

## 국내 측지 VLBI의 안테나 및 수신기 개념설계에 관한 연구

김두환<sup>1)</sup>, T. SASAO<sup>1)</sup>, 박영희<sup>1)</sup>, 김환승<sup>1)</sup>, 이진우<sup>1)</sup>, 조봉현<sup>1)</sup>, 안기덕<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 아주대학교 대학원 우주측정정보공학과(E-mail : thkim@ajou.ac.kr)

<sup>2)</sup> 국토지리정보원(E-mail : akd8@mocet.go.kr)

### Abstract

A project of constructing the first national geodetic VLBI system is in progress by National Geographic Information Institution. However, since there was no former research or project about geodetic VLBI in Korea, a new R&D is necessary on the fundamental design of the system. In this research, a preliminary study about the necessity of geodetic VLBI in Korea and basic specs for an observation center of geodetic VLBI (for example, antenna, receiver, and recorder, etc.) are presented together with the possibility of producing VLBI antenna in Korea.

## 1. 서론

최근까지 세계 각국의 측지계는 역사적으로 자국만을 대상으로 독립적으로 구축된 것이었다. 그러나 첨단 과학기술의 발달과 우주기술의 실용화로 측지계에 도입된 측지 VLBI (Very Long Baseline Inteferometry) 관측과 SLR (Satellite Laser Ranging), GPS (Global Positioning System) 등 인공위성을 사용한 측량을 통해 지구중심계(地球重心系)가 설정되어, 세계공통으로 사용되는 「세계측지계」가 전 세계적으로 보급되고 있다. 그리고 세계 각국은 이 「세계측지계」를 기본으로 신 국가기준좌표계를 재 구축하고 있는 추세에 있다.

향후, 우주측지기술의 발달로 위치정보기술이 국제사회에 다양한 분야로 보급될 것으로 예상되고 있고, 국제 및 국내의 항공·항해 분야에서도 「세계측지계」의 채용이 권고되고 있기 때문에, 세계적 추세에 따라 우리나라도 「세계측지계」의 도입을 위한 체계적인 사전 준비가 갖추어져 있어야 할 것이다. 「세계측지계」의 도입을 위한 첫 단계는 IVS (국제 VLBI 사업)에 가입하는 일이다. 다음 단계는 실제로 우리나라의 신 국가기준좌표계를 구축하고, 또한 국제공동 측지 VLBI 관측사업에 참여하여, 세계의 측지 VLBI 발전에 기여하기 위해 고성능의 측지전용 VLBI 관측시스템을 구축하는 일이다.

이러한 측지 VLBI 사업은 국내 최초로 이루어지기 때문에, VLBI 기술을 조기에 선진국 수준으로 발전시키기 위해서는, 국가 차원의 효율적이며 체계적인 추진전략이 필요할 것이다. 본 연구에서는 그 첫 단계로 측지 VLBI 관측국(觀測局)의 사양(仕様)에 대한 예비적인 고찰과 안테나 등의 국산화 가능성에 대해 논하고자 한다.

## 2. 우주측지기술로서의 측지 VLBI의 역할

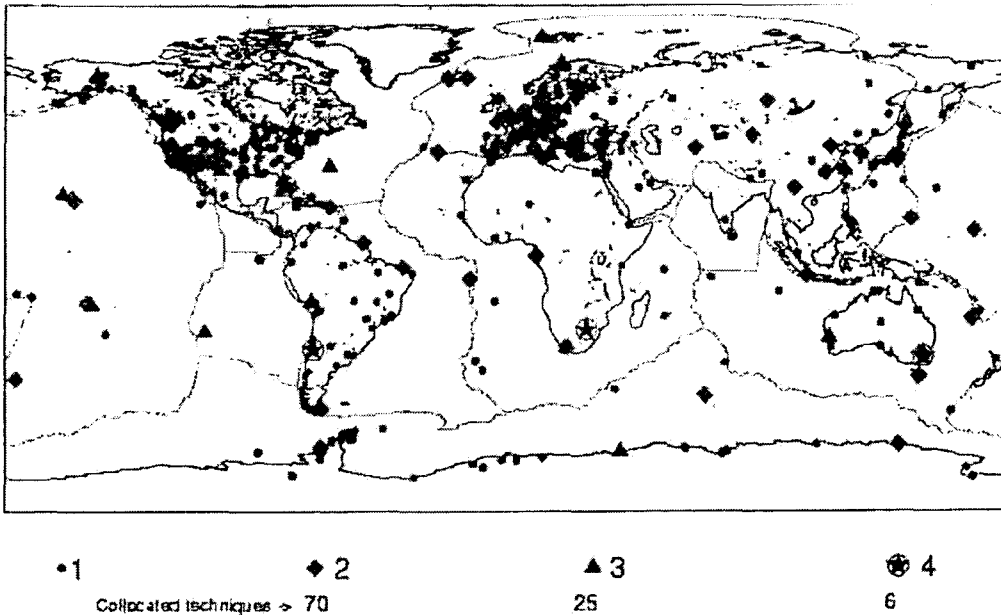
[표 1]에서 보는 바와 같이 IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service)에서 이용되고 있는 3가지 우주측지기술 가운데 VLBI은

[표 1] 우주측지기술에 있어서의 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

- ① 우주론적 원방(遠方)에 있는 은하계의(銀河系外) 전파원(電波源)에 준거하고 있으며,
- ② 순수 기하학적인 측정원리를 바탕으로 하고 있으며,
- ③ 천구(天球) 기준좌표계 (ICRF)를 구축하고,
- ④ 지구자세를 나타내는 모든 Parameter (Polar motion, UT1, Precession & Nutation)를 決定하며,
- ⑤ 최고의 정도(精度)를 실현 하는 등의 최첨단 기술로서 매우 중요한 역할을 하고 있다.

<그림 1>은 IERS의 ITRS 센터가 작성한 현재의 세계측지계 (International Terrestrial Reference Frame 2000 : ITRF 2000)를 구성하는 관측국의 배치를 나타내고 있으며, 이 중 水原은 2가지 관측기술 (VLBI와 GPS)의 collocation 관측국으로 돼 있다. 이것은 동아시아에 있어서의 관측점으로서의 중요성이 인정된 결과이지만, 실제로는 측지 VLBI와 GPS의 collocation 관측은 1995년에 한 번 시행되었을 뿐이다. 그 결과는 [표 2]와 같다.



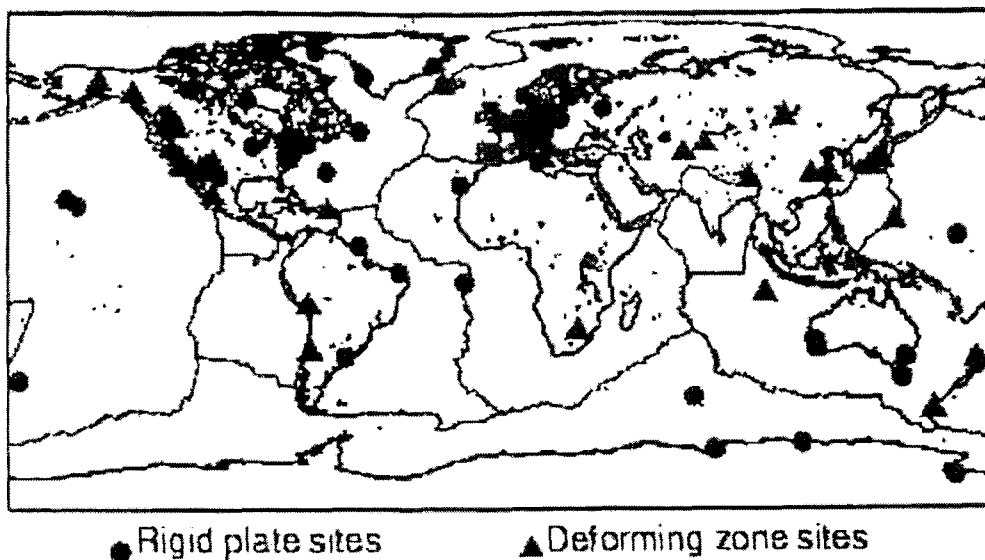
<그림 1> ITRF 2000계(系)를 구성하는 관측국(局)의 분포

[표 2] VLBI 관측에 의한 성과

「ITRF 94 EPOCH : 1995. 827」			
	X(m)	Y(m)	Z(m)
水原 VLBI 金屬標	-3062023.9509	4055453.7964	3841809.9821
大韓民國經緯度原点	-3062002.5526	4055436.7504	3841860.8691
「WGS 84」			
水原 VLBI 金屬標	-3062023.9864	4055452.8072	3841810.0471
大韓民國經緯度原点	-3062002.5881	4055435.7612	3841860.9341

이 위치좌표치는 매일 변화하는 성질의 관측치이므로 정기적인 관측을 통해 정확도를 유지할 필요가 있다. 그리고 관측을 한 지 8년이 경과했으며, 그 동안의 지각변동이라든지 기타 요인에 의한 위치좌표 변동을 검출해서 정확한 대한민국 경위도원점을 보정하기 위해서는 조기에 항시적인 VLBI 관측을 실현해서 국제적인 기대에 호응할 수 있도록 할 필요가 있다고 본다.

<그림 2>는 IERS의 ITRS 센터가 관측회수가 많은 중요한 관측국(局)을, 비교적 안정된 지역에 있다고 생각되는 'Rigid plate sites' 의 局과 국지적 변동의 영향을 받고 있다고 생각되는 'Deformable zone sites' 로 구분해서 나타낸 것이다.



<그림 2> 관측회수가 많은 주요 관측국(局)의 분포

이 중 ITRF 2000 구축 시, 기준좌표계의 원점, 방향 그리고 scale을 결정하는 'datum definition' 에 사용된 것은 'Rigid plate sites' 의 데이터 뿐 이었다. 여기서 주목할 것은 유라시아 대륙의 광대한 부분, 특히 동아시아에 있는 관측국이 전부 'Deformable zone sites' 로 분류되어 'datum definition' 에 사용되지 않았다는 점이다 (Altamimi et al., 2001).

이러한 상황은 ITRF 2000系 그 자체에도 어느 정도의 bias를 가져다 줄 가능성이 있으므로 동아시아 지역에 있어서 지진활동이 적으며, 비교적 안정된 지역으로 생각되고 있는 한반도(韓半島)에 항시적인 측지 VLBI 관측점을 설정하는 것이 중요하다고 본다.

### 3. 측지 VLBI 관측국의 사양에 관한 예비적 고찰

한반도에 있어서의 측지 VLBI 용 안테나에 대한 기본적인 요건은 다음과 같이 생각된다.

- ① IERS의 VLBI 관측센터인 IVS (International VLBI Service)가 조직하고 있는 주 1회 정도의 정기적인 국제측지 VLBI 관측에 참가해서, 국제기준점으로서 양호한 관측결과를 얻을 것
- ② 국내에 있어서의 측지관측에 이용될 수 있는 구경 4m급의 이동형 안테나의 상대국(局이) 꽤야함
- ③ 국내에 건설되는 천문용 VLBI 관측망 KVN (Korean VLBI Network)의 기선교정(基線校正)관측에 협력하여, 세계측지계에 있어서의 KVN 안테나의 위치를 결정하기 위한 기준점이 될 것
- ④ 주변 제국의 측지용, 천문용 VLBI 관측국과 협력관측이 가능할 것
- ⑤ 양호한 관측과 장기에 걸쳐서 안정된 관측을 수행하기 위한 환경조건이 정비돼야 함

이러한 요건들을 충족하기 위해서는 안테나의 감도, 수신주파수대, VLBI 데이터의 集録·記錄시스템, 관측환경 등을 적절하게 선정할 필요가 있다.

#### 3.1 수신주파수대(受信周波數帶)

안테나의 성능은 수신주파수대에 많이 의존하기 때문에 우선 수신주파수대를 선정할 필요가 있다. 현재 국제적인 측지관측은 8 GHz대와 2 GHz대의 동시 수신으로 실시되고 있다. 2 주파수대를 동시에 수신하는 이유는 전리층에 있어서의 전파지연(傳播遲延)을 제거하기 위해서다. 따라서 이 두 가지 주파수대는 필수이지만, 다음과 같은 이유로 더욱 높은 주파수대의 수신능력을 가질 필요가 있다.

그 이유의 첫째는, 휴대전화 등의 전파를 이용한 정보통신수단의 비약적인 보급에 의해서, 2 GHz 등의 저주파수대의 인공전파의 혼신이 매우 심각한 문제가 되고 있기 때문이다. 은하계의 전파원의 전파는 인공전파와 비교하면 매우 약하기 때문에 극히 적은 혼신도 관측에 치명적인 결과를 낳게 된다. 이에 따라 현재 IVS 등에서는 인공전파가 보다 적은 고주파수대로 관측 주파수대를 옮기는 것을 신중하게 검토되고 있으며, 22 GHz, 32 GHz 주파수대가 후보로 올라가 있다. 따라서 국내에서 건설하려는 안테나는 적어도 32 GHz 대까지는 수신가능하도록 하는 것이 필요하다.

두 번째 이유는 KVN을 비롯해서 국내외의 측지용, 천문용의 VLBI 관측局과 협력관측을 수행하기 위해서는 그러한 관측국이 많이 쓰이고 있는 수신주파수대를 공유하는 것이 바람직하기 때문이다. 현재 검토되고 있는 주파수대는 KVN, 일본의 VERA (VLBI Exploration of Radio Astronomy) 등에서 사용되고 있는 22 GHz와 43 GHz대가 있다.

따라서 국내 측지 VLBI 안테나 건설에 있어서 32 GHz대를 수신할 수 있는 것을 필요조건으로 하고, 수신가능한 최고 주파수는 43 GHz대까지로 상정(想定)하고 있다.

#### 3.2 필요 감도(感度)와 안테나의 구경(口徑)

IVS의 측지 VLBI 관측의 대상이 되는 전파원은 ICRF (International Celestial Reference Frame)를 구성하는 퀘사(Quasar) 등의 비교적 강한 은하계의 전파원이지만, 가장 약한 전파원의 flux 밀도로서 0.1 Jy를 가정한다. IVS의 관측에 참가하고 있는 관측국은 대부분이 20 m 이상의 구경을 가지고 있기 때문에 상대국의 구경으로서 20 m를 가정한다.

그리고 개구(開口)능률의 대표적인 값으로 0.5, 비교적 나쁜 조건에서의 시스템 잡음온도로 150 K, 수신대역폭으로 256 MHz, 디지털 처리에 의한 정보의 손실을 나타내는 coherence factor로 0.8 (단, 2 bit 기록을 상정), 2 GHz/8 GHz 대 측지 VLBI 관측에서 통상 채용되고 있는 적분시간으로 200 초를 가정한다. 이러한 조건을 VLBI의 감도 식에 적용해서 계산하면, 검출한계로 돼 있는 7을 넘는 충분한 신호대 잡음비를 얻기 위해서는 이 쪽의 안테나의 구경도 20 m 이상 필요하다는 것이 알게 된다.

한편, 20 m 안테나로 구경 4 m의 이동국(移動局) 안테나와 관측할 경우, 그 외 조건이 같다면, 필요한 신호 대 잡음비를 얻기 위해서는 0.5 Jy 이상의 밝은 전파원을 선택할 필요가 있다. 실제로 1995년의 수원·Kashima 관측 예에서 보듯이, 소형 이동국의 관측에서는 schedule의 최적화 등은 어느 정도 희생하고, 관측대상을 1 Jy 이상의 밝은 전파원으로 한정해서, 적분시간도 400 초로 하는 등 대기의 조건이 허용되는 한 길게 취하는 것이 통례이다. 이렇게 한정할 경우 20 m 안테나는 충분히 소형 이동국의 상대국(相對局)이 될 수 있다.

결과적으로 안테나의 구경은 20 m급이 적당하다고 생각된다. 32 GHz대 등의 비교적 높은 주파수대에서 0.5 이상의 개구능률의 달성여부는 중요한 문제이지만 이에 대해서는 국산 안테나의 가능성에 관해 논하고자 한다.

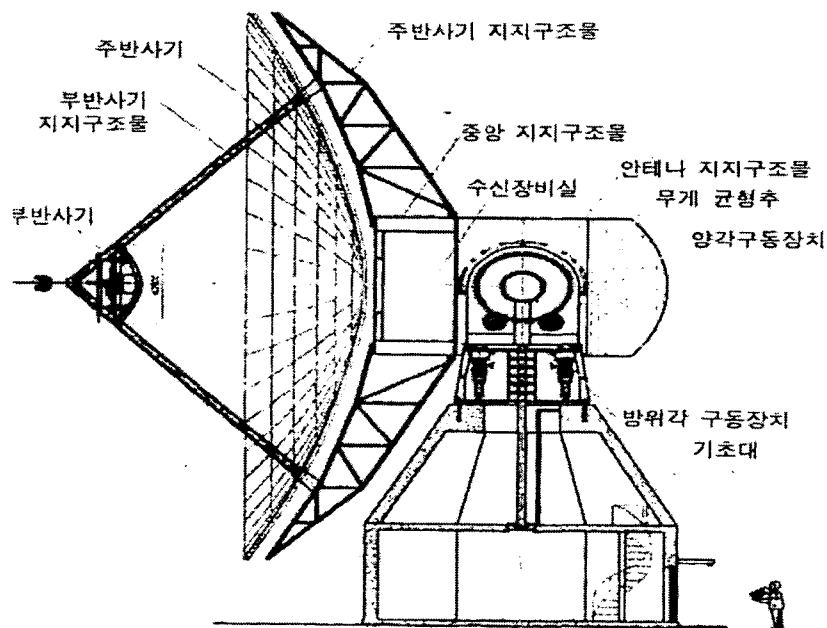
### 3.3 데이터 집록·기록계

현재로는 데이터 집록(集錄)·기록계의 선택에 있어서 어떤 어려움이 있다. 전술한 감도 계산에서 가정한 대역폭 256 MHz, 2 bit 기록의 조건을 충족하는 1 Gbps 이상의 고속기록이 되는 장치는 미국의 Haystack 천문대가 개발한 Mark 1V와 hard disk를 기록매체로 한 Mark V, 일본의 통신종합연구소의 GBR-1000 및 hard disk를 사용한 K-5, VERA가 채용하고 있는 DBR 2000 등 몇 가지가 있으며, 데이터 집록계 및 데이터 format도 각각 달리 돼 있다. KVN에서는 기록장치로 Mark V를 예정하고 있지만 데이터 집록계로는 여러 가지의 대역폭과 channel 편성에 유연하게 대응할 수 있도록 digital filter를 중심으로 하는 시스템의 개발을 검토하고 있다.

이와 같이 공동관측을 예정하고 있는 국내 및 인근 여러 나라의 관측국이 각각 다른 시스템을 채용하고 있는 것이 현황이지만, 우리들은 국제측지 VLBI 관측을 최우선으로 하는 입장에서 Mark V 내지 그와 동등한 기능을 가진 시스템을 선택하고, 다른 시스템과의 호환성에 대해서는 실용화 돼가는 VSI (VLBI Standard Interface)를 통해서 실현하는 것을 생각하고 있다.

## 4. VLBI 안테나 제조의 국산화 가능성

국내의 한 안테나 제조업체에서 C대역 (3.6-6.4 GHz)에서의 위성통신용 지상국 안테나를 제조하고 있다 <그림 3>.



<그림 3> 구경 21 m Parabola 안테나의 구조

이 안테나는 Az-El mount의 구경 21 m의 full motion이 가능하다. 그리고 개구효율(開口效率)에 가장 영향을 미치는 경면정도(鏡面精度)의 사양치는 0.5 mm로 돼 있다. 이것은 C 대(帶)용 안테나로서는 좋은 값이다. 이 경면정도가 개구효율에 미치는 영향은, 8 GHz대에서 0.97, 22 GHz대에서 0.81, 32 GHz대에서 0.64로 계산된다.

경면정도 이외의 개구면조도(開口面照度)분포, 부경(副鏡) 및 부경지주(支柱)에 의한 blocking 등에 의한 개구효율에 미치는 영향은 설계라든지 주파수에 따라 다르겠지만, 보통 0.7 정도 이상 될 수 있기 때문에 전체로서의 개구효율은 8 GHz대에서 0.65, 22 GHz대에서 0.55, 32 GHz대에서 0.45 정도되리라 예상되고 있다. 실제로 C대역에 있어서의 안테나 gain의 사양치는 이 예상치와 整습하는 값이 된다. 경면정도를 동일 제조업체가 10 m급 안테나에서 달성하고 있는 0.37 mm까지 향상시킬 수 있으면 43 GHz대에서도 0.4를 넘는 개구효율을 개대할 수 있다.

정지위성(靜止衛星)용으로 만들어진 안테나이기 때문에 구동속도의 사양치는 0.3도/초의 낮은 속도이지만, 이것은 기본적으로 구동 모터의 power와 servo 제어기구(機構)만의 문제이다. 따라서 이러한 문제들을 개량할 수 있으면 안테나의 기본 구조의 변경 없이도 측지 VLBI 용 안테나에 기대되는 2 도/초 정도까지 향상시키는 것은 충분히 가능하다고 본다.

이러한 상황을 고려해서, 우리들은 20 m급의 측지용 VLBI 안테나 건설의 국산화가 가능할 것으로 보고 있으며, 앞으로 보다 상세한 설계사양의 검토를 계획하고 있다.

## 참고문헌

1. 김두환, “측지 VLBI 도입을 위한 연구”, 국토지리정보원, 연구보고서, 2001년 11월
2. Altamimi, Z, Sillard, P., and Boucher, C., 2002, ITRF2000, “A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications”, Jour. Geophys. Res. (Solid Earth), 107, B10, ETG 2-1--ETG 2-19.