

완전 개폐형 돔 엔클로저

임홍서^{1†}, 강용우², 변용익², 문홍규¹, 한원용¹
¹한국천문연구원, ²연세대학교 천문대

DOME ENCLOSURE: CLAM SHELL DESIGN

Yim, Hong-Suh^{1†}, Kang, Yong-Woo², Byun, Yong-Ik²,
Moon, Hong-Kyu¹ and Han, Won-Yong¹

¹Korea Astronomy Observatory, ²Yonsei University Observatory
E-mail: yimhs@kao.re.kr

(Received October 29, 2002; Accepted November 28, 2002)

요 약

한국천문연구원 지구접근천체 연구실과 연세대학교 천문대 YSTAR 팀은 해외에 설치될 전천탐 사용 광시야 망원경을 위한 돔 엔클로저(dome enclosure)를 순수한 우리 기술로 제작하였다. 이 돔 엔클로저는 망원경의 빠른 구동특성을 최대한 활용하기 위해 완전 개방형의 구조를 지님과 동시에 다양한 기상 조건에 대응하도록 견고한 구조를 가지도록 설계되었다. 또한, 자동 관측 프로그램과 연동되어 무인 관측 시스템의 한 부분으로도 그 역할을 다하도록 전자 제어부도 함께 설계되었다. 개발된 돔 엔클로저는 현재 남아프리카공화국 천문대 써덜랜드 관측소에 설치되어 성공적으로 가동되고 있다.

ABSTRACT

Near Earth Object Patrol Team (National Research Lab.) at KAO and YSTAR team at Yonsei University Observatory jointly developed a dome enclosure to be installed abroad together with a survey telescope. It has a fully-open clam shell type design to maximize the fast slew capability of the telescope and is also sturdy enough to protect the observation system under extreme weather conditions. We also developed an electric control circuit for the enclosure so that it can become a part of automated observing system. The enclosure has been installed at the Sutherland Observatory of South African Astronomical Observatory in April 2002, and has been successfully operational.

Key words: dome enclosure, survey astronomy, astronomical instruments

1. 서 론

돔 엔클로저(dome enclosure, 이하 돔)는 관측이 이루어지지 않는 시간동안 내부의 망원경 시설의 안전을 보장하며, 관측이 이루어지는 동안에도 강한 바람을 막는 역할을 함으로써 망원경의 흔들

[†]corresponding author

림을 최소화하여 양질의 관측자료를 얻을 수 있게 하는 보호기능이 있다. 또한 전통적인 돔은 망원경의 시야를 보장하는 개구부(서터 혹은 슬릿)가 있고, 관측하고자 하는 천체를 개구부를 통하여 항상 볼 수 있도록 회전기능을 갖는다.

돔은 망원경만큼이나 오랜 개발의 역사를 가지고 있으며 관측시설 보호의 단순한 기능만을 추구하여서는 안된다. 돔의 특성 중 중요하게 고려되어야 하는 것으로는 돔의 개구부 주변과 내부에서 발생하는 공기의 강한 움직임과 돔 내부의 온도분포 특성, 그리고 돔에 부딪히는 외부 공기저항과 회전운동으로 인한 진동의 발생을 들 수 있다. 우선 돔 주변과 내부의 공기의 흐름에 대한 연구는 풍동 실험이나 특히 유체역학적 수치모사를 통해 최근 이루어지고 있는데 이는 돔과 그 개구부로 인해 발생하는 시상의 악화현상(돔시상; dome seeing)을 최소화하기 위해 더욱 중요시 되고 있다(De Young 1996).

돔시상은 이와 같은 공기의 와류현상 이외에도 돔 내부의 열분포 구조에도 영향을 받는다(Woolf 1979). 주간에 축적된 열이 야간에 외부로 방출되는 과정, 그리고 이 과정에서 개구부와 그 주변 공기의 흐름이 미치는 영향 등이 복합적으로 작용하게 되는데, 이는 또한 광학계의 온도가 평형에 이르는 시간에도 영향을 미친다. 따라서 돔은 주간과 야간의 열차이를 최소화 하기 위해 우수한 단열효과와 냉방기능 및 통풍기능 등 돔내부의 열적환경을 최적화 시키도록 설계되어야 한다(ex. Worthington et al. 2000).

한편, 전통적인 돔과 달리 개구부와 회전의 특징을 가지지 않는 개방식 구조의 돔은 위에 언급된 돔시상 문제를 모두 해결할 수 있으며 회전하는 돔에 의해 발생하는 진동을 없앨 수 있다는 장점이 있어 최근에는 2미터급 중형 망원경에도 선택되고 있다(Mansfield 2000). 그리고 일부 아마추어 천문가들도 망원경 사용과 설치 및 운용의 편리함 때문에 개방식 돔을 선호하고 있다.

한국천문연구원의 국가지정연구실인 지구접근천체 연구실과 연세대학교 천문대의 탐사천문학 연구팀(Yonsei Survey Telescopes for Astronomical Research; YSTAR)은 해외 여러 곳에 탐사망원경을 설치하기로 계획하면서, 이 탐사 망원경에 사용될 돔의 제작을 추진하였다. 우리는 이 돔을 개방식으로 설계하였는데 이는 위에 언급한 돔시상이나 진동을 없앨 수 있다는 점 이외에도, 망원경의 빠른 구동특성을 충분히 활용할 수 있도록 돔의 회전 필요성을 원천적으로 없앤다는데 의미를 두었기 때문이다. 이는 특히 감마선 폭발체와 같이 10초 이내의 매우 빠른 포인팅이 필수적인 관측을 가능하도록 하기 위해서였다.

새로운 돔의 제작은 기존에 존재하는 개방식 돔의 장단점을 철저히 분석하는 것으로 시작되었다. 기존의 1겹 2장의 조개껍질(clam shell) 구조의 개방식 돔은 가볍고 운영이 쉽지만, 그만큼 외부의 환경에 약해 해외에 설치하는 데는 적합하지 못한 구조를 가지고 있었기 때문이었다. 천문연/연세대 협동연구팀은 약 1년의 노력 끝에 우리의 독자적 기술로 완전개방형 돔을 만들어 낼수 있었다. 그리고, 2002년 4월초 남아프리카 공화국 천문대 써덜랜드 관측소에 이 돔을 그림 1과 같이 설치하였다.

우리의 돔은 기존의 개방식 돔을 새롭게 디자인하여 2겹 4장의 조개껍질 구조를 갖도록 하였다. 이로써 개방형의 장점을 유지하면서도 더 넓은 시야를 확보할 수 있었으며, 튼튼한 재질을 사용할 수 있었다. 일반적으로 제작되어 판매되는 개방식 돔이 상대적으로 유약한 파이버글라스 재질의 경량 구조물인데 반해, 스테인레스와 철골 구조를 결합하여 사용함으로써 바람을 동반한 악천후에도 변형되거나 오동작하지 않는 튼튼한 구조물이 되도록 설계하였다. 이렇게 제작된 돔은 1.7톤에 달하는

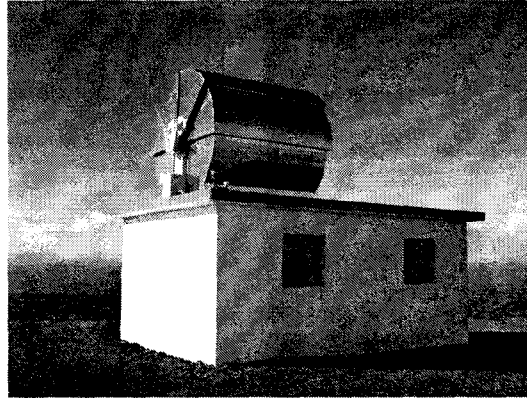


그림 1. 2002년 4월 남아공천문대에 설치된 돔의 모습.

표 1. 새로 제작된 돔과 기존 돔과의 비교표.

특 징	새로 제작된 돔	기존 개방식 돔	전통적인 돔
개구부에 의한 기상 저하의 가능성이 있는가?	없음	없음	있음
돔 회전에 의한 기상 저하의 가능성이 있는가?	없음	없음	있음
돔내부 열분포에 의한 기상 저하의 가능성이 있는가?	없음	없음	있음
관측 위치에 따른 돔 회전이 필요한가?	없음	없음	있음
덮개의 재질을 충분히 무겁게 할 수 있는가?	있음	없음	있음
강한 비바람에 대해 견딜 수 있는가	가능함	어려움	가능함

무거운 물체를 가짐으로써 강한 바람에 견딜 수 있게 되었으며, 방수처리와 열선처리를 병행함으로써 날씨와 온도의 변화에 영향을 받지 않게 되었다. 또한, 전자 제어 기판을 돔 내부에 설치하여 컴퓨터에 의해서 돔의 개폐를 원격 조정할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 전체적인 관측 운영이 프로그램에 의해 완전히 자동으로 진행될 수 있도록 고안하였다. 표 1에 새로이 제작된 돔의 특징을 기존의 돔들과 간략히 비교하였다. 이 논문에서는 국내 기술로 제작된 완전 개방형 돔의 구조와 특징을 소개하고자 한다.

2. 구 조

완전 개방형의 구조를 갖도록 하기 위하여 조개껍질의 구조를 갖도록 하였으며, 돔의 개폐는 모터를 통한 유압 실린더의 피스톤 운동으로 제어하도록 하는 디자인을 채택하였다. 돔의 기본 골격인 철골은 직경 15cm와 7cm의 각재를 사용하여 튼튼한 구조가 되도록 하였다. 돔의 덮개는 스테인레스 폴리싱판을 사용하였으며 단열처리를 하여 부식을 방지하고 방청도 가능하도록 하였다. 유압 실린더는 외부에 설치하여 내부의 공간을 최대한 확보하였고, 외부로 노출된 모터와 유압 실린더, 기어 부분에는 케이스를 씌워 보호하였다. 덮개와 덮개 사이에는 브러시를 장치하여 빛과 빗물이 들어오는 것을 방지하였으며, 겨울철에 돔이 열릴 때는 쌓여있는 눈을 치워주는 역할도 하도록 하였다. 또한, 흡통 주위에는 열선을 장착하여 결빙에 의해 덮개가 열리지 않는 것을 방지하도록 하였다. 완성된 돔의 규격과 사양을 표 2에 나타내었다.

표 2. 돐의 규격과 특징.

분류	특성
크기	2900mm(W) × 2710mm(H) × 3000mm(D)
무게	1.7t _{cn}
재질	스테인레스 폴리싱
단열	인슐레이션 패드 장착
구성	본체, 덮개, 유압 유닛
구동 방식	유압 구동 완전 개방형
전원 설정	컨트롤러를 통한 원격 제어 방식과 수동 제어 방식 병행
개폐 시간	100초
확보 시야	지평선으로부터 10도를 제외한 전 하늘
작동 환경	초속 15m 바람에도 개폐가 진행 가능
방수	외부 마감질과 연결부위 실리콘 처리, 덮개와 덮개 사이의 브러쉬 설치
결빙 방지	덮개 사이에 위치한 흡통주위에 50W 열선처리
온습도 조절	에어컨과 제습기 설치
안전 장치	덮개 전후의 리미트 스위치, 비상 탈출구, 보조 유압 모터 장착 가능
개방 방지	전자석 장착, 체크 밸브 장치, 래치 시스템
외부 노출	케이스 설치로 유압 유닛을 보호

돐의 구조는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫째가 그림 2에 보인 몸통부분에 해당하는 베이스 부분이다. 베이스는 자체는 직사각형의 아랫부분과 돐의 덮개가 얹혀질 반원형의 윗부분으로 나눌 수 있다. 베이스의 바닥은 완전히 뚫린 상태이며 천문관측소의 천정부분과는 볼트로 결합할 수 있도록 만들었다. 베이스의 네곳에 위치한 볼트로 돐의 수평을 맞춰줄 수 있도록 설계하였다.

돐의 두 번째 부분인 그림 3은 덮개 부분이다. 덮개는 모두 4개로 구성되어 있으며, 양쪽에 반지름이 다른 2개의 덮개가 모두 베이스 부분의 스펀 기어에 연결되도록 하였다. 스펀 기어에 연결된 로드바는 가장 반지름이 큰 바깥쪽 덮개에 각각 연결되어 있으며 기어가 돌아감에 따라 바깥쪽 덮개가 먼저 움직이고 안쪽 덮개가 따라서 움직이는 형태로 되어있다. 덮개를 두 부분으로 나눈 것은 완전히 돐이 열렸을 경우 망원경의 시야를 최대한 확보하기 위해서이다. 모두 네부분으로 구성된 이 모습 때문에 이 돐의 모양은 마치 조개껍질의 형태를 취하고 있다.

돐의 마지막 부분은 그림 4에 보인 덮개를 움직여 주는 유압 모터와 유압 실린더를 포함하는 구동 부분이다. 유압 실린더는 베이스의 앞쪽과 뒤쪽에 각각 위치하고 있으며, 유압 실린더의 윗부분에는 로드바가 연결되어 있어 유압실린더의 상하 운동이 스펀기어를 통해 돐덮개의 여담음으로 나타나도록 설계되었다.

그림 5와 6은 닫혔을 경우와 열렸을 경우에 대한 돐의 외관을 보여주고 있다. 베이스 상단 구석에는 크레인으로 돐을 이동시킬 수 있도록 하기 위해서 4개의 크레인 고리를 설치하였다. 돐의 개폐시에 이상 작동이 일어나 기어나 로드바에 무리한 힘이 가하지 않도록 개폐 위치에는 limit 스위치를 이중으로 설치하여 이를 방지하였다. limit 스위치에는 별도로 센서를 장착하여 돐의 현재 상태를 컴퓨터가 인식하도록 하였다. 비상시 출입을 위해서 돐의 정면에 약 70cm 정도의 출입구를 만들었다. 이 문은 미닫이 형식으로 열 수 있도록 했으며, 안에서는 이 문을 잠글 수 있도록 하였다. 전원, 통신, 에어컨 등 외부와의 연결을 위해서 측면 중앙 하단에는 외부 연결 선로관을 확보하였다.

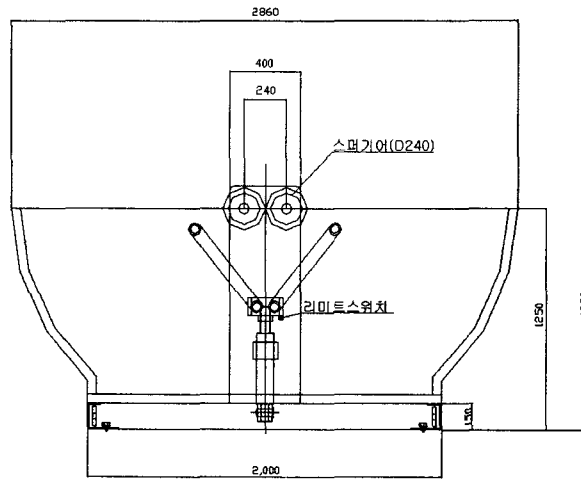


그림 2. 돔의 베이스. 위에서 보면 직사각형의 모습을 하고 있으며 바닥은 관측소의 옥상과 연결되도록 뚫려있음. 내부 옆면에는 진동과 돔제어 박스, 컴퓨터 책상, 에어컨 등이 설치되어 있다.

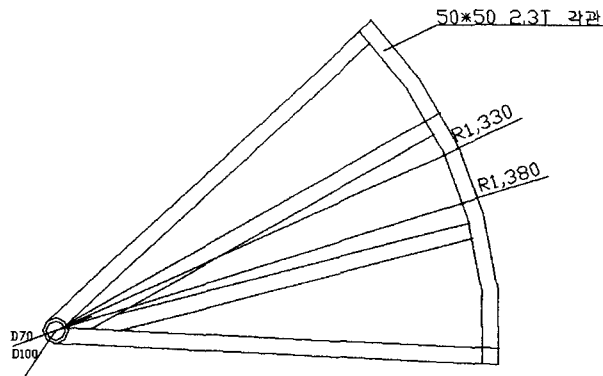


그림 3. 돔의 덮개. 2겹 4장중의 안쪽에 해당하는 덮개의 모습. 스테인레스로 무게를 줄였으며 겉에는 방수처리를 하였다. 끝부분에는 브러쉬를 달아 내부에 비바람이 침투하는 것을 막고, 겨울에는 눈과 같은 외부 물질을 닦아 낼 수 있도록 하였다.



그림 4. 모터와 유압 실린더. 유압 실린더는 뒷편에도 한 조가 더 있어 양쪽에서 모터에 의해 돔 덮개를 밀어 올리도록 구성되어 있다.

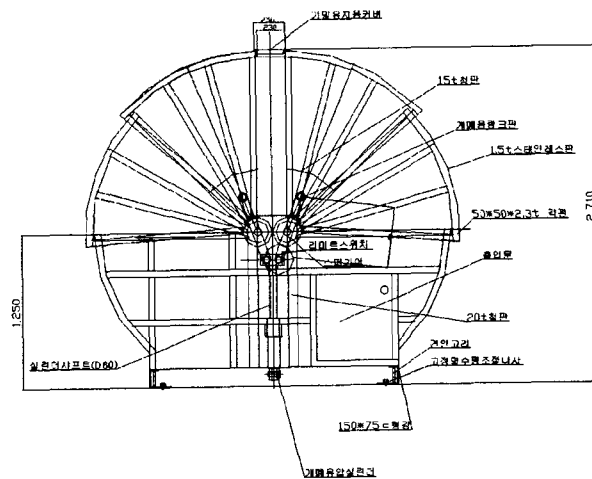


그림 5. 돔이 닫혔을 때의 모습관. 유압실린더 자체의 역류 방지 장치 외에도 전자석과 래치시스템을 설치하여 원하지 않는 돔의 열림을 방지하였다.

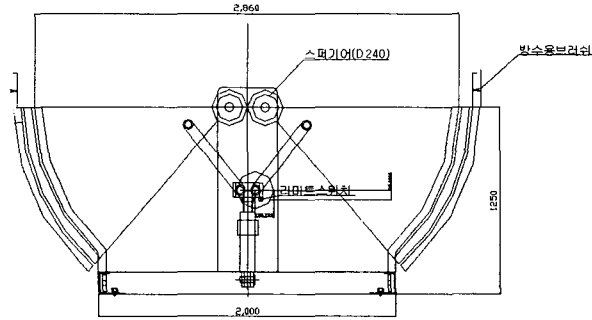


그림 6. 돔이 열렸을 때의 모습. 2겹의 날개가 접히면서 열리는 구조를 택함으로써 최대한의 망원경 시야를 확보하도록 하였다.

3. 돔 제어 시스템

돔의 제어는 컴퓨터에 의해서 돔의 개폐를 원격 조정할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 전체적인 관측운영이 프로그램에 의해 완전히 자동으로 진행될 수 있도록 설계하였다. 또한, 비상시나 특별한 조치 사항을 수행하기 위하여 수동으로도 돔을 제어할 수 있도록 하였다. 이를 위하여 돔 내부에 그림 7과 같이 돔 제어 시스템을 장착하였다. 그림 7에서 책상 위쪽에 있는 제어 박스는 수동으로 돔을 제어할 때 사용되며, 아래쪽에 있는 것이 원격 제어를 위한 돔 제어 박스이다.

원격 제어를 위한 제어 시스템의 내부 설계 개념도는 그림 8에 나타내었다. 완전한 무인 자동 관측 시스템을 운영하기 위해서는 돔의 운영 또한 컴퓨터에 의해 관측 스케줄과 동시에 이루어져야 한다. 즉, 관측이 시작되면 돔을 열어야하고, 관측이 끝나거나 혹은 기상 악화 등으로 관측이 중단되는 때가 되면 돔을 닫아 시스템을 보호해야 한다. 이 제어 박스는 이러한 일련의 자동 관측 프로그램과 연동하여 컴퓨터에서 주는 신호를 돔에 전달함으로써 자동 관측이 이루어지도록 설계되었다. 또한 악천후의 기상상황이나 강한 전기잡음 환경에서 신뢰성 있게 제어 시스템이 작동할 수 있도록 전기 잡음방지 고려, 동작 회로 이중배치, 내부회로 전원 안정화등의 다양한 보호조치가 이루어졌다.

그 외에도 이 제어 박스는 돔이 닫히는 것과 동시에 전원을 돔 내부에 공급시켜 필요한 경우 제습기와 에어컨이 가동하게 만들어 준다. 또한 전등을 켜주고 외부 카메라로부터 돔 내부를 살펴볼 수 있도록 해주며, 돔이 다시 열렸을 경우, 전원을 차단하여 이러한 보조 기기들이 관측에 지장을 주지 않도록 하고 있다. 이 제어 시스템은 모듈 개념을 사용하여 제작하였기 때문에 문제가 생겼을 경우, 단지 예비용 박스로 교체하는 것만으로도 다시금 작동 되도록 하였다. 이러한 모듈 개념은 돔 설계의 기본 개념으로서 컨트롤러뿐만 아니라 유압 유닛 등 모든 구조물에 적용시켜 문제가 발생했을 경우, 예비 부품으로 교체만 하면 즉시 다시 작동할 수 있도록 하였다.

4. 안전 장치

돔에서 발생할 수 있는 가장 큰 문제는 돔이 닫혀 있어야 되는 상황에서 돔이 열리게 되는 경우

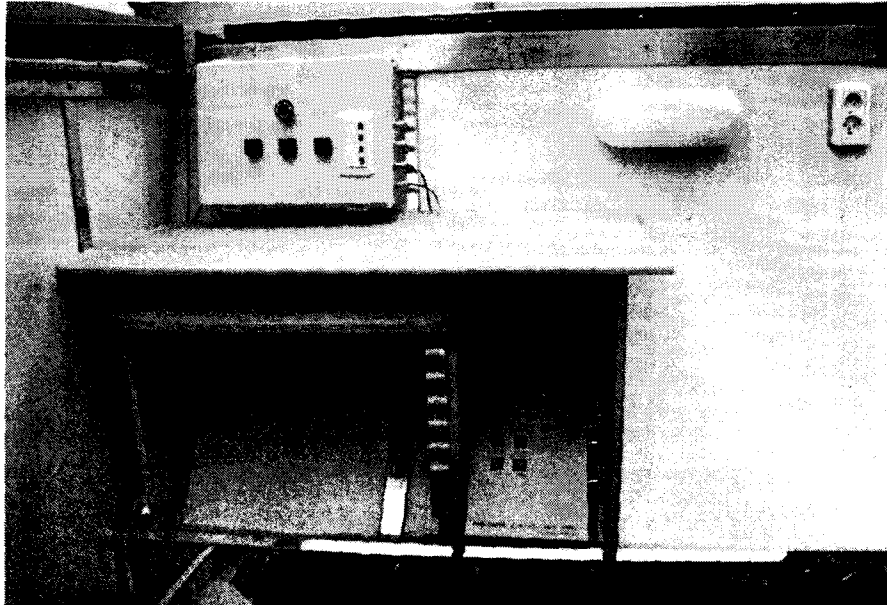


그림 7. 돔 컨트롤 박스. 그림 윗쪽의 박스에는 수동 제어 외에도 긴급 상황시 모든 작동을 멈추는 버튼을 장착하였다.

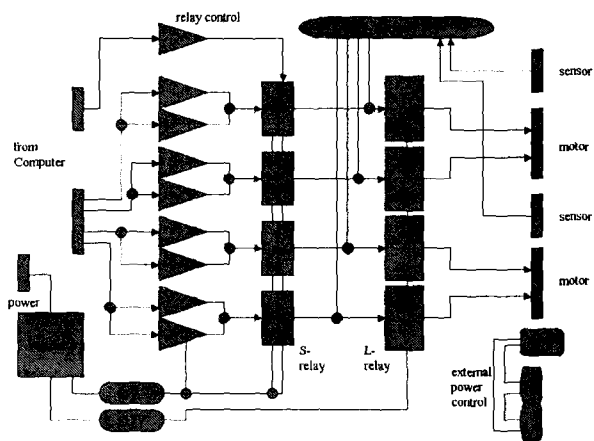


그림 8. 돔 제어 시스템 전자 회로 개념도.

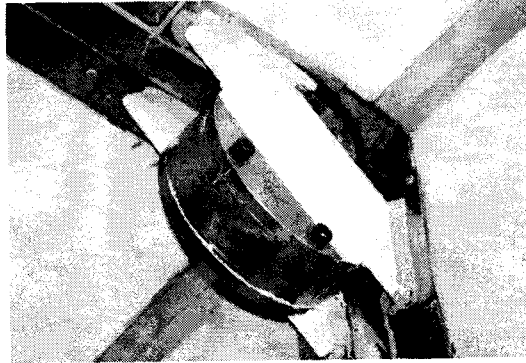


그림 9. 돔 천정에 설치된 전자석. 돔 천정 양쪽에 2개를 설치하였다. 표면에는 코팅을 하여 내구성을 향상시켰다.

이다. 이는 돔 내부의 시스템을 보호해야 하는 돔의 가장 기본적인 임무를 수행하지 못한다는 점에서 일어날 수 있는 모든 상황에 대한 대비책을 강구해야한다. 이 돔은 유압이 상실되는 경우 열리게 되는 기본 구조를 가지고 있다. 따라서, 이 점에 대한 대책으로 네가지 방안을 설정하였다.

첫째는 유압실린더에 대한 대책이다. 수백 킬로그램에 달하는 덮개의 무게를 지탱하고 있는 유압 실린더는 그 안전성이 확보되어야 한다. 먼저, 충분한 용량을 가지는 유압 실린더를 선택하였다. 그리고, 덮개의 무게에 따라 일어날 수 있는 유압의 역류를 막아주도록 체크 밸브를 설치하였다. 이 밸브는 모터와 유압 실린더 사이에 위치하며 유압관 속에 원뿔형태의 모습을 가지고 있으며, 모터쪽에 원뿔의 꼭지가 놓이는 구조를 가지고 있다. 모터에서 유압을 보내는 경우 유압은 원뿔을 밀어내어 실린더로 힘을 전달시켜 돔을 닫도록 해주지만, 반대로 덮개의 무게 때문에 오히려 모터쪽으로 유압이 역류되는 경우 원뿔이 관을 막으면서 유압이 반대로 흐르는 것을 막아주게 되는 원리이다. 이 장치를 테스트해 본 결과 유압의 역류는 거의 없음을 확인할 수 있었다.

둘째는 전자석의 설치이다. 돔 덮개가 만나는 부분에 그림 9와 같이 전자석을 설치하였다. 이 전자석은 돔이 닫혀있을 때만 작동하고 열렸을 경우에는 자성이 없도록 만들어졌다. 돔이 닫혀있는 동안에는 이 전자석이 강하게 돔을 결합해줌으로써 유압실린더에서 생길 수 있는 돔의 열림을 방지하도록 하였다. 돔이 열리는 순서는 다음과 같다. 돔 개방명령이 내려지면 돔 제어 박스는 먼저 전자석의 전기를 차단하여 전자석이 먼저 떨어질 수 있도록 한다. 그리고 유압 모터를 작동시켜 돔을 열게 되는 것이다. 이러한 작업은 돔 제어 박스안에 있는 타이머를 통해서 제어되고 있다.

셋째는 돔에 공급되는 전원부에 설치된 무정전 전원공급장치(UPS)이다. 돔의 구동은 물론이고 전자석의 경우에도 전원의 공급이 끊어지면 작동이 되지않는다. 따라서, 필요한 순간에 전원을 공급해 줄 수 있는 전원공급장치가 반드시 있어야 한다.

마지막으로 설치된 것은 래치(latch) 시스템이다(그림 10). 이것은 일종의 돔 천정에 설치된 자물쇠의 역할을 하는 것으로 전원의 공급이 끊어졌을 경우를 대비하여 설치하였다. 자동 관측 수행 중에 전원의 공급이 끊어지게 되면 컴퓨터는 전원의 공급상태를 지켜본 후 즉각적으로 전원의 재공급이 있지 않으면 관측을 중단하고 시스템을 안전하게 정지시키게 된다. 이때 돔도 닫게 되는 데 이미 설치되어 있는 UPS로부터 전원 공급을 받아 돔을 닫게 된다. 돔을 닫은 후에는 전원 공급이 한동안 단절되어도 래치 시스템이 돔을 잡아주게 된다.

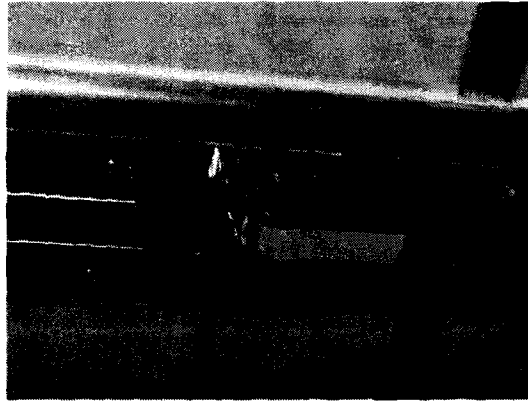


그림 10. 돔 천정에 설치된 래치 시스템. 돔 천정 중앙에서 각각 50cm 정도 떨어진 곳에 2개를 설치하였다.

5. 토 의

새로이 제작된 완전 개방형 돔은 현재 1호기가 천안 연세대 관측소에 설치되어 있으며, 2호기는 남아공 천문대에 설치되었다. 현재 1, 2호기는 매우 안정적으로 운영되고 있다. 특히, 남아공 천문대와 같이 바람이 강한 관측소에서 사용하는 데는 이번에 제작한 튼튼한 구조의 돔이 가장 적절한 구조를 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

지금까지 운영해본 결과 나타난 몇 가지 개선할 점을 논의한다면 다음과 같다. 첫째, 완전 개방형 돔의 경우 주변 잡광에 대한 노출이 상대적으로 크다는 점이다. 이는 망원경에 대한 배플을 강화함으로써 해결될 수 있으나 남아공과 같이 주변의 불빛이 전혀 없는 곳에서는 큰 문제가 되지 않았다. 둘째, 돔이 튼튼해진 결과 돔의 무게가 증가되어 관측소 건설시 이를 감안한 공사가 이루어져야 한다는 점이다. 셋째로는 바람에 대한 망원경의 노출이 크다는 점이다. 이는 개방형 돔에서는 피할 수 없는 현상으로 우리의 경우 망원경의 경통이 매우 짧아 큰 문제가 되지 않으나 광학적으로 느린 망원경들은 문제가 될 수 있을 것으로 보인다. 넷째는 방수와 관련한 세세한 작업의 필요성이다. 전통적인 돔보다는 열리는 부분이 매우 크기 때문에 방수를 요하는 구동부분이 상대적으로 많기 때문이다. 이러한 개선점이 앞으로 더 논의되어야겠지만, 우리의 기술로 개발된 돔이 해외에서 안정적으로 작동하고 있다는 점에서 이 돔 제작의 의의를 찾아야 할 것으로 생각된다.

감사의 글: 이 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업과 기초과학지원연구소 고가특수기기 운영 지원사업의 지원을 받아 수행된 것입니다.

참고문헌

- De Young, D. S. 1996, AJ, 112, 2896
- Mansfield, A. G. 2000, Proc. SPIE, 4004, 173
- Woolf, N. 1979, PASP, 91, 523
- Worthington, P. T., Fowler, J. R., Nance, C. E., & Adams, M. T. 2000, Proc. SPIE, 4010, 267