개폐식 대공간 막 구조물에서 지붕 맞댐부 우수차단 시스템의 수밀성 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Watertightness Properties for Rain-Block System in the Sliding-Roof Joint of Large-Span Membrane Structures

오 상 근* 백 기 열** 이 선 규***
Oh, Sang-Keun Baek, Ki-Youl Lee, Sun-Gyu

Abstract

This study is an evaluation of the water-tightness properties of rain-block systems in the sliding-roof joint of large-span membrane structures.

In this study, we suggested a method of evaluating the water-tightness performance of the joint part of a sliding door in the roof of a large-span membrane structure (for a pilot project), in an environment of rain and wind. The shape of the rainwater blocking systems of the joint part in a sliding door verifies the defects and the effects of water leakage prevention when there is precipitation with wind conditions.

To secure the water-tightness of large span membrane structures, it is necessary to have a guideline on the evaluation of the design for rain-block system of the joint part, and the quality of the membrane material, both of a retractable roof and a closed roof.

Keywords : large span membrane structures, sliding-roof, rain-block system, watertightness properties

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

1960년대부터 철골 및 스페이스 프레임을 바탕으로 한 대공간 구조물이 등장하였으며, 80년대에 들어서면서 중량이 가벼운 막재료의 개발과 더불어 케이블 막구조, 골조 막구조 등이 나타났다. 이러하듯 대공간 구조물은 산업발전과 경제력 향상에 힘입어 점차 그 규모가 초대형화 되어 가고 있는 추세이다.

이러한 대공간 구조물 중에서도 지붕 개폐형태의 막 구조물은 멀티미디어적인 공간 창출이 가능할 뿐만 아니라 전천후 공간 활용 및 이벤트적인 요소가 가미될 수 있으므로 그 활용성이 매우 크다고 할 수 있다.

하지만 1976년에 지붕이 개폐되는 최초의 구조물로 알려진 캐나다의 몬트리올 올림픽 스타디움의 경우, 반복되는 지붕의 누수하자와 마감재의 탈락으로 인하여 1998년에 개폐식 지붕을 영구적으로 폐쇄시키는 결정을 내렸다. 또한, 중국에서는 2008년 베이징 올림픽이 끝나고 중국의 현대건축을 상징하는 올림픽 주경기장이 일반인에게 공개된 직후 지붕에서 빗물이 새는 하자가 발생하였다.[1)]

이러한 사례들이 지속적으로 발생함에 따라 대공간 막 구조물를 설계함에 있어 누수하자 문제를 근원적(설계, 재료, 시공 등)으로 해결하려는 움직임이 활발히 일어나고 있다.

그 중 설계적 측면에서 살펴보면, 지붕 개폐형태의 막구조 건축물은 다수의 연결 조인트가 형성되며 별도의 방수재료가 존재하지 않으므로 일반 콘크리트 구조물에 비하여 상대적으로 누수에 취약한 문제점이 있다.

특히 지붕 폐쇄 시, 지붕이 맞닿은 부위는 우수가 직접적으로 유입될 가능성이 매우 높은 곳으로서 정밀한 우수차단 시스템 디테일이 요구된다. 또한, 바람을 동반한 강우가 내릴 때에는 상승 및 하강기류의 복합작용으로 불안정 기류가 형성되며 빗물이 건축물 내부로 들이치는 현상을 동반하게 된다.

따라서 본 연구에서는 지붕 개폐형태의 대공간 막 구조물을 대상으로 우수차단 시스템의 형태가 바람을 동반한 강우환경 조건에서 누수의 발생 유무를 확인하고자 한다. 이를 통해 누수 요인을 실험적으로 분석함으로써, 새로운 수밀성능 평가 방법을 제안하는 것을 연구의 목적으로 한다.

* 서울산업대학교 공과대학 건축학부 교수, 공학박사
** (주)CS구조엔지니어링 기술연구소 연구소장, 공학박사
*** BK방수기술연구소 연구원, 공학석사

1) 박선우, 최취경, 세계의 대형 개폐식 지붕구조, Proceed- ings of KASS Symposium, 제5권 pp.227~231, 2008.5

1.2 연구의 범위 및 방법

1.2.1 연구의 범위

본 연구는 범위 및 방법은 표 1과 같이 "대공간 건설기술 개발" 의 일환으로 향후 천안지역에 건설 예정인 지붕 개폐식 대공간 막 구조물에 대한 Pilot Project 설치(이하 "Test Bed" 라 함)의 수밀안전성을 사전 평가함에 있다.

이때, 평가대상 부위로는 우수의 직접적인 유입경로인 지붕 개폐부(지붕의 수평이동으로 서로 맞닿는 구간)를 중점적으로 다루며, 개폐부위로 유입되는 우수를 차단하는 시스템(이하 "우수차단 시스템" 이라 함)을 실험 변수로 선정하여 디테일의 변화에 따른 수밀성능에 대해 검토하고자 한다.

표 1. 연구의 범위

연구 대상	지붕 개폐식 대공간 막 구조물
대상 지역	천 안 (위도:36n48, 경도:127e09)
평가 부위	지붕 개폐부위
실험 변수	우수차단 시스템의 디테일

1.2.2 연구의 방법

개폐식 지붕 구조물의 우수차단 시스템에 대한 수밀성능을 확인하기 위하여 우선적으로 지붕 개폐형태의 모형물을 제작하였다.

이때, 우수차단 시스템의 형상에 관해서는 국내 · 외의 선행기술 연구동향을 살펴보았으며, 이를 기반으로 다양한 세부 디테일을 우수차단 시스템으로 적용하여 실험을 통한 검증이 가능하도록 표 2와 같은 실험 방법을 선정하였다.

연구의 실험 변수인 우수차단 시스템의 디테일은 직접적으로 외기 환경에 노출되어 있으므로 강우량과 바람환경 등과 같은 누수요인에 영향을 받는다.

따라서, 강우량 환경조건을 실험 변수에 부여하기 위해 강우량 조절이 가능한 수조를 제작하여 과거 10년간의 기상 데이터를 기반으로 강우 환경을 실험적으로 재현하였다. 이와 동시에 강풍 환경을 조성할 수 있는 풍동실험실에서 실험을 실시하여 바람을 동반한 우수가 지붕 개폐부위에 침입하는가를 수밀성 실험을 통하여 검증하였다.

본 연구는 바람을 동반한 강우 환경에서 우수차단 시스템의 디테일에 대한 신뢰성 및 효용성(누수 방지 효과)을 검증하는 것을 목표로 한다. 만약, 상기의 조건에서 누수가 발생될 경우에는 그 원인을 파악하여 새로운 우수차단 시스템 디테일을 제안하고자 한다.

표 2. 연구의 방법

구조체 제작	지붕 개폐 형태의 모형물
실험변수 선정기준	국내 · 외 선행연구
평가대상의 누수요인 (데이터 취득방법)	강 우 량 (과거 10년간의 기상 데이터)
	풍 속 (과거 천안지역 최대 풍속)

1.3 기존 연구의 고찰

1) 바람에 의한 빗물침입

바람을 동반한 강우가 내리게 되면 불안정한 기류에 의해 건축물 측면에서도 비가 들이치게 된다. 표 3은 풍속에 따른 풍력 계급표를 나타내고 있는 것으로, 이러한 풍력에 의해 대공간 막 구조물에 풍하중이 작용하여 형태 불안정이 발생하게 된다. 이는 비가 몰아칠 때에 결함부분으로 빗물이 침투하는 원인을 제공하게 된다.[2)]

표 3. 풍력 계급표 (출처 : 기상청)

풍 급	해당풍속 (m/sec)	현 상
0	0~0.2	무풍상태, 연기는 곧장 위로 상승
1	0.3~1.5	풍향은 연기가 옆으로 휘어져서 알 수 있지만 풍속계에는 나타나지 않는다.
2	1.6~3.3	나뭇잎이 바람에 흔들리며 풍속계도 움직이기 시작한다.
3	3.4~5.4	나뭇잎이나 얇은 나뭇가지가 끊임없이 흔들리고 가벼운 깃발이 흔들린다.
4	5.5~7.9	모래가루가 날리고 종이가 날아오르고 얇은 나뭇가지가 흔들린다.
5	8.8~10.7	연못이나 저수지의 수면에 작은 물결 이 생긴다.
6	10.8~13.8	큰 나뭇가지가 흔들리고 전선이 울며 우산을 쓰기 어렵다.

2) 국내 관련 연구동향

대공간 막 구조물 관련 연구들은 대부분 구조, 시공, 재료적 측면에서 집중적인 검토가 이루어졌으며, 특히 풍하중에 대한 구조설계가 대부분을 차지하였다.[3)] 그러나 정작 유지관리 분야에서는 외장재료의 관리에 관해서만 일부 연구[4)]가 진행된 반면, 수밀성능을 고려한 연구는 전무한 실정이다. 이러한 수밀성 관련 연구의 부재는 다음과 같은 두가지 측면에서 살펴볼 수 있다.

첫 번째 측면은 관계자의 인식 부재이다. 막 재료 자체의 비투과성 및 내구성 등에만 의존하여 수밀성능을 확보하려 하지만 우수의 침입 경로는 다양하기 때문에 예측하지 못한 곳에서 누수가 발생하는 경우가 많다.

두 번째 측면은 실험환경 조성의 어려움에 있다. 대공간 막 구조물이 외기에 접해있는 상황에서는 비바람을 동반한 환경에 노출되어 있기 때문에 이를 고려한 수밀성능 실험 방법이 요구된다.

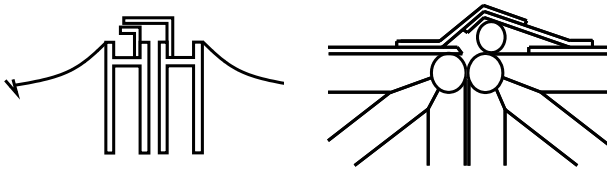
3) 국외 관련 연구동향

지붕 개폐형 대공간 막 구조물의 우수차단 시스템에 관하여 관련 특허를 조사한 결과, 국내에서는 관련 자료를 찾을 수 없었으며 국외에서 그림 1과 같은 우수차단 시스템을 확인할 수 있었다.

2) 오상근, 콘크리트 구조물의 누수와 대처 방안에 대한 견해, 한국콘크리트학회, 제14권 제6호, pp.14~19. 2002.11

(a)는 1987년에 미국에 등록된 "Retractable stadium roof system with rectangular opening" 특허[5]로서 가장 단순한 형태의 초기 우수차단 시스템이다. 그러나 빗물이 바람에 의해 내부로 들이치는 현상에 대해서는 수밀성을 확보할 수 없는 단점이 있다.

(b)는 1999년에 미국에 등록된 "Dome roof structure and method of designing and constructing same" 특허[6]로서 건축 신소재를 적용한 우수차단 시스템이다. 그러나 지붕 개폐시의 과정이 복잡하고 유지관리에 비용이 많이 들어가는 단점이 있다.



(a) 초기의 우수차단 시스템 (b) 진보된 우수차단 시스템

그림 1. 국외의 우수차단 시스템(국제특허)

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험 계획

2.1.1 일반 강우환경 조건에서의 수밀성 실험계획

대공간 막 구조물의 지붕 개폐부위에 적용될 우수차단 시스템의 디테일 구성은 그림 2와 같으며, 주요 부재의 역할을 크게 3가지로 구분하였다.

우수차단 시스템 상부의 강판 web는 수직방향으로부터의 우수를 차단하고, 수평방향으로부터의 우수 침입은 내부앵글과 고무패드에 의해 차단하는 역할을 하고 있다.

하지만, 수밀성 측면에서는 구성 부재의 길이를 선정함에 있어 별도의 기준(지침)이 존재하지 않으므로 세부 디테일을 정하는데 어려움이 따르게 된다.

따라서, 표 4와 같이 강판 web와 고무패드를 실험인자로 하고, 각각의 길이(140, 150, 160, 170, 180㎜)와 높이(65, 70, 75, 80, 85㎜)를 실험수준으로 설정하여 2인자 5수준의 실험조건(총 25회 실험)을 계획하였다.

이때, 상기의 실험조건에서 바람환경이 부여될 시 우수차단 시스템 내부로 누수가 발생하는지의 여부를 확인하기 위해 풍력 계급 0~2(미풍 환경조건)에 해당하는 1~3 m/sec의 풍속을 가하였다.

표 4. 실험 조건의 선정(일반 강우환경 조건)

인 자	수 준 (㎜)				
web의 길이(x)	140	150	160	170	180
고무패드 높이(y)	65	70	75	80	85

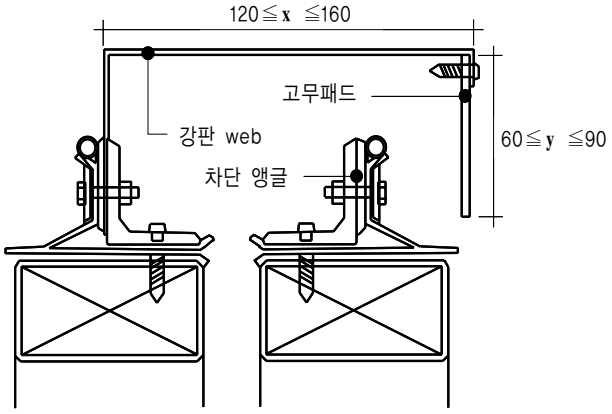


그림 2. 우수차단 시스템 구성도

2.1.2 강우·강풍환경에서의 수밀성 실험계획

앞서 언급한, 일반 강우환경 조건에서의 수밀성 실험을 통하여 우수차단 시스템의 세부 디테일을 명확히 선정한다. 이를 기반으로 표 5와 같이 강우 · 강풍환경 실험 조건을 선정하였다.

강우량은 천안지역(Test Bed 대상지역)의 역대 10분간 최대 강우량이 27㎜로 나타나고 있으므로 2개의 수준(20~30㎜)으로 구분하여 적용하였다.[7]

또한 풍속의 경우, 풍력 계급이 3~5(강풍 환경조건)에 해당하는 3개의 수준(5, 7, 10 m/sec)으로 실험조건을 선정하였다.

표 5. 실험 조건의 선정(강우·강풍환경)

인 자	수 준			
10분간 강우량	20 ㎜		30 ㎜	
풍 속	5 m/sec	7 m/sec		10 m/sec
우수차단 시스템 디테일 변수	실험군	대조군①	대조군②	대조군③
	기 본	앵글설치	고무패킹	유도배수

우수차단 시스템의 디테일을 대상으로 그림 3~6까지 총 4가지의 실험변수를 계획하였다.

우선 일반 강우환경 조건에서의 수밀성 실험을 통해 강판 web의 길이(**x**)와 고무패드의 높이(**y**)를 도출하여 그림 3과 같은 모형물을 제작하였으며, 이를 기본 실험군으로 하였다.

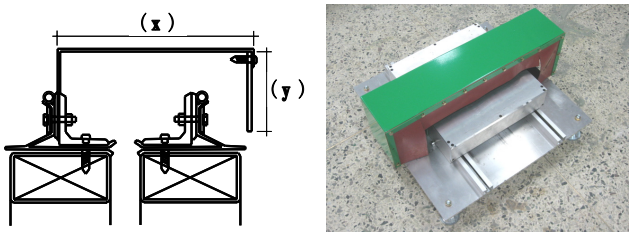
3) 이명호외 3명, 대스팬 지붕구조물의 등가정적 풍하중 산정에 관한 연구, 한국쉘·공간구조학회지, 제6권 제1호, pp.83~90, 2006.3

4) 서삼열, 인장 막 구조물의 재 인장 도입 시스템, 한국쉘·공간구조학회지, 제4권 제3호, pp.20~26, 2004.9

5) Horst L. Berger, Retractable Stadium Roof System with Rectangular Opening, United States Patent(No.4,831,792), 1989.5

6) Gerardo Castro, Dome Roof Structure and Method of Designing and Constructing same, United States Patent (No.5,857,294), 1999.1

7) 기상청 D/B 중 천안지역의 기후자료 극값 참조

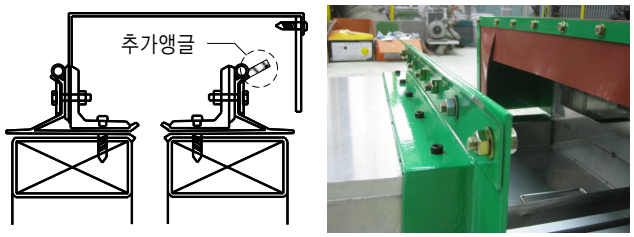


(a) 기본 실험군의 구성도 (b) 기본 실험군의 모형물

그림 3. 기본 실험군의 디테일

지붕 개폐형 모형물의 맞댐부 끝에 위치하는 차단 앵글은 수평으로부터의 우수 침입을 차단하는 역할을 하고 있다.

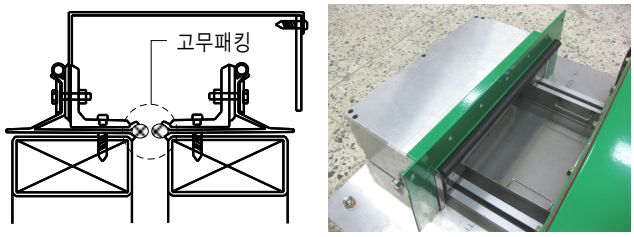
이때, 내부로 유입되는 물입자의 침입 각도를 최소화하기 위하여 그림 4와 같이 차단막 상부에 45° 각도의 추가 앵글을 설치하였으며, 이를 첫 번째 대조군으로 하였다.



(a) 대조군-①의 구성도 (b) 대조군-①의 모형물

그림 4. 대조군-①의 디테일

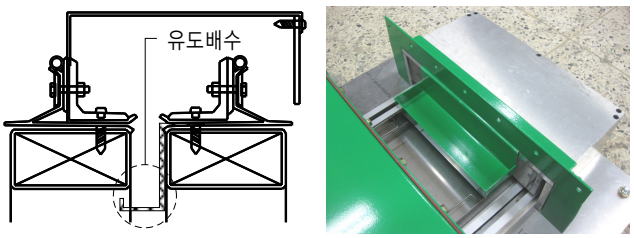
두 번째 대조군으로는 주로 기계분야에서 활용되고 있는 고무패킹을 그림 5와 같이 지붕 맞댐부의 조인트에 적용하여 수밀성능을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하였다. 고무패킹은 서로 맞닿을 수 있도록 양쪽으로 설치하였으며, 레일 고정용 나사로 모형물의 거동을 최소화하였다.



(a) 대조군-②의 구성도 (b) 대조군-②의 모형물

그림 5. 대조군-②의 디테일

마지막 세 번째 대조군으로는 그림 6과 같이 지붕 맞댐부위 하단에 유도배수로를 설치하는 방법이다. 이는 우수차단 시스템을 통과하여 생기는 누수가 적은 양이라는 가정 하에 실험의 대조군으로 적용하였으며, 유입되는 우수의 양이 적을 경우에 효과를 크게 발휘하지만 많을 경우에는 2차적인 문제를 유발하는 경우가 발생한다.



(a) 대조군-③의 구성도 (b) 대조군-③의 모형물

그림 6. 대조군-③의 디테일

2.2 실험 방법

1) 지붕 개폐형 모형물 제작

지붕 개폐형 구조물의 수밀성을 실험하기 위해 그림 7과 같이 개폐 형태의 모형을 제작하였다. 이때, 개폐식 지붕 모형은 축척을 사용하여 크기를 축소시키지 않았으며, 부재의 크기 일부분만 제작하여 실험을 진행하였다.

좌·우측 BOX형태의 모형물은 하부에 주행용 레일을 설치하여 수평 이동이 가능하도록 설계되어 있으며, 지붕 폐쇄 시의 충격을 흡수하기 위해 요철모양의 간격재를 BOX형태의 모형물 사이에 설치하였다.

또한, 모형물 상부에는 간격재의 틈으로 누수가 되지 않도록 우수차단 시스템이 설치되어야 하며, 이러한 우수차단 시스템은 다양한 디테일로 교체하여 실험이 가능하도록 제작하였다.

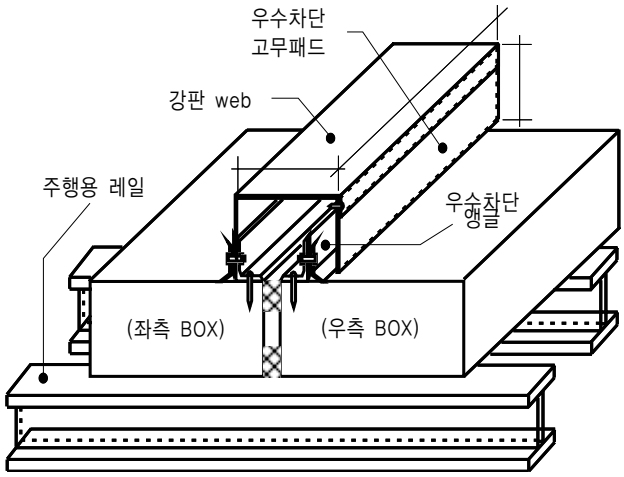


그림 7. 지붕 개폐형 모형물의 구성도

2) 일반 강우환경(미풍) 실험 장치

강우환경을 조성하기 위해 사진 1의 (a)와 같이 700 ×700×300 ㎜의 투명 아크릴 수조를 제작하였다. 수조 내부에는 물의 유속을 조절할 수 있도록 중앙부에 원통모양의 유속 조절용 구경이 위치하며, 하부층에는 빗물의 떨어짐을 재현할 수 있는 다수의 모세관 홈을 약 10㎜ 간격마다 천공하였다.

또한, (b)와 같이 약 1~3 m/sec의 풍속을 임의대로 일정 주기만큼 반복하여 미풍의 바람을 형성하는 송풍장치를 제작하였다.

이를 통해 미풍의 바람환경에 의해 빗물의 침입여부를 확인하여, 우수차단 시스템의 부재 디테일 선정기준으로 활용한다.

(a) 유속 조절 아크릴 수조 (b) 자동제어 송풍장치(미풍)

사진 1. 일반 강우환경(미풍) 실험장치

3) 강풍환경 실험 장치

강풍 조건의 바람환경은 흐름 그 자체에 난류적인 성향을 갖고 있으므로 시공간에 따라서 불규칙적으로 변동하는 동적인 특성이 있다. 이러한 바람환경 특성을 부여하기 위해 사진 2와 같이 대형 풍동실험장치를 사용하여 약 5~10 m/sec 범위의 강풍환경 조건에서의 우수 침입 여부를 관찰하였다.

(a) 풍동 실험장치(전면) (b) 풍동 실험장치(후면)

사진 2. 대형 풍동실험장치 (강풍환경 조성)

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 일반 강우환경에서의 수밀성능

3.1.1 실험 결과

우수차단 시스템의 구성 부재인 강판 web와 고무패드를 대상으로 미풍환경에서의 해당 크기의 조합에 따른 수밀성능은 표 6과 같은 결과로 도출되었다.

수밀성능 실험이 끝난 직후에 사진 3의 (a)와 같이 개폐식 지붕 모형물의 내부에 있는 측정 용기를 관찰한 결과, 강판 web의 길이가 길고 고무패드의 높이가 짧을수록 누수량이 많은 것을 확인할 수 있었다. 반면, 강판 web의 길이가 짧고 고무패드의 길이가 길수록 매우 적은 양의 물방울(약 직경 3㎜)이 관찰되었지만, 적정 범위를 초과할 경우 사진 3의 (b)와 같이 고무패드의 개폐불량 현상이 나타났다.

표 6. 실험체 내부용기의 누수량 확인 결과

강판web / 고무패드	140 ㎜	150 ㎜	160 ㎜	170 ㎜	180 ㎜
65 ㎜	X	△	△	◎	◎
70 ㎜	X	●	△	△	◎
75 ㎜	X	●	△	△	△
80 ㎜	X	●	●	●	●
85 ㎜	X	X	●	●	●

◎ : 누수 확인(누수량이 많음) △ : 누수 확인
● : 직경 3~5㎜의 물방울 X : 고무패드 개폐불량

(a) 누수 확인(내부용기) (b) 실험 불가(개폐불량)

사진 3. 지붕 개폐부의 누수결과 확인(일반 강우환경)

3.1.2 실험 고찰

일반 강우환경에서 우수차단 시스템의 세부 디테일 크기에 따라 우수의 침입여부를 관찰한 결과, 누수량의 차이는 있었지만 모든 실험에 대해서 물방울이 실험체 내부로 침입한 것을 확인하였다.

상기의 실험 결과를 유지관리 측면에서 살펴보면, 구조물 내부로 침입하는 물의 양과는 상관없이 적은 양의 물이어도 부가적인 하자(결로, 마감재의 박리 등)를 유발하게 될 가능성이 크다. 따라서, 상대적으로 적은 양의 누수(직경 약 3~5㎜의 물방울) 범위 중에서 안전율을 고려하여 강판 web의 길이 160㎜, 고무패드의 높이 80㎜를 세부 디테일 크기로 확정하여 강풍환경에서의 수밀성능 테스트에 적용하였다.

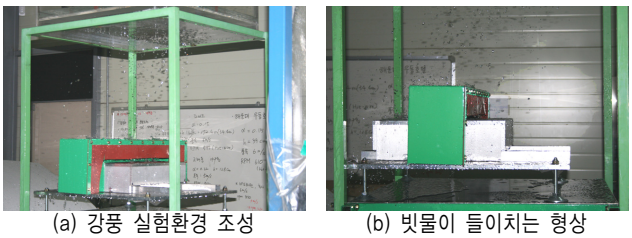
3.2 강우·강풍환경에서의 수밀성능

3.2.1 실험 결과

강수용 투명 아크릴 수조를 사진 4의 (a)와 같이 상부에 위치시키고 약 300㎜ 아래에 우수차단 시스템이 설치된 지붕 개폐형 모형물을 풍동실험장치 터널 앞부분에 정치하였다.

그 후, 투명 아크릴 수조에 높이 200㎜의 물을 채운 뒤 유속 조절용 구경을 조작하여 실험 조건대로 강우환경을 재현함과 동시에 대형풍동장치를 작동시켰다.

그 결과, 사진 4의 (b)와 같이 강풍에 의해 물방울이 대각선 방향으로 휘어 모형물에 부딪치는 현상을 확인하였으며, 고무패드가 바람에 의해 펄럭거리는 것을 육안으로 관찰하였다.

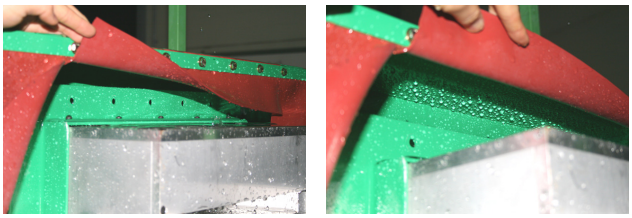


(a) 강풍 실험환경 조성 (b) 빗물이 들이치는 형상

사진4. 개폐식 지붕 맞댐부의 수밀성 실험 현황

실험 조건별로 강수량 및 풍속을 실험한 결과, 실험군과 대조군 모두 지붕 개폐형 모형물에 누수가 발생하여 BOX 형태의 내부에 있는 측정용기로 물이 유입된 것을 확인하였다. 또한, 수밀성 실험이 끝난 직후에 고무패드를 들어올려 우수차단 시스템 내부를 살펴본 현황은 사진 5와 같으며, 강판 web의 천장으로 다수의 물방울이 모든 실험체에 맺혀있는 것을 확인하였다.

누수의 양을 비교하여 보면, 실험군의 모형물이 상대적으로 대조군에 비해 많은 양의 누수가 발생한 것을 알 수 있었다.



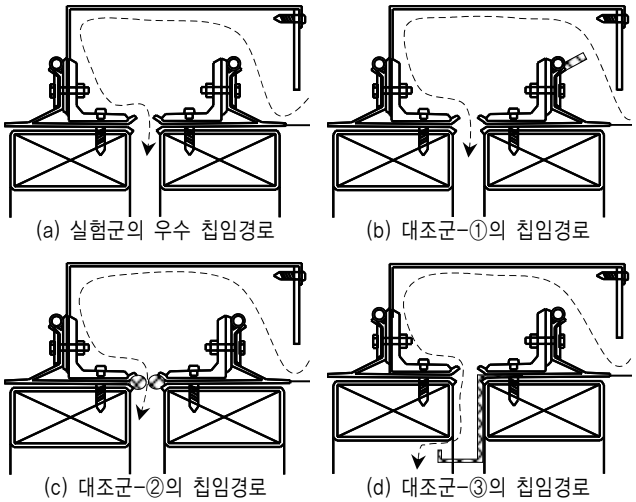
(a) 내부 차단앵글 확인 (b) 강판 web 상부 확인

사진 5. 실험 종료 후 우수차단 시스템 내부

3.2.2 실험 고찰

지붕 개폐부위에 적용되는 우수차단 시스템에 대하여 기본 실험군을 선정하고 디테일을 보완한 대조군으로 구분하여 수밀성 실험을 실시하였다. 그 결과, 모든 실험체에서 모형물 내부로 우수가 유입되고 있음을 확인하였다.

따라서, 바람을 동반한 강우에 의해 우수차단 시스템 내부로 물이 유입되는 경로를 확인하였으며, 그림 8과 같이 도식화 하였다.



(a) 실험군의 우수 침임경로 (b) 대조군-①의 침임경로

(c) 대조군-②의 침임경로 (d) 대조군-③의 침임경로

그림 8. 우수 침입 경로의 도식화

그림 8의 (a)는 기본 실험군의 누수 경로를 나타내고 있다. 우수가 모형물 표면에 떨어지면서 낙하 충격이 발생하게 되고, 동시에 공중으로 비산된다.

이때, 비산된 물방울 입자들은 바람에 의하여 고무패드 안쪽으로 들이치면서 강판 web의 천장에 맺히게 되고, 맺힌 물방울들은 응집되어 구조물 내부로 유입되었음을 확인하였다.

그림 8의 (b)는 차단 앵글을 설치하여 수밀성을 보완한 실험체의 누수 경로를 나타내고 있다. 차단 앵글은 비산된 물입자가 바람에 의해 내부로 들이치는 각도를 줄여주고 있으므로 기본 실험군에 비하여 상대적으로 내부로 유입되는 물의 양이 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

하지만, 수밀 안정성 측면에서는 소량의 물이어도 누수 하자를 유발시킬 수 있으므로 세부적인 디테일 재검토가 요구된다.

그림 8의 (c) 경우, 고무패킹 간의 밀실한 맞닿음이 가능하기 위해서는 지붕 폐쇄시에 유압을 이용한 지속적인 수평하중이 가해져야한다.

또한, 대공간 건축물은 장스팬 구조 및 풍하중에 의한 진동이 발생함으로 시공오차의 가능성이 있다. 이러한 경우에는 수밀성능이 급격히 저하되기 때문에 추가적인 보완방안이 요구된다.

본 실험에서는 짧은 경간에 고무패킹을 시공함에 불구하고 누수가 발생한 것은 지붕 개폐형태의 모형물에 지속적인 수평하중을 가하지 못하여 밀실한 맞닿음이 형성되지 않아 누수가 발생한 것으로 판단된다.

그림 8의 (d)는 유도배수로가 설치된 실험체의 누수 경로를 나타내고 있다. 강판 web의 천장에 맺힌 응집수는 구조체 안쪽으로 타고 내려와 유도배수로의 반대방향으로 누수가 진행된 것으로 확인되었다. 이러한 누수현상은 초기 디테일 구상단계에서 우수 유입 경로를 잘못 예측하여 생긴 결과로서 유도배수로의 위치가 잘못 선정되어 누수가 발생한 것으로 판단된다.

본 연구의 실험결과를 통하여 바람을 동반한 강수가 구조물의 내부로 유입되는 경로를 확인하였다. 이러한 누수의 문제점을 개선하기 위해서는 다음과 같이 크게 2가지의 대안을 제시할 수 있다.

첫 번째는 상기에서 언급한 실험군과 대조군의 디테일을 2가지 이상 선별하고, 우수차단 시스템에 중복 적용하는 방법이다. 하지만 부속 자재들이 증가할수록 각각의 내구성에 따른 열화가 상이하게 진행되므로 유지관리에 어려움이 따르며, 경제적인 측면에서도 매우 비효율적인 단점이 있다.

두 번째 대안은 새로운 우수차단 시스템의 디테일을 제안하여 수밀성 실험을 통해 검증하는 방법이다. 이러한 우수차단 시스템은 유지관리에 어려움이 따르는 부속 자재의 수를 최소로 하고 물입자들이 바람에 의해 내부로 유입되지 못하도록 내부 디테일을 구상하는 단계가 필요하다. 예를 들어, 유도배수로를 구조물 내부

에 위치하는 것이 아니라 외부로 두어 빗물을 배출시키는 방안이 있다. 또한, 우수차단 시스템 내부로 들어오는 바람의 흐름을 외부로 유도하여 물입자들이 바람에 의해 들이치는 것을 차단하는 방법 등이 있다.

4. 결 론

대공간 막 구조물과 같은 특수한 건축물에서 개폐형태의 지붕을 도입할 때에는 외기 환경을 고려한 수밀성능의 확보가 중요한 과제이다.

특히, 바람을 동반한 강우시에는 물입자들이 다양한 경로로 구조물 내부로 들이치는 현상이 발생한다. 이러한 현상들은 대공간 막 구조물 뿐만 아니라 고층 건물의 측벽에서도 누수의 형태로 발전되기 때문에 유지관리 측면에서 실험을 통한 검증방법이 필요하다.

본 연구에서는 강우 환경과 바람 환경을 동시에 부여하였을 때 발생될 수 있는 우수 침입 경로를 확인하였으며, 이러한 실험을 통하여 수밀 성능 확보 유무가 사전에 검토되어져야함을 알 수 있었다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 본 연구에서 제시한 우수차단 시스템의 기본 실험군 1종과 대조군 3종 디테일은 모두 수밀성 실험에서 누수가 발생되었다.
2) 기본 실험군으로 제안한 우수차단 시스템 디테일은 강판 web와 고무패드가 우수 차단 역할을 하는 구조로서, 수밀성 실험에서 동일한 누수 경로를 나타내고 있는 것을 확인하였다.
3) 우수의 유입경로를 분석한 결과, 우수가 모형물 표면에 떨어지면서 낙하충격이 발생되어 물방울 입자들이 공중으로 비산하게 된다. 이때, 바람의 영향으로 물입자들이 강판 web 천장에 응집수 형태로 맺히고, 구조물 내부로 유입되고 있는 것을 알 수 있었다.
4) 우수 차단을 위한 부속 자재들이 증가할수록 유지관리에 어려움이 따르게 된다. 따라서 부속 자재의 수를 최소로 하고 시스템적인 측면에서 내부 디테일을 구상할 필요성이 있다.

향후, 대공간 막 구조물의 지붕 개폐 도어 맞댐부의 수밀성능 확보를 위해서는 개폐식 지붕 구조의 시공 디테일을 사전에 작성하여 모형 수밀성 시험을 반드시 시행한 후 그 결과에 따라 설계 디테일의 변경, 개선, 보완 후 본 시공을 하여야한다. 또한 지붕의 막 재료의 성능, 막 재료 연결부의 품질, 이종 구조 및 재료의 연결부에서의 품질 확보를 위한 설계 지침서, 시공 지침서, 품질관리 기준서, 시험방법의 개발, 유지관리 지침서 등의 작성이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 건설교통부 첨단도시개발사업(과제번호 : # ’ 06 R&D B03)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이 연구실험에 많은 도움을 주신 전북대학교 건축공학과 풍동 실험실의 김영문 교수님 및 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 권기주외 5명, 복합열화환경 성능지표의 정량화 방안에 관한 연구, 대한건축학회, 제25권, pp.137~144, 2009.11
2. 기상청기후정보, http://www.kma.go.kr
3. 김대영, 김지영, 초고층 및 대공간 구조물의 고급내풍설계 시스템 개발, 대한건축학회, 제49권 제4호, pp.113~119, 2005.5
4. 김영문, 유기표(1999), 전주 월드컵 축구경기장 지붕면의 풍압 분포, 한국풍공학회, 제2권, pp.116~121, 1999.5
5. 서삼열, 인장 막 구조물의 재 인장 도입 시스템, 한국쉘 · 공간구조학회지, 제4권 제3호 통권13호, pp.20~26, 2004.9
6. 오상근, 건축물 방수설계 시 고려해야 할 재료 및 공법 선정에 대하여, 대한건축학회, pp.76~82, 2007.2
7. 오상근, 콘크리트 구조물의 누수와 대처 방안에 대한 견해, 한국콘크리트학회, 제14권 제6호, pp.14~19, 2002.11
8. 최성민, 오상근, 서치호, 건축물 옥상부의 적정 방수공법 선정평가를 위한 의사결정절차 및 가중치 결정에 관한 연구, 대한건축학회, 제25권, pp.157~166, 2009.1
9. 한상을, 대공간 구조물의 구조적 특성 및 현황, 대한건축학회, 건축 제39권 제8호, pp.81~86, 1995.9
10. 建設省建築研究所, 材料設計に関する研究, No.64, 1973
11. 魚本建人ほか, コンクリートの中性化速度に及ぼす要因, 1992
12. 圖解雜學 建築 : 羽根義男=監修, ナツメ社, 2001

(접수 2010.4.30, 심사 2010.5.26, 게재확정 2010.6.2)

요 약

지붕 개폐형태의 대공간 막 구조물은 멀티미디어적인 요소 및 전천후 공간을 활용할 수 있지만, 다수의 연결 조인트에 의해 구조물이 형성되므로 누수에 취약한 문제점이 있다. 특히 개폐식 지붕 맞댐부위의 우수차단 시스템은 우수의 직접적인 유입을 차단하는 역할을 하고 있으므로 바람을 동반한 강우환경에서도 수밀성능이 요구된다. 따라서 상기의 환경 조건을 부여한 수밀성 실험을 통하여 우수차단 시스템의 디테일에 대한 수밀성능을 평가하고자 한다.

실험 결과, 모든 실험체에서 누수가 발생하였으며, 우수의 유입경로는 동일한 것으로 확인되었다. 특히, 바람에 의하여 물입자들이 구조물 내부로 들이치는 현상이 주원인이므로 이를 보완한 새로운 우수차단 시스템의 디테일이 요구된다.

이 연구를 통해 강우 환경과 바람 환경을 동시에 부여하였을 때 발생될 수 있는 우수 침입 경로를 확인하였으며, 수밀 성능 확보 유무가 사전에 검토되어 져야함을 알 수 있었다. 또한, 디테일을 사전에 작성하여 모형 수밀성 시험을 반드시 시행한 후 그 결과에 따라 설계 디테일의 변경, 개선, 보완시공을 하여야 할 것이다.

키워드 : 개폐식 지붕, 지붕 맞댐 부위의 우수차단 시스템, 수밀성 실험, 바람을 동반한 강우환경