현행의 「동경좌표계」를 「세계측지좌표계」로 전환하게 되었으며, 이에 따라 「한국측지계 2002 (Korea Geodetic Datum 2002)」의 경위도원점이 결정됐으며, 2007년부터 사용하게 된다.

그런데 「세계측지계」에 의거한 「한국측지계 2002」의 원점을 유지·관리하기 위해서는 측지 VLBI 관측점의 정기적인 monitor가 필수적이다. 여기에는 몇 가지 이유가 있지만, 뭐니 해도 약 10년 전에 결정한 측지 VLBI 관측점 위치의 座標值(매일 변화할 수 있는 성질의 것임)는 당연히 변하고 있기 때문에 우리는 이 변화한 값을 정확히 알아 낼 필요가 있다.

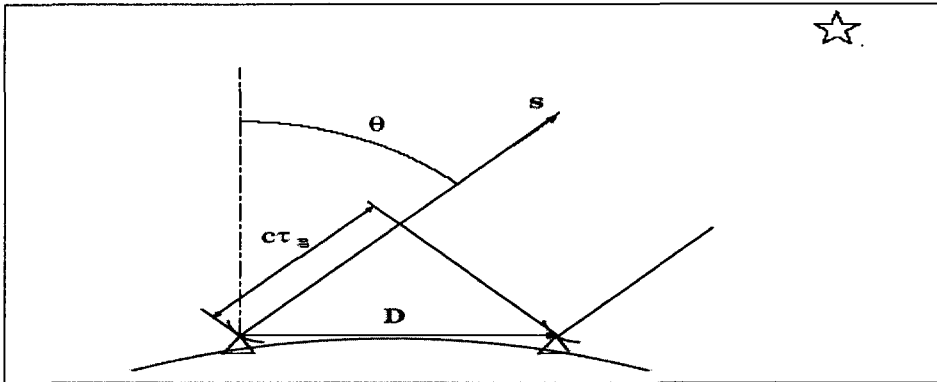
물론 한 번 정해진 국가기준좌표계나 지도를, 어떤 원인에 의해 기준좌표계의 원점이 변했다 해서 그 때마다 바꿀 수는 없는 것이 현실이다. 그러나 그 원점이 얼마나 변동했으며, 또한 그 변한 값으로 인해 사회에 미치는 영향과 파급효과 등에 대해 과학적으로 엄밀히 조사·검토하는 것은 매우 중요한 일이다. 그리고 이것은 측량의 정확성·공정성의 확보가 목적인 측량법에 대한 제도적 이행을 위해서 국가기관이 수행해야 할 고유 업무인 것이다.

이러한 목적으로 우주측지기술인 측지 VLBI, GPS 그리고 SLR 등의 관측이 전 세계적으로 실시되고 있다. 제일 이상적인 방법은 이 3가지 우주측지기술을 함께 사용해서 그 평균치를 원점의 좌표치로 결정하는 일이다. 그러나 세계적으로 이 3가지를 모두 구비한 관측소는 몇 군데 밖에 없는 것이 현실이다. 따라서 그 나라의 측지관측 여건과 사회적 시급성 등을 고려해서 어느 것을 우선적으로 선정하느냐는 오로지 그 나라의 국가정책에 좌우되는 것이 보편적이다.

본 연구에서는 이미 전국적으로 여러 기관에서 다용도로 운영하고 있는 GPS 분야를 제외하고, 측지 VLBI와 SLR의 두 분야 중 어느 것을 우선적으로 택하는 것이 국가적 입장에서 사회적·기술적으로 보다 합당한가에 대한 검토를 위한 타당성 조사를 수행하여 그 결과를 발표하게 되었으며, 기본계획 수립에 관한 연구 (2)에 대해서는 차후에 발표하기로 하였다.

2. 측지 VLBI 부문

2.1 측지 VLBI의 기본이론



<그림 1> 기하학적 지연시간의 개념

수천 km 떨어져 있는 두개의 전파망원경으로 수십억 光年 멀리 있는 電波星의 전파를 동시에 수신해서 digital로 변환된 수신신호를 초고속 통신으로 전송한 후 相關處理하게 된다. 상관처리는 일종의 波形照合하는 고속 digital 처리이며, 동일 波面이 두개의 안테나에 도달한 시간 차를 100 억분의 1초의 高精度로 구하게 된다. 이 시간 차의 주요성분은 電波星의 위치 s와 2 전파망원경을 잇는 기선벡터 D 그리고 광속도 c에 의해서 결정되는 「기하학적 지연시간」 τ_g :

$$\tau_g = D \cdot s/c \quad (1)$$

가 된다. 이 기하학적 지연시간을 구하기 위해, 하루 24시간 동안 수백 개의 電波星 관측을 반복 실시한 후, 세계의 각지에서 수행되는 同種의 관측결과와 합쳐서 측지 VLBI 해석 SW에 의해 지구상의 2 관측지점의 위치를 초정밀도 (수천 km의 거리 (D)를 수 mm 단위로 구할 수 있다.

2.2 측지 VLBI의 역할

Observational Techniques	Reference Frames		Earth Orientation Parameters			Polar Motion accuracy
	ICRF	ITRF	Pol. Mot.	UT1	Prec. & Nut.	
VLBI	○	○	○	○	○	≤ 0.2 mas
GPS	×	○	○	△	×	0.2 mas
SLR	×	○	○	△	×	0.3 ~ 0.4 mas
DORIS	×	○	○	△	×	1 ~ 2 mas

[표 1] 우주측지기술에 있어서의 측지 VLBI의 역할

IERS는 高精度의 우주측지기술인 VLBI, GPS, SLR 그리고 DORIS를 사용해서 국제측지관측을 수행하고 있다. [표 1]에서 알 수 있듯이 VLBI 기술만이 ① 우주론적 遠方에 있는 銀河系外 電波源에 준거하고 있으며, ② 순수 기하학적인 측정원리 (수평거리)를 바탕으로 하고 있으며, ③ 天球기준좌표계 (ICRF)를 구축하고, ④ 지구자세를 나타내는 모든 Parameter (Polar motion, UT1, Precession & Nutation)를 결정하며, ⑤ 최고의 精度를 실현하는 등, 최첨단 기술로서 매우 중요한 역할을 하고 있다.

2.2 측지 VLBI 구축의 필요성

2.2.1 대한민국경위도원점의 초정밀도로 유지·관리

국토지리정보원 구내에 위치한 대한민국경위도원점인 「한국측지계 2002」의 원점은 1995년에 한·일 공동관측으로 결정된 측지 VLBI 관측점이 기준이 되고 있다. 따라서 원점의 관리를 위해서는 측지 VLBI 관측점의 모니터링이 필요한 것이다. 물론 한 번 정해진 국가기준좌표계나 지도를, 어떤 원인에 의해 기준좌표계의 원점이 변했다 해서 그 때마다 바꿀 수는 없는 것이 현실이다. 그러나 그 원점이 얼마나 변동했으며, 또한 그 변한 값으로 인해 국가와 사회에 미치는 영향과 파급효과 등에 대해 과학적으로 엄밀히 조사·검토하는 것은 매우 중요한 일이다. 그리고 이것은 측량의 정확성·공정성의 확보가 목적인 측량법에 대한 제도적 이행을 위해 국가기관이 수행해야 할 고유 업무일 것이다.

우리나라의 신 국가기준좌표계인 「한국측지계 2002」는 개정측량법에 따라 「동경측지계」가 아닌 「세계측지계」에 의거해서 결정됐으며, 이를 근거로 전국에 분포하고 있는 측지기준점 (위성측지기준점, 삼각점)의 성과가 구축되었고 (「한국측지계 2002 성과」), 신 지도가 만들어진다.

따라서 우리도 「세계측지계」가 갖는 의미를 생각해서 국제측지협력사업에 적극적 참여하여, 귀중한 관측자료를 제공해서 IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service : 국제지구회전 및 기준좌표계사업)의 발전에 기여할 뿐만 아니라, 우리나라 스스로도 독자적으로 「한국측지계 2002」의 원점을 초정밀도로 유지·관리하기 위해 측지 VLBI 구축이 필요한 것이다.

2.2.2 超長基線觀測의 정밀성·정확성과 관측기준의 장기적 안정성 확보

신 국가기준좌표계인 「한국측지계 2002」원점의 기준이 되는 측지 VLBI의 관측점을 高精度로 관리하기 위해서는, 1995년 「세계측지계」에 의거해서 측지 VLBI 관측점을 결정할 때 사용한 것과 동일한 시스템으로 관측하고 Collocation (결합)함으로써 시스템에 따르는 오차를 극소화 할 수 있고, 정확한 원점의 위치좌표를 구할 수 있다 (다른 시스템을 사용하면 알 수 없는 또 다른 시스템 오차가 첨가됨).

그리고 측지 VLBI 관측은 수평적 거리측정에 매우 적합한 반면에 (수천 km의 거리를 수 mm 단위로 측정 가능), SLR은 지구중심위치를 결정하는 등 수직측량에 적합한 장점을 가지고 있다. 지금 우리가 국가적으로 시급한 것은 「세계측지계」에 의거한 대한민국경위도원점의 수평적 위치변화 (1995년 후 10년간의 변화량)를 고 정밀도로 검출해서 「한국측지계 2002 성과」에 미치는 영향을 조사연구하고 사후 대책을 검토하는 일이기 때문에 측지 VLBI를 구축할 필요가 있다.

그리고 이러한 경위도원점의 유지·관리에 있어서는 초정밀도의 관측 데이터가 필수적이기 때문에, 매우 안정된 관측기준이 있어야 한다. 측지 VLBI의 경우 관측기준이 수십억 光年 멀리 있는 電波星으로 지구에서 볼 때 거의 절대적인 부동체이기 때문에 매우 안정된 관측기준이 확보되어 있다. 그러나 GPS나 SLR의 경우는 인공위성을 기준으로 하고 있기 때문에 궤도계산 상의 오차 발생 등으로 장기적으로는 안정하다고 볼 수 없다. 또한 GPS나 SLR는 인공위성의 존재 여부와 미국 등의 일방적인 국가 정책에 좌우될 수 있기 때문에 우주측지 측면에서 영구적으로 신뢰할 수 없고 세계정세에 따라 언제 어떤 여건 변화가 발생할지 모를 일이다. 반면에 측지 VLBI는 언제라도 관측할 수 있는 電波星 천체를 기준으로 하고 있기 때문에 세계의 정세변화에 관계없이 자주적으로 대한민국경위도원점을 지속적으로 영구히 유지·관리할 수 있고, IVS 등 국제협력사업에 적극적으로 참여할 수 있는 장점이 있다.

2.2 측지 VLBI 구축의 타당성

2.2.1 위치적·제도적 측면

측량법에 의해서 국토지리정보원 구내에 대한민국경위도원점이 위치하고 있으며, 국토지리정보원의 고유 업무로 이를 정확하게 관리하게 되어 있다. 그리고 경위도원점을 고 정밀도로 관리하기 위해서는 측지 VLBI 관측국에서 원점을 직접 관측 (결합, Collocation)할 수 있어야 하기 때문에 국토지리정보원 구내에 측지 VLBI가 설치되어야 한다.

한편, 측량의 정확성·공정성의 확보가 목적인 개정 측량법(2001년 12월 개정)에 대한 제도적 이행으로 국가기관인 국토지리정보원 구내에 측지 VLBI를 구축해서 IVS 국제측지관측망 또는 국제기준좌표계(ITRF)와 결합돼 있는 일본 국토지리원의 측지 VLBI 관측국과 결합해서 경위도원점 관리 및 IERS(International Earth Rotation and Reference Systems Service : 국제지구회전 및 기준좌표계)의 발전에 기여할 필요가 있다.

2.2.2 성능적·재정적 측면

측지 VLBI의 관측기준인 電波星 천체는 수십억 光年 멀리 떨어져 있기 때문에 미약한 전파를 수신하기 위해 성능이 우수한 측지 전용의 VLBI 수신 시스템이 구축돼야 관측이 가능하다. 그리고 하루 24시간 수백 개의 電波星을 관측해야 하기 때문에 구동력이 우수하고 안테나의 개구효율이 60% 이상이 되어야 국제공동관측에 참여할 수 있는 자격을 갖게 된다. 이러한 시스템을 구축하기 위해서 거액의 정부예산이 필요하고 국제적인 관측 스케줄에 따라 사업이 진행되기 때문에 전 세계적으로 측량관련 국가기관이 측지 VLBI를 구축·운영하고 있는 것이다.

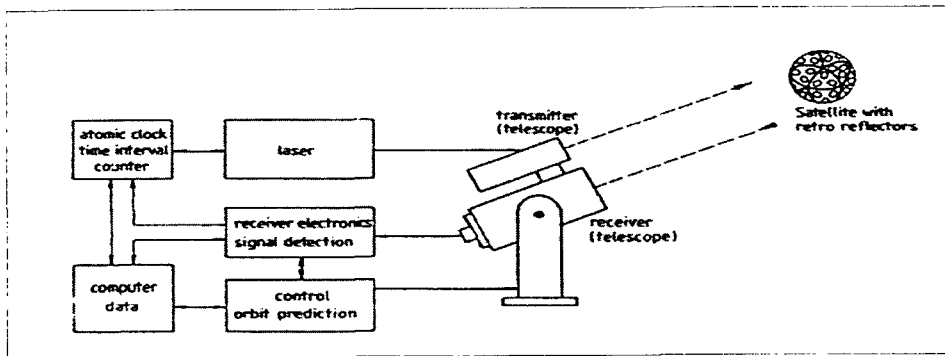
2.2.3 위상제고 및 상징적 측면

우리나라에서 측량법에 따라 측지분야의 유일한 국가대표기관인 국토지리원에 26 m급의 측지 VLBI 관측국을 설치함으로써 IVS 회원국으로서 국제협력사업에 참여할 수 있고, 대한민국경위도원점을 관리하고 세계의 IERS 등의 발전에 기여할 수 있기 때문에 국내외적으로 국가기관인 국토지리정보원 위상을 제고할 수 있게 된다. 그리고 국내 최대의 최첨단 VLBI 시스템을 구비함으로써 21세기 IT시대에 부응한 위치정보를 국민 실생활에 제공하고, 리얼타임 e-VLBI, PC-VLBI 등의 기술을 통해 IT 관련 기술의 발전에 기여함으로써 국토지리정보원의 상징성을 확보할 수 있게 된다.

3. SLR 부문

3.1 SLR의 기본이론

SLR(Satellite Laser Ranging)이란, 지상 관측소와 인공위성 사이에 레이저 파의 소요 시간을 측정하여 두 지점간의 거리를 알아내는 시스템을 말한다.



<그림 2> SLR의 원리

그 원리는 지상 관측소에서 단파장($\lambda=10\sim150\text{ps}$)의 레이저 파를 인공위성을 향해 발사하게 되면 정밀한 시간계측장치(time interval counter)를 작동시키게 되고, 이후 그 레이저 파는 인공위성의 역반사체(retroreflector)에 의해 반사되어 지상의 관측소로 복귀하면서 시간계측장치를 중단시킨다. 이렇게 측정된 소요 시간에 속도를 곱하여 얻은 거리를 이등분하면 지상 관측소와 인공위성 사이의 거리를 알아낼 수 있다. 이를 간단한 식으로 표현하면 식(2)와 같으며, 여기서 d 는 거리, Δt 는 왕복 시간, c 는 빛의 속도이다.

$$d = \frac{\Delta t}{2} c \quad (2)$$

3.2 SLR의 활용분야와 기술현황

레이저 거리측정의 역사는 1965년 LAGEOS 위성과 지상 관측소간에 SLR 신호 수신에 성공하고, 1969년 아폴로 11호의 달착륙이 성공되면서 그 때 설치한 달 역반사체를 이용해 LLR(Lunar Laser Ranging)이 가능해지면서 큰 발전을 이루게 되었다. 그 이후, 광학기술의 발달 및 우주측지기술의 발전에 힘입어 발전에 발전을 거듭하여 m단위에서 cm단위로, 다시 cm에서 mm단위로 싱글샷 거리측정의 정확도를 갖게 되었다. 현재 전세계적으로 약 58개의 SLR 지상관측소가 운영되고 있으며, 이들 관측소는 데이터의 공유 및 처리에 의해 세계측지계인 ITRF의 유지관리에 큰 기여를 하고 있다. 또 2004년에는 미국 NASA, GSFC에 의해 예산을 대폭 절감하면서 전자동화, 무인관측 시스템인 NASA, SLR2000 시스템을 개발하였다. SLR의 활용분야 및 기술현황을 정리하면 다음과 같다.

(1) SLR은 지구회전 및 지심변동량을 관측한다.

SLR은 지구의 회전과 지구의 오리엔테이션 계수를 결정하는데 활용되며 SLR 네트워크상의 다른 관측소의 움직임량과 결합하여 지심의 변동량을 밀리미터(mm) 수준까지 결정한다. 따라서 ITRF의 유지에 큰 기여를 하고 있으므로 KTRF의 유지관리에 적합한 기술이다.

(2) SLR은 지각변동 연구 및 기초물리학의 연구의 데이터를 제공한다.

SLR은 지심기준계 상에서 관측소의 지각변동량을 mm/yr단위로 결정할 수 있으며 지구회전의 장기간의 변화량을 중력모델과 결합함으로써 지구맨틀의 이동량을 모델링할 수 있다. 또 LLR 추적기술을 통해 일반상대성의 등가이론(Equivalence Principle of General Relativity)을 확인할 수 있다. LAGEOS 위성에서의 SLR관측치는 가장 정확한 지심인력상수(GM)를 제공한다.

(3) SLR은 레이저 거리측정으로 표면의 표고를 직접 관측한다.

SLR은 고도측정위성의 높이를 직접 그리고 정확하게 측정하여 제공하며, 장기간에 걸쳐 이루어진 수cm의 해양 지형의 변화로부터 위성고도시스템의 편류량을 계산해 낼 수 있다. 이러한 calibration은 빙하량 추정을 위해 빙하지역 지형도를 제작한다거나, 전지구의 평균 해수면의 변화를 수mm/yr 단위로 측정하기 위해 필수적이다.

(4) SLR은 해수면과 빙하면을 관측하는데 기여한다.

SLR은 두 가지 방법으로 해수면 변화를 감시하는데 기여한다. 첫 번째 방법으로 위성궤도결정을 위한 추적데이터를 제공함으로써 고도측정 위성들의 정확한 궤도 정보를 갖게 된다. 두 번째 방법으로는 검조장 지역에서 일어나는 표고변화를 mm/yr 단위로 감지하여 조석 데이터의 불확실성을 해결하는데 기여한다. 이렇게 전 지구 해수면의 조석 데이터를 적절히 처리하여, 미국과 유럽에서 해수면의 변화만큼 중요시하는 대륙 고도 데이터도 보정할 수 있다. 전 지구 해수면의 변화는 60개의 10일 주기 TOPEX/Poseidon 데이터로부터 보여준다.

(5) SLR은 지구/대기/해양 시스템의 연구에 실제적인 기여를 하였고, 이들 분야에 대한 연구기술력이 증명된 측지 기술(geodetic technique)이다.

(6) SLR은 지구 중력장에서 시간에 따른 변화량을 측정할 수 있고, 절대기준계 내에서 지구의 수직운동을 모니터할 수 있는 능력과 함께 SLR관측 네트워크를 통하여 지구중심의 움직임을 mm단위로 모니터 할 수 있다. 또한 SLR은 지구위성의 중심위치를 결정할 수 있는 가장 정확한 기술이다.

(7) SLR 관측소는 VLBI, GPS, DORIS와 PRARE 시스템을 포함하여 국제적 우주측지 관측망을 형성하는데 중요한 역할을 한다.

(8) SLR은 일반 상대성 이론을 실험할 수 있는 유일한 기술이다.

(9) NASA에서 NASA SLR 2000의 개발을 통해 측정의 전자동화를 이루었고, 표준화와, 독립화, 예산 절감을 통한 저비용 구축, cm단위의 싱글샷 정확도와 mm단위의 거리측정 정확도를 이루었다.

(10) NASA, GSFC의 Space Geodesy Branch에서 우리나라의 SLR 도입에 대하여 적극 협력하기로 하였으며 협력각서도 체결하겠다는 의지를 보여주었다.

3.3 SLR 부문의 결론

우리나라에서 2006년 말까지 사용기로 되어있는 Bessel 타원체 기준의 동경원점계는 사실 우리의 의지와 관계없이, 아무런 검증 없이 조선토지조사사업을 통하여 도입된 측지기준계였다. 이제 우리나라가 세계적인 추세에 발맞추어 GRS80 타원체와 ITRF2000 좌표계를 근간으로 하는 새로운 측지기준계(KTRF)를 채택한 것은 진일보한 결정이라 할 수 있다.

또 국토지리정보원이 이렇게 결정된 측지기준계를 국제사회와의 협력속에서 보다 정밀하게 유지하고자 새로운 측지기술의 도입을 모색하고 있는 것도 크게 발전한 것이라고 사료된다. 따라서 새로운 측지기술을 도입함에 있어서 ① ITRF에의 공헌정도 ② 기술의 활용분야 및 범위 ③ 국제공동관측망의 가입여부(IERS의 멤버 관측소 여부) ④ 국제사회와의 협력 ⑤ 국토지리정보원이 명실상부한 측지기구로서 국제적으로 우리나라의 대표성을 갖는가의 여부 ⑥ 관측소 유지관리 능력 및 기술의 미래지향성 등을 종합 검토하여 신중하게 결정되어야 할 것이다.

4. 결 론

위에서 살펴 본 바와 같이 SLR은 지상과 위성간의 거리 측정, 지구중심의 변동량 모니터, 표면의 표고 측정, 해수면과 빙하면의 관측, 일반 상대성이론의 실험 등 지구물리학 분야에서 매우 탁월한 관측수단을 제공하고 있으며, ITRF의 유지에도 크게 기여하고 있음을 알 수 있다.

그리고 이렇게 SLR은 지구물리학이나 우주과학의 측면에서 중요한 역할을 하고 있기 때문에 정부(과학기술부, 국방부) 차원에서 SLR사업에 관심을 갖고 있으며, 이에 따라 한국천문연구원의 우주과학 그룹에서 SLR사업을 추진하고 있다. 최근에 과학기술부의 특정연구개발과제인 “위성추적 및 우주감시용 시스템 개발”의 일환으로 “SLR 시스템 개발을 위한 기반기술 연구”가 추진하게 된다. 이 사업의 최종 목표에 SLR 시스템 개발을 위한 전략수립과 주요 SLR 서브시스템의 설계가 포함돼 있으며, 이에 따라 정부의 예산으로 한국천문연구원의 고유 사업으로 SLR 사업이 본격적으로 추진된다.

한편 측량법에 따라 국토지리정보원 구내에 위치하고 있는 대한민국경위도원점을 유지·관리하는 것이 고유 업무인 국토지리정보원의 입장에서는 국가적 차원에서 시급히 수행해야할 사업은 「한국측지계 2002」 원점의 변화량을 엄밀히 검출하는 일이다. 그 동안 원점의 위치좌표가 얼마나 변했는지 아직 모르고 있는데 이 원점의 기준이 되는 측지 VLBI 관측점의 측정이 필요한 것이다.

그런데 일각에서는 한국천문연구원이 추진하고 있는 KVN의 VLBI사업과 중복투자라는 의견도 있지만 이것은 천문 VLBI와 측지 VLBI를 잘 이해하지 못하는 학자들의 노파심에서 나왔다고 본다. 한 마디로 두 VLBI는 관측방법과 목적이 판이하게 다르고 측량법의 제도적 이행을 위해 국토지리정보원에서 반드시 측지 VLBI 사업을 고유 업무로 수행하는 것이 마땅하다.

소수의 학자들을 위한 천문연구가 주 목적인 천문 VLBI 사업이 늦어지는 한이 있어도, 국민을 위한 국가기간사업인 측지 VLBI 구축은 시급히 추진할 필요가 있다고 본다. 따라서 우선적으로 측지 VLBI 사업을 추진하되, 장기적으로는 장차 우리나라의 측지과학 및 지구물리학의 발전을 위해, 국토지리정보원의 연구인력 규모와 고유업무의 확대 등 제반 상황을 감안하고, 또한 한국천문연구원에서 추진하는 SLR 사업과 연계하면서 SLR 사업계획을 수립하는 것이 타당하다고 본다.

참고문헌

1. 김두환, 이영진, “측지 VLBI 도입을 위한 연구”, 국토지리정보원, 연구보고서, 2001년 11월
2. 김두환, T. SASAO, “측지 VLBI의 수치해석 SW에 관한 연구”, 한국천문연구원, 연구보고서, 2004년 10월 (in Press)
3. 박필호, 외 GPS 그룹, “SLR 시스템 개발을 위한 기반연구”, 한국천문연구원 응용천문연구부, (과학기술부) 특정연구개발계획서, 2004년 9월