

개폐식 대공간 구조물에서 지붕 맞댐부 우수차단 시스템의 수밀성 평가에 관한 연구

Watertightness Property Evaluation of Rain-Block System

김 윤 호 * 백 기 열 ** 김 종 수 *** 이 선 규 **** 오 상 근 *****
Kim, Yun-Ho Baek, Ki-Youl Kim, Jong-Su Lee, Sun-Gyu Oh, Sang-Keun

Abstract

This study is an Investigation on the Watertightness Properties of Rain-Block System on the Sliding-Roof Joint of Large-Span Membrane Structures.

In this experimental, we test the watertightness performance of joint part of sliding door in roof of large span membrane structure(for pilot project) under environment of rain and wind. A shape of rain water blocking systems of joint part in sliding door verifies the defects and effects of water leakage prevention in precipitation with the wind conditions.

For obtaining watertightness of large span membrane structures, it is necessary quality of joints and performance, and quality of membrane material of a retractable roof as well as a closed roof. Also, for obtaining quality in joints, it is essential to make a watertightness guideline for design of large-span membrane.

키 워 드 : 대공간 구조물, 개폐식 지붕, 우수차단 시스템, 수밀성능
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 들어서면 중량이 가벼운 막재료의 개발과 더불어 케이블 막구조, 골조 막구조 등이 나타났다. 이러한 대공간 구조물은 산업발전과 경제력 향상에 힘입어 점차 그 규모가 초대형화 되어 가고 있다.

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

하지만 1976년에 지붕이 개폐되는 최초의 구장으로 알려진 캐나다의 몬트리올 올림픽 스타디움의 경우, 반복되는 지붕의 누수 하자 와 마감재의 탈락으로 인하여 1998년에 개폐식 지붕을 영구적으로 폐쇄 시키는 결정을 내렸다. 또한, 중국은 2008년 베이징 올림픽이 끝나고 중국의 현대건축을 상징하는 올림픽 주경기장이

일반인에게 공개된 직후 지붕에서 빗물이 새는 하자가 발생하였다.

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

설계적 측면에서 보면, 지붕 개폐형태의 막 건축물은 다수의 연결 조인트에 의해 구조물이 형성되고 별도의 방수층이 존재하지 않아 콘크리트 구조물에 비해 상대적으로 누수에 취약하다. 특히 지붕 폐쇄 시, 지붕이 맞닿는 부위는 우수가 직접적으로 유입될 가능성이 매우 높은 곳으로 정밀한 우수 차단 시스템 디테일이 요구된다. 또한, 바람을 동반한 강수가 내릴 때에는 상승 및 하강기류의 복합작용으로 불안정한 형태의 기류가 형성 되 빗물이 불안정한 기류에 의해 건축물 내부로 들이치는 현상이 일어난다.

따라서, 본 연구에서는 지붕 개폐형태의 대공간 막 구조물을 대상으로 우수 차단 시스템의 형태가 바람을 동반한 강수환경 조건에서 누수의 발생 유무를 확인하고 이를 통해 누수 요인을 실험적으로 분석함으로써, 우수 차단 시스템의 디테일에 대한 다양한 대안을 모색하고 수밀성능을 평가·검토함을 연구의 목적으로 한다.

* 서울산업대학교 산업대학원 건축공학과 석사과정
** (주) C·S 구조엔지니어링 기술연구소 연구실장
*** (주) C·S 구조엔지니어링 대표이사
**** BK방수기술연구소 연구원, 공학석사
***** 서울산업대학교 건설학부 교수, 공학박사, 교신저자

1.2 연구의 범위 및 방법

지붕 개폐형태의 대공간 구조물은 그 형식에 따라 중첩방식, 수평이동방식, 조합방식, 수평이동 회전중첩방식, 주름접기 방식 등으로 구분할 수 있다. 그 중 수평이동방식은 2개의 지붕이 수평이동에 의해 개폐되는 단순한 방식이지만, 수밀안정성 측면에서는 지붕이 맞닿는 구간이 직접적인 우수 유입경로가 형성되므로 보다 정밀한 우수 차단 시스템이 요구되어진다.

이를 기반으로 우수 차단 시스템의 세부 디테일을 선정하고자 한다. 이러한 세부 디테일이 수밀성능에 어떠한 영향을 미치는지 확인하기 위해 우선적으로 지붕 개폐형태의 모형물을 제작하였다. 이때, 지붕 개폐형 모형물 상부에 위치한 우수 차단 시스템의 디테일 교체가 가능하도록 고려하여 다양한 종류의 개폐형태를 실험을 통해 검증할 수 있도록 계획하였다.

지붕 개폐부위의 수밀성능에 영향을 주는 외기 조건으로는 강수량과 바람환경을 선정하였다. 강수량 환경조건의 경우, 강수량 조절이 가능한 수조를 제작하여 과거 10년간의 기상 데이터를 기반으로 강수 환경을 실험적으로 재현하였다. 이와 동시에 강풍 환경을 조성할 수 있는 풍동실험실에서 실험을 실시하여 바람을 동반한 우수가 지붕 개폐부위에 어떻게 침입하는가를 수밀성 실험을 통하여 검증 하였다.

본 연구의 범위 및 방법은 표 1과 같이 정리할 수 있으며, 바람을 동반한 강수 환경에서 우수 차단 시스템의 디테일에 대한 신뢰성 및 효율성(누수 방지 효과)을 검증하는 것을 목표로 한다. 만약, 상기의 조건에서 누수가 발생될 경우에는 그 원인을 파악하여 새로운 우수 차단 시스템 디테일을 제안 하고자 한다.

표 1. 연구의 범위 및 방법

연구 대상	지붕 개폐부위 우수 차단 시스템
대상 지역	천안
강수 환경	10분동안 27mm의 강수 재현
바람 환경	풍동실험 약 5-10m/sec 범위

2. 실험계획

2.1 실험 환경 설정

지붕 개폐형태의 대공간 구조물에서 우수 차단 시스템의 수밀성능을 평가하기 위하여 표 2와 같이 실험 조건을 선정 하였다.

강수량은 천안지역(연구 대상지역)의 역대 10분간 최대 강수량이 27mm로 나타나고 있으므로 2개의 수준(20~30mm)으로 구분하였다. 또한 풍속은 풍력 계급이 3~5(강풍 환경조건)에 해당하는 3개의 수준(5, 7, 10 m/sec)으로 실험조건을 선정하였다.

표 2. 실험 조건의 선정

인 자	수 준			
10분간 강수량	20mm		30mm	
풍 속	5 m/sec	7 m/sec	10 m/sec	
디 테 일	실험군	대조군①	대조군②	대조군③
	기본	앵글설치	고무패킹	유도배수

2.2 지붕 개폐형 시험체 제작

1) 지붕 개폐형 모형물 제작

개폐형 구조물의 수밀성을 실험하기 위해 그림 2와 같이 개폐형태의 모형물을 제작하였다. 이때, 지붕 개폐 모형물은 축척을 사용하여 크기를 축소시키지 않았으며, 부재의 크기 일부뿐만 제작하여 실험을 진행하였다.

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

또한, BOX형 모형물 상부에는 간격재의 틈으로 누수가 되지 않도록 우수 차단 시스템을 설치하고, 이러한 우수 차단 시스템은 다양한 디테일로 교체하여 실험이 가능하도록 제작하였다.

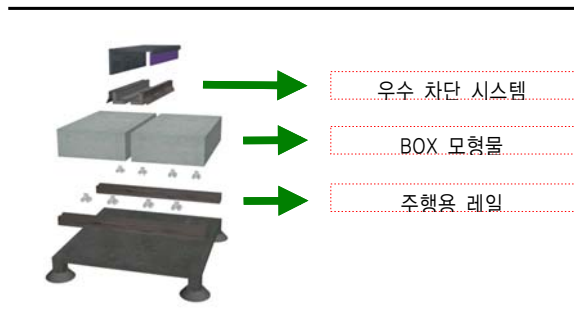


그림 1. 지붕 개폐형 모형물의 구성도 (실험군)

2) 지붕 도어의 맞담부 설정

본 연구에서는 우수 차단 시스템의 실험군으로 사진 1과 같은 디테일을 선정하였다. 그 세부 구조를 살펴보면, 상부의 강판 web가 수직방향으로부터 우수를 보호하고, 고무패드가 수평방향으로 우수 침입을 차단하는 역할을 하고 있다.

그러나 강판 web의 길이 및 고무패드의 높이에 의해 수밀성능의 차이가 크게 나타나는 구조 형식이므로, 풍속 1~3 m/sec 의 미 풍 조건에서 사전 실험을 실시하였다. 그 결과, 강판 web의 길이와 고무패드의 높이가 각각 160mm, 80mm일 때 수밀안정성이 상대적으로 양호한 것으로 확인되었다.

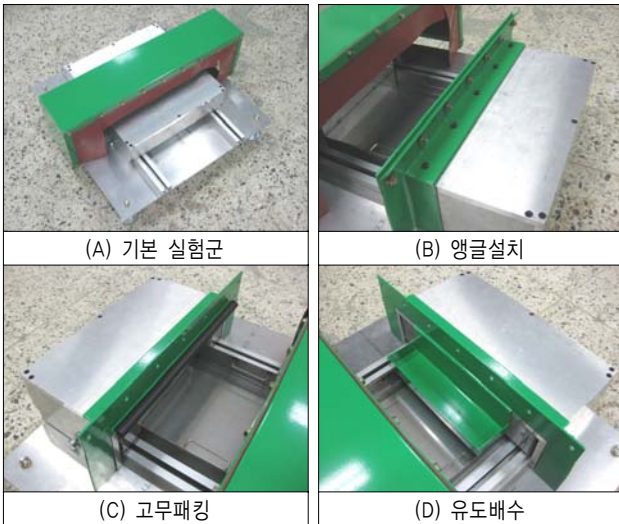


사진 1. 지붕 개폐형태의 실험체

3) 강수 및 바람환경 조성

강수환경을 조성하기 위해 사진 2의(A)와 같이 700 × 700 × 300mm의 투명 아크릴 수조를 제작하였다. 수조 내부에는 물의 유속을 조절할 수 있도록 중앙부에 원통모양의 유속 조절용 구멍이 위치하며, 하부층에는 빗물의 떨어짐을 재현할 수 있는 다수의 모세관 홈을 약 10mm 간격마다 천공하였다.

강풍 조건의 바람환경은 흐름 그 자체에 난류적인 성향을 갖고 있으므로 시공간에 따라서 불규칙적으로 변동하는 특성이 있다. 따라서 사진 2의(B)와 같이 대형 풍동실험장치를 사용하여 강풍 환경 조건에서의 우수 침입 여부를 관찰하였다.

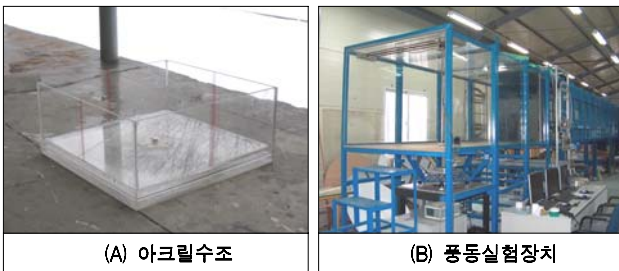


사진 2. 아크릴수조와 풍동실험장치

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

투명 아크릴 수조에 높이 200mm의 물을 채운 뒤 유속 조절용 구멍을 조작하여 실험 조건대로 강수환경을 재현함과 동시에 풍동장치를 작동시켰다. 그 결과, 사진 3의(B)와 같이 강풍에 의해 물방울이 대각선 방향으로 휘어 모형물에 부딪히는 현상을 확인하였으며, 고무패드가 바람에 의해 펴려거리는 것을 육안으로 관찰하였다.

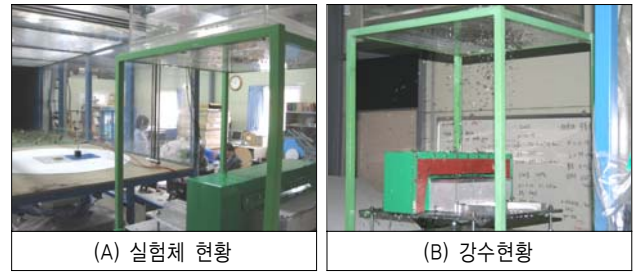


사진 3. 수밀성능 실험현황

실험 조건별로 강수량 및 풍속을 각각 실험한 결과, 실험군과 대조군 모두 지붕 개폐형 모형물 내부로 누수가 발생되었음을 확인하였다.

실험이 끝난 직후, 고무패드를 들어 올려 우수 차단 시스템 내부를 살펴본 현황은 사진 4와 같으며 강판 web의 천장으로 다수의 물방울이 맺혀있는 것을 확인하였다.

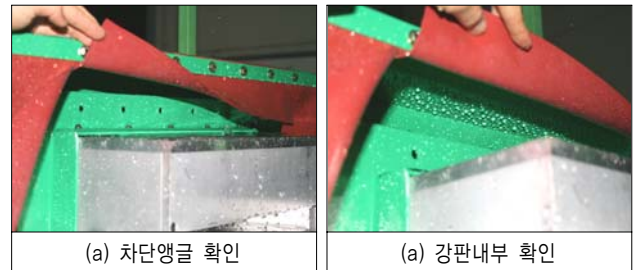


사진 4. 우수 차단 시스템 내부

3.2 실험 고찰

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

기본 실험군은 우수가 모형물 표면에 떨어지면서 낙하 충격이 발생하게 되고, 동시에 공중으로 분산된다. 이때, 분산된 물입자들은 강풍에 의하여 고무패드 안쪽으로 들이치면서 강판 web의 천장에 맺히고, 맺힌 물방울들은 응집되어 구조물 내부로 유입되었음을 확인하였다.

차단 앵글은 분산된 물입자가 바람에 의해 내부로 들이치는 각도를 줄여주고 있으므로 기본 실험군에 비하여 상대적으로 내부로 유입되는 물의 양이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 수밀안정성 측면에서는 소량의 물이어도 누수 하자를 유발시킬 수 있으므로 디테일의 재검토가 요구된다.

고무패킹에 의한 밀폐는 이론적으로 수밀성능을 기대할 수 있지만, 고무패킹 간의 밀실한 맞닿음이 가능하기 위해서는 지붕 패쇠시 지속적인 수평하중이 가해져야 한다. 또한, 작은 오차에 의해서 완벽한 밀폐가 되지 않았을 경우에 수밀성능이 급격히 저하되기 때문에 추가적인 보완이 요구된다.

본 실험에서는 모형물에 지속적인 수평하중을 가하지 못하여 밀실한 맞닿음이 형성되지 않아 누수가 발생한 것으로 판단된다.

유도배수구가 설치된 실험체는 강관web의 천장에 맺힌 응집수는 구조체 안쪽으로 타고 내려와 유도배수로의 반대방향으로 누수가 진행된 것으로 확인되었다. 이는 초기 디테일 구상단계에서 우수 유입경로가 잘못 선정되어 누수가 발생한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 실험 연구를 통하여 대공간 구조물과 같은 특수한 건축물에서 개폐 형태의 지붕을 도입할 때에는 외기 환경(강우, 강풍 등) 고려한 수밀 성능 확보 유무가 사전에 검토되어 저야함을 알 수 있었다. 특히 설계 단계에서 반드시 기본 설계를 대상으로 수밀성 검증이 필요하다. 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) 파일롯형 대공간 막 구조물의 개폐형태 지붕 도어의 맞담부에서의 우수 차단 성능을 평가한 결과 기존 설계 단계에서의 실구조 시험체에서는 내부로 우수가 유입되고 있음을 확인하였다.
- 2) 기본 실험군은 강풍에 의하여 고무패드 안쪽으로 들이치면서 강관 web의 천장에 맺히고, 맺힌 물방울들은 응집되어 구조물 내부로 유입되는 현상을 확인하였다.
- 3) 차단 앵글은 분산된 물입자가 바람에 의해 내부로 들이치는 각도를 줄여 기본 실험군에 비하여 상대적으로 내부로 유입되는 물의 양이 줄어드는 현상을 확인하였다..
- 4) 유도배수구가 설치된 실험체는 강관 web의 천장에 맺힌 응집수는 구조체 안쪽으로 타고 내려와 유도배수로의 반대방향으로 누수가 진행된 것으로 확인되었다.

기타 향후, 대공간 막 구조물의 지붕 개폐 도어 맞담부의 수 밀 성능 확보를 위해서는 개폐식 지붕 구조에서의 막재료의 성능, 막 재료 연결부의 품질, 이중 구조 및 재료의 연결부에서의 품질 확보를 위한 설계 지침서, 시공 지침서, 품질관리 기준서, 유지관리 지침서 등의 작성이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 “대공간 건설기술개발 연구” 의 일환으로 (주)C·S구조엔지니어링의 위탁 시험으로 수행되어진 것으로 본 실험을 위해 전북대학교 건축공학과 풍동실험실의 협조를 받았습니다. 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 김영문, 유기표, 전주 월드컵 축구경기장 지붕면의 풍압 분포, 한국풍

- 공학회, 제2권, pp.116~121, 1999
2. 박선우, 최취경, 세계의 대형 개폐식 지붕구조, proceedings of KASS symposium, 제5권, pp.227~231, 2008
3. 오상근, 건축물 방수설계 시 고려해야 할 재료 및 공법 선정에 대하여, 대한건축학회, pp.76~82, 2007
4. 오상근, 콘크리트 구조물의 누수와 대처 방안에 대한 견해, 한국콘크리트학회, 제14권 제6호, 2002
5. 오상근의 1명, Water-Leakage Repair Technology for Crack Movement and Wet Environment, 제6회 일본·한국 건축재료 Joint Symposium 논문집, 2002.
6. 최성민, 오상근, 서치호, 건축물 옥상부의 적정 방수공법 선정평가를 위한 의사결정절차 및 가중치 결정에 관한 연구, 대한건축학회, 제25권, pp.157~166, 2009
7. 한상울, 대공간 구조물의 구조적 특성 및 현황, 대한건축학회, 건축 제39권 제8호, pp.81~86, 1995
8. 建設省建築研究所, 材料設計に関する研究, No.64, 1973
9. 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
10. 圖解建築學 建築 : 羽根義男=監修, ナツメ社, 2001