

대덕전파천문대 14m 전파망원경의 특성 (1999)
CHARACTERISTICS OF TRAO 14M RADIO TELESCOPE (1999)

노덕규, 정재훈

한국천문연구원 대덕전파천문대

DUK-GYOO ROH AND JAE HOON JUNG

Taeduk Radio Astronomy Observatory, Korea Astronomy Observatory

Received Nov. 1, 1999; Accepted Nov. 20, 1999

ABSTRACT

The beam size and the antenna efficiency of TRAO 14m radio telescope were measured at 86.2, 98.0 and 115.2 GHz. The beam size was determined by deconvolving the azimuthal scanning data of the Venus. To test the accuracy of our deconvolution method, the beam size at 86.2 GHz was compared with that determined from the mapping data of SiO maser line and we found no difference between them. With above beam sizes, antenna efficiencies were calculated from the continuum measurements of Venus, Jupiter and Moon. The beam efficiencies at these frequencies are appeared to be 0.49, 0.45 and 0.41, respectively. On the other hand, we also suggest that an automatic focus setting can be adopted for TRAO radio telescope based on the gradual change of best focus with elevation.

Keywords : Antenna: beam size - Antenna: efficiency

1. 서론

전파망원경으로 측정된 전력은 보통 등가온도 T_A 로 표현하며, 이는 관측 천체의 밝기분포와 전파망원경의 빔꼴의 콘볼루션이다. 이상적인 안테나로 빔에 비하여 크고 균등한 밝기분포를 갖는 천체를 측정하는 경우에는 이 등가온도가 밝기온도와 같지만, 실제 안테나로 천체를 관측할 경우에는 측정된 등가온도를 적절한 안테나 효율로 보정함으로써 천체의 밝기온도를 추정하게 된다.

지상에 설치된 전파망원경의 경우, 천체의 밝기분포는 지구 대기를 지나면서 흡수되어 감소하고 대기 자체의 복사 방출이 더해져 측정된다. 이러한 대기에 의한 효과는 대기의 복사 온도를 수신기 주변 온도와 같다고 가정함으로써 쉽게 보정될 수 있는데, 대덕전파천문대에서도 이 초과된 눈금조정 방법을 사용하여 대기에 의한 흡수 및 대기 자체의 복사 방출을 보정한 안테나 온도 T_A^* 를 얻고 있다.

전파 관측 자료로부터 천체의 밝기분포로 변환하는 과정에서 가장 문제가 되는 것은 전파망원경의 빔꼴을 정확히 알기 어렵다는 것이다. 현실적인 안테나의 경우 유한한 구경으로 인한 회절 무늬로 나타나는 빔꼴을 갖게 되는데 여기에 부경과 지지대에 의한 가림, 포물면으로부터 벗어난 경면 오차, 준광학계의 오차 등이 종합적으로 작용하여 실제적인 빔꼴을 형성하게 된다. 이 빔꼴의 정확한 모

양을 측정하거나 계산해 내는 것은 거의 불가능하므로, 많은 전력이 집중되어 있는 주빔 및 나머지로 나누어 고려한다. 주빔을 가우시안꼴로 근사하여 사용하고, 여기에서 벗어나는 빔꼴의 나머지 전부를 부빔 또는 에러빔이라고 하며 별도의 보정을 통하여 그 영향을 상쇄시킨다.

그 밖의 문제로는 전파망원경의 경우 천체의 밝기분포에 비해 주빔과 부빔의 분포가 무시하지 못할 정도로 꽤 크다는 점이다. 즉 천체의 크기에 따라 빔과의 콘볼루션되는 효과가 달라지므로, 측정되는 안테나온도는 밝기온도와 선형의 관계를 갖지 못하고 밝기분포에 따라 달라지는 값을 갖는다. 따라서 보통 관측하는 천체의 크기에 따라 적절히 서로 다른 보정을 하게 되는데 그 경계가 모호하다는 것이 곤혹스러운 점이다.

점 전파원의 경우에는 주빔 중심부의 극히 일부분만이 실제 전파를 받아들인데 유효하므로, 주빔의 모양이 펜슬빔에 얼마나 가까운가가 의미 있는 값이다. 즉 특정 방향에서 오는 전파가 얼마나 잘 수신기에 도달하는가를 나타내는 비율로 구경효율(η_A)을 사용하게 된다. 그러나 주빔과 크기가 비슷한 천체의 경우에는 주빔 전체에서 전파를 받아들리게 되므로, 부빔을 포함한 전체빔에 대한 주빔의 비율인 빔효율(η_B)이 더 큰 의미를 갖게 된다. 또, 주빔에 비해 크기가 아주 커서 부빔의 상당한 부분까지도 전파를 받아들리게 되는 경우에는 부빔까지도 천체의 밝기온도

측정에 사용되었으므로 상대적으로 더 큰 값인 전방 넘침 및 산란 효율(η_{fss})을 사용하여야 한다. 보통 천체의 크기를 고려하여 구경효율, 빔효율 또는 전방 넘침 및 산란 효율을 사용하여 천체의 밝기온도를 추정하는데, 구별을 위하여 빔효율을 적용하였을 때에는 T_{MB} , 전방 넘침 및 산란 효율을 적용하였을 때에는 T_R 로 표현하고 있다.

이 논문에서는 대덕전파천문대의 14m 전파망원경의 주빔의 크기와 각종 효율을 결정한다. 또한 관측시 필수적인 최적 초점 맞추기를 위해 고도에 따른 최적 초점위치의 적정값을 제시하고 자동 보정의 가능성을 검토한다.

2. 주빔 크기의 결정

천체의 밝기분포를 알고 있다면, 측정된 안테나 온도의 분포로부터 천체의 밝기분포를 디콘볼루션하여 빔꼴을 추정할 수 있다. 그러나 측정값의 신호 대 잡음 비를 무한히 크게 할 수는 없으므로 빔꼴의 미세한 부분까지 알아내기란 쉽지 않다. 그러나 밀리미터파용 포물면 안테나의 경우 거의 대부분의 전력이 주빔에 집중되어 있으므로 주빔의 모양과 크기를 조사하면 빔꼴의 대부분을 안다고 할 수 있다.

2.1. 점 전파원을 매핑하여 구하기

빔 크기에 비해 아주 작은 크기의 점 전파원을 매핑 관측하면, 측정된 안테나 온도의 분포가 바로 빔꼴이라고 할 수 있다. 만기형 별의 대기에서 발견되는 SiO 메이저 선은 충분히 점 전파원으로서 사용될 수 있으며 더욱이 메이저 선은 열적 선에 비해 상대적으로 밝은 것이 많아 측정에 유리하다.

1999년 10월 20일, 점 전파원인 R Cas의 SiO J=2→1 선을 2회 매핑 관측하여 빔꼴을 측정하였다. 그림 1에 1차 측정의 결과를 예시하였고, 각각 최대 안테나 온도와 적분 안테나 온도에 대하여 2차원 가우시안으로 근사하여 표 1과 같은 반치폭(FWHM)을 얻었다. 표 1을 평균하여 결정한 주빔의 모양은 방위각 방향이 고도 방향에 비해 3.8" 정도 더 큰 63.0" × 59.2"인 타원형으로 나타났으나, 편평도 ($\theta_M(AZ)/\theta_M(EL)$)가 1.064로써 주빔의 일그러진 정도는 비교적 적은 편이다. 이 일그러짐을 무시하고 원형으로 계산하였을 경우에는 평균 62.9"의 반치폭을 갖는다.

표 1.— 점 전파원을 이용하여 결정한 주빔의 크기

	최대 T_A^* 로 구한 $\theta_M(AZ) \times \theta_M(EL)$	적분 T_A^* 로 구한 $\theta_M(AZ) \times \theta_M(EL)$
1차 측정	63.8" × 59.1"	63.4" × 59.3"
2차 측정	62.4" × 59.5"	62.3" × 58.9"

2.2. 방위각 방향으로 스캔하여 구하기

전파망원경의 빔꼴의 크기는 관측하는 주파수에 따라 달라진다. 일반적으로 한 주파수에서 얻어진 빔꼴이 주파수에 반비례한다고 가정하여 사용하기도 하지만, 원하는 관측 주파수의 빔꼴의 크기를 실측하는 것은 중요하다. 점 전파원을 이용한 빔꼴 구하기는 유용한 방법이지만 다양한 주파수의 마땅한 점 전파원이 없으므로, 주로 행성을 관측하여 안테나 온도 분포를 얻고 행성의 밝기분포가 균등한 원반꼴이라고 가정하여 디콘볼루션함으로써 빔꼴을 추정한다.

그러나 이 방법은 행성의 정확한 크기를 이용할 수 있지만 밝기분포를 가정하여야 하므로 가능한 한 주빔의 크기에 비해 작은 크기의 행성을 사용하여야 오차를 줄일 수 있다. 또한 연속파 관측이므로 수신기 출력 전력의 불안정이 직접적으로 추정 빔꼴에 반영되므로 수신기 출력 전력의 안정도를 최우선으로 고려하여야 한다.

표 2에 금성을 방위각 방향으로 스캔하여 얻은 안테나 온도의 분포로부터 추정한 주빔의 크기를 정리하였다. 여기서 $\theta_M(AZ)$ ^②는 측정 결과로부터 바로 디콘볼루션하여 구한 빔 크기이며, $\theta_M(AZ)$ ^①는 측정 결과를 가우시안으로 근사한 다음 그 가우시안을 디콘볼루션하여 구한 빔 크기이다.

86 GHz에서는 동일한 주파수의 점 전파원 매핑 방법에서 결정된 빔 크기에 비하여 ~1" 정도의 차이로 잘 일치하는 빔 크기를 얻었다. 두 차례의 측정이 이루어진 98 GHz의 결과는 서로 2.5"의 차이를 보이고 있어서, 이 방법으로 구한 빔크기는 대체적으로 ~4% 정도의 오차를 가질 수 있다고 추정된다. 특히 115 GHz의 측정시 수신기 출력 전력이 다른 주파수의 측정에 비해 불안정하여 추정된 빔 크기는 상한값으로만 의미가 있다. 따라서 이 방법을 100 GHz 이상의 주파수에 적용하기 위해서는 수신기 출력 전력의 안정도를 현재보다 상당히 높힐 필요성이 있다.

2.3. 평균 빔 크기의 결정

위 두 방법의 측정 결과로부터 대덕전파천문대 14m 전파망원경의 주요 주파수에 대한 평균적인 빔 크기(θ_M)의 값을 결정하였다. 86 GHz 대역에서는 점전파원인 SiO의 측정 결과와 금성의 연속파 측정 결과가 놀랄만한 좋은 일치를 보인다. 이는 우리가 사용한 디콘볼루션 방법으로 빔 크기를 결정하여도 큰 오차가 없음을 의미한다. 신호 대 잡음비가 비교적 좋은 98 GHz 대역에서 측정된 주빔의 크기는 86 GHz 대역의 빔크기와 더불어 이론적인 빔크기의 변화(λ/D)를 잘 반영하고 있다.

한편, 신호 대 잡음비가 좋지 않은 115 GHz 대역에서는 주빔의 크기가 98 GHz 대역과 비슷하게 나타났으며, 이러한 경우 디콘볼루션 방법을 사용할 수 없음을 보여준다. 따라서 우리는 115 GHz 대역에서의 빔크기를 86 GHz와 98

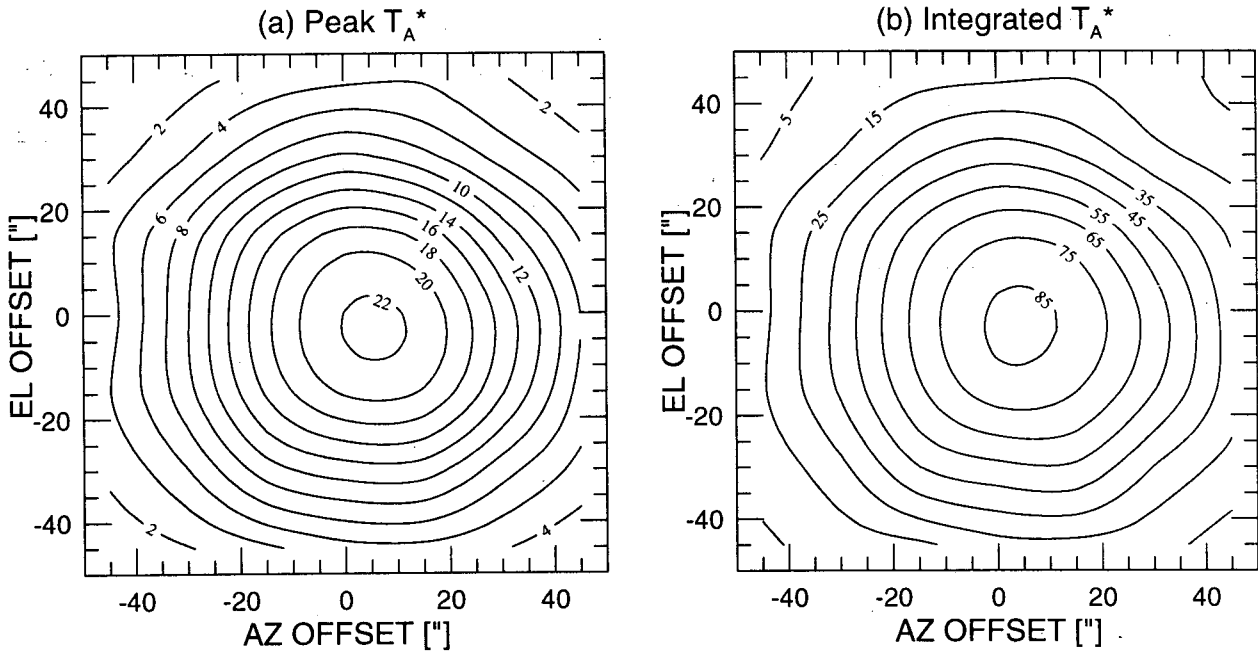


그림 1.— R Cas의 SiO J=2→1 선으로 측정된 대덕전파천문대 14m 전파망원경의 빔꼴. (a) 최대 안테나 온도, T_A^* [K] (b) 적분 안테나 온도, $\int T_A^* dv$ [K km sec⁻¹]

표 2.— 방위각 방향으로 스캔하여 구한 주빔 크기

관측일자	천체	시직경 ["]	주파수 [GHz]	$\theta_M(AZ)^{\text{②}}$ ["]	$\theta_M(AZ)^{\text{①}}$ ["]
1999.	금성	25.0	86.24	64.7	64.1
10.29			98.00	58.1	57.8
			98.00	55.7	55.3
			115.27	<55.7	<55.7

GHz대역에서 결정된 빔크기로부터 외삽하여 결정하였으며, 그 결과는 표 3에 정리하였다. 적어도 100 GHz 이하의 대역에서는 빔크기가 주경면의 회절 패턴과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

표 3.— 대덕전파천문대 14m 전파망원경의 주빔의 크기

주파수 [GHz]	관측에서 구한 θ_M ["]	$\theta_M/(\lambda/D)$
86.24	64±1	1.223
98.00	57±2	1.237
115.27	(49±2)	(1.251)

3. 안테나 효율의 결정

구경 효율은 전체 안테나의 면적 A_p 와 유효 면적 A_e 의 비율로 표현되며, 천체의 밝기 온도 T_B 와 크기 Ω_s 를 안다면

측정된 안테나 온도 T_A^* 로부터 추정할 수 있다.

$$\eta_A \equiv \frac{A_e}{A_p} = \frac{\lambda^2 T_A^*}{A_p T_B \Omega_s} \quad (1)$$

그러나, Ω_s 가 알려져 있고 관측에 적당한 T_B 를 갖는 천체는 잘 없기 때문에, 보통 행성을 관측하여 η_A 를 결정한다. 행성의 시직경은 빔 크기에 비해 무시해도 좋을만큼 아주 작지는 않으므로, Ω_s 는 빔과 일정 밝기의 원반의 콘볼루션으로 계산하게 된다. 다음 식은 주빔 입체각이 Ω_s 이고 반치폭이 θ_M 인 가우시안 빔을 가정하였을 때 ($\Omega_s = 1.133\theta_M^2$), 시직경이 θ_S 인 행성의 유효 입체각 Ω'_s 를 나타낸 것이다.

$$\Omega'_s = \Omega_M \left[1 - \exp \left(- \ln 2 \left(\frac{\theta_S}{\theta_M} \right)^2 \right) \right] \quad (2)$$

빔 효율 η_B 는 전체 빔의 크기에 대한 주빔의 크기로 표현된다. 이 값을 결정하기 위해서는 부빔까지 포함한 전체 빔꼴을 정확히 알아야 되지만 거의 불가능하므로, $T_B \Omega_s =$

$T_A^* \Omega_s$ 인 관계를 이용하면

$$\eta_B \equiv \frac{\Omega_s}{\Omega_A} = \Omega_M \cdot \frac{T_A^*}{T_B \Omega_s} \quad (3)$$

이므로, 행성을 관측하여 주 빔 입체각, 행성의 밝기온도와 유효 입체각, 관측된 안테나 온도로부터 η_B 를 계산한다. 전방 넘침 및 산란 효율 η_{fss} 는 천체쪽 반구의 모든 부빔까지도 고려한 효율로서 정확한 측정은 어렵지만, 달이 주빔에 비해서는 꽤 크다는 사실을 이용하면 어느 정도까지는 부빔의 영향을 보정할 수 있으므로 η_{fss} 의 근사치로서 사용한다.

$$\eta_{moon} = \frac{T_A^*(moon)}{T_B(moon)} \quad (4)$$

달의 밝기온도는 위상 ϕ 에 따라 변화하므로 다음 식을 사용하여 추정된 값을 사용하였다.

$$T_B(moon) \simeq 235 \left[1 + \frac{0.77}{\sqrt{1 + 2\Delta + 2\Delta^2}} \cos(\phi - \arctan \frac{\Delta}{1 + \Delta}) \right] [K] \quad (5)$$

여기서 Δ 는 0.3λ [mm]로 관측 파장에 비례하는 값이다.

1999년 10월 24일 금성, 목성 및 달의 안테나 온도를 주요 세 주파수에서 측정하여 대덕전파천문대 14m 전파망원경의 구경효율, 빔효율, 전방 넘침 및 산란 효율을 결정하였다. 계산에 필요한 수식과 행성의 시직경 및 밝기온도 등은 Schloerb and Snell(1980), 역서(1999), Ulrich(1981) 등을 따랐다. 표 4에 제시한 안테나 온도 T_A^* 는 3회 정도 관측을 반복하여 결정된 값으로 측정 오차는 시스템 온도와 적분 시간에 의존하는 잡음이 아닌 수신기 출력 전력의 불안정에 기인한 것이다. 전형적인 측정 오차를 ± 1.5 K라고 하면, 구경효율 η_A , 빔효율 η_B , 전방 넘침 및 산란 효율 η_{fss} 에 파급되는 오차는 각각 ± 0.025 , ± 0.030 , ± 0.004 이다. 금성의 경우보다 목성의 경우에 구경효율과 빔효율이 다소 작게 나오는 것은, 문헌에서 구한 목성의 밝기온도 T_B 가 실제 보다 높은 값이거나, 목성의 시직경이 빔크기와 비슷할 정도로 크므로 균등한 밝기분포의 가정을 적용하는데 무리가 따를 수 있고, 또한 아마도 측정하는 동안 주빔의 중심부가 목성의 중심부를 정확히 따라가지 못하였을 가능성이 있다. 이러한 가능성을 토대로 판단하면 목성의 측정 결과보다는 금성의 측정 결과가 더 신뢰할 만하다고 보인다.

그러나 그 영향을 정량화하여 고려하기가 어려우므로, 표 4의 금성 및 목성의 결과를 평균하여 대덕전파천문대 14m 전파망원경의 안테나 효율로서 제시하고자 한다. 86 GHz, 98 GHz 및 115 GHz 대역에서 평균 구경효율은 각각 0.37, 0.34, 0.29이고, 평균 빔효율은 각각 0.49, 0.45, 0.41이다. 위에서 언급한 측정오차를 고려할 경우 이 효율

들은 대표값으로 사용하여도 무방하다고 판단된다. 전방 넘침 및 산란 효율은 주파수의 의존성이 없어 보이며 86~115 GHz 대역에서 0.63이다. 86.2 GHz에서의 빔 효율은 최근에 측정된 정재훈 et al. (1997)의 0.44보다는 큰 0.49로 나타났는데 이는 오히려 1991년의 0.50(김봉규, 정재훈 1992)에 가까운 값이다.

4. 최적 초점의 고도에 따른 변화

안테나는 고도에 따라 자중변형을 일으키며, 자중변형은 초점과 광축을 이동시키는 주경 변형과 광축을 이동시키는 부경의 처짐(sagging)으로 대별된다. 현재 대덕전파천문대에서는 부경의 처짐을 소프트웨어로 보정하고 있으며, 주경 변형에 의한 광축의 이동은 포인팅 모델에서 보정하고 있다. 그러나 초점의 변화는 자중변형뿐만 아니라 주변 온도의 변화에도 영향을 받기 때문에 매 관측시 관측자가 최적의 위치를 결정하여야 한다. 이러한 초점 조정은 신호가 센 천체를 이용하는 것이 바람직하나, 연구 대상 천체의 신호가 약하거나 주변에 신호가 큰 천체가 없는 경우에는 매우 곤란하다. 만약 온도와 자중변형이 초점에 미치는 영향을 분리하여 측정할 수 있다면 이러한 불편을 해소할 수 있을 것으로 기대된다. 일반적으로 온도변화에 의한 초점의 변화는 측정하기가 매우 어렵지만 자중변형의 효과는 단순히 고도의 함수이기 때문에 여러 고도에서 최적 초점을 측정한다면 이를 찾아 낼 수 있다. 대덕전파천문대와 같이 환풍 및 가열로서 레이돔 내부를 일정한 온도로 유지시키는 경우에는 바깥 기온의 변화에 비해 내부 온도의 변화는 아주 완만하고 온도차가 크지 않은 까닭에, 최적 초점 위치의 변화는 대부분 자중변형에 의한 것으로 추정되므로 고도와 초점의 함수관계를 얻으면 한번의 초점 맞추기로 일정 시간동안 그냥 쓸 수 있을 것이다.

이러한 가능성을 타진하기 위하여 온도 변화가 거의 없는 새벽 시간대를 골라 여러 고도에서 최적 초점 맞추기를 수행하였다. 관측 대상은 점 전파원인 SiO 메이저 원으로 선정하였으며, 포인팅 오프셋을 결정하고 초점의 위치를 바꾸어 가며 수회 측정하여 최대 안테나 온도를 보이는 최적 초점 위치를 찾아내었다. 그림 2의 (a)에 최적 초점 위치 전후의 세 점에서 측정된 적분 안테나 온도를 표시하고 2차함수로 결정한 최적 초점 맞추기를 나타내었다. 최대 안테나온도에 대한 변화도 적분 안테나온도에 대한 변화와 오차 범위내에서 동일한 결과를 보였다. 최적 초점 위치는 고도가 높을수록 주경면에서 멀어지는 음의 방향으로 이동하며, 고도 $20^\circ \sim 60^\circ$ 의 범위에서 10° 당 0.5 mm 정도의 변위가 나타났다.

안테나의 지향 오차가 측정되는 안테나 온도에 주는 영향은 자명하지만, 최적 초점 위치로부터의 오차도 안테나 온도에 직접적인 영향을 준다. 초점 맞추기의 효과가 가장 잘 드러나는 점 전파원의 경우, 그림 2의 (a)에서 알 수 있듯이 최적 초점 위치에서 ± 1 mm 벗어났을 때, 측정되는

표 4.— 행성 및 달로 결정한 각종 효율

관측일	천체명	시직경 ["]	고도 [°]	주파수 [GHz]	T _B [K]	T _A [*] [K]	η _A	η _B	η _{moon}
1999. 10.24	금성	26.3	55	115.2	334	26.0±2.0	0.31	0.43	-
			53	98.0	356	23.0±1.5	0.35	0.46	-
			50	86.2	373	21.0±1.5	0.38	0.51	-
	목성	49.6	56	115.2	178	34.0±2.5	0.26	0.38	-
			60	98.0	179	32.4±1.5	0.33	0.43	-
			63	86.2	178	28.7±1.5	0.36	0.47	-
	달	1968.9	54	115.2	320	200.8±1.0	-	-	0.63
			57	98.0	312	200.1±1.0	-	-	0.64
			59	86.2	305	190.0±1.0	-	-	0.62

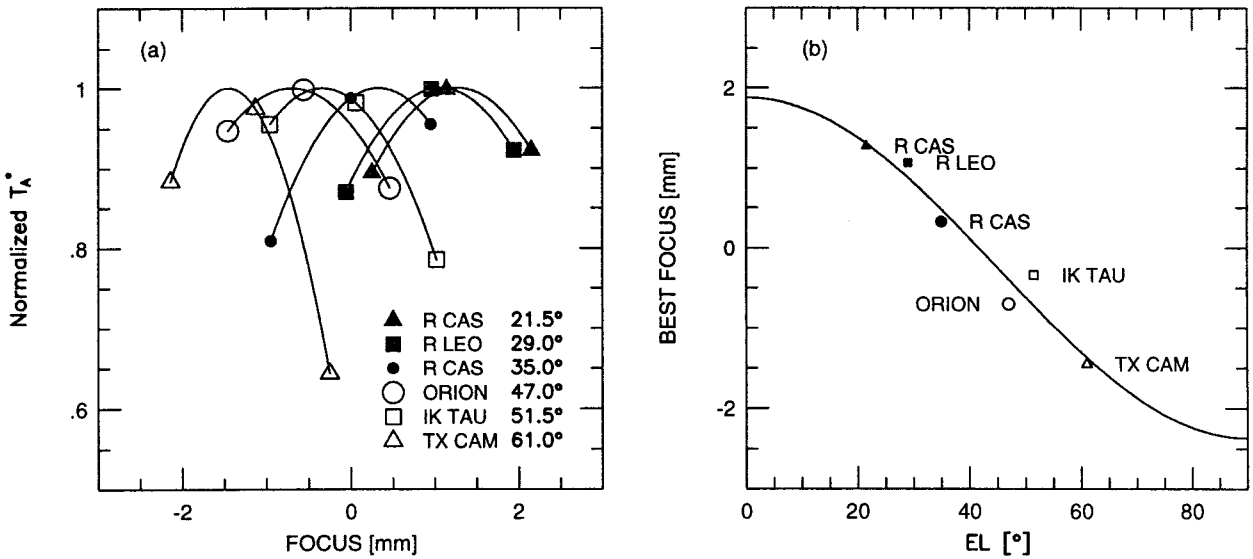


그림 2.— 최적 초점 위치의 고도에 대한 변화. (a) 최적 초점 위치 전후에서 측정된 적분 안테나 온도의 변화, 세로 축은 초점 위치에서의 값으로 규격화하였다. 천체명 옆에 기록된 값은 측정시의 고도이다. (b) 최적 초점 위치의 자동 설정을 위한 모델링

안테나 온도는 약 10%정도 감소한다. 이것은 관측시 고도 변화 20°마다 적어도 한번씩은 최적 초점 맞추기를 수행하여야 10%의 정확도로 안테나 온도를 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

대덕전파천문대 14m 전파망원경의 최적 초점 위치는 높은 고도에서는 -2 mm 근처로 이동하며 낮은 고도에서는 +2 mm 근처로 이동하는 것이 경험적으로 알려져 있으며, 자중변형에 의한 변화인 점을 고려하면 고도 90° 및 0°에서 어떤 한계에 접근하는 함수꼴로 나타날 것으로 예상된다. 그림 2의 (b)는 측정된 최적 초점 위치의 고도에 따른 변화를 나타낸 것으로, 고도에 따라 체계적인 변화를 보이고 있다. 자중변형과 온도의 영향은 분리되어 있다고 가정하고, 이러한 최적 초점의 변화를 잘 반영할 수 있는 간단한

모델로서

$$BF(EL, T_{AMB}) = A \cos^2(EL) + f(T_{AMB}) \quad (6)$$

와 같은 함수를 상징하여 고도에 따른 최적 초점 위치의 변화를 검토하였다. 식 (6)의 모델로 근사하여 결정된 상수 A 및 잔량 f(T_{AMB})는 각각 4.25 ± 0.51, -2.37 ± 0.31 이다. 이 측정에서는 자료의 수가 한정되어 있고 한편으로 높은 고도의 측정치가 없어서 아쉽지만, 전반적으로 식 (6)을 이용하여 자중변형에 기인한 최적 초점 위치의 변화를 잘 추정할 수 있음을 알 수 있다.

따라서, 주변온도의 변화가 없을 때를 골라 이러한 측정을 수행하고 상수 A를 정확히 결정한다면, 식 (6)을 이용하여 최적 초점의 자동 보정을 도입할 수 있다. 이 경우 관측 시작전 일회의 최적 초점 맞추기로 f(T_{AMB})를 결정할 수

있고, 레이돔 내부의 온도가 크게 변화하지 않는 일정 시간 동안은 천체의 고도가 변하더라도 최적 초점을 유지할 수 있을 것이다. 이러한 자동 보정이 도입되면, 연구 대상 천체의 신호가 약하거나 주변에 초점 맞추기에 적당한 천체가 없더라도 다른 고도의 천체를 활용할 수 있고, 또한 자주 최적 초점 맞추기를 수행하지 않아도 되므로 관측시 대단히 편리해 질 것이다.

5. 요약

대덕전파천문대 14m 전파망원경의 주빔의 크기를 점 전파원인 SiO 메이저원 및 금성을 관측하여 결정하였다. 점 전파원 매핑으로 측정하였을 때 주빔의 모양은 방위각 방향으로 일그러진 $63.0'' \times 59.2''$ 의 타원형으로 나타났으며 편평도는 1.064로써 비교적 적은 편이었다. 86.2, 98.0, 115.2 GHz 대역에서 평균적인 주빔의 반치폭(FWHM) θ_M 은 각각 $64 \pm 1''$, $57 \pm 2''$, $49 \pm 2''$ 이며, 적어도 100 GHz 이하의 대역에서는 빔크기가 주경면의 회절 패턴과 잘 일치하고 있었다.

금성, 목성 및 달의 측정을 통해 대덕전파천문대 14m 전파망원경의 안테나 효율을 다음과 같이 결정하였다. 86 GHz, 98 GHz, 및 115 GHz 대역에서의 구경효율 η_A 는 각각 0.37, 0.34, 0.29이고, 빔효율 η_B 는 각각 0.49, 0.45, 0.41이며, 전방 넘침 및 산란 효율 η_{fss} 는 주파수 의존성이 없이 86~115 GHz 대역에서 0.63이다. 안테나 온도의 측정오차로부터 파급되는 구경효율, 빔효율, 전방 넘침 및 산란 효율의 추정오차는 각각 ± 0.025 , ± 0.030 , ± 0.004 이다.

최적 초점 위치는 안테나의 자중변형 및 주변온도 변화에 영향을 받으므로 매 관측시 측정을 통해 결정하여야 한다. 자중변형 및 온도 변화에 따른 최적 초점 위치의 변화를 분리하는 모델링을 통해 최적 초점 위치의 자동 보정의 가능성이 있음을 밝혔다. 이때 자중변형의 영향은 $\cos^2(EL)$ 의 함수로 적절히 표현된다. 이 자동 보정이 도입되면, 레이돔 내부의 온도가 크게 변화하지 않을 경우 한번의 최적 초점 맞추기로 다른 고도에서도 최적 초점을 유지할 수 있음을 제시하였다.

참고문헌

- 김봉규, 정재훈 1992, PKAS Vol. 7, No. 2, 149-153
 역서 1999, 천문대
 정재훈, 김현구, 김태성, 정현수, 박용선 1997, PKAS Vol. 12, No. 1, 159-165
 Schloerb, F. P. and Snell, R. L. 1980, FCRAO report No. 150
 Ulrich, B. L. 1981, AJ 86, 1619