

개폐식 구조물의 구동시스템

Drive System of Retractable Structure



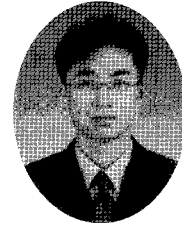
서삼열*
Sur, Sam-Yeol



이장복**
Lee, Jang-Bog



장명호***
Jang, Myung-Ho



고광웅****
Ko, Kwang-Woong

1. 서론

대공간 구조물에서 개폐식 구조는 일반적으로 지붕 전체 혹은 그 일부가 개폐가 가능한 형태로 구성되는 것을 의미한다. 개폐식 구조물은 역사속에서 다양한 형태로 존재한다. 대표적인 구조물로는 로마 시대의 차광막부터 현대에도 자주 적용되는 우산형태의 구조물과 아메리카 Sioux 인디안의 티피 텐트(Tipi Tents)등이 있다. 개폐식 구조물은 패쇄형과 개방형의 장점을 두루 가지고 있기 때문에 야구장, 축구장 같은 스포츠 경기장 구조물에 많이 적용되고 있다.

개폐식 구조물은 건축계획의 측면에서 사용 목적, 사용자의 요구사항, 환경과 대지조건, 규모 및 경제성 등의 고려가 필요할 뿐 아니라, 구조계획의 측면에서도 지붕의 개폐에 따른 안전과 안정성, 개폐의

빈도와 속도 그리고 제어 및 유지관리의 효율성 등을 염두에 두고 개폐형식과 구동방식을 선택하여야 한다. 최근 몇 개의 지방 자치 단체에서 개폐식 돐 구장의 건설에 대해 긍정적인 검토를 하고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, 국내의 개폐식 구조물의 설계 및 시공에 대한 기술은 많이 부족한 실정이라 할 수 있다. 2007년 준공된 청도 소싸움 경기장에 개폐식 지붕이 적용되었으나 만족할 만한 성과를 얻지는 못했다.

이 고에서는 대공간 건축물 건설 기술 개발에 관한 연구의 일환으로 대공간 건축물 연구단에 의해 진행된 Pilot 프로젝트에 적용된 개폐 구조물을 통하여 개폐식 구조물의 기본적인 설계요소를 정리하고, Pilot 프로젝트 개폐식 구조물의 개폐방식의 개념도 및 감속기 선정과정을 기술하고자 한다.

* 정회원 · 대림대학 건축과 교수, 공학박사
 ** 정회원 · (주)동아스트 대표이사, 공학박사
 *** 정회원 · 대림대학 건축과 프로젝트전담교수, 공학박사
 **** 정회원 · (주)동아스트 구조실장, 구조기술사

2. 개폐식 구조물 분석

대공간 건축에서 개폐식 지붕을 구성하기 위해서는 전체 구조시스템, 사용조건과 환경조건, 개폐식 특이사항, 및 재난대책을 포함한 유지관리 조건 등을 고려하여야 한다. 각각의 개폐방식과 구조방식은 구조적 합리성, 안전, 그리고 개폐 조작의 관점에서 각기 다른 특성들을 보이므로 계획시 고려해야 하는 사항들도 약간의 차이가 있다.

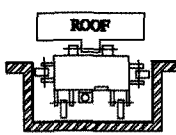
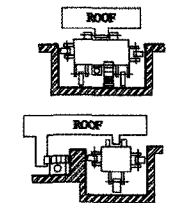
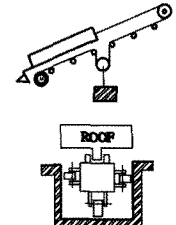
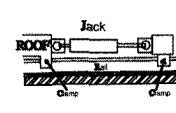
일단 개폐면 구성방식이 결정되면 각기 몇 가지 개폐방식과 구동방식을 선택할 수 있다. <표 1>은 개폐방식과 조합될 수 있는 구동 방식을 보여주고 있다.

<표 1> 개폐식 지붕 구조의 조성

개폐면	개폐방식		구동방식
강성 패널	슬라이딩	평행 이동	수평/오버랩 (self-running wheel)
			수평이동 (cable traction)
			선회/오버랩 (rack and gear)
	수직/오버랩	잭 (jack)	
연성 막재	폴딩	수평	
		선회	케이블 트롤리와 견인장치
		집중	

강성 패널을 이동시키는 개폐형식의 지붕은 이동패의 하중을 지지하는 구조와 하부구조에 안전하게 전달하면서 이동시킬 수 있는 구동장치로 구성된다. 대부분의 경우 지붕은 곡면 형상으로 계획되므로, 이동 패널의 이동 경로는 직선 레일보다는 만곡하거나 오르내리는 레일 위로 이동하는 경우가 많다. 따라서 개폐식 지붕의 디자인에 따라서 <표 2>와 같은 구동방식들이 선택된다.

<표 2> 구동방식의 분류

이동방식	개념도	해설
자주방식		주행바퀴를 동력에 의하여 회전시켜 주로와 바퀴의 마찰력에 의하여 구동시킨다. 수평 주로에 적합하다
랙 & 피니언 방식		주로에 랙을 배치하여 피니언을 동력에 의하여 회전시켜 구동시킨다. 이동측에 랙을 배치하는 방법도 있다. 고강성 구배주로에 적합하다
와이어 트레션 방식		윈치에 의하여 와이어 로프를 감고, 감아올려 구동시키는 카운터웨이트를 부착하는 경우도 있다. 저장성의 구배주로에 적합하다
잭 방식		유압등의 잭의 신축에 의하여 구동시킨다. 신축스트로크에 한도가 있으므로 이동거리가 긴 경우는 스트로크별로 크랭크에 의하여 고정, 개방을 반복한다

3. 개폐식 구조물의 설계

3.1 파일럿 프로젝트의 개요

대공간 건축물 기술 개발 연구의 파일럿 프로젝트는 300m 경간 대공간 구조물에 적용을 위해 개발된 요소 기술의 검증을 위한 30m 경간의 실제 구조물을 건설하는 프로젝트이다. 파일럿 프로젝트에 의해 건설된 구조물의 개요는 <표 3>과 같다. 파일럿 프로젝트의 기본적인 구조시스템은 킬아치(Keel Arch)와 케이블-네트(Cable-Net)로 구성되어 있으며 지붕 중앙부에 개폐부가 위치한다. 개폐시스템은 슬라이딩 방식을 적용하였으며 구동은 킬아치를 따라 움직이게 설계되었다. 개폐지붕의 구조시스템

은 대공간 연구단에서 개발한 텐서닝 에어빔 시스템(TABS)를 적용한 경량 지붕을 채용하여 구동장치의 부하를 줄이려는 노력을 하였다.

〈표 3〉 파이롯트 프로젝트의 개요

사업명	한국과학기술대학교 ARCH HALL 조성계획
대상지	충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1800
건축면적	1,007.23m ²
용도	문화 및 집회시설 (전시장)
층수	지상1층 (최고높이 12.55m)
하부구조	철골조
지붕구조	철골 킨아치, 막 구조(PTFE) 및 격자형 케이블 구조(Cable-Net)
개폐식구조	슬라이딩 방식 및 텐서닝 에어빔 시스템(TABS)

이동 지붕의 총 중량은 약 3.4ton 정도이며, 패널 하나당 지붕막의 면적은 150m² 정도이다.

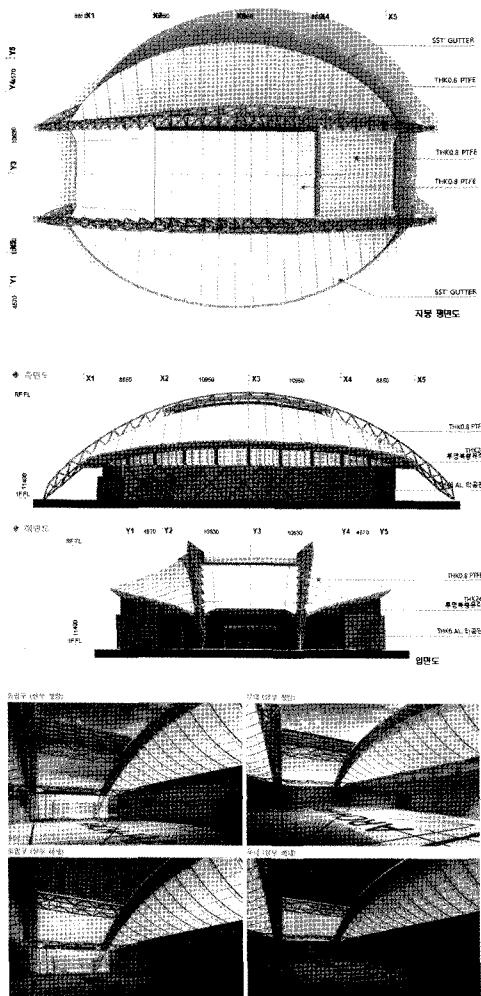
3.2 개폐 시스템의 구성요소 분석

개폐 시스템의 주요구성 요소는 지지 구조물, 레일트랙, 캐리어, 드라이브 어셈블리, 개폐지붕, 안전장치, 제어장치 등으로 구성된다. 파이롯 프로젝트에 적용된 구동방식은 모터 구동방식에 케이블을 조합하여 적용하였다.

지지구조는 중형상하의 정적부하 및 동적부하를 지탱할 수 있는 지붕철골이다. 본 파이롯트 프로젝트에서는 킨 트러스가 그 역할을 하게 된다. 지붕을 개폐하는 동안의 제어 조건은 〈표 4〉와 같다.

〈표 4〉 개폐지붕 동작 제어의 기본 조건

개폐시간	30분 이내
동적구성요소 수명	10,000 사이클 이상
개폐위치 조절기능	가능
자동 off 기능	풍속 27m/sec 이상 강설시 영구부하의 50%이상



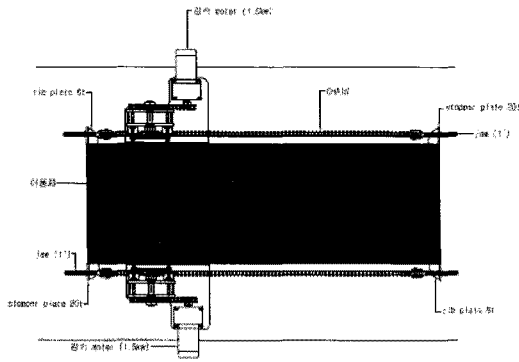
〈그림 1〉 Pilot Project 의 계획도

개폐지붕의 동력원이 되는 드라이브 어셈블리는 대칭방향의 메인 어셈블리와 슬레이브 어셈블리로 구성되며, 하나의 드라이브 어셈블리는 모터, 감속기어, 체인 휠의 조합으로 구성된다. 드라이브 어셈블리는 캐리어에 설치되며 추후 유지보수를 위한 고려가 필요하다. 드라이브 어셈블리에는 추가적으로 레일 이탈 등 비상 시 멈출 수 있도록 하는 요소, 여러 대의 모터중 하나가 고장이 나더라도 개폐지붕의 동작에는 지장을 주지 않는 설계 등 안전장치에 대한 고려도 필요하다.

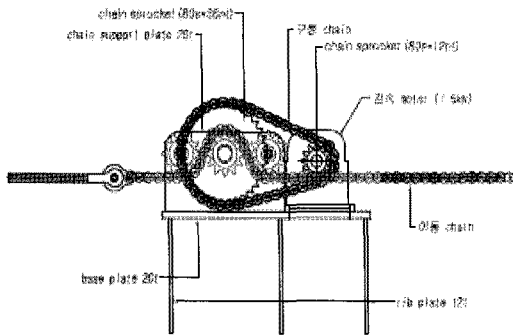
기계적 요소로는 휠, 가드, lateral guide switch, mechanical lock, 접지용 brush 등으로 구성된 Mechanical elements가 있으며, 기계적인 안전장치로는 바람에 의한 개폐지붕의 들림 방지 장치, 유지보수를 위한 개폐지붕의 수동 고정 장치, 레일 양단 개폐지붕용 범퍼 등이 있다. 또한 풍속계 등 기상

조건을 측정하기 위한 장치도 설치해야 한다.

기타장치로는 캣워크와 플랫폼, 경고등과 부저, 드라이브 어셈블리의 보호카버 등이 필요하다. 본 파이롯 프로젝트에 적용된 구동체 도면이다.



〈그림 2〉 구동 시스템 개념도



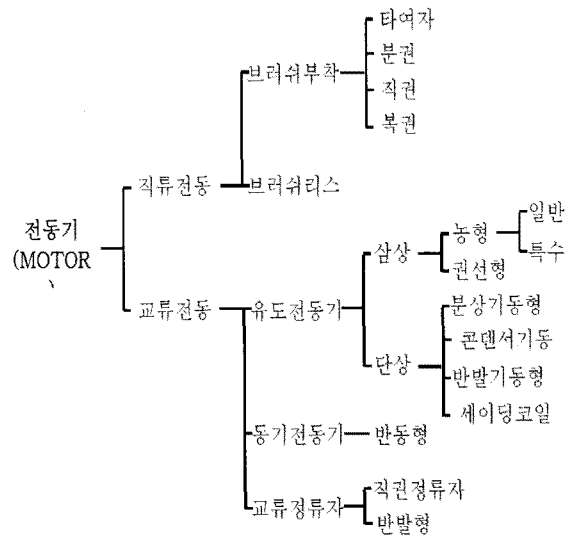
〈그림 3〉 구동체 상세도

3.3 구동 시스템의 선정

개폐식 구조의 구동 시스템의 동력원으로는 구조물의 특성에 따라 차이는 있지만 엔진이나 전동기가 주로 사용된다. 본 프로젝트에서는 전동기를 사용하여 드라이브 어셈블리를 구성하였다.

전동기에는 여러 종류가 있으나 전원으로 구별되며 직류로 구동되는 직류 전동기와 교류로 구동되는 교류 전동기로 크게 나눌 수 있으며 교류 전동기도 회전원리에 따라 유도전동기(Induction Motor), 정류자 전동기(Computator Motor), 동기 전동기

(Synchronous Motor) 등으로 나눌 수 있으며, 유도 전동기가 가장 널리 사용되고 있다. 전동기 분류는 아래와 같다.

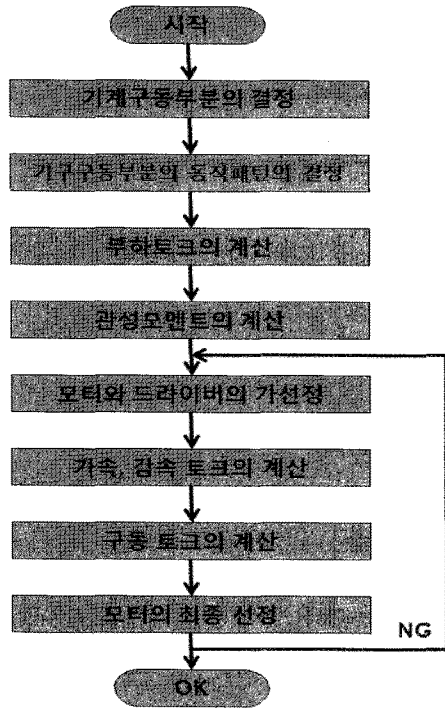


〈그림 4〉 전동기의 종류

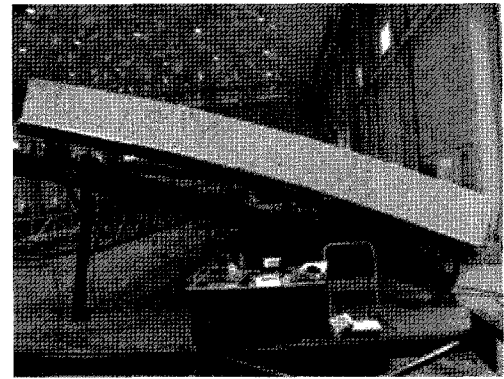
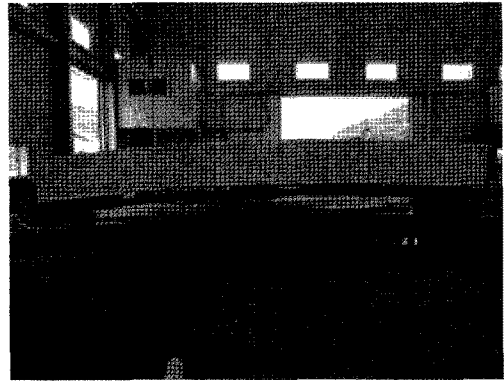
본 개폐식 구조물의 동력원으로는 유도 전동기를 사용하였다. 유도 전동기는 일반 동력원으로써 가장 널리 사용되며 각종 공장, 사업장에서의 동력뿐만 아니라 소동력에 이르기까지 다양하게 널리 보급되어 사용하고 있다.

전동기의 선정 시에는 사용 부하에 적합한 전동기의 전기적 특성 뿐만 아니라 사용 환경 등에 의한 기계적 특성을 고려하여 선정하여야 한다. 전기적 검토사항으로는 부하의 특성, 정격 출력, 사용전압, 상수, 주파수, 속도/극수, 회전자 구조, 기동 방법, 정격, 제동, 적용규격, 토크의 특성, 온도상승/절연 등이 있으며 기계적 검토사항으로는 외피 보호방식, 통풍, 냉각, 동력 전달 구조, 설치조건, 단자, 치수, 소음, 정도, 부하의 종류 등이 있다. 전동기의 용량을 결정하는 순서도는 〈그림 5〉와 같다.

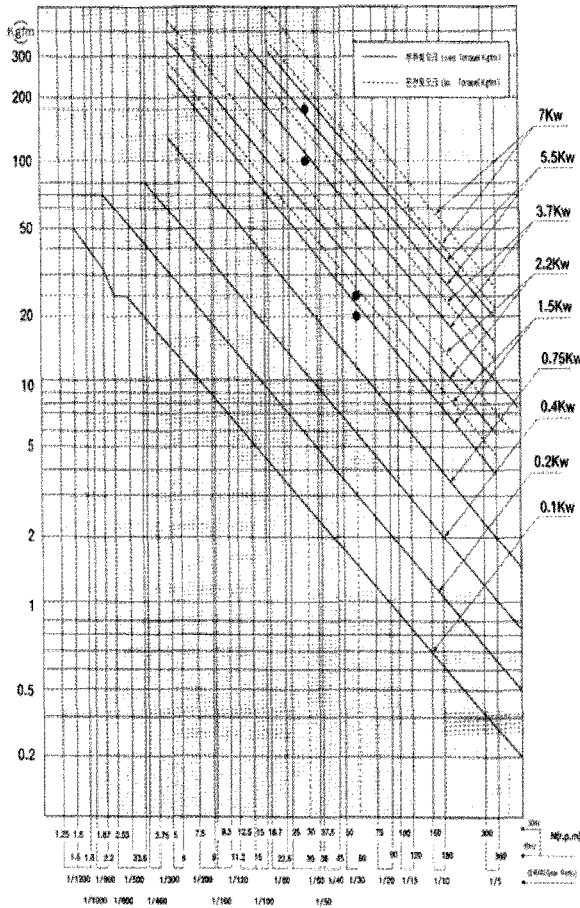
구해진 부하토크와 구동토크에 의하여 출력선정도에 의하여 전동기 용량을 선정하게 된다. 일반적으로 안전율을 고려하여 가능한 높은 쪽으로 선정하게 된다.



〈그림 5〉 전동기 선정 순서도



〈그림 7〉 이동지붕의 등판 실험



〈그림 6〉 전동기 출력 선정도

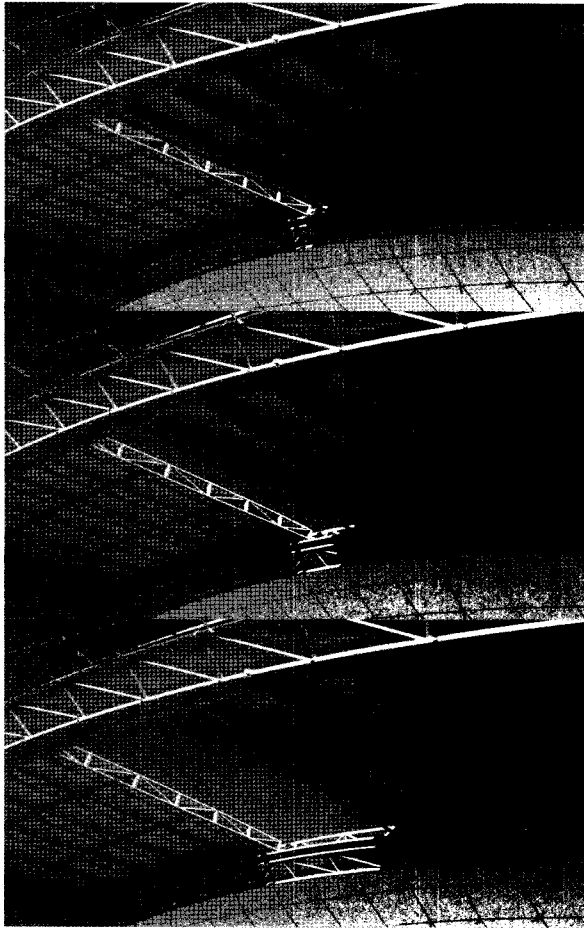
4. 개폐 시스템의 안전성 검토

개폐식 시스템의 안전성성을 검토하기 위해 구조물을 시공하기 전 실 스케일로 제작된 시험체를 가지고 목업 테스트 (Mock-up Test)를 수행하였다. 이동 지붕이 움직일 주로를 제작하여 등판 각도를 실제 각도만큼 조정하여 가동성을 실험하였으며, 이동속도를 변수로 하여 구조물 운용시 적정한 운동 속도를 탐색하였다.

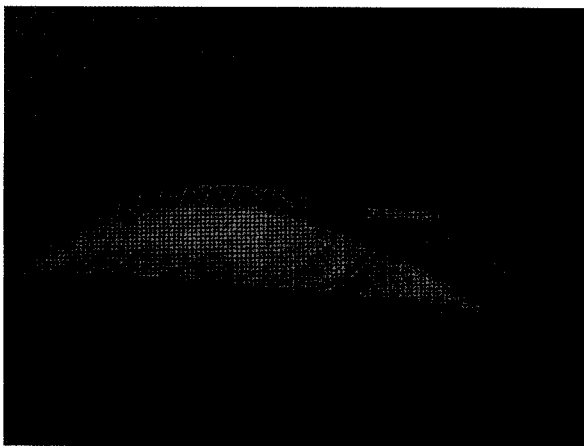


- 이동 속도 패턴
- ✓ Slow : 4m/min
 - ✓ Normal : 7m/min
 - ✓ Fast : 10m/min

〈그림 8〉 이동지붕의 가동속도 실험



〈그림 9〉 시공 후 개폐 테스트



〈그림 10〉 파이롯 프로젝트 전경

구동방식에 대하여 분석하고 파이롯 프로젝트의 적용된 방식에 대하여 소개하였다. 좀 더 대형화된 공간에 적용하기 위한 개폐 구동시스템은 많은 연구가 앞으로 필요할 것으로 여겨진다. 다만 개폐식 구조물에 대한 우리나라에서의 관심이 높아지는 현시점에서 기획자나 설계자에게 조금이나마 유용한 자료의 역할을 할 것으로 판단된다.

- 참고문헌 -

1. 박선우, 최취경, “세계의 대형 개폐식 지붕구조”, 한국공간구조학회 춘계학술발표회 논문집, 2008, 05, pp. 227~231
2. 김석구, 문석용, 전보원, “청도 투우장 지붕돔 구조설계와 시공”, 한국 강구조학회, v15, n4, 2003, 12, pp. 90~98
3. KARNI E., "Retractable spatial structures for swimming pool enclosures", International Journal of Space Structures, 1995, 10, No. 4, pp. 231~236.

5. 결론

본 고에서는 현시점에 있어서 대공간 구조의 커다란 즐거움을 형성하고 있는 개폐식 구조물 적용되는