

대덕전파천문대 13.7 M 전파망원경의 효율*

김 봉 규 · 정 재 훈
한국표준과학연구원 천문대
(1992. 1. 15. 접수)

ABSTRACT

We determined the efficiencies of the aperture, beam and forward spillover and scattering of 13.7 m radio telescope at Daeduk Radio Astronomy Observatory through the observations of the planets and Moon. The main panels adjustments were carried out on September 1991 and the improvements in the efficiencies were checked by comparing the observations made before and after the panel adjustments. The efficiencies were turned out to be 0.35, 0.47 and 0.83 at 115.27 GHz for the aperture, beam and forward scattering and spillover, respectively. These marked nearly a factor of two upgrade of the efficiencies previously measured.

I. 서 론

전파망원경으로 천체에서 방출되는 전파를 측정하여 전파원의 정확한 물리량을 추정하기 위해서는 먼저 지구대기에 의한 전파 손실 및 안테나에 의한 전파 손실 등을 정확히 보정해 주어야 한다. 대기 소광에 대한 보정의 경우 초창기 전파 관측에서는 매우 까다로운 문제였으나 Panzias and Burrus (1973)가 제시한 chopper wheel calibration 방법이 Ulich and Haas (1976)에 의해 이론적으로 체계화되어 여러 천문대에서 이용됨으로써 해결될 수 있었다.

그러나 이 방법은 단지 관측된 안테나 온도를 지구 대기 밖의 이상적 안테나로 관측한 안테나 온도로 보정해 주는데 국한되어 있다.

전파 관측에 있어서 또 다른 까다로운 문제는 전파가 안테나를 거치면서 회절되며, 또한 그 중 일부는 경면의 일그러짐에 의해 난반사 되는데 있다. 전파 관측의 경우 그 대상 천체의 대부분이 점 전파원(point like source)이 아니라 성운이나 은하 등 하늘의 넓은 영역을 차지하는 확장된 천체(extended source)들이다. 따라서 관측시 망원경이 향하는 위치 뿐만 아니라 그 주변에서 방출되는 전파도 회절이나 경면오차에 따른 난반사에 의해 수신기로 입력된다. 이러한 회절이나 난반사 문제는 관측 파장과 망원경의 크기에 따라 달라질 뿐만 아니라 망원경의 경면 오차 등에 의해서도 영향을 받게 된다.

*이 논문은 대덕전파천문대 1991년도 특수사업비에 의해 연구되었음.

따라서 동일한 천체에 대해서 서로 다른 두 망원경으로 관측했을 때 결정되는 안테나 온도는 서로 다르게 나타난다. 그러므로 관측된 안테나 온도는 절대량이 될 수 없다. 실제 천체의 밝기 온도를 결정하기 위해서는 관측된 안테나온도에 대해 지구대기에 의한 소광효과와 주어진 망원경의 특성에 따른 손실을 정확히 보정해 줌으로써 근사될 수 있다.

전파망원경의 특성을 나타내는 것으로서는 구경효율(aperature efficiency), 빔효율(beam efficiency), 전방 산란 및 흘림 효율(forward scattering and spill-over efficiency) 등이 있다. 구경효율은 안테나가 향하는 곳의 천체에서 방출되는 전파가 얼마나 효율적으로 수신기에 입력되는가를 나타내는 것으로 점 전파원을 관측하여 전파의 절대량을 도출하는데 이용된다.

전파망원경의 효율 중 가장 중요한 것은 빔효율이다. 앞서 언급한 것처럼, 전파원의 대부분은 시직경이 전파망원경의 주 빔(main beam) 크기 보다 큰 천체들이다. 이들을 관측하게 되면 망원경이 향하는 대부분의 영역이 이 주 빔 속으로 입력되게 된다. 따라서 시직경이 주 빔의 크기보다 큰 천체들의 경우 관측된 안테나온도에 빔효율을 나누어 줌으로써 밝기온도를 근사하는 방법이 널리 이용되고 있다. 그러나 전파원이 지나치게 주빔의 크기 보다 큰 경우 관측 위치 보다 주빔크기 이상 떨어진 전파원 영역의 성분도 약하지만 주변 빔(side lobe)으로 수신기에 입력되게 되며, 이렇게 될 경우 단순히 관측된 안테나온도에 빔효율로 나눈 값은 실제의 밝기온도 보다 높은 값이 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 도입된 것이 T_R^* 이다 (Kutner and Ulich 1981). 이는 관측된 안테나온도에 전방 산란 및 흘림 효율을 나누어 준 것을 유효 밝기온도로 근사하고자 하는 것이다.

이 논문에서는 대덕전파망원경을 이용하는 관측자들을 위해 행성 및 달을 관측한 결과로부터 상기의 각종효율들을 결정하고 그 결과를 논하고자 한다.

II. 전파망원경의 효율 결정

안테나의 구경효율 η_A 는

$$\eta_A = \frac{A_o}{A_p} \quad (1)$$

로 정의된다. 여기서 A_o 는 주경의 유효 면적이고, A_p 는 주경의 실제 면적이다. 그리고 밝기온도와 시직경을 아는 행성을 관측했을 때, 구경효율과 관측된 안테나온도 T_A^* 사이에는

$$\eta_A = \frac{\lambda^2 \cdot T_A^*}{A_p \cdot T_B \cdot \Omega_s'} \quad (2)$$

와 같이 근사할 수 있다 (Schloeb and Snell 1980). 여기서 λ 는 관측 파장을, T_B 는 행성의 밝기온도를, Ω_s' 는 행성의 유효입체각으로

$$\Omega_S' = \Omega_M [1 - \exp(-\ln 2 \cdot (D/\theta_M)^2)] \quad (3)$$

이다. 여기서 D 는 행성의 시직경이며, Ω_M 은 주빔 입체각으로 주빔을 가우시안으로 가정할 경우 주빔의 반폭(HPBW) θ_M 과는

$$\Omega_M = 1.133 \theta_M^2 \quad (4)$$

의 관계를 갖는다. 따라서 관측으로부터 얻은 행성의 안테나온도를 equation (2)~(4)에 대입하면 안테나의 구경효율은 구해질 수 있다.

빔효율은 관측된 안테나온도 T_A^* 와

$$\eta_B = \frac{T_A^* \Omega_M}{T_B \Omega_S'} \quad (5)$$

의 관계가 있다 (Schloeb and Snell 1980).

전방 빔 산란 및 흘림 효율은 주빔 뿐만 아니라 주변 빔의 효과도 고려하고자 제안된 것이다. 그러나 이 경우 망원경이 향하는 방향으로부터 어느 정도 떨어진 각거리 까지를 효율 결정에 포함시키느냐 하는 것이 문제이며, 그 것을 어떻게 결정할 수 있느냐 하는 것도 문제이다. Snell and Schloerb (1984)는 달의 시직경까지를 이 효율 결정에 포함하자고 제안하였으며, 대부분의 천문대에서는 이를 채택하고 있다. 이는 실제 달을 이용하지 않고 다른 방법으로는 이 효율을 결정하기가 거의 불가능하기 때문이지, 달 자체의 시직경이 이 효율을 결정하는데 진정한 의미가 있는지는 아직도 문제가 많이 남아있다.

달을 관측하여 결정되는 전방 산란 및 흘림효율 $\eta_{f.m.}$ 는

$$\eta_{f.m.} = \frac{T_A^*}{T_B(\text{Moon})} \quad (6)$$

와 같다.

III. 관측 및 결과

대덕전파천문대에서는 구경 13.7 m 전파망원경 주경면의 판넬들에 대한 조정을 1991년 9월에 수행하였다. 판넬 조정의 주 목적은 판넬들의 위치를 정확히 조정하여 전체적으로 보다 이상적인 포물면에 가깝도록 함으로써 안테나의 각종 효율을 증대시키고자 하는데 있었다.

따라서 판넬 조정 결과를 정확히 파악하기 위해 관측을 판넬 조정 전인 1991년 4월과 판넬 조정 후인 1991년 10월 등 두 차례에 걸쳐 수행하였다.

관측 대상 천체로는 금성, 목성 및 달을 이용하였으며, 관측 주파수는 84.24, 97.98, 109.8, 115.27 GHz 등으로, 현재 대덕전파천문대에서 이용하고 있는 100 GHz 수신기의 수신 전 영역

에 해당된다.

행성의 주파수에 따른 밝기온도는 Ulich (1981)와 Ulich et al. (1980)의 자료를 이용하여 근사하였으며, 행성의 시직경은 역서 (1991)의 자료를 이용하였다.

관측으로부터 결정된 안테나의 주파수에 따른 각종 효율들은 Table 1과 같다. Table 1에서는 결정된 효율을 이용하여 얻어진 경면오차도 포함시켰다.

Table 1. 경면 조정 전 과 조정 후 간의 주파수에 따른 각종 효율 및 경면오차 비교

경면 조정 전					경면 조정 후			
주파수 (GHz)	경면오차 (μm)	η_A (%)	η_B (%)	η_{loss} (%)	경면오차 (μm)	η_A (%)	η_B (%)	η_{loss} (%)
86.24	233	32	47	74	201	38	50	-
97.98	233	27	36	-	194	36	48	-
109.80	223	25	33	-	182	35	47	-
115.27	233	19	27	-	174	35	47	83

IV. 논 의

Table 1에서 알 수 있는 것처럼 판넬 조정을 통하여 안테나의 경면 오차가 줄어들었으며, 115 GHz에서는 구경효율 및 빔효율이 2배 정도 증가하였음을 알 수 있다. 이는 실제 관측 시간을 1/4로 줄일 수 있는 효과를 갖게하는 것이다. 또한 경면오차의 경우 실제 주경면 만의 오차는 150 μm 정도로 우리가 이용하고 있는 theodolite 방법의 한계치까지 조정된 것이다.

한편 이 논문에서 제시한 주파수에 따른 경면 오차는, 안테나의 광축이나 부경의 위치 등 주변 장치들이 정확히 조정되어 있다는 가정 하에 결정된 값이다. 따라서 각 주파수에 따른 주변 장치의 조정이 정확하지 않았을 경우에는 천체의 관측으로부터 유추한 경면오차가 실제치 보다 높게 나타날 수 있다. 또한 경면 오차는 기계적인 오차이므로 주파수와 무관하게 거의 일정한 값을 갖어야 한다. 그러나 Table 1에서 알 수 있는 것처럼, 경면 조정 후의 판넬오차는 주파수에 따라 서로 다른 값을 갖는다.

이러한 현상은 우리 천문대에서 뿐만 아니라 FCRAO(Five College Radio Astronomy Observatory)의 14m 전파망원경에서도 발견된 적이 있었으며 (Giles 1990), 그 원인은 광축의 미세한 어긋남에 의한 것으로 결론 지어졌었다. 이를 바탕으로 우리는 수신기나 부경의 위치를 변화시키며 표준 전파원의 관측을 수행해 보았으나 효율들의 변화가 거의 없음을 알게 되었다. 따라서 현재로서는 우리 망원경 경면 오차의 주파수 특성 원인은 정확히 밝혀지지 않았으며, 앞으로 이 문제를 해결하기 위하여 망원경의 각 부위별 특성이 관측에 미치는 영향을 세밀히 검토할 예정이다.

이 논문을 세밀히 검토하고 문제점을 지적해 주신 김광태 교수님께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 역서 1991 (천문우주과학연구소: 남산당), pp.78-81
- Giles 1990, private memorandum: Recently thoughts on the "missing RMS" problem and recent measurements of the telescope efficiency at > 200 GHz
- Kutner, M. L., and Ulich, B. L. 1981, Ap. J., **250**, 341
- Panzias, A. A., and Burrus, C. A. 1973, Ann. Rev. Astr. Ap., **11**, 51
- Schloerb, F. P, and Snell, R. L. 1980, FCRAO report #150-Calibration of FCRAO Antenna: Evaluation of chopper Wheel Calibration Method and the Performance of the Telescope
- Snell, R. L., and Schloerb, F. P. 1984, FCRAO report #220-Calibration of Data at FCRAO
- Ulich, B. L. 1981, A. J., **86**, 1619
- Ulich, B. L., and Haas, R. W. 1976, Ap. J. Suppl., **30**, 247
- Ulich, B. L., Davis, J. H., Rhodes, P. J., and Hollis, J. M. 1980, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-28, 367