

# 풍동 실험을 통한 개폐식 돔 지붕의 외장재용 풍압 계수와 풍하중 기준 비교

## Comparison of Wind Pressure Coefficient and Wind Load Standard for Cladding in a Retractable Dome Roof by Wind Tunnel Test

천 동 진\*  
Cheon, Dong-jin

김 용 철\*\*  
Kim, Yong-Chul

윤 성 원\*\*\*  
Yoon, Sung-Won

### Abstract

The biggest impact on the cladding design of buildings is wind loads. Wind tunnel tests were conducted to examine the applicability of current wind load standards about membrane retractable roof spatial structure. A dome model with a circular shape that is retractable to the center of the dome was made (Opening ratio = 0, 10, 30, 50). In addition, height adjustable turntables were made and tested with five patterns with  $H/D = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$  and  $0.5$ . The maximum wind pressure coefficient and the minimum wind pressure coefficient for the cladding were analyzed and the experimental wind pressure coefficient were compared with the current wind load standards, KBC2016 and AIJ-RLB(2015). The experimental value and the reference value of the enclosed roof were very similar and showed possibility of application, but opened roof case was found that the reference value was underestimated.

*Keywords : Retractable dome roof, Wind pressure coefficient of cladding, Wind tunnel test, Wind load standard*

## 1. 서론

건축물의 외장재 설계에 가장 큰 영향을 미치는 하중은 풍하중이다. 특히 연성 대공간 구조물은 장경간의 지붕 구조와 가벼운 막 재료를 이용하여 구성되기 때문에 풍하중이 구조 안정성에 많은 영향을 미친다. 실제로 국내외 대공간 구조물에서 강풍에 의한 피해 사례가 많이 발생하였으며, 그 중에서도 풍하중 산정의 실패가 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다<sup>1),2)</sup>.

최근 관심과 수요가 증가하고 있는 개폐식 대공간 구조물은 상황에 따라 개방 또는 닫힌 상태로 운

영되기 때문에 개폐 상태에 따른 풍하중을 고려해야 한다. 그러나 현재 풍하중 기준에서는 개방형 돔 지붕에 대한 풍압 계수를 제시하고 있지 않기 때문에 개폐 상태에 따른 풍하중을 예측하는데 어려움이 있다. 일반적으로 실시 설계 단계에서 풍동 실험을 실시하지만, 기본 설계 단계에서는 풍하중 기준을 이용하여 풍하중을 산정한 뒤 이를 근거로 구조 형식과 부재를 결정하는 경우가 많다. 따라서 개폐식 돔 지붕에 대한 안정적인 풍하중을 예측하고 설계 단계에서의 시행착오를 줄이기 위해서는 개방형 돔 지붕에 대한 적절한 풍압 계수를 산정할 필요성이 있다. Cheon & Yoon(2017)의 선행 연구에서 국내에 건설된 경기장 두 곳을 대상으로 풍압 계수를 풍하중 기준과 비교하였다. 그러나 이 연구에서는 풍하중 기준에서 제시하는 원형 구조물이 아닌 타원형이었고, 개방된 지붕의 경우 개폐식 돔 지붕 구조물이라고 보기에는 그 형태가 명확하지 않아 비교에 한계가 있었다<sup>1-3)</sup>.

본 논문에서는 기준에서 제시하는 원형의 개폐식 돔 지붕 모형을 제작하여 도시 주변부를 모의한 국

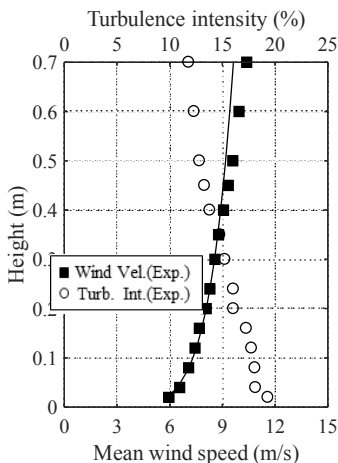
\* 학생회원, 서울과학기술대학교 건축과, 석사과정  
Dept. of Architecture, Seoul National University of Science and Technology  
\*\* 정회원, 동경공예대학교 건축학과 부교수, Ph.D.  
Tokyo Polytechnic University  
\*\*\* 교신저자, 정회원, 서울과학기술대학교 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Seoul National University of Science and Technology  
Tel: 02-970-6587 Fax: 02-979-6563  
E-mail: swyoon@seoultech.ac.kr

내 기준의 지표면 조도 B를 적용하여 다양한 조건 (돔 지붕의 개폐율 0%, 10%, 30%, 50%,  $H/D=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ )으로 풍동 실험을 실시하였고 외장 재용 풍압 계수를 각 조건에 따라 분석하였다. 또한 일본 풍하중 기준(AIJ-RLB(2015)) 및 국내 풍하중 기준(KBC2016)과 비교하여 밀폐형 및 개방형 대공간 구조물에 대한 풍압 계수 적용성을 검토하였다.

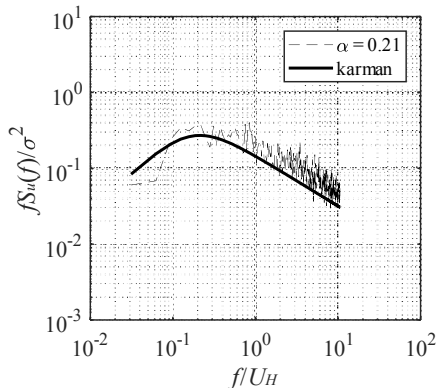
## 2. 풍동 실험

### 2.1 풍동 기류의 작성

풍동 실험은 일본에 위치한 동경공예대학의 대형 경계층 풍동 실험실에서 실시하였다. <Fig. 1>은 실험에 이용한 평균 풍속의 연직 분포 및 풍속의 난류 강도 분포를 나타낸 것이다. 실험은 국내 기준 지표면 조도 B, C를 모의한 2가지 기류를 대상으로 실시하였으며, 이 중 계수값이 크게 나타나는  $\alpha = 0.21$ 의 데이터를 대상으로 분석을 실시하였다.



<Fig. 1> Profiles of experimental flows

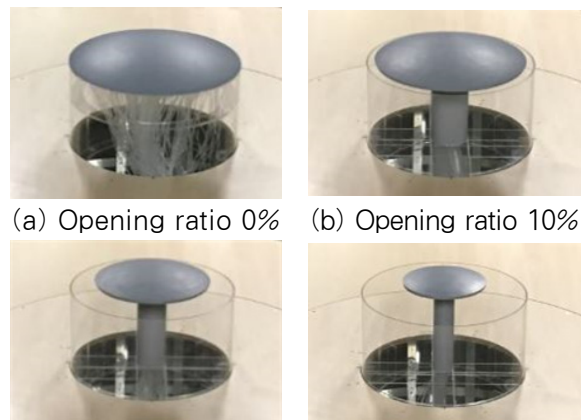


<Fig. 2> Power spectra of velocity fluctuations

풍속의 난류 강도 분포는 실험 조건 중 가장 높은 비율인 Wall height/Span ratio( $H/D$ )=0.5의 지붕 최고 높이( $H_{ref}$ ) 240mm에서 19%이다. <Fig. 2>는 실험 풍속의 변동 성분 파워 스펙트럼을 나타낸 것이다. 지붕면 최고 높이( $H_{ref}$ ) 240mm에서의 변동 풍속 파워 스펙트럼으로 Karman type에 근사하였다.

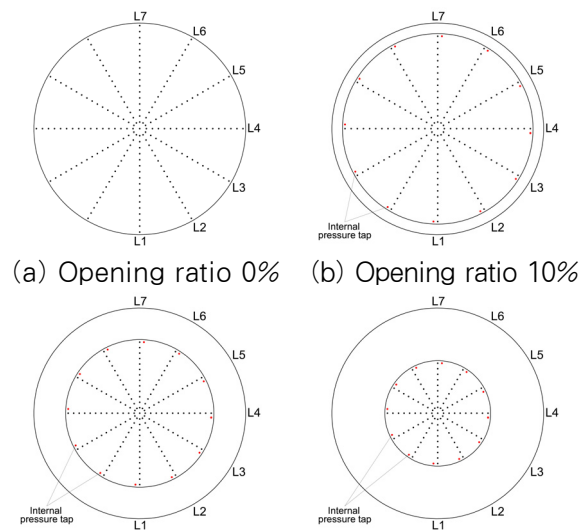
### 2.2 모형 및 데이터 측정 방법

<Fig. 3>은 실험에 사용된 모형의 사진이며, 4가지의 개폐율(0%, 10%, 30%, 50%)로 제작하였다.



(a) Opening ratio 0% (b) Opening ratio 10%  
(c) Opening ratio 30% (d) Opening ratio 50%  
<Fig. 3> Test dome models

<Fig. 4>는 개폐율별 모형에 위치한 풍압 측정점을 나타낸 것이다. 돔 중심에서 지붕의 단부 방향으로 풍압 측정점을 설치하였고, 30°로 총 12개 라인(L)으로 구성된다.



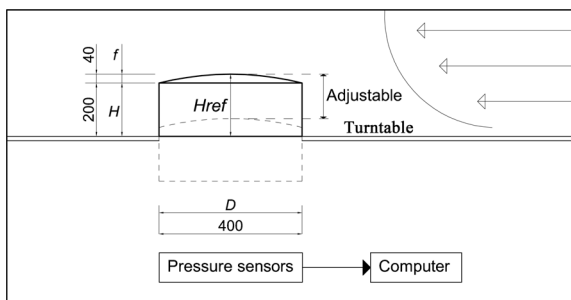
(a) Opening ratio 0% (b) Opening ratio 10%  
(c) Opening ratio 30% (d) Opening ratio 50%  
<Fig. 4> Position of pressure tap

개폐율에 따라 풍압 측정점의 개수는 달라지며, 개방된 지붕의 내측면에 외측면과 같이 풍압 측정점을 설치할 경우 지붕의 두께가 비현실적으로 증가하므로 지붕 단부에 라인별로 하나의 풍압 측정점을 추가로 설치하였다. 개폐율별 모형에 설치된 총 풍압공의 개수는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Number of pressure tap

Opening ratio(%)	Pressure tap
0	205
10	193(Including inside tap)
30	157(Including inside tap)
50	111(Including inside tap)

돔 모형의 Span 길이는 400mm이며, 돔 지붕의 Rise는 40mm이다. 40mm씩 벽 높이(H)를 증가시키면서 H/D=0.1~0.5로 5가지 패턴에 대해 실험을 실시하였고 <Fig. 5>에 나타내었다.



<Fig. 5> Outline of experiment

선행 연구에서 H/D=0.25 돔 지붕의 다양한 레이놀즈 수(Re=8.30x10<sup>4</sup>~2.02x10<sup>6</sup>)에 대한 풍동 실험을 통해 레이놀즈 수 Re=1.66x10<sup>5</sup>~2.48x10<sup>5</sup> 범위에서 기류의 박리와 재부착이 발생하는 것을 확인하였다<sup>9)</sup>. 본 논문의 지붕 최고 높이(Href) 240mm에서의 평균 풍속과 돔의 외경에 의한 레이놀즈 수는 약 Re=2.2x10<sup>5</sup>이다. 실험을 위한 모형 스케일, 시간 스케일 등 데이터 수집 조건은 <Table 2>에 나타내었다.

<Table 2> Experimental conditions

Condition	
Model scale	1/150
Wind velocity scale	1/3
Time scale	1/50
Number of measurements	10
Sampling frequency (Hz)	1,000

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 실험 데이터 해석 방법

풍동 실험을 통해 얻는 데이터 풍압 P를 지붕의 최고 높이(H<sub>ref</sub>)에 대한 설계 속도압으로 나누어 외장재용 최소 및 최대 풍압 계수를 취득하였으며 사용된 식은 (1), (2)와 같다.

$$C_{P_{min}} = \frac{P_{min}}{q_H} \quad (1)$$

$$C_{P_{max}} = \frac{P_{max}}{q_H} \quad (2)$$

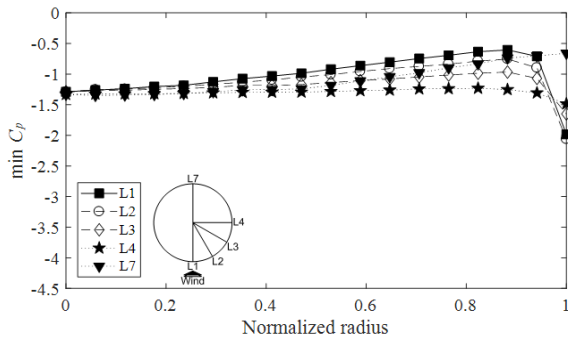
여기서, P<sub>min</sub>는 풍압의 최소치, P<sub>max</sub>는 풍압의 최대치를 나타내며 q<sub>H</sub>는 돔 지붕 최고 높이(H<sub>ref</sub>)에서의 설계 속도압이다<sup>4),5)</sup>.

#### 3.2 외장재용 풍압 계수

밀폐형 돔의 외측 지붕에 작용하는 압력은 접근 기류의 난류와 와류 발생의 영향으로 크게 변동하게 된다. Rise/Span ratio(f/D)가 작을 때 지붕의 단부에서 기류의 전단 박리 발생으로 인해 부압이 크게 발생하게 된다. 반대로 Rise/Span ratio(f/D)가 클 경우에는 접근 기류가 지붕면에 직접적인 영향을 주어 정압이 크게 발생하게 된다<sup>6),8)</sup>. 본 논문에서 모형의 Rise/Span ratio(f/D)는 0.1로 고정하고 밀폐형 및 개방된 지붕(개폐율 10%, 30%, 50%)에 대해 Wall height/Span ratio(H/D)의 변화를 주며 실험을 실시하였다. 원형의 돔은 접근 기류 방향에 대해 지붕의 양측이 대칭의 값을 보여주므로 <Fig. 4>의 L1~L7을 대상으로 산정하여 분석하였다.

##### 3.2.1 최소 풍압 계수

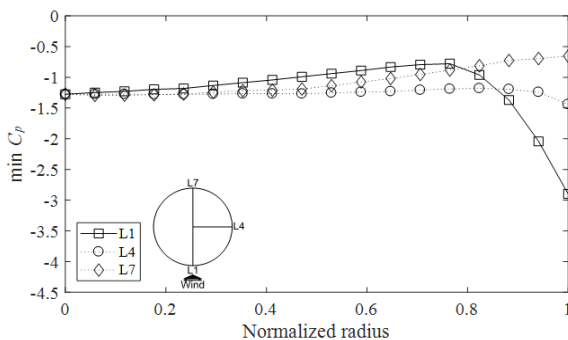
<Fig. 6>은 개폐율 0%에 대한 H/D=0.1의 최소 풍압 계수를 나타낸 그래프이다. 풍압 측정점 라인(L)은 L1~L4 및 L7을 표현하였다. x축은 돔 지붕에 설치된 풍압 측정점의 위치를 무차원화한 무차원 거리를 나타내며, y축은 최소 풍압 계수이다. x축 무차원 거리 0은 돔 중심을 나타내고, 1은 지붕 단부(벽면)를 나타낸다. 접근 기류에 대한 돔 지붕 정면(풍상면) L1의 최소 풍압 계수는 무차원 거리 0.9~1 부근에서 급격한 변화를 보인다. 이후 L2~L3



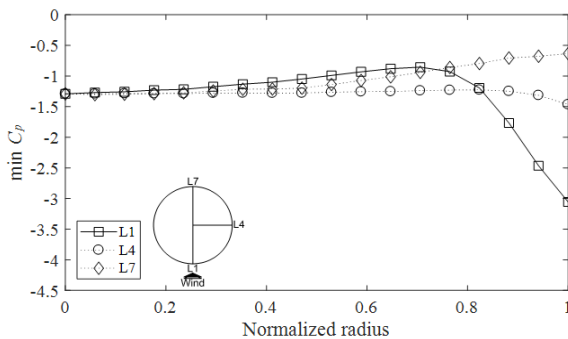
<Fig. 6> minC<sub>p</sub> of opening ratio 0%

에서 급격한 변화가 점차 감소되고 L4에서는 완만한 변화를 보인다. 또한 L7에서 최소 풍압 계수의 절대값이 점차 감소되어 0에 가까워지는 경향을 보인다.

이는 접근 기류가 지붕 정면(풍상면) L1에서 전단 박리되어 와류의 발생으로 인해 급격한 변화를 보이고, 이후 특정 영역에서 재부착이 진행되어 L4부터 안정적인 흐름을 보인다. 또한 돔 지붕 후면인 L7의 무차원 반경 약 0.7에서부터 압력 회복이 발생하여 절대값이 감소되는 것으로 사료된다. <Fig. 7>은 H/D=0.3과 H/D=0.5에 대한 L1, L4와 L7의 최소 풍압 계수를 나타낸 것이다. 최소 풍압 계수의 변화 특성이 H/D=0.1과 유사한 경향을 보이고 있다.



(a) H/D=0.3

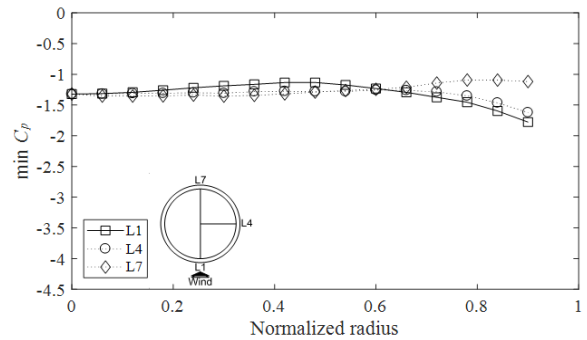


(b) H/D=0.5

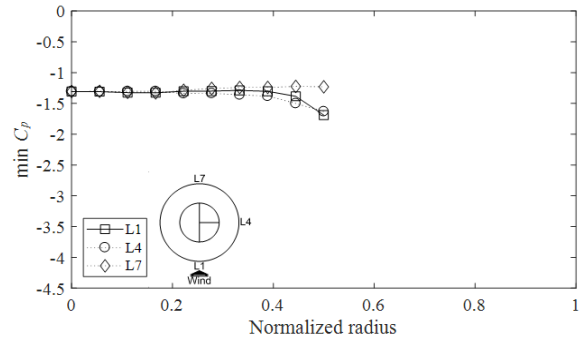
<Fig. 7> minC<sub>p</sub> of opening ratio 0%

그러나 Wall height/Span ratio(H/D)가 높아짐에 따라 돔 지붕에 작용하는 최소 풍압 계수의 절대값이 증가되며, 기류가 전단 박리된 후 재부착 되는 거리가 지붕 단부로부터 멀어진다.

<Fig. 8>은 개폐율 10%와 50%의 H/D=0.5에 대한 L1, L4 및 L7의 최소 풍압 계수이다. 개폐율 30%는 개폐율 10% 및 50%와 동일한 경향을 보이고 H/D=0.5에서 가장 큰 절대값을 보여주므로 개폐율 10%와 50%의 H/D=0.5에 대해서만 표현하였다.



(a) Opening ratio 10% (H/D=0.5)



(b) Opening ratio 50% (H/D=0.5)

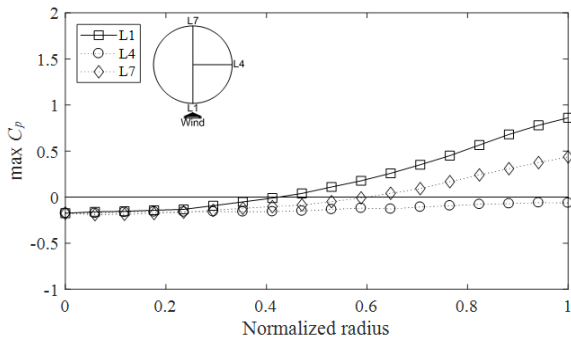
<Fig. 8> Distribution of minC<sub>p</sub> by open state

개방된 지붕의 경우 밀폐형 돔 지붕과는 달리 접근 기류 방향의 지붕 정면(풍상면)에서 발생하는 급격한 변화는 보이지 않는다. 지붕 단부의 절대값이 다른 영역에 비해 조금 크게 나타나지만 비교적 완만한 변화를 보여준다. 이는 개방된 공간으로 인해 기류의 박리에 의한 와류의 영향이 감소되는 것으로 사료된다.

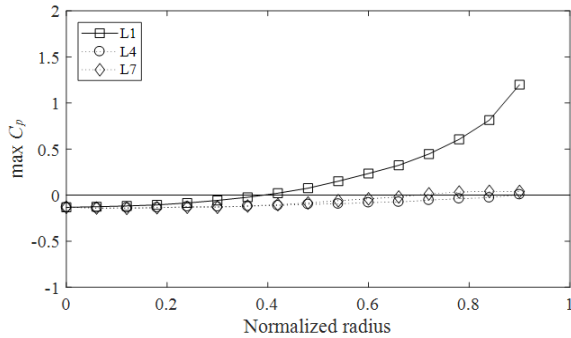
### 3.2.2 최대 풍압 계수

<Fig. 9>는 밀폐형 지붕과 개방된 지붕(개폐율 10%, 50%)의 H/D=0.1의 경우에서 나타나는 최대 풍압 계수를 나타낸 것이다. 밀폐형 및 개방된 지붕 모두에서 H/D=0.1일 때 최대 풍압 계수가 가장 크게 나타나고, H/D가 증가할수록 절대값이 감소되는

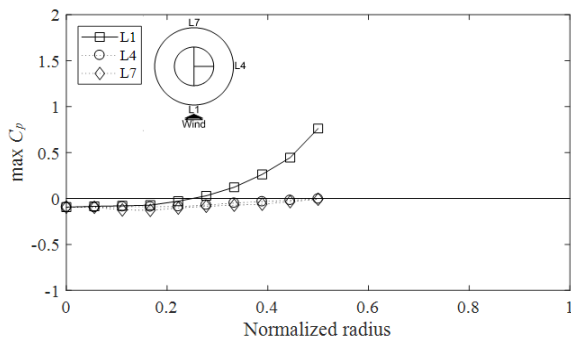
것으로 나타났다. 따라서  $H/D=0.1$ 의 경우만 그래프로 나타내었다. 최소 풍압 계수와 달리 밀폐형 지붕에 비하여 개방된 지붕의 최대 풍압 계수가 최대 +0.3 증가되는 경향을 보인다.



(a)  $\max C_p$  of opening ratio 0%



(b)  $\max C_p$  of opening ratio 10%

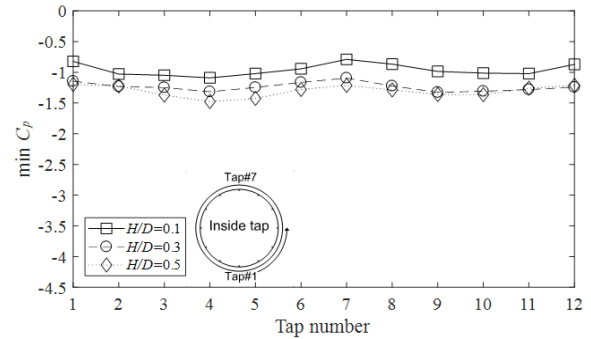


(c)  $\max C_p$  of opening ratio 50%

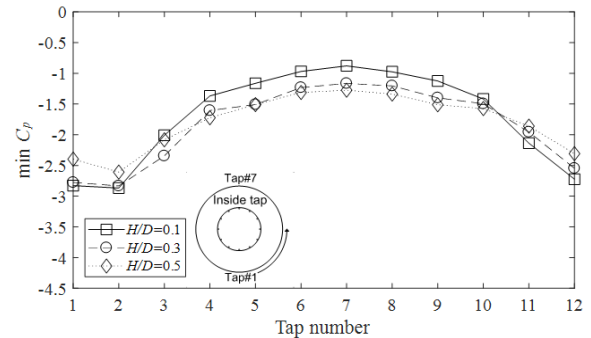
(Fig. 9) Distribution of  $\max C_p$  by opening ratio

### 3.3 지붕 내측면 풍압 계수(내압 계수)

모형의 내측에 12개의 풍압 측정점을 설치하여 풍압 계수를 도출하였다. 내측은 부압이 지배적으로 작용하므로 최소 풍압 계수만 그래프로 나타내었다. <Fig. 10>은 개폐율 10%와 50%의 지붕면 내측 최소 풍압 계수를 나타낸 것이다. x축은 접근 기류의 지붕 정면 내측에 위치한 풍압 측정점(Tap#1)을 시작으로 반시계 방향으로 설치된 풍압 측정점(Tap)의 번호를 나타내고, y축은 최소 풍압 계수값이다.



(a) Opening ratio 10%



(b) Opening ratio 50%

(Fig. 10) Outline of experiment

지붕 내측면의 최소 풍압 계수는 개폐율이 증가할수록 절대값이 커지는 경향을 보인다. 개폐율이 10%일 경우 최소 풍압 계수의 최대값은 <Fig. 10>의 Tap#4 위치에서 -1.5, 개폐율이 50%일 경우 Tap#2 위치에서 -2.8로 나타났다.

## 4. 풍하중 기준과 풍동 실험 결과 비교

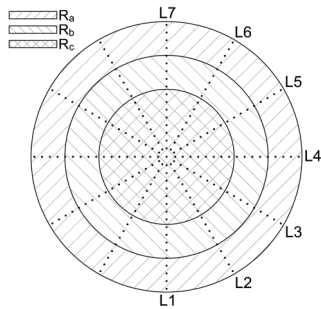
### 4.1 KBC2016 및 AIJ-RLB(2015)

풍동 실험으로 얻어진 외장재용 풍압 계수를 현행 풍하중 기준 KBC2016 및 AIJ-RLB(2015)와 비교하였다. 두 기준은 실험과 동일한 10분 평균 풍속을 사용하고 다른 풍하중 기준에 비해 비교적 상세히 내용을 제시하고 있어 비교를 위한 기준으로 채택하였다. 돔 지붕에 대한 외장재용 풍압 계수 중 지붕면 외측(외압 계수)에 대한 풍압 계수는 두 기준이 동일한 값을 제시하고 있다. 그러나 건물의 내측에 적용하는 풍압 계수(내압 계수)는 상이하다. 따라서 내압의 경우 두 기준 중 내압 계수에 대해 비교적 더 많은 경우의 값을 제시하는 KBC2016을 중심으로 비교하였다. 기준의 풍압 계수는  $H/D=0$ ,

0.25, 1에 대한 값을 제시하고 있으며 그 사이 값에 대해서는 선형 보간을 사용하여 풍압 계수를 산출하도록 설명하고 있다<sup>6),7)</sup>. 따라서 비교를 위한 풍하중 기준의 풍압 계수값은  $H/D=0.1\sim 0.5$ 에 대해 선형 보간하여 정리하였다.

### 4.2 밀폐된 지붕의 외압 계수 비교

풍하중 기준은 밀폐형 돔 지붕 외측에 대해 3가지 영역으로 나누어 부압과 정압의 풍압 계수를 적용하도록 제시하고 있다<sup>6),7)</sup>. 따라서 비교를 위해 기준에서 제시하는 방법으로 실험값을 영역별로 구분하였다. <Fig. 11>은 실험 모형의 지붕을 3가지 영역으로 나누었을 때 영역 안에 중복되는 풍압 측정점을 나타낸 것이다. 이와 같이 영역을 구분한 뒤, 중복된 풍압 측정점의 풍압 계수 중 가장 큰 최대값을 도출하여 기준과 비교하였다.



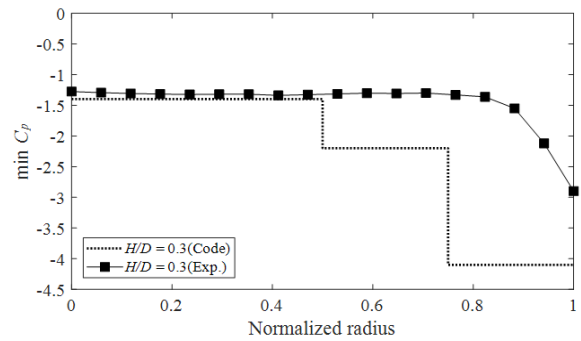
<Fig. 11> Zone classification according to code

<Table 3>은 Wall height/Span ratio( $H/D$ )에 따른 기준과 실험값의 최소 풍압 계수를 정리한 것으로 기준값은 선형 보간, 실험값은 각 영역별 최대값을 도출한 값이다.  $R_c$ 영역의 최소 풍압 계수 값은 유사하게 나타나지만 기류의 전단 박리가 발생하는  $R_a$ 와  $R_b$ 영역의 계수값은 기준에 비해 작게 나타난다.

<Table 3> Comparison of  $\min C_p$

$H/D$	Code			Exp.		
	$R_a$	$R_b$	$R_c$	$R_a$	$R_b$	$R_c$
0.1	-2.9	-1.8	-1.4	-2.1	-1.2	-1.3
0.2	-3.8	-2.1	-1.4	-2.6	-1.3	-1.3
0.3	-4.1	-2.2	-1.4	-2.9	-1.3	-1.3
0.4	-4.0	-2.2	-1.4	-2.9	-1.4	-1.4
0.5	-3.8	-2.2	-1.4	-3.1	-1.3	-1.3

<Fig. 12>는 최소 풍압 계수에 대해 개폐율 0%,  $H/D=0.3$ 의 경우에서 기준과 비교한 것이다. 기준과 실험값의 변화 경향은 유사하게 나타나지만 기준에 비해 실험값이 다소 작게 나타나는데 이는 속도 압력을 정의한 높이, 기류의 차이(실험값  $\alpha = 0.21$ , 기준  $\alpha = 0.27$ )에 기인한 것으로 사료된다.



<Fig. 12> Comparing the  $\max C_p$  of  $H/D=0.3$

<Table 4>는 Wall height/Span ratio에 따른 기준과 실험값의 최대 풍압 계수를 정리한 것으로 최소 풍압 계수와 동일한 경향을 보인다.

<Table 4> Comparison of  $\max C_p$

$H/D$	Code			Exp.		
	$R_a$	$R_b$	$R_c$	$R_a$	$R_b$	$R_c$
0.1	1.3	0.7	0.2	0.9	0.4	0.0
0.2	0.9	0.4	0.1	0.6	0.2	-0.1
0.3	0.7	0.3	0.0	0.6	0.1	-0.1
0.4	0.7	0.3	0.0	0.4	0.0	-0.2
0.5	0.7	0.3	0.0	0.3	0.0	-0.2

Noguchi & Uematsu(2003)는 밀폐형 돔 지붕 풍동 실험을 통해 Rise/Span ratio( $f/D$ )가 작을 때 부압이 지배적으로 발생하는 것을 증명하였다<sup>8)</sup>. 실험값 또한 부압이 지배적으로 발생하는 것을 확인하였고, 기준과 비교하였을 때 실험하는 절대값이 작지만 지붕에 작용하는 풍압의 변화는 동일한 경향을 보였다. 따라서 밀폐형 돔 지붕에 대한 기준의 풍압 계수는 신뢰 가능한 것으로 판단된다.

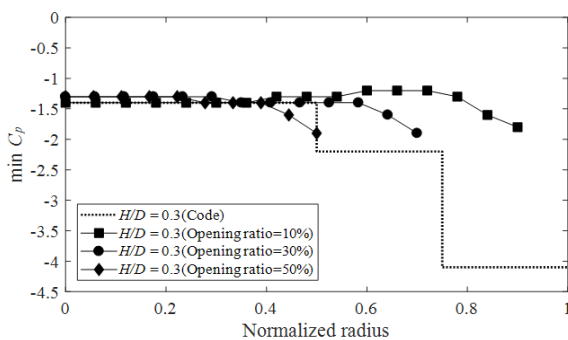
### 4.3 개방된 지붕의 외압 및 내압 계수 비교

개방된 지붕의 풍하중을 예측하는데 현행 풍하중 기준이 적용 가능성이 있는지 파악하기 위하여 실험을 실시하였다. 현행 풍하중 기준은 개방된 지붕에 대한 내용을 명시하고 있지 않아 외압 계수를 밀

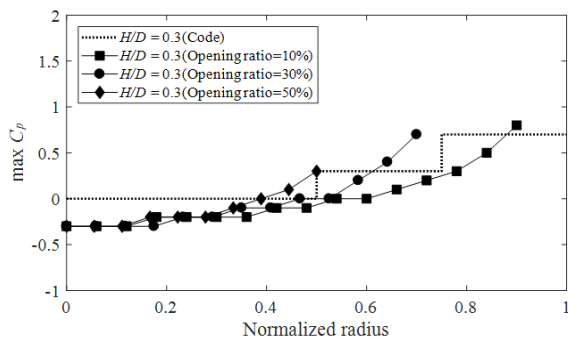


폐형과 동일하게 적용할 수밖에 없다. 그러나 개구부가 존재할 때 내압을 고려하여 가장 불리한 경우를 설계 풍압으로 산정하도록 명시하고 있으므로 이를 적용해 외압 및 내압 계수를 함께 고려한 풍압 계수를 비교하였다.

<Fig. 13>은 개방된 지붕(개폐율 10%, 30%, 50%)  $H/D=0.3$ 의 최소 및 최대 풍압 계수와 기준을 비교한 그래프이다. 풍압 측정점별 계수값이 가장 큰 최대값을 대상으로 표현하였다.



(a) Minimum wind pressure coefficient



(b) Maximum wind pressure coefficient  
<Fig. 13> Comparing the wind pressure of opening ratio ( $H/D=0.3$ )

최소 풍압 계수의 절대값은 개방된 모든 지붕이 비슷한 -1.9의 값을 보이고 기준과 비교하였을 때 그 값이 2.15배 감소하였다. 최대 풍압 계수의 최대값은 개폐율 10%일 때 0.8로 기준과 유사한 값을 보였다. 따라서 현행 기준의 외압 계수값은 실험값에 비해 과대평가 되어 합리적인 설계가 어려울 것으로 판단된다.

그러나 개구부가 있을 시 내압을 같이 고려하도록 기준에서 제시하고 있다. 따라서 외압과 내압을 함께 고려한 풍압 계수를 계산하여 기준과 비교해 보았다. <Table 5>는 KBC2016에서 제시하고 있는

내압 계수와 실험값(개폐율  $H/D=0.3$ )의 내측면 최소 및 최대 풍압 계수이다.

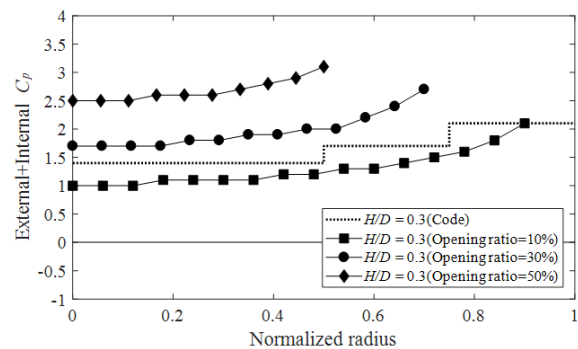
<Table 5> Inter pressure coefficient<sup>7)</sup>

Enclosure classification	Code	Exp.	
Open buildings	0.00	-	
Partially enclosed buildings	$\pm 0.83$	10%	-0.1
			-1.3
	$\pm 1.40$	30%	-0.1
		50%	-0.2
		-2.8	
Enclosed building	0 or -0.52	-	

실험값은 부압이 지배적으로 발생하므로 지붕 외측에 정압, 내측에 부압이 발생하는 경우를 가장 불리한 조건으로 가정하고 풍압 계수를 산정하였다. 비교에 적용된 기준의 내압 계수는 -1.40이며, 풍압 계수는 식 (3)을 이용하여 계산하였다.

$$GC_{pe} - GC_{pi} \tag{3}$$

여기서  $GC_{pe}$ 는 지붕 외측면의 풍압 계수(외압 계수),  $GC_{pi}$ 는 지붕 내측면의 풍압 계수(내압 계수)이다. <Fig. 14>는  $H/D=0.3$  경우에서 외압 및 내압을 합산해 계산된 풍압 계수의 비교 결과이다.



<Fig. 14> Comparing the external and internal  $C_p$  of  $H/D=0.3$

개폐율 10%의 경우 기준과 유사한 값을 보였으나 개폐율이 증가할수록 계수값도 함께 증가해 개폐율 30%와 50%에서 기준이 실험값에 비해 작게 나타났다. 따라서 지붕이 개폐될 때 지붕의 외측면 풍압 계수(외압 계수)는 감소하여 기준이 과대평가 되지만, 지붕의 내측면(내압 계수)을 함께 고려하였을 경우 기준이 과소평가 되는 것을 알 수 있다.

## 5. 결론

원형의 개폐식 돔 지붕 모형을 제작하여 풍동 실험을 실시하였다. 이를 통해 취득한 외장재용 풍압 계수를 기준과 비교하여 개폐식 돔 지붕의 풍하중 예측을 위한 기준의 적용 가능성을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 밀폐형 돔 지붕의 경우 부압이 지배적으로 발생하고 접근 기류 방향의 지붕 정면(풍상면)에서 기류의 전단 박리에 의해 최소 풍압 계수의 급격한 변화를 보였다. 그러나 개방된 돔 지붕의 경우 최소 풍압 계수에서 접근 기류 방향의 지붕 정면(풍상면)에 급격한 변화는 발생하지 않고 완만한 변화를 보였다.

2) 개방된 지붕은 최소 풍압 계수에서 전단 박리에 의한 급격한 변화가 사라지면서 접근 기류 방향의 지붕 정면(풍상면)에서 개폐율 10%, 30%, 50% 모두 기준에 비해 2.15배 감소한 약 -1.9의 값을 보였다.

3) 최대 풍압 계수의 경우 최소 풍압 계수와는 달리 지붕이 개방되었을 때 절대값이 조금 커지는 경향을 보였지만 큰 변화 없이 밀폐형과 유사한 값과 경향을 보였다.

4) 밀폐형 지붕의 경우 실험치와 기준을 비교해 보았을 때, 최소 풍압 계수에서 밀폐형 지붕의 실험값이 다소 작게 나타났지만 변화의 경향은 동일하게 나타났다. 따라서 현행 풍하중 기준을 통해 풍하중을 산정하는 것은 신뢰할 수 있다고 판단된다.

5) 내압을 고려한 가장 불리한 조건(외측면 정압, 내측면 부압)을 고려하여 풍압 계수를 산정해 본 결과, 개폐율 10%는 기준값과 실험값이 부합하는 것으로 나타난 반면, 개폐율 30%와 50%에서 기준값이 실험값보다 과소평가 되는 것으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비 지원(18AUDP-B100343-04)에 의해 수행되었습니다.

### References

1. Cheon, D. J., & Yoon, S. W. (2017). A Study on the Analysis of Collapse Cases of

Retractable and Membrane Roof Structures. Proceedings of KASS 2017 Spring Conference, Republic of Korea, Vol.13, No.1, pp.55~56

2. Cheon, D. J., & Yoon, S. W., "Analysis of Wind Pressure Coefficient for Spatial Structure Roofs by Wind Load Standards and Wind Tunnel Tests", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.17, No.4, pp.103~113, 2017

3. Jin, S. W., "An Urgent Assignment for Sustainable Membrane Structures", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.16, No.2, pp.12~17, 2016

4. Kim, B. J., & Ha, Y. C., "An Experimental Study on the Wind Pressure Coefficient for Cladding Design of Buildings having a Courtyard", Journal of the Wind Engineering Institute of Korea, Vol.15, No.2, pp.49~54, 2011

5. The Wind Engineering Institute of Korea, Wind-Resistant Engineering, 2010

6. Architectural Institute of Japan, AIJ Recommendations for Loads on Buildings, 2015

7. Architectural Institute of Korea, Korean Building Code and Commentary(KBC2016), KimoonDang, 2016

8. Noguchi, M., & Uematsu, Y. (2003). Design Wind Pressure Coefficients for Spherical Domes. Proceedings of Annual Meeting 2003, Japan Association for Wind Engineering, No.95, pp.177~178

9. Sun, Y., Su, N., Wu, Y., & Jun, Q. (2016). Experimental Investigation of the Aerodynamic Forces and Pressures on Dome Roofs: Reynolds Number Effects. Proceedings of the 2016 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research, Republic of Korea

- Received : August 09, 2018
- Revised : September 03, 2018
- Accepted : September 05, 2018