

03 전파망원경

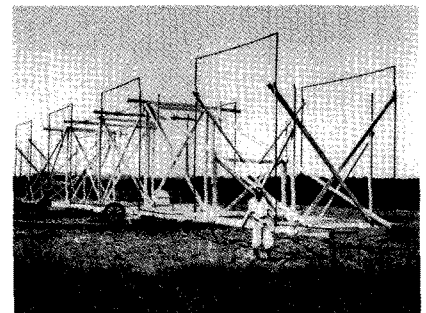
달 뒷면에 '꿈의 전파 망원경' 설치할까?

Arecibo 전파 망원경



새로운 발견은 종종 우연의 신세를 진다. 1931년 벨 연구소의 잔스키가 다이폴 안테나로 우주를 떠돌아다니는 전파를 처음으로 잡아낸 것도 그 경우이다. 그 당시 미국-유럽 사이에 무선통신을 하다보면 원인을 알 수 없는 잡음이 끼어들곤 했는데, 그는 이 잡음의 정체를 밝히기 위해 안테나를 하늘로 향했던 것이다. 그가 우주 전파를 발견하는데 사용했던 안테나는 알루미늄 파이프 몇 개를 늘어놓은, 얼마 전까지 쓰이던 실외 TV 안테나보다도 간단해 보이지만 전파로 우주를 보는 시대를 열었다. 그는 아깝게도 45세에 요절했으나 그의 이름 잔스키는 전파나 적외선 영역에서 천체의 밝기를 측정하는 단위로 사용되고 있다.

잔스키의 다이폴 안테나는 수년 후에 접시형 안테나에게 자리를 물려준다. 1937년 레버는 그의 뒷마당에 직경 9.5m의 접시형 전파 안테나를 만들어서 체계적으로 하늘의 전파 지도를 만들기 시작했다. 그는 전파가 가장 강한 곳이 궁수자리 방향에 있는 우리 은하의 중심이라는 잔스키의 발견을 확인했다. 이 안테나는 위아래로만 움직일 수 있어서 천체가 정남을 지날 때에만 관측했다. 안테나의 반사면은 단면이 포물면이고, 주 초점에 전파를 전기 신호로 바꾸어 세기를 검출하는 전파 수신기가 있다. 이 두 사람의 관측은 모두 200MHz 대역 이하의 주파수에서 이루어진 것으로 자기장에 의해 가속된 전자가 내는 싱크로트론복사가 주성분인 것으로 나중에 밝혀졌다.



잔스키와 그가 우주전파를 발견하는데 사용했던 안테나
(Credit : NRAO/AUI)

전파망원경, 안테나와 전파수신기로 구성

위에서 본 것처럼 낮은 주파수에서는 다이폴이나 야기형 안테나가 쓰이나 지향성이 좋지 않다. 종종 안테나가 지향하지 않는 엉뚱한 방향에서 전파가 들어오기도 한다. 접시형의 포물면 안테나는 상

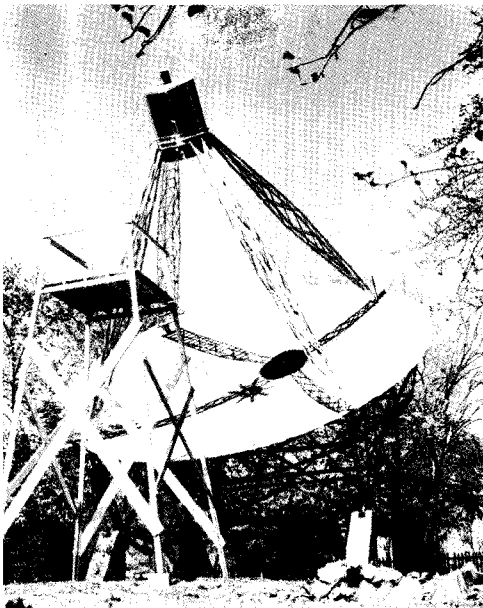
대적으로 지향성이 좋아 더 효율적이지만 낮은 주파수에서는 덩치가 커지기 때문에 높은 주파수에서 더 많이 활용된다. 과학자들은 하늘의 어디에서 전파가 오는지를 알아야 하기 때문에 지향성이 좋은 안테나를 선호한다. 지향성이 좋을수록 천체의 영상을 선명하게 얻을 수 있다. 회절 이론에 의하면 지향성은 접시가 클수록 좋아진다. 더욱이 우주에서 오는 전파는 매우 미약하므로 접시가 크면 전파를 많이 모을 수 있다.

접시 안테나의 반사면은 주파수가 낮으면 금속 그물도 사용할 수 있지만 주파수가 높아지면 전파가 그물망을 통과하게 되므로 알루미늄이나 철 재질의 금속판을 사용한다. 지향성과 전파를 모으는 능력을 좋게 하기 위해 접시 안테나를 크게 만들다 보면 주초점이 너무 멀어 만들기 힘들어지므로 중간에 부정을 달아 전파를 주경 뒤로 뽑아 전파 수신기로 신호를 검출한다. 결과적으로 주파수가 높아지고 지향성이 좋도록 크게 만들면 광학망원경과 거의 같은 구조가 된다. 이것이 안테나와 전파 수신기를 합쳐 '전파망원경'이라고 부르는 이유이다.

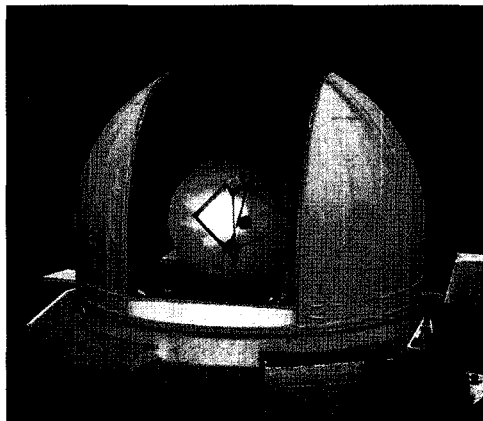


글 **박용선** 서울대학교 물리천문학부 교수
yspark@astro.snu.ac.kr

글쓴이는 서울대학교 천문학과에서 박사학위를 받았으며, 한국천문연구원 책임연구원을 지냈다.



레버가 만든 접시형 전파망원경 (Credit : NRAO/AUI)



미 국립천문대의 11m 전파망원경

주경의 단면은 포물면이고 부경의 단면은 대개는 쌍곡면이고 드물게 타원면을 사용하는데, 광학에서는 이 형태를 각각 카세그레인 형, 그레고리안 형 망원경으로 부른다. 현대의 전파 망원경도 대부분 이런 구조를 가지고 있다. 광학 망원경은 코마 수차를 제거한 '리치 크레티앙' 형이 보편적이지만 전파 망원경은 최근까지 대개는 전파를 받아들이는 피드를 축상에 단 하나를 놓았으므로 비축으로 들어오는 전파에 대한 수차는 고려할 필요가 없었던 것이다. 주경의 초점비(f/D ratio)도 광학망원경에 비해 매우 작은데 이는 기계적 안정을 위해서 어쩔 수 없는 선택이지만, 역시 비축은 고려하지 않았기 때문에 문제가 되지 않는다. 그러나 최근 들어서는 천체의 영상을 빨리 만들기 위해 광학망원경처럼 초면에 피드를 2차원으로 배열하는 시스템이 속속 채택되고 있어 향후 안테나의 설계 경향도 바뀔 것으로 예상된다.

전파망원경을 구성하는 다른 요소는 전파 수신기이다. 수신기는 전파를 전류흐름으로 바꾸고 대개는 높은 주파수의 신호를 낮은 주파수의 신호로 바꾸어 그 이후의 신호 처리를 쉽게 할 수 있도록 해준다. 수신기 뒷단에서 천체의 밝기를 구하거나 스펙트럼을 만들어 낸다. 전파망원경의 감도는 전적으로 이 수신기가 결정한다. 핸드폰이나 TV 또는 라디오도 동작원리가 전파 수신기와 비슷하다. 우리도 일상생활에서 전파 수신기 두세 개씩 애용하는 셈이다.

서로 다른 전파 망원경의 매력

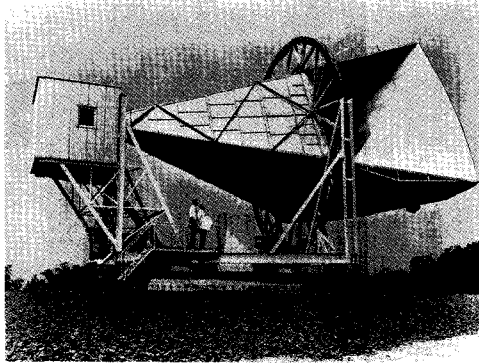
과학적으로 중요한 기여를 한 전통적인 카세그레인 망원경 중의 하나로 미 국립천문대의 11m 전파 망원경을 들 수 있다(후

에 12m로 직경 늘림). 1963년부터 전파 영역에서 암모니아(NH_3), 물(H_2O), 포름알데히드(H_2CO)가 방출 스펙트럼으로 발견되기 시작하면서 우주에 분자들이 풍부하게 존재한다는 사실이 밝혀진다. 이러한 분자들이 내는 스펙트럼의 파장이 밀리미터 대역에 몰려 있으므로 미 국립천문대에서 밀리미터 전파수신용 망원경을 1968년 건설하게 된 것이다. 이 망원경으로 우주에서 일산화탄소분자(CO)가 내는 스펙트럼을 1970년 최초로 관측했다. 차가운 성간 구름의 주성분은 분자수소인데 이들은 전파 영역에서 스펙트럼을 내지 않아

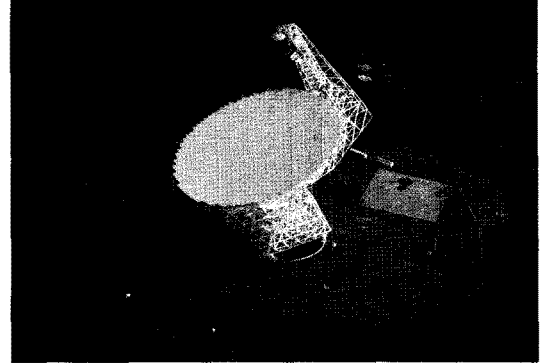
과학자들은 그 대신 그 다음으로 풍부한 일산화탄소를 사용해서 차가운 성간 구름을 연구한다. 별이 태어나는 모태가 바로 이 성간 구름이다. 이 이후로 소위 밀리미터 전파천문학이 융성하게 되었는데 성간에 존재하는 다양한 형태의 분자들을 찾아 이들의 함량을 조사하고 별이 만들어지는 과정을 이해하는데 결정적인 기여를 했다.

움직일 수는 없지만 세계에서 가장 큰 망원경은 아레시보망원경으로 직경이 300m에 이른다. 영화 '콘택트'의 주요 배경이기도 하다. 주경면이 구면이어서 수차가 생기는데 공중에 매달린 여러 반사경의 조합으로 보정한다. 또한 이 반사경들의 방향을 조종해서 남북 방향으로 20도 범위의 천체를 관측할 수 있다. 이 전파망원경은 레이더를 쏘아 돌아오는 신호를 받아 태양계 행성과 위성, 소행성, 그리고 혜성을 연구하고, 외계 생명체를 찾는 데도 쓰이며 21cm 중성 수소선을 이용해 천체 연구도 수행하고 있다.

과학의 역사를 통틀어 매우 중요한 기여를 한 전파망원경은 펜시아스와 월슨이 우주 배경 복사를 받



우주배경복사를 발견하는데 쓰였던 원뿔형 전파망원경



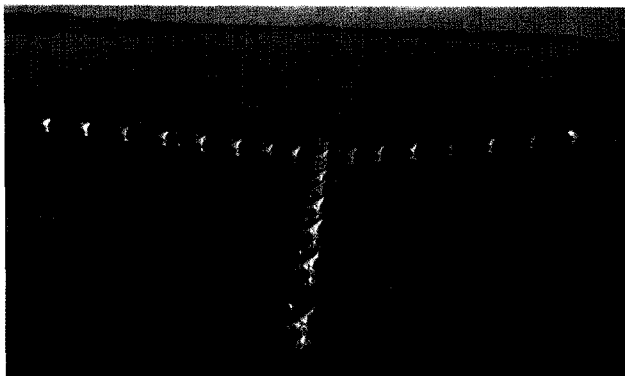
GBT의 전경

견할 때 사용했던 원뿔형 전파망원경이다. 이 전파망원경은 부경이 주경을 가리지 않기 때문에 지향성이 우수하고 망원경의 특성을 이론적으로도 잘 예측할 수 있어서 미약한 우주 배경복사를 검출하는데 안성맞춤이었다.

부경이 주경을 가리지 않도록 오프셋 방식으로 전파망원경을 설계하고 제작하는 것이 요즘의 추세인 것 같다. 위에서 언급한대로 지향성이 좋아서 지면이나 원하지 않는 다른 방향에서 오는 잡다한 전파를 잘 차단할 수 있다는 장점이 있다. 미 국립전파천문대의 GBT가 그 예이다. 직경이 약 100m이며 마치 학과 같은 모습을 하고 있다. 회전 대칭이 없기 때문에 설계하기가 어렵다. 그러나 이러한 형태는 통신에서는 이미 많이 사용해온 것이어서 가정에 설치되어 있는 위성방송 수신 안테나도 대부분 이런 형태이다.

**지향성 높은
간섭계형 전파 망원경**

세밀한 천체의 영상을 찍기 위해 간섭계를 만드는 것은 피할 수 없는 추세인 것 같다. 그러나 단점도 있는데 그중 하나는 시야가 좁다는 것이다. 사람은 한 번에 상하좌우 120도 이상을 볼 수 있지만, 이런 시스템은 한 번에 볼 수 있는 범위가 상하좌우 1도보다도 턱없이 좁다. 간섭계의 시야는 개별 전파 망원경의 지향성으로 정해지기 때문이다. 저주파 영역에서는 이 문제를 해결할 방법이 있는데, 지금처럼 큰 망원경을 적은 수로 배치하는 대신 다이폴 안테나와 유사한 형태의 작은 전파 망원경을 많이 배치하는 것이다. 이를 위해 치러야 하는 대가는 안테나 수만큼 전파 수신기를 많이 만들어야 하고, 개별 전파 망원경에서 나오는 방대한 양의 신호를 처리해야 한다는 것이다. 다행히 주파수가 1~2GHz 이하로 낮은



VLA 전경 (Credit : NRAO/AUI)



ATA 모습


경우에는 상용의 기술을 이용해서 전파 수신기를 저렴하게 만들 수 있고, 방대한 신호처리에는 최근의 고속 디지털 기술을 사용하면 가능하다.

사실 이러한 다이폴 형 배열 전파 망원경은 전파 천문학의 여명기에, 이를테면 휴이시가 펄서를 발견 하는데 채택했던 형태이다. 그러므로 일종의 복고풍 망원경이 되, 상용의 전파 수신기 대량 생산 기술과 디지털 신호 처리라는 새로운 옷을 입은 것이다. 이러한 '작은 망원경을 많이 깔기' 개념을 적용한 예로 유럽의 LOFAR와 미국의 ATA를 들 수 있다. LOFAR는 배열 안테나 묶음을 전 유럽에 배치하는 계획을 진행하고 있다. 미국의 ATA는 주목적이 외계 생명체를 찾는 것이지만 천문용으로도 사용할 수 있도록 시스템을 설계하였다. 개별 전파 망원경은 부경이 주경을 가리지 않는 오프셋 그레고리안 형이며 직경이 6.1m이다. 현재는 1차로 42대의 전파 망원경이 배치되어 있으나 최종 목표는 약 350대의 전파 망원경을 직경 1km의 범위에 배치하는 것이다.

SKA계획은 '작은 망원경을 많이 깔기' 기술의 결정판으로 1차 계획은 직경 300km의 범위에 전파를 모으는 면적이 1km²가 되도록 세 종류의 배열 안테나를 설치하는 것이다. 70MHz에서 10GHz 사이의 우주 전파를 수신하여 초기 우주의 중성 수소의 분포, 행성계의 형성 등을 연구할 계획이다.

**새로운 도전,
꿈의 전파 망원경**

새로운 기기의 개발이 새로운 과학적 발견을 낳는다는 것은 너무나 자명하다. 그러나 전파 천문학은 일상생활에서 전파의 활용이 폭발적으로 늘어나게 되면서 그 자리를 위협받고 있다. 낮은 주파수에 국한되었던 전파 활용이 점점 더 높은 주파수로 올라가면서 전파 천문학이 설 자리가 좁아지고 있는 것이다. 낮은 주파수 영역에서는 수소 원자가 내는 주파수 1.4GHz, 중수소가 내는 주파수 327MHz 등 불과 몇몇 주파수 대역만이 보호받고 있지만 이마저도 상용 전파 서비스와 심각하게 혼신이 돼 우주 연구에 어려움을 겪고 있다.

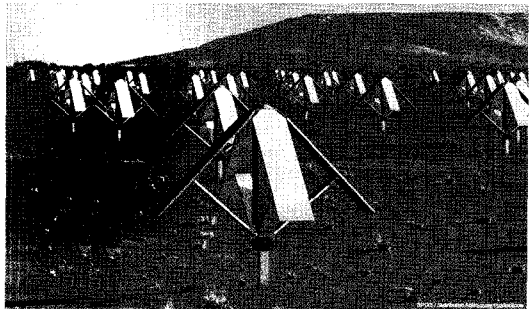
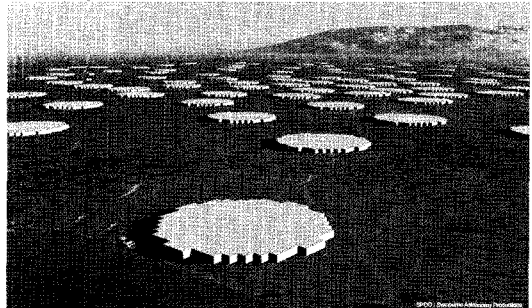
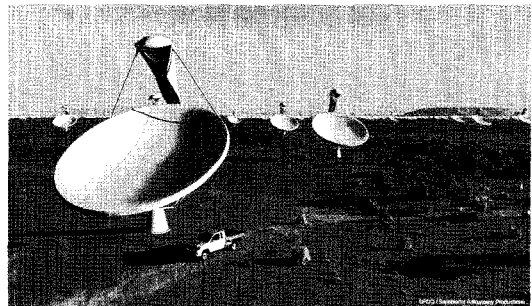
이 문제를 해결하기 위해 전파 천문학자들은 오래전부터 달의 뒷면에 전파망원경을 설치하는 것을 고려하고 있다. 달은 항상 같은 면이 지구를 향하므로 반대편으로 가면 이런 문제에서 자유로울 수 있는 것이다. 월면에 전파망원경을 설치하는 것은 기술적으로나 경제적으로나 보통 일이 아닐 것이다. 그러나 언젠가는 이 원대한 계획이 실현될 것이다. 여기서 어떠한 중요한 과학적 발견이 이루어질지 자못 기대가 된다. 

새로운 기기의 개발이 새로운 과학적 발견을 낳는다는 것은 너무나 자명하다.

그러나

전파 천문학은

일상생활에서 전파의 활용이 폭발적으로 늘어나게 되면서 그 자리를 위협받고 있다. 낮은 주파수에 국한되었던 전파 활용이 점점 더 높은 주파수로 올라가면서 전파 천문학이 설 자리가 좁아지고 있는 것이다. 낮은 주파수 영역에서는 수소 원자가 내는 주파수 1.4GHz, 중수소가 내는 주파수 327MHz 등 불과 몇몇 주파수 대역만이 보호받고 있지만 이마저도 상용 전파 서비스와 심각하게 혼신이 돼 우주 연구에 어려움을 겪고 있다.



SKA의 완성도