

데시미터 대역 태양풍 관측기 설계 및 관측기술 개발

2009.06 ~ 2011.05

(주)에스티시스템

1. 데시미터 대역 태양풍 관측기 설계 및 관측기술

개발 개요

태양활동이 무선 통신에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되기 위해서 태양풍의 운동을 모니터링 할 수 있는 관측기기를 만드는 것이 필요하다. 데시미터 대역 태양풍 관측기 설계 및 관측 기술 개발은 멀리 있는 전파원의 세기변화를 모니터링하고 태양풍의 물리량을 구할 수 있는 태양풍 관측기 시스템을 개발하는 것이 목적이다. 섬광(Scintillation)현상을 이용하면 탐사선을 이용하는 것보다 적은 비용을 들여서 장기적으로 태양풍의 변화를 모니터링 하는 것이 가능하다. 이러한 관측을 태양 근처의 여러 전파원을 이용해서 수행하고 분석하면, 태양풍이 3차원 공간에서 어떻게 퍼져나가 어느 시점에서 지구에 영향을 미칠 수 있을지 예보하는 것이 목적이다.

2. 태양풍 관측기 본 제품 설계

태양풍 관측기는 안테나 여러 개를 하나의 타일로 묶고 다시 이 타일들을 열 개 배열한 뒤, 이들로부터 나오는 신호의 위상을 제어해서 합치는 방식으로 제작된다. 신호는 안테나, 저 잡음 앰프, Beam former, 수신기, Digitizer를 통해 최종적으로 컴퓨터에 저장되어 처리된다. 타일은 24개의 안테나로 구성되며, 중간에 노드를 둔다. 이러면 4개의 타일에서 나온 신호가 4채널 샘플러에 의해 디지털 신호로 변환되어 중앙 처리부로 가게 된다.

항목	규격	비고
타일 개수	60-90개	
산개면적	300m x 400m	
안테나 타일 당 개수	24개	
편광	Dual polarization	
주파수 범위	327 MHz +/- 5 MHz	
관측모드	연속파 및 스펙트럼 모드	
시야	60도 ² 또는 15도 ²	관측모드에 따라 다름
빔 크기	15'	
유효 집광면적	1500m ²	직경 50미터의 단일 망원경과 유사

수신기 잡음온도	100K이내	
점광원 감도	10mJansky @100sec 적분	
시간분해능	1ms 또는 그 이하	
관측모드	Phased array mode, interferometer mode, or mixture of both	

<태양풍 관측기의 규격>

3. 태양풍 관측기 시제품 설계 및 제작

태양풍 관측기 시제품은 16개의 Yagi dipole 안테나로 구성된 3개의 타일로 이루어져있다. 단일 편광 시스템이며, 전체 집광력은 약 25m²이고 시스템 온도의 예측치는 대략 100K이다. 시야는 남북으로 약 100°, 동서로 약 60° 이고, 전체 시스템 최대 분해능은 3° 이다. 관측기의 중심 주파수는 350MHz이고, 최대 대역폭은 5MHz이다. 단일 안테나로 들어온 신호는 저 잡음 증폭기로 증폭되고, 대역 통과 필터에 의해 사용대역 외부의 인공 신호가 제거된다. 걸러진 신호는 beam former에서 위상 조절 후 합쳐져 수신기로 들어가 IF신호로 바뀌게 된다. IF신호는 제어 컴퓨터의 A/D변환카드를 통해 디지털 신호로 바뀐 뒤, 데이터 처리 과정을 거쳐 저장된다.

(가) 안테나

외부 신호를 수신하는 장치로 300MHz의 낮은 주파수에서 충분한 집광면적과 분해능을 갖춘 포물면 안테나를 만들기 위해서는 많은 비용이 필요하기 때문에 Yagi dipole안테나 방식을 채택하였다.

(나) 저 잡음 증폭기

안테나에서 나온 신호는 저 잡음 증폭기로 들어가 증폭 된다. 증폭된 신호는 상대적으로 잡음에 영향을 덜 받기 때문에 가장 처음 신호를 증폭하는 증폭기의 잡음 특성이 중요하다. 사용된 저 잡음 증폭기는 20dB 이득과 0.6dB(42.9K)의 잡음 특성을 가지며, 증폭기를 제작하여 이득의 표준편차를 구해본 결과 0.061dB가 나왔다는 점에서 증폭기가 매우 균일한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

(다) Beam Former

Beam former는 저 잡음 증폭기로 증폭된 단일 안테나 신호들의 위상을 조절하고 합쳐서 타일 하나의 빔을 만든다. 관측 천체의 위치에 맞는 각 안테나의 위상정보는 제어 컴퓨터에서 계산에서 Beam former에 전송하며, 받은 정보대로 Beam former내의 경로들을 조합해

천체를 향하는 타일 빔을 만들게 된다. Beam former는 $1/32\lambda$, $1/16\lambda$, $1/8\lambda$, $1/4\lambda$, $1/2\lambda$ 의 5개 경로를 조합해, 최소 $1/32\lambda$, 최대 1λ 의 위상을 제어할 수 있다.

(라) 타일

타일은 4x4로 배열된 16개의 단일 안테나 묶음이다. 4.5m x 4.5m 크기의 반사판 위에 나선형으로 16개의 단일 안테나가 배열된 형태이며, 바탕을 이루는 4.5m x 4.5m의 구조물은 구멍크기 4cm의 철망으로 덮여있고, 이 철망은 단일 안테나를 고정시키는 역할과 350MHz 전파를 반사하는 반사판의 역할을 한다.

(마) 수신기

Beam former에서 합성된 신호들은 수신기에서 80dB 증폭이 되고, 믹서를 거쳐 IF 신호로 Down conversion된다. 수신기는 LO신호보다 높은 주파수 대역이 IF 신호로 출력되는 USB 모드로 작동된다. Down conversion에 사용되는 수신기의 LO신호는 345MHz에서 360MHz 까지 2.5MHz간격으로 변경할 수 있어, 사용 주파수 안에 외부 인공 주파수가 들어올 때 LO 신호의 주파수를 변경해 피할 수 있다. 하지만 수신기 앞 단의 대역통과 필터의 대역이 346MHz~354MHz이기 때문에 실제로는 345MHz~352.5MHz 사이에 있는 4개의 LO 신호를 사용할 수 있다. 수신기는 각 타일마다 하나씩 있기 때문에 각 수신기의 신호들을 동기화 시켜줄 필요가 있다. 이를 위해, 2번 수신기 박스안에 설치된 기준 발진기에서 각 수신기로 10MHz 기준 신호를 보내 3개의 수신기에서 출력되는 신호를 동기화 하였다.

(바) Analog / Digital 변환카드

수신기에서 출력된 IF신호는 제어 컴퓨터에 장착되어 있는 A/D 변환카드에서 디지털 신호로 전환된다.

(사) Digitizer 카트 제어 및 데이터 처리 프로그램

랩뷰를 이용해 A/D변환카드의 상태를 설정하고 제어해서 데이터를 가져오는 GUI 프로그램을 작성하였다. 데이터 처리 프로그램은 A/D 변환카드에 설정 값과 동작 명령을 전달하고, A/D변환카드로부터 디지털 신호를 받는다. A/D변환카드는 한번에 10^5 개의 데이터를 반환한다. 데이터 처리 프로그램은 읽어들인 데이터로부터 각 채널 별 파워 스펙트럼과 채널간의 교차상관을 구해 모니터에 표시한다. 2×10^5 개의 교차상관 데이터 전체를 저장하려면 많은 시간이 걸리기 때문에 각 채널간의 교차상관 데이터에서 가운데 400개의 데이터를 잘라내서 ASCII형식으로 텍스트 파일에 저장한다. 또한, 각 채널의 신호세기를 구하기 위해 파워 스펙트럼의 전체 합을 ASCII형식으로 텍스트 파일에 저장한다.

4. 시험관측

주엽 안에 태양이 들어왔을 때 신호가 지는 것을 확인했으며, 교차상관 데이터가 lag이 커질수록 sinc 함수의 포락선 내에서 감소하는 것을 보아 태양의 신호를 관측했다고 판단된다. 또한 빔 패턴을 측정하였다. 태양의 남중고도에 주엽을 향하게 하고, 시간에 따른 태양신호를 관측해 설계의 값과 비교해보았다. 3개의 타일 중, 1번 타일에서 관측된 데이터는 2도 가량 어긋난 점 외에 시뮬레이션에 의한 합성 빔과 거의

비슷한 모습이었다. 2번 타일과 3번 타일의 경우 시뮬레이션 결과와 잘 일치하지 않았는데, 이는 1번 타일과 달리 주변에 있었던 전파를 반사할 수 있는 구조물에 의한 영향으로 추측된다. 관측한 교차상관 데이터에서 태양 신호의 Fringe를 검출하였으며, 주기적으로 반복되는 인공 신호와 다르게 포락선이 sinc 함수 형태로 나타나는 것을 확인하였다. 기하학적 지연 때문에 Fringe가 이동하는 것도 확인하였다. 그러나 주위 구조물에 의해 반사된 신호 또는 Sampler의 Isolation 불량 등으로 인해 Fringe의 이동량은 예측과 조금 다르다. 반사된 신호와 원래의 신호가 합쳐지면서 위상이 변하기 때문에 위상 보정이 잘 되지 않은 것으로 추측된다.

5. 사업성과

▶ 기술적 성과

- 전파천문학의 첨단기술을 적용하여, 국가에서 요구하는 상시 운영 태양풍 관측기 설계 기술 개발
- 시작품 제작을 통한 태양풍 관측기의 성능 입증
- 전자적인 빔 포밍 기술을 활용하여 구동부 없이 천체를 추적하는 기술 확보
- 태양풍 관측기를 태양의 이미징 및 전리층 천공 잡음 관측에 활용할 수 있는 기반 기술 확보

▶ 경제적 성과

- 과제 완료에 맞추어 기술 상용화 성공
- 국가 연구소인 전파연구소의 우주전파 감시 장비로 선정 및 납품 확정
- 타일, 안테나, 수신기, 빔 포머 등 핵심 부품의 국산화를 통한 수입 대체 효과 기대
- 규모와 기능 조절을 통한 다양한 형태의 저주파 배열형 전파 안테나 개발 가능, 교육과 전시 목적에 사용 가능
- 태양풍 관측기의 기반 기술을 활용하여 유사 분야의 장비 개발에 응용 가능(HF레이더 개발, TEC관측기 개발)

▶ 기타 성과

- 대학에서 관련 분야 전문 인력 양성
- 태양 활동 연구에 활용
- 태양풍 분야의 선도적인 연구기관 및 전문가와 협력 관계 구축

6. 향후 추진계획

- ▶ 전파연구소에 태양풍 관측기 개발 납품
- ▶ 태양 활동 연구에 활용
- ▶ 관련 기술 특허 출원
- ▶ 국제 프로젝트인 Square Kilometer Array 소요기술 개발