

# 개폐식 건축물의 개폐 시간 및 설계 풍속 사례 분석

## Case Analysis of Open-Close Time of Retractable Building Structure and Design Wind Speed

송진영\*  
Song, Jin-Young

윤성원\*\*  
Yoon, Sung-Won

### Abstract

The retractable roof structure is used in various fields and it is classified for steel retractable system and soft retractable system. For the domestic industry, it is in the initial phase now and the demand of the retractable roof structure is expected to increase in the future. Therefore, this paper is classified for steel retractable system and soft retractable system from the retractable roof structures in overseas to survey and analyze the cases of wind velocity on retractable roof structure in Japan that uses the same wind velocity criteria like Korea regarding the open-close time and average open-close time for retractable roof area.

*Keywords : Retractable roof structure, Opening/closing time, Average wind velocity, Instantaneous wind velocity*

## 1. 서론

개폐식 지붕구조(Retractable roof structure)는 다양한 분야에서 이용된다. 특히 대규모 체육시설과 복합적인 용도의 건축물에서 사용되며,<sup>1)</sup> “건축물 지붕을 개방상태 또는 폐쇄상태로 사용하기 위해서 단시간 내에 지붕 구조물을 이동하거나 접을 수 있는 유형<sup>2)</sup>으로 강성개폐시스템과 연성개폐시스템으로 구분된다. 강성개폐시스템은 “철골로 된 지붕 전체를 몇 개의 부분으로 나누어, 부분별로 이동 및 회전시켜 여닫는 방식”이며, 연성개폐시스템은 “막과 케이블을 이용하여 커튼과 같이 여닫는 방식”이 주를 이룬다<sup>3)</sup>.

개폐식 지붕을 구성하기 위해서는 전체 구조 시스템, 사용조건, 환경조건, 개폐 시 특이사항 및 재난대책을 포함한 유지관리 조건 등을 고려하여야 한다<sup>4)</sup>.

미국, 일본 등 건설 분야 선진국에서는 스타디움과 같은 수용인원 30,000명 이상의 대규모 건축물의 경우 개폐식 지붕구조를 갖는 건축물을 건설하고 있으며, 운영 및 유지관리 분야에 노하우(Know-how)를 가지고 있다. 그러나 국내의 경우 개폐식 지붕구조가 적용된 사례는 2001년에 완공된 반 개폐식 지붕의 대전월드컵 경기장이 최초이며, 개폐식 돐구장이 건립된 사례는 없는 실정이다. 앞으로 4계절 기후변화에 능동적으로 대처하고, 환기, 채광 등의 에너지 절감 및 친환경적 공간 창출을 위한 개폐식 지붕구조의 건축물 수요가 증가할 것으로 예상된다<sup>5)</sup>.

따라서 국내 개폐식 지붕을 갖는 건축물 건설 시 안전성과 사용성을 확보할 수 있는 원활한 운영 및 유지관리에 관한 연구가 필요하다. 이에 본 논문은 개폐식 지붕 건축물 유지관리 매뉴얼 개발에 앞서

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

\*\* 교신저자, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology, Prof.  
Tel: 02-970-6587 Fax: 02-979-6563  
E-mail: swyoon@seoultech.ac.kr

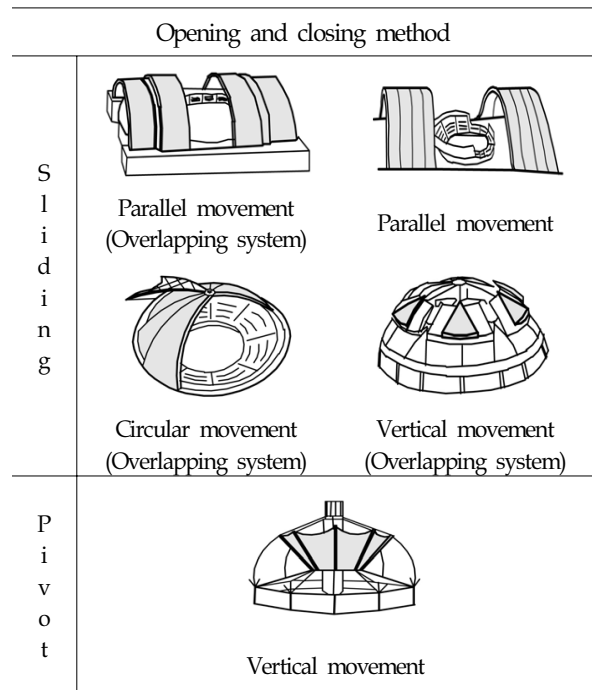
해외 개폐식 지붕구조물 중 41동의 강성개폐시스템과 연성개폐시스템을 분류하여 개폐 지붕 면적에 따른 개폐 시간과 평균 개폐 시간을 조사·분석하였다. 또한, 국내와 같은 풍속 기준을 사용하고 있는 일본에 위치한 개폐식 지붕 건축물에 대한 설계 풍속 사례를 조사·분석하여 국내 개폐식 건축물의 운영 및 유지관리 매뉴얼 개발에 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 개폐식 지붕 시스템 분류

개폐식 지붕의 개폐 형식은 크게 강성개폐시스템과 연성개폐시스템으로 구분된다. 또한, 개폐식 지붕이 있는 건축물의 안전은 구조적 설계로 보장되며, 지붕의 개폐 관리로 유지된다<sup>2)</sup>.

### 2.1 강성개폐시스템

지붕의 개폐 면은 다양한 구조형식의 강성 패널로 구성되며, 구동장치(Driving device)에 의해 이동한다. 유리, 금속시트 및 막재 등이 마감재로서 개폐 면을 덮는다<sup>6)</sup>.

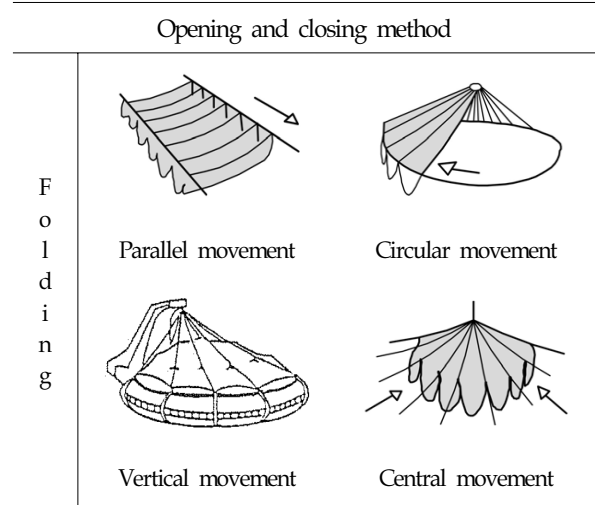


〈Fig. 1〉 Classification of steel retractable roof structures<sup>2),6)</sup>

강성 패널을 이동시키는 개폐 형식의 지붕은 이동 패널의 하중을 지지하는 구조와 하부구조에 안전하게 전달하면서 이동시킬 수 있는 구동장치(Driving device)로 구성된다. 대부분 지붕은 곡면형상으로 계획되며, 이동 패널은 직선의 수평 이동형보다는 곡선 및 상·하 이동형의 경우가 많다<sup>4),6)</sup>.

### 2.2 연성개폐시스템

지붕의 개폐 면은 연성 막재로 구성되고, 막의 폴딩에 의해 개폐된다<sup>6)</sup>.

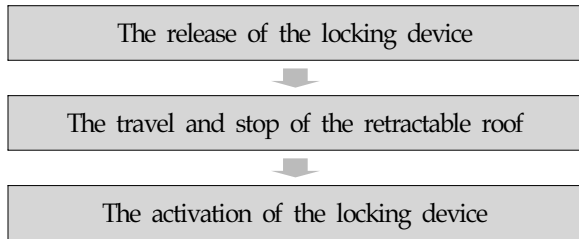


〈Fig. 2〉 Classification of retractable membrane roof structures<sup>2),6)</sup>

폴딩 개폐 막 구조는 트롤리(Trolley)가 막이 접힌 상태로 매달려 있다가 케이블 위를 통해서 움직여 가장자리 텐서닝 장치(Tensioning device)에 도달한 뒤 고정 장치에 의해 고정된다. 이동 과정은 윈치(Winch)나 트랙터(Tractor)에 장치된 구동 모터, 또는 견인하는 줄의 모터의 동력으로 진행된다<sup>7)</sup>.

## 3. 개폐식 지붕의 개폐 관리

개폐식 지붕의 원활한 작동과 안정성을 확보하기 위해서는 기술 자료 수집을 통한 개폐식 지붕의 구조 및 운영에 대한 지식이 필요하며, 관리자는 지붕을 개폐하는 동안 지붕의 시동과 정지 그리고 잠금장치의 작동과 같은 모든 과정에 대한 운영 및 작동 계획을 세워야 한다<sup>2)</sup>.



<Fig. 3> A series of procedures for the operation of retractable roof<sup>2),8)</sup>

개폐식 지붕은 <Fig. 3>과 같이 잠금장치의 해제, 개폐식 지붕의 움직임과 중지, 잠금장치의 작동의 연속적인 순서로 작동되며, 자동 또는 수동 조작이 가능해야 한다<sup>2)</sup>.

Preparation for operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Determine the opening or closing operation taking into account meteorological information, etc.</li> <li>▪ Put on the alert for an alarm or accident.</li> <li>▪ Make sure the traveling path is clear by inspecting it beforehand with the eye or with an ITV camera.</li> </ul>
Operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operate according to the instruction manual.</li> <li>▪ The operator and watchmen should keep in contact with each other to prevent accidents.</li> <li>▪ During the opening or closing operation, make sure that the traveling path is open and clear, and the retractable roof is free from unusual noise or vibration for safe and smooth operation.</li> <li>▪ If any unusual situation has developed during the opening or closing operation, stop the operation, investigate and solve the cause, and confirm safety of operation before restarting operation.</li> </ul>
End operation	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Make sure that the locking device has been activated.</li> <li>▪ Examine all places of concern during operation.</li> <li>▪ Switch the power off.</li> <li>▪ Lock the operating room or control panel.</li> <li>▪ Make an entry in the work diary and message book.</li> </ul>

<Fig. 4> Operating procedure of retractable roof structures<sup>2)</sup>

또한, <Fig. 4>와 같이 개폐식 지붕의 운행 절차는 작동에 대한 기본적인 방식으로써 시동과 정지 과정에서 충격의 방지와 원활한 작동으로 장비의 수명을 연장할 수 있도록 주의를 기울여야 하며, 갑작스러운 기상 변화와 사고 후에 다시 작동하기 위해서는 작동 과정을 사례별로 구분해야 한다<sup>2)</sup>.

### 3.1 개폐 시간 관리

개폐식 지붕 구조는 전체 기능의 유지와 안전을 위해서 기상 상태, 사용 환경 등 조건을 기반으로 개폐에 관한 계획 및 관리를 해야 하며, 안정적이고 안전한 개폐 작동을 보장하기 위해서는 개폐를 위한 통제 및 작동 방법이 설계 개념에 따라서 정확하게 설정되어야 한다<sup>2)</sup>.

<Table 1> Considerations of opening and closing of retractable roof structures<sup>2)</sup>

Classification	Consideration
Safety	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Selection of a safe retraction system.</li> <li>▪ Preparation of safety measures against failure and damage of retracting parts.</li> </ul>
Opening/closing method and driving mechanism	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Complex opening/closing methods should be avoided.</li> <li>▪ Methods or driving mechanisms in which failure or damage of a single part can render the entire system dangerous should be avoided.</li> <li>▪ Methods and mechanisms facilitating easy operation should be selected.</li> </ul>
Hanging fixtures	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fixtures hanging from the inside of the retractable roof may obstruct opening and closing.</li> </ul>

또한, 개폐식 지붕의 용도에 따라 개폐 시 요구되는 시간을 정해야 하며, 지붕이 클수록 개폐 시 안전성이 떨어지고 전기 소모량이 증가하기 때문에 지붕의 개폐 시간은 특정 조건에 따라 결정되어야 한다<sup>2),9)</sup>.

특히, 개폐부와 구동장치(Driving device)는 항상 최적의 조건에서 작동될 수 있도록 유지관리가 계획되어야 한다<sup>2)</sup>.

### 3.2 풍속 관리

설계용 풍속과 관리용 풍속은 다르므로 설계용 풍속을 관리용 풍속에 적용하는 것은 위험할 수 있어 관리용 풍속을 설정해야 한다<sup>9)</sup>.

<Table 2> Considerations concerning wind<sup>2)</sup>

Classification	Consideration
Floating of retractable parts	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Movable parts of the roof may float up by wind depending on their shape. When the parts run on rails, floating decreases the frictional force between rails and wheels. Particularly when the rails are inclined, special attention is required since frictional force decreases greatly. In pulleys run on cable, floating causes derailment of the pulleys.</li> </ul>
Membrane stretched over a frame	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ A membrane should always be tensioned so that forced vibration and flutter due to wind do not occur. Measures for removing precipitation and snow meltwater accumulated on a membrane should be devised, so that ponding does not occur due to precipitation, snow meltwater or accumulated snow.</li> </ul>
Cable structure	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Attention should be paid to stability against wind as well as to vibration and swing due to wind.</li> <li>■ Main cable materials should not loss tension under load.</li> </ul>
Driving mechanism	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ During opening and closing, magnitudes of wind force transferred to each driving part are not the same. Therefore, synchronous control of each driving part should be performed to prevent snaking movement of the movable parts.</li> </ul>
Cable for mechanical parts	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ When the cable traction method is adopted for movable parts, attention should be paid to behavior and vibration of the cable due to wind.</li> </ul>

예상할 수 없는 바람은 계절풍, 돌풍 등이 있다. 계절풍은 장소에 따라 다르지만, 육상에서 평균 풍속(Average wind velocity)은 1~20m/sec, 전선 통과에 따른 바람의 평균 풍속은 10m/sec 정도이며, 돌풍의 평균 풍속은 10~20m/sec이다. 이것을 고려한 개폐 지붕의 개폐 관리 평균 풍속은 10~15m/sec 정도로 하는 경우가 많다<sup>9)</sup>.

<Table 3> Opening and closing control in strong wind conditions<sup>2)</sup>

Classification	Detail
Closed state	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ The roof is closed when wind velocity exceeds a certain value.</li> <li>■ This plan is selected when the opening and closing method and open shape of the structure are disadvantageous against wind load, or when the interior should not be subjected to wind and rain.</li> </ul>
Open state	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ The interior structure will be subjected to strong wind and rain.</li> <li>■ This plan is selected when the closed-state structure is disadvantageous for resisting strong wind or storms, for economic reasons or in cases where the structure should be open because the wind velocity exceeds a predetermined value.</li> </ul>

또한, 개폐식 지붕은 개방상태, 폐쇄상태, 반 개방상태와 개폐하는 도중의 풍하중이 다르므로 풍속을 지속해서 측정 및 기록해야 한다<sup>2)</sup>.

## 4. 개폐식 지붕 사례 분석

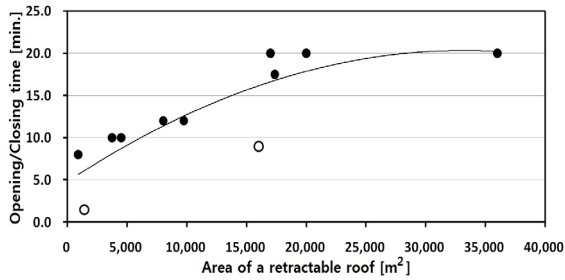
강성개폐시스템 중 Sliding system이 적용된 건축물과 연성개폐시스템 중 Folding system이 적용된 건축물의 개폐 지붕 면적에 따른 개폐 시간 및 국내와 같은 풍속 기준을 적용하고 있는 일본에 위치한 개폐식 지붕 건축물에 대한 설계 풍속 사례를 분석하였다.

### 4.1 강성개폐시스템 개폐 시간 사례 분석

강성개폐시스템 중 Sliding system에 적용된 대상 건축물 27동의 개폐 지붕 면적에 따른 개폐 시간의 영향을 분석하기 위해 <Table 4>와 같이 분류하였다.

#### (1) Parallel movement

Sliding system - Parallel movement는 <Fig. 5>와 같이 개폐 지붕 면적이 증가함에 따라 개폐 시간이 비례하여 증가하고 있다.



<Fig. 5> Sliding system - Parallel movement

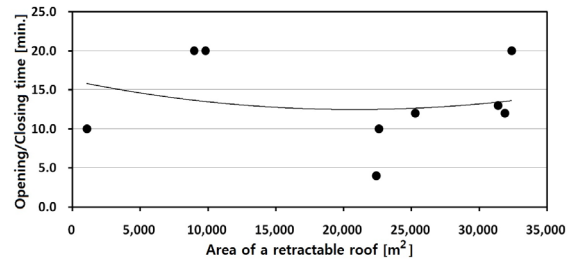
Gerry Weber Tennis Court를 제외한 개폐 지붕 면적 10,000㎡ 이하의 평균 개폐 시간은 10.4분이며, Lucas Oil Stadium을 제외한 개폐 지붕 면적 10,000㎡ 이상의 평균 개폐 시간은 19.4분이다.

반면, <Fig. 5>의 “○”로 표시된 개폐 지붕 면적 10,000㎡ 이하인 Gerry Weber Tennis Court의 경우 경량 철골 및 ETEF 막재를 사용한 에어쿠션 구조로 지붕 중량이 감소하여 개폐 시간이 단축되었다.

또한, 10,000㎡ 이상인 Lucas Oil Stadium의 경우 노출된 강재 트러스에 장착된 5개의 경사진 레일 위를 이동하는 형식으로써 개폐 시간이 같은 면적의 지붕보다 단축되었다.

(2) Parallel movement(Overlapping system)

Sliding system - Parallel movement(Overlapping system)는 <Fig. 6>과 같으며, 개폐 지붕 면적 증가에 따른 개폐 시간의 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 평균 개폐 시간은 13.4분이다.

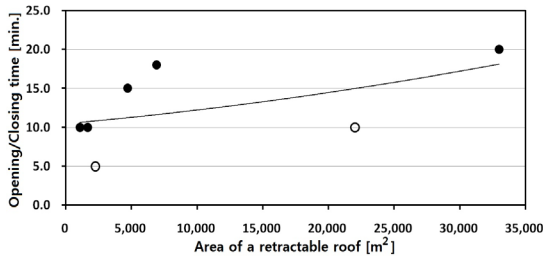


<Fig. 6> Sliding system - Parallel movement (Overlapping system)

<Table 4> Opening/closing time of steel retractable roof structures<sup>2), 10), 11), 12), 13), 14), 15), 16), 17), 18)</sup>

Retractable system	Name of building	Completion year	Retractable roof area (m <sup>2</sup> )	Opening/closing time (min)	
Sliding system	Parallel movement	SafeCo Field	1999	36,000	20
		Oita Big Eye Stadium	2001	20,000	20
		Ariake Coliseum	1991	17,366	17.5
		Nantong Stadium	2010	17,000	20
		Lucas Oil Stadium	2008	1,6000	9
		Cowboys Stadium	2009	9,750	12
		University of Phoenix Stadium	2006	8,030	12
		Hisense Arena	2000	4,500	10
		Komatsu Dome	1997	3,750	10
		Gerry Weber Tennis Court	1994	1,400	1.5
	Plaza de toros de Morzarzal	2003	900	8	
	Parallel movement (Overlapping system)	Toronto Sky Dome	1989	32,374	20
		Reliant stadium	2002	31,900	12
		Marlins Ballpark	2012	31,401	13
		Minute Maid Park	1999	25,276	12
		Ocean Dome	1993	22,600	10
		Chase Field	1998	22,400	4
		Misaki Park Stadium	2003	9,794	20
		Millennium Stadium	1999	8,960	20
	Sin-Amagi Dome	1997	1,044	10	
Circularly movement (Overlapping system)	Fukuoka Dome	1993	33,000	20	
	Miller Park	2001	22,000	10	
	Sendai dome	2000	6,900	18	
	Tajima Dome	1998	4,700	15	
	Mukogawa Gakuin School Pool	1991	2,237	5	
	Kyoto Municipal Pool	1995	1,670	10	
Yokote Dome theater	1993	1,072	10		

(3) Circularly movement(Overlapping system)  
Sliding system - Circularly movement(Overlapping system)는 <Fig. 7>과 같다.



<Fig. 7> Sliding system - Circularly movement (Overlapping system)

개폐 지붕 면적이 증가함에 따라 개폐 시간이 증가하고 있으며, Mukogawa Gakuin School Pool을 제외한 개폐 지붕 면적 10,000m<sup>2</sup> 이하의 평균 개폐 시간은 13.3분이다.

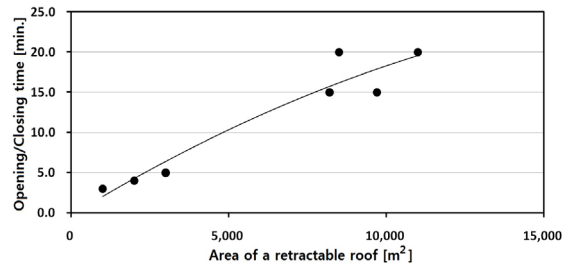
반면, <Fig. 7>의 “○”로 표시된 Miller Park, Mukogawa Gakuin School Pool의 경우 부채꼴 형태로 중심축을 중심으로 이동하며, 여러 개의 개폐 가능한 지붕 패널이 같이 작동하기 때문에 개폐 시간이 단축되었다.

#### 4.2 연성개폐시스템 개폐 시간 사례 분석

연성개폐시스템 중 Folding system에 적용된 대상 건축물 14동의 개폐 지붕 면적에 따른 개폐 시간의 영향을 분석하기 위해 <Table 5>와 같이 분류하였다.

##### (1) Central movement(Spoked wheel)

Folding system - Central movement(Spoked wheel)는 <Fig. 8>과 같이 개폐 지붕 면적이 증가함에 따라 비례하여 개폐 시간이 증가하고 있으며, 개폐 지붕 면적 5,000m<sup>2</sup> 이하의 평균 개폐 시간은 4분이며, 5,000m<sup>2</sup> 이상의 평균 개폐 시간은 17.5분이다.



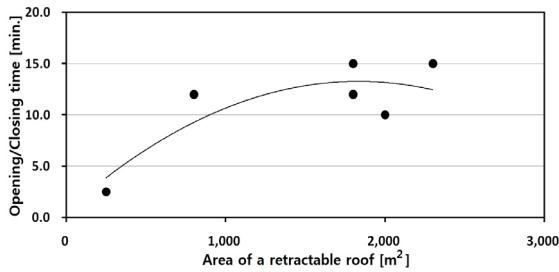
<Fig. 8> Folding system - Central movement (Spoked wheel)

<Table 5> Opening/closing time of retractable membrane roof structures<sup>2),10),19),20),21),22)</sup>

Retractable system	Name of building	Completion year	Retractable roof area (m <sup>2</sup> )	Opening/closing time (min)	
Central Movement (Spoked wheel)	National Stadium Warsaw	2012	11,000	20	
	National Stadium Bucharest	2011	9,700	15	
	BC Place Stadium	2011	8,500	20	
	Commerzbank Arena	2005	8,200	15	
	Centre Court Rothenbaum	1999	3,000	5	
	Kufstein Fortress Arena	2006	2,000	4	
	Zaragoza Arena	1989	1,000	3	
Folding system	Vertical movement (Single mast)	Westbad Regensburg	1972	2,300	15
		Swimming pool St. Fons	1970	2,000	10
		Swimming pool Kleinostheim	1971	1,800	15
		Swimming Pool Rue David D'Angers	1969	1,800	12
	Central Movement (Spoked wheel)	Swimming pool Boulevard Carnot	1966	1,800	12
		Open-air theatre Masque de Fer Casino Palm Beach	1965	800	12
		Hoechst exhibition pavilion	1970	250	2.5

(2) Vertical movement(Single mast)

Folding system - Vertical movement(Single mast) 는 <Fig. 9>와 같이 개폐 지붕 면적이 증가함에 따라 개폐 시간이 증가하고 있으며, 평균 개폐 시간은 11.2분이다.

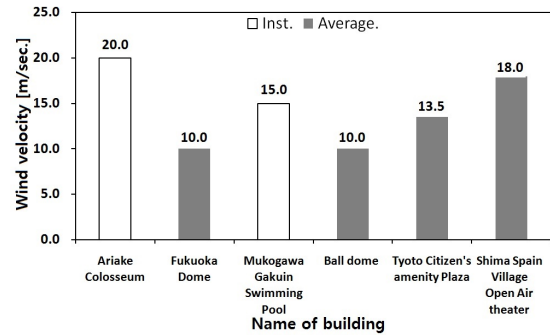


<Fig. 9> Folding system - Vertical movement (Single mast)

4.3 설계 풍속 사례 분석

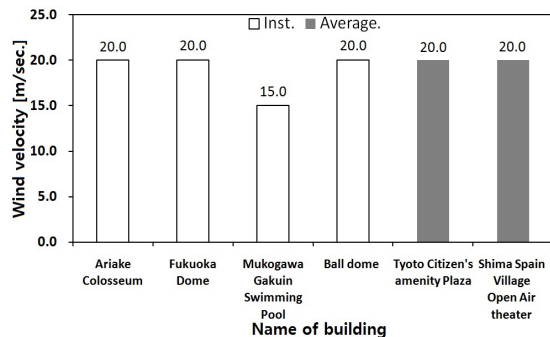
국내와 같이 “관측 시점 이전 10분간 풍속의 평균값을 평균풍속 기준”으로 사용하고 있는 일본에 위치한 개폐식 지붕 건축물의 사용 시 개방상태의 관리풍속(Open state) 및 개방상태의 설계풍속 (Design value of open state), 주행 중의 설계풍속 (Design value during running)은 <Table 6>과 같다.

<Fig. 10>은 원활한 유지관리를 위한 개폐식 지붕의 개방상태에 대한 순간풍속(Instantaneous wind velocity)과 평균풍속(Average wind velocity)이다. 또한, 순간풍속 평균은 17.5m/sec이며 평균풍속 평균은 12.9m/sec이다.



<Fig. 10> Open state

개폐식 건축물의 손상 및 오작동을 방지하기 위해 사용 시 개방상태에서 관리풍속 이상일 때 강성 개폐시스템 지붕의 경우 폐쇄상태로 관리하는 것이 유리하지만, 막과 케이블 구조로 되어있는 연성개폐 시스템 지붕은 개방상태로 관리하는 것이 유리하다. 개폐식 지붕은 개방상태, 폐쇄상태, 주행상태에서 안전한 하중 값 설정 및 관리를 통해 원활한 운영과 유지관리를 수행할 수 있기 때문이다.

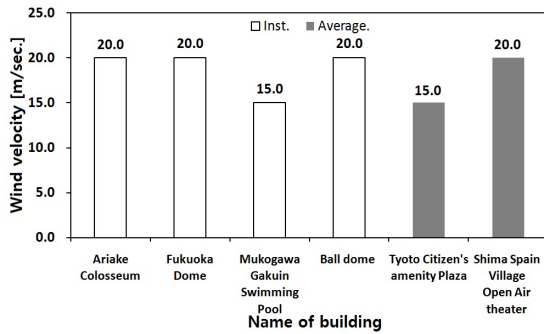


<Fig. 11> Design value of open state

<Table 6> Marginal wind velocity in the open state of retractable roof structures(m/sec)<sup>2),9)</sup>

Name of building	Open state	Design value of open state	Design value during running
Ariake Colosseum	20 (inst.)	20 (inst.)	20 (inst.)
Fukuoka Dome	10 (average)	20 (inst.)	20 (inst.)
Mukogawa Gakuin Swimming Pool	15 (inst.)	15 (inst.)	15 (inst.)
Ball Dome	10 (average)	20 (inst.)	20 (inst.)
Tyoto Citizen's Amenity Plaza	13.5 (average)	20 (average)	15 (average)
Shima Spain Village Open Air Theater	18 (average)	20 (average)	20 (average)

<Fig. 11>과 같이 개방상태의 설계풍속에 대한 순간풍속 평균은 개폐식 지붕 건축물의 사용 시 개방상태의 관리풍속보다 1.3m/sec 높은 18.8m/sec이며, 평균풍속 평균은 7.1m/sec 높은 20m/sec를 나타내고 있다.



<Fig. 12> Design value during running

또한, <Fig. 12>와 같이 주행 중의 설계풍속에서 순간풍속 평균은 개방상태의 설계풍속과 같은 개폐식 지붕 건축물의 사용 시 개방상태의 관리풍속보다 1.3m/sec 높은 18.8m/sec이며, 평균풍속 평균은 4.6m/sec 높은 17.5m/sec를 나타내고 있다.

## 5. 결론

본 연구는 해외 개폐식 지붕 건축물의 개폐 지붕 면적에 따른 개폐 시간 및 평균 개폐 시간을 강성개폐시스템의 Sliding system과 연성개폐시스템의 Folding system으로 분류하여 분석하였으며, 개폐식 지붕 건축물에 대한 설계 풍속 사례를 조사·분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1) 강성개폐시스템의 Sliding system - Parallel movement, Sliding system - Circularly movement (Overlapping system)과 연성개폐시스템의 Folding system - Central movement(Spoked wheel), Folding - Vertical movement(Single mast)는 개폐 지붕 면적이 증가함에 따라 개폐 시간이 증가하는 것을 알 수 있다. 반면, 강성개폐시스템의 Sliding system - Parallel movement(Overlapping system)은 개폐 지붕 면적 증가에 따른 개폐 시간의 상관관계가 없

는 것으로 나타났다.

2) 지붕 면적이 작은 개폐식 건축물의 경우 연성개폐시스템 중 Folding system - Central movement (Spoked wheel)은 같은 연성개폐시스템의 Folding - Vertical movement(Single mast)와 강성개폐시스템에 비해 개폐 시간이 매우 짧은 것으로 확인되었다.

3) 개방상태의 관리풍속(Open state)은 주로 평균풍속(Average wind velocity)을 적용하고 있으며, 평균풍속 평균은 12.9m/sec이다. 반면에 설계풍속의 경우는 주로 순간풍속(Instantaneous wind velocity)을 적용하고 있는 것을 알 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(17AUDP-B100343-03)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. 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
2. Kazuo Ishii., "Structural Design of Retractable Roof Structures", WIT Press, 2000
3. Park, Keum-Sung., Kim, Hyung-Do., Kwak, Myoung-Keun., Lee, Sang-Sup., "(Special Articles) Construction Technology for Retractable Large Spatial Structures", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.15, No.4, 2015, PP. 24~30
4. Sur, Sam-Yeol., Lee, Jang-Bog., Jang, Myoung-Ho., Ko, Kwang-Woong., "(Research Articles) Drive System of Retractable Structure", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.11, No.2, 2011, PP. 5~10
5. 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
6. Park, Sun-Woo., Choi, Chui-Kyoung., "Case Study on Opening-System of the Retractable Roof Structures", Proceedings of KASS Symposium - Spring 2007, Vol.4, No.1, 2007, PP. 37~43
  7. Hwang, Kyung-Ju., Shon, Su-Deok., Lee, Don-Woo., Lee, Seung-Jae., "(Special Articles) Technical Status and Driving Mechanism of Retractable Membrane Roof", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.15, No.4, 2015, PP. 18~23
  8. Song, Jin-Young., Yoon, Sung-Won., "(Technical Articles) The Maintenance and Operation of Retractable Roof Structures", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.16, No.3, 2016, PP. 13~17
  9. Kim, Jae-Yeol., "Retractable roof design", GOOMI SEOGWAN, 2012
  10. Motoi Masubuchi., "Conceptual and Structural Design of Adaptive Membrane Structures with Spoked Wheel Principle - Folding to the Perimeter", Shaker Verlag, 2013
  11. [www.kiewit.com/projects/building/sports-entertainment/safeco-field/](http://www.kiewit.com/projects/building/sports-entertainment/safeco-field/)
  12. [www.oita-sportspark.jp/facility/dome/](http://www.oita-sportspark.jp/facility/dome/)
  13. [http://stadiumdb.com/stadiums/chn/nantong\\_stadium](http://stadiumdb.com/stadiums/chn/nantong_stadium)
  14. [www.stadiumsofprofootball.com/stadiums/university-of-phoenix-stadium/](http://www.stadiumsofprofootball.com/stadiums/university-of-phoenix-stadium/)
  15. [www.hisensearena.com.au/about/history/](http://www.hisensearena.com.au/about/history/)
  16. [www.interempresas.net/Hardware/Articles/14330-Moralzarzal-a-unique-architectural-project-mobile-cover.html](http://www.interempresas.net/Hardware/Articles/14330-Moralzarzal-a-unique-architectural-project-mobile-cover.html)
  17. [www.uni-engineer.com/reliant-stadium.html](http://www.uni-engineer.com/reliant-stadium.html)
  18. [http://miami.marlins.mlb.com/mia/ballpark/retractable\\_roof\\_facts.jsp](http://miami.marlins.mlb.com/mia/ballpark/retractable_roof_facts.jsp)
  19. [www.stadiumguide.com/stadionnarodowy/](http://www.stadiumguide.com/stadionnarodowy/)
  20. [https://en.wikipedia.org/wiki/Arena\\_Națională](https://en.wikipedia.org/wiki/Arena_Națională)
  21. <http://www.sbp.de/en/project/national-stadium-bucharest/>
  22. <http://tensileevolution.com/new-page-4>
- Received : April 05, 2017
  - Revised : May 02, 2017
  - Accepted : May 02, 2017