

개폐식 지붕 구조물의 유지관리 및 운영

The Maintenance and Operation of Retractable Roof Structures



송진영*
Song, Jin-Young



윤성원**
Yoon, Sung-Won

1. 서론

개폐식 지붕은 “지붕을 개방상태, 반 개방상태 및 폐쇄상태 사용하기 위해서 단시간 내에 전체 구조물을 이동하거나 접을 수 있는 구조물의 유형¹⁾”으로서, 1961년 완공된 미국 피츠버그 오디트리움을 시작으로 미국, 일본, 유럽 등의 선진국 중심²⁾으로 1960년대부터 1980년대 초에 날씨와 관계없이 스포츠 경기가 가능하도록 경기장 등에서 많이 도입되었다. 현재는 선택적 자연 채광과 에너지 절감, 개방감 확보에 효과적이고, 환기 및 조망도 가능한 장점이 있어 경기장을 비롯한 복합적인 용도의 다양한 시설물에서 많이 쓰이고 있다³⁾.

국내의 개폐식 지붕구조의 적용 사례는 <Fig. 1>과 같이 반 개폐식 구조의 2001년 준공된 대전월드

컵 경기장, 중앙 원형 부분의 개폐가 가능한 2007년 준공된 청도 소싸움 경기장 및 지붕 전체 개폐가 가능한 2012년 준공된 한국기술교육대학교의 나래 돔 등이 있으며, 개폐식 지붕 구조물은 다목적 시설물의 최적화 요구조건을 충족할 해결책 중 하나로써 지붕 구조물 개폐는 실내·외 행사의 변화를 유동적으로 대처하고 공간의 유연한 변화는 부대시설



(a) Daejeon World Cup Stadium



(b) Cheongdo Bullfighting Stadium



(c) Narae Dome

<Fig. 1> Application case of domestic retractable roof structures

* 학생회원 · 서울과학기술대학교 건축과 박사과정
Department of Architecture, Seoul National University of Science and Technology

** 정희원 · 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Prof.

의 가변성을 부여할 수 있으므로⁴⁾ 국내의 개폐식 지붕 구조물에 관한 관심이 높아지고 있다.

그러나 아직 개폐식 지붕 구조물에 대한 설계 및 시공사례가 미비하므로 유지관리 및 운영 방법에 대한 기술적 자료가 부족한 상태이다. 이에 본 기사에서는 개폐식 지붕 구조물의 유지관리 및 운영에 관한 내용과 일본에 건설된 개폐식 지붕 구조물의 사례를 조사하여 기술하고자 한다.

2. 유지관리 및 운영

개폐식 지붕 구조물의 적절한 관리, 안전 및 원활한 운영을 실현하고 유지관리하기 위해서는 기술 자료 수집, 계획 수립을 통한 개폐식 지붕의 구조 및 운영에 대한 지식이 필요하다. 또한, 개폐를 위

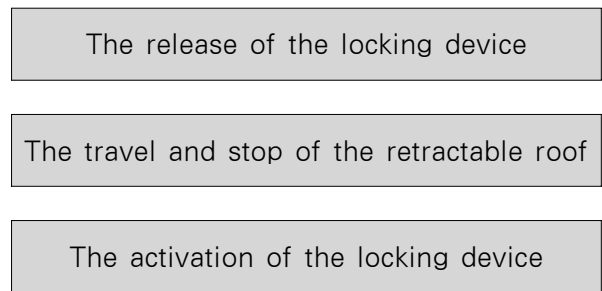
〈Table 1〉 Potential accidents and failures in retractable roof structures¹⁾

Part	Potential malfunctions and failures
Running unit	Falling from rail or cable, floating, brake trouble, insufficient locking device, failure in speed control, swinging, obstacle, fatigue of mechanical unit, wearing, etc. Overrunning or collision due to operating failure. Power failure, electric leakage, disconnection, etc. Failure of synchronization control, zigzag running, falling object due to swinging. Trouble of suspension rope, cut-off rope, etc. Improper running due to unequal settlement. Loosening and falling of bolt due to vibration during running.
Control	Synchronization control : Difference in length of running between left and right. Skew control : Left and right deviation.
Roof surface	Flapping of the roof membrane due to wind during extension or retraction. Contact with solid substances. Derailment of a trolley. Damage to membranes and cables due to repeated folding. Stress concentration on the membrane due to incorrect synchronous control. Morphological change in the membrane due to creep. Insufficient re-pretensioning of membranes and cables.

한 통제 및 작동 방법이 설계자의 설계개념에 따라 정확하게 설정되어야 하며^{1),5)}, 개폐식 지붕 구조물에서 발생할 수 있는 잠재적인 결함과 오류는 〈Table 1〉과 같으며, 복잡한 개폐식 시스템은 하나의 작은 결함이 전체 구조물의 개폐에 결함을 발생시킬 수 있다.

2.1 개폐관리 및 운영 계획^{1),6)}

개폐식 지붕 구조물의 전체 기능 유지와 안전을 위해서 기상 상태, 사용 환경 등의 조건을 기반으로 개폐에 대한 관리 계획 수립해야 한다^{1),6)}.



〈Fig. 2〉 A series of procedures for the operation of retractable roof^{1),6)}

또한, 개폐식 지붕 구조물의 원활한 작동과 안정성을 유지하기 위해 〈Fig. 2〉와 같이 잠금장치 해제, 개폐식 지붕의 움직임과 중지, 잠금장치 작동을 포함한 연속적인 운영에 관한 계획을 수립해야 한다¹⁾.

2.2 개폐 시간 및 풍속 관리^{1),7)}

개폐식 지붕 구조물 개폐는 정밀하고 안전한 최적의 조건으로 가동될 수 있는 유지관리 및 개폐를 위한 적절한 시간이 계획되어야 하며, 개방상태, 반 개방상태, 폐쇄상태와 개폐하는 도중의 풍하중이 다르므로 풍속을 지속해서 측정해야 한다.

개폐 시간에 대한 고려사항

- a) 지붕의 용도에 따라 개폐 시 요구되는 시간을 정해야 함.

풍속에 대한 고려사항

a) 지붕이 열려 있고 바람이 건축물 내부로 불 때, 개폐식 지붕 구조물이 건물의 기능을 방해하지 않아야 함.

b) 지붕이 개방되어 있을 때 풍속이 20m/s 이상 일 경우 내부에 설치된 계측기에 기록되어야 함.

2.3 적설 및 내진 관리^{1),7)}

눈과 지진은 예상되는 지역에 건설되는 개폐식 지붕 구조물에서 고려되며, 눈의 경우 폐쇄상태에서 일반적인 건축물과 같이 고려하지만, 지붕이 열려있을 때 제어의 오작동은 사고를 발생시킬 수 있다.

지진의 경우 지진계의 설치가 필수적이며, 지진이 발생하는 동안 장비의 이탈 방지를 위해 지진관측이 필요하다.

지진 거동 단계별 대응 대책

a) 1단계 : 최대속도 약 25cm/s : 구조체는 탄성 범위 내에서 있어야 하고 탈선 및 제어되지 않는 움직임이 발생해서는 안 됨.

b) 2단계 : 최대속도 약 50cm/s : 구조체는 탄성과 소성 거동을 통해 구조 붕괴, 탈선과 제어되지 않는 움직임 및 건축물의 다른 부분의 추락이 방지되어야 함.

2.4 유지·보수 계획¹⁾

개폐식 지붕 구조물에 대한 내구성을 고려하여 유지·보수 계획을 수립해야 하며, 검사/보수 및 측정 장치/기구의 설명서 내용을 포함한 기술관리에 기반을 둔 예방정비로서, 유지보수는 일일 검사, 정기 검사 및 임시 검사로 구성되어야 한다. 또한, 검사 결과에 기초하여 보수 작업을 해야 한다.

3. 일본 개폐식 지붕 구조물 사례

일본의 개폐식 지붕 구조물의 사례 조사대상은 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Summary of a target building⁸⁾

Target building	Span(m)/ (Opening/Closing area)	Use
Fukuoka Dome	Ø-144×162 / (55×70)	Sports facilities
Ocean Dome	109×300 / (109×206)	Sports facilities
Ariake Colosseum	125×136 / (74×136)	Sports facilities

3.1 Fukuoka Dome^{1),6),7)}

개폐식 지붕 구조물은 세 개의 패널로 이루어져 있으며, 각 지붕의 패널은 125°의 개방 각을 갖는 폴딩 팬 모양의 스틸 트러스 형태로 구성되어 있다.



(a) Closed state (b) Open state

<Fig. 3> Retractable roof of Fukuoka Dome

지붕을 사용하지 않을 때는 원칙적으로 폐쇄하며, 폐쇄된 상태에서 강한 바람 또는 눈에 의한 문제가 발생하지 않도록 유지관리 작업을 수행한다.

<Table 3> Opening/Closing and operation management of Fukuoka Dome

Classification	Opening/Closing and operation management
Wind	Wind velocity become 10m/s or over, retractable roof is as a rule closed.
Snow	When a snowfall is noticed or heavy snow is expected, retractable roof is as a rule closed.
Earthquake	When a seismometer installed on the traveling roadbed detects an earthquake of 50gal of over, control corresponding to an earthquake is correctly performed.
Opening/ Closing time	20min.
Degree of openness	63%

3.2 Ocean Dome^{1),6),7)}

개폐식 지붕 구조물은 네 개의 독립적인 아치 패널로 이루어져 있으며, 철골프레임 막 구조로서 철골프레임 트러스 부재에 고정되어 있다.



(a) Closed state (b) Open state

〈Fig. 4〉 Retractable roof of Ocean Dome

내부패널 막 표면에 초기장력이 도입되는 면을 따라 높은 풍하중에 의한 막 표면의 변위를 제어하기 위한 압착 케이블이 설치되어 있다.

〈Table 4〉 Opening/Closing and operation management of Ocean Dome

Classification	Opening/Closing and operation management
Wind	To ensure the safety of the retractable roof during storms, it is as a rule closed.
Snow	When a snowfall is noticed, retractable roof is as a rule closed.
Earthquake	While the seismometer is detecting an earthquake, Retractable roof is as a rule opened and closed. In the event an earthquake is detected during opening or closing, retractable roof movement is automatically stopped.
Opening/Closing time	10min.

3.3 Ariake Colosseum^{1),6),7)}

중축한 지붕 구조물은 코트를 중심으로 남측과 북측으로 양분되어 있으며, 분리된 지붕 구조물은 지상에 설치된 노반 위를 노반의 양단에 설치된 윈치에 의해 작동된다.



(a) Closed state (b) Open state

〈Fig. 5〉 Retractable roof of Ocean Dome

기본적으로 제어실에서 자동적으로 작동시키지만 100m 이상 과주행한 경우 또는 점검 중에는 기계실에서 수동으로 작동시킨다.

〈Table 5〉 Opening/Closing and operation management of Ariake Colosseum

Classification	Opening/Closing and operation management
Wind	The opening and closing operations can be controlled until the maximum instantaneous wind speed reaches 20m/s. If the speed exceeds this limit, retractable roof remains stopped at the basic condition.
Earthquake	When a seismograph located at the control room detects an acceleration greater than that specified, retractable roof stops automatically.
Opening/Closing time	17.5min.
Degree of openness	68%

4. 결론

일본 개폐식 지붕 구조물의 사례를 조사한 결과는 다음과 같다.

첫째, 개폐식 지붕 구조물의 개폐 시간은 10분~20분 정도이며, 개폐식 지붕이 60% 이상 개방되는 것으로 나타났다.

둘째, 풍속은 10m/s~20m/s 범위일 때 개폐식 지붕은 폐쇄하는 것을 원칙으로 하는 것으로 나타났다.

셋째, 강풍의 압력과 같은 풍압과 지진 등의 외력이 개폐식 지붕 구조물에 영향을 미치는 경우에는 폐쇄상태를 유지하는 것을 원칙으로 한다.

끝으로 국내는 아직 개폐식 돔 설계, 시공, 유지관리 분야 등이 시작 단계이기 때문에 추가로 다양한 대상의 사례를 조사하여 객관적으로 분석할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 국토교통부 도시건축사업(과제번호 : 16AUDP-B100343-02)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Kazuo Ishii, Structural Design of Retractable Roof Structures, WIT Press, 2000
2. Kang, Joo-Won., Kim, Gee-Cheol., Kim, Hyun-Su., Seok, Keun-Young., "(Technical Articles) The Present and Future of Retractable Roof Structures", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.14, No.3, 2014, pp.24-31
3. Kang, Joo-Won., "(Special Articles) Trend of Retractable Roof Structures Technology", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.15, No.4, 2015, pp.4-11
4. Shon, Su-Deok., Hwang, Kyung-jue., Lee, Don-Woo., Lee, Seung-jae., "(Special Articles) Technical Status and Classification of Steel Retractable Roof", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.15, No.4, 2015, pp.12-17
5. Song, Jin-young., Lee, Jong-Ho., Yoon, Sung-Won., "A Preliminary Study on the Development of Maintenance Manual of a Retractable Roof", Proceedings of KASS 2016 Spring Conference, Vol.12, No.1, 2016, pp.67-68
6. Song, Jin-young., Yoon, Sung-Won., "A Case Study on the Maintenance of Rigid Retractable Domes", Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol.36, No.2, 2016, pp.1687-1688
7. Song, Jin-young., Yoon, Sung-Won., "Control for Wind Velocity and Opening/Closing Time of Retractable Domes", Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol.36, No.2, 2016, pp.1689-1690
8. Park, Sun-Woo., Choi, Chui-Kyoung., "A Large Retractable Roof Structure in the World", Proceedings of KASS Symposium - Spring 2008, Vol.5, No.1, 2008, pp.227-231