

대공간 막 구조물 지붕의 수밀성능 확보를 위한 유지관리 지표 연구

Technical Index for the Maintenance of Watertightness of the Roof of a Large-Span Membrane Structure

오 상 근¹ 김 동 범^{2*} 이 선 규³

Oh, Sang-Keun¹ Kim, Dong-Bum^{2*} Lee, Sun-Gyu³

Professor, Dept. of Architectural Eng. Seoul National University of Science and Technology, Nowon-Gu, Seoul, 136-777, Korea¹

Master's Course, Graduate School, Seoul National University of Science and Technology, Nowon-Gu, Seoul, 6-777, Korea²

Researcher, BK Institute of Waterproofing & Anticorrosion Tech. Corp., Nowon-Gu, Seoul, 136-777, Korea³

Abstract

With the increased demand for membrane structures in recent years, there have been many studies of their mechanical properties, to the extent that such structures have become recognized as independent structures with a level of safety and durability comparable to those of other general structures. But in reality, the study for the maintenance of membrane structures has not been as active. In particular, the study of watertightness from the perspective of maintenance has been very limited. Accordingly, a study on securing watertightness performance and the guidelines for maintenance is necessary. In this study, through a case study of water leakage accidents in membrane structures overseas, causes of leakage were selected from the membrane material itself, joint parts and open door of roof part in membrane structure. The water leakage and deterioration elements were analyzed from those leakage causes. The degree of importance of the water leakage and deterioration index was also designated using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method. As a result, the basic technical index was suggested for the maintenance of the roofs of large-span membrane structures to prevent water leakage. This index will be used to make a guideline for the long-term maintenance of the roofs of large-span membrane structures.

Keywords : Large Span Membrane Structure, Watertightness Performance, Maintenance, Technical Index, Water Leakage

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

급변하는 현대 사회는 현대 건축물의 형태뿐만 아니라 그 목적에 있어서도 다양성을 요구하고 있다. 특히 과거의 한 가지 목적을 위한 하나의 건축물 개념에서 여러 용도로 사용이 가능한 다용도

건축물로 요구가 변화하고 있으며, 1950년대 해외에서 등장한 대공간 구조물은 디자인뿐만 아니라 구조적 측면에서도 그 요구를 만족시키는 건축물 중 하나로 각광받아 왔으며, 최근에는 건축 기술 및 재료의 발전과 더불어 그 적용이 다양화 되고 있다.

국내에서도 대공간 건축물의 필요성에 따라 지난 2006년부터 이와 관련한 종합 연구¹⁾가 시작되었으며, 주요 대상 구조물은 구조 형태가 지붕과 외벽이 일체화된 막(幕) 구조형 대공간 건축물이다. 현재 우리나라의 대공간 막 구조물은 그 사례가 많지 않지만 콘크리트 혹은 다른 강구조물과 비교하여 동등한 안전성과 내구성을 지니는 독립된 건축물로서 인정받고는 있다[1]. 하지만, 짧은

Received : January 18, 2011

Revision received : February 10, 2011

Accepted : February 22, 2011

* Corresponding author : Kim, Dong-Bum

[Tel: 82-2-977-6690, E-mail: ohsang@seoultech.ac.kr

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1) Cutting-edge Urban Development Program funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.(code#06 R&D B03)

역사와 소수의 경험으로 인하여 건설 이후의 유지관리 측면의 기술 축적이 부족한 상태로써 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

대공간 막 구조물은 구조적 특성상 지붕과 외벽이 별도로 구분되지 않고 외장 재료로서 막(Membrane) 재를 사용하여 지붕과 외벽을 일체로 연결하는 특징을 가지고 있다. 따라서 시공 특성상 재료간의 접합부가 다른 건축물에 비해 다수 존재하게 되며, 막재의 경우도 별도의 보호층 없이 외기에 직접 노출되기 때문에 물리적, 화학적 열화 인자의 작용으로 재료 및 조인트부의 성능이 감소하여 수밀성이 저하될 가능성이 크다. 따라서 향후 건설을 계획하고 있는 대공간 막 구조물에서의 장기적인 수밀성 확보를 위해서는 설계 및 시공 단계에서 반드시 검토되어야 할 누수 방지를 위한 유지관리 지표의 설정이 필요하나, 아직 우리나라에서는 이러한 지표가 설정되어있지 않은 상황이다.

이에 본 연구에서는 대공간 막 구조물에서의 지붕 누수 방지 및 장기적인 내구성 확보를 위한 유지관리 기술의 정립을 위하여 대공간 건축물 지붕에서 발생된 기존의 누수 사례 및 요인을 분석하여, 이를 토대로 막 구조물 지붕의 유지관리 지표를 제안하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

1.2.1 연구의 범위

본 연구는 대공간 구조물에 있어서 막 구조물의 지붕에 적용되고 있는 막재, 막재와 구조재의 접합부, 지붕 표면 구성재의 접합부 등 그 표면이 외기에 접하는 부분을 대상으로 하며, 지붕의 형태(개폐식 및 비개폐식)에 따라 누수의 유형 및 원인을 조사하고, 그 유형 및 원인을 유지관리 지표 항목으로 설정하여, 그것을 설계 및 시공단계에서 누수발생 방지를 위한 계획 및 기술적 고려사항으로 제안하고자 한다. 본 연구의 대상인 막재의 범위는 아래 Table 1과 같으며, 직포(섬유실에 의한 직물 또는 망목상 직물), 코팅재(직포에 도포한 것) 및 그 외의 재료로 구성되었고, 고무시트 등의 구성재는 고려하지 않았다.

Table 1. Scope of the Membrane Material

Fabrics		Coatings
T y p e A	Glass yarn with staple(Limited to 3(B) of diameter fiber 3.0~4.05) satisfied KS L2507 (textile glass-yarns)	Polytetrafluoroethylene resin, Polytetrafluoroethylene -Perflualkyl -vinylether copolymer or Fluorinated ethylene-propylene copolymer
	Glass yarn with staple satisfied KS L 2507(textile glass-yarns)	Vinyl chloride resin, Polyurethane resin, Polyvinylidene fluororesin (included Polytetrafluoroethylene resin, Polytetrafluoroethylene -Perflualkyl -vinylether copolymer or Fluorinated ethylene-propylene copolymer), Chloroprene rubber or Chlorosulfonated polyethylene rubber
T y p e B	Polyamide, Polyaramide, Polyester or Synthetic fiber of Polyvinyl alcohol	Vinyl chloride resin, Polyurethane resin, Polyvinylidene fluororesin Chloroprene rubber or Chlorosulfonated polyethylene rubber

1.2.2 연구의 방법

본 연구는 우선 막 구조물에 대한 국내외의 누수 사례를 조사하여, 누수 원인 및 취약부를 분석한 후, 각 취약 부위에 작용한 열화의 종류를 열거하여, 각각에 대한 중요성을 검토하였다. 중요성 검토는 방수관련 전문가 13명을 대상으로 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 이용하여 전문가 면담조사를 실시하였으며, 전문가 설문응답 결과를 Expert Choice 11 Program을 사용하여 쌍별 비교 행렬 값을 바탕으로 각 열화항목별 중요도를 부여하였다. 또한 누수 요인(물리적, 화학적 열화 요인) 및 요구 품질에 대한 계획, 기술적 요인을 열거하여 설계단계, 시공단계, 유지관리단계로 나누어 분류하고, 이를 근거로 대공간 막 구조물의 수밀성능 확보를 위한 유지관리 기술 지표를 제안한다.

본 연구의 흐름은 아래의 Figure 1과 같다.

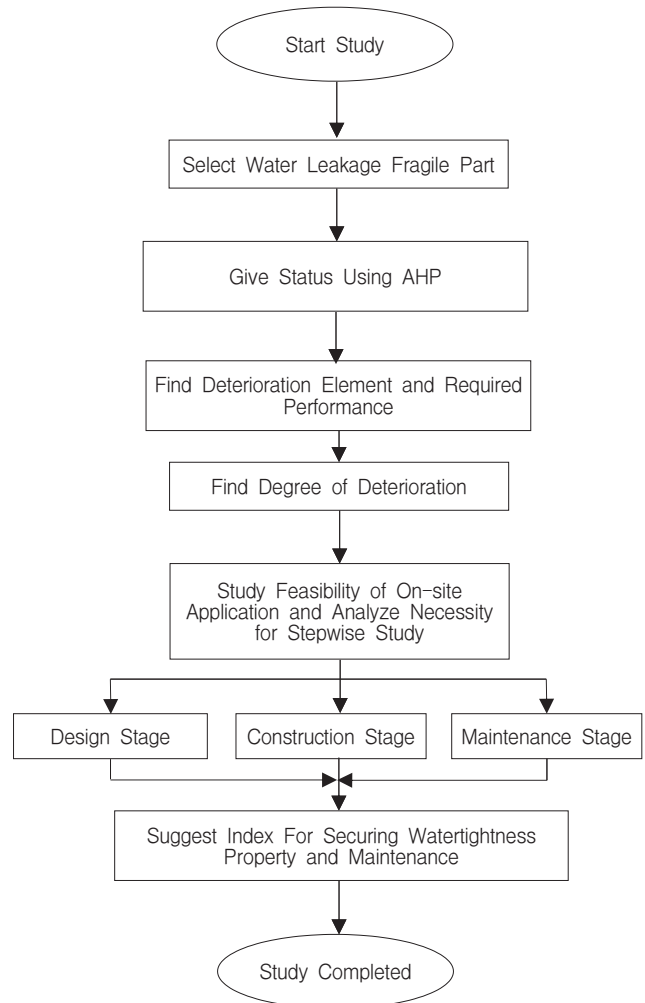


Figure 1. Flow of Study

2. 막 구조물의 누수 및 하자 사례 분석

2.1 막 구조물의 누수 및 하자 사례

현재 막 구조물의 하자사례로 알려진 것으로는 1976년에 지붕이 개폐되는 최초의 대공간 막 구조물로 캐나다의 몬트리올의 올림픽 스타디움, 베이징 올림픽 주경기장, 미국의 메트로돔 경기장 등이다. 캐나다의 사례는 지붕 개폐부에서의 반복되는 누수하자와 그로 인한 마감재의 탈락 및 유지관리의 문제로 1998년에 개폐식 지붕을 영구적으로 폐쇄시키는 결정을 내렸고, 중국의 2008년 베이징 올림픽 주경기장은 중국의 현대건축을 상징하는 막 구조물이었으나 일반인에게 공개된 직후 지붕에서 빗물이 새는 하자가 발생하였으며[2], 2010년 미국 중서부 지방 미네소타의 비개폐식 메트로돔 경기장은 폭설로 인한 지붕 막의 찢김 및 함몰이 발생하였다[2].

2.2 사례 분석

앞의 3가지 사례를 분석해보면 첫 번째 캐나다 사례에서 지붕 형식이 개폐식일 경우 개폐부분에 대한 우수처리 및 수밀성 확보가 이루어지지 않을 경우 심각한 문제가 발생한다는 것을 알 수 있다. 즉 개폐부분의 거동부 및 맞댐부가 누수에 대한 취약부로 작용하였기 때문에 이에 대한 성능확보 및 유지관리를 위한 대책이 필요하다. 중국의 비개폐 형식에서 발생한 누수는 막재 및 막재의 조인트 열화에 따른 수밀성 저하 및 막 구조물에 존재하는 접합부의 열화로 인한 수밀성 저하가 원인이 된 사례이다. 미국의 지붕 막의 찢김 및 함몰의 사례에 경우 시공 후 사용과정에서 막재의 접합 조인트의 강도 및 막재의 적정 품질에 대한 유지관리 소홀로 인해 발생한 하자이다. 이러한 하자에 대한 문제 발생을 예방하기 위해서 유지관리의 방법 및 관리 지표의 마련이 중요하다는 것을 보여주고 있다.

3. 대공간 막 구조물의 누수 요인 분석

현재 국내에는 막 구조물의 수밀성능 및 그 성능의 유지를 위한 관리 방법에 대한 연구가 거의 없었으며, 특히 사용 환경을 고려한 관련 지침도 마련되어 있지 않은 상태이다. 따라서 우선적으로 막 구조물에서 발생하는 누수요인의 분석이 시급하다고 판단된다. 이에 본 장에서는 막 구조물의 수밀성능의 확보를 위한 유지관리 지표를 마련하는 기초 연구로서 제2장의 사례 분석 토대로 막 구조물에서의 누수 취약 부위를 Table 2과 같이 크게 막재, 접합부 및 지붕형식(개폐부와 비개폐부)으로 분류하고, 각 부위에서 발생 가능한 열화 요인 및 누수 요인을 열거하여, 그 결과 방향후 막 구조물에서의 수밀성 확보를 위한 유지관리 지표로 제한한다.

Table 2. Selecting Water Leakage Fragile Parts

Classification	Part
Membrane	Fabric Part
	Coating Part
	Heat Plate De'position Part
	Sewing Connection Part
	Hot Wind Deposition Part
Joint Part	High Frequency Deposition Part
	Bolt Connection Part
	Metal Connection Part
	Rubber Packing
	Sliding Part
Retractable Type	Retractable Butt Joint
	Retractable End Part
Roof Type	Ponding Phenomenon Part
	Physical External Force Movement Part
Closed Type	

3.1 막재의 재료 특성에 따른 누수요인

대공간 막 구조물에서의 막재는 크게 직물부(직포)와 코팅부(코팅재)로 이루어져 있으며, 연성막을 구조체로 사용하여 이것에 초기장력을 주고 외관의 강성을 늘림으로서 외부하중에 대하여 안정된 형태를 유지한다[4]. 따라서 직물부 및 코팅부 어느 한 곳에서라도 적정 품질이 확보되지 못하면 급속한 열화가 진행되어 구조물의 안전성 및 수명 등에 악영향을 미치게 되며, 수밀성에 영향을 미친다.

3.1.1 직물부 누수요인

직물부에서의 누수요인은 내수성 및 내흡수성능을 확보하지 않았을 경우나 저하되었을 때 발생하게 된다. 내수성이 확보되지 않았을 경우 비나 눈 등의 외기환경에서 막재가 물의 침투를 허용하여, 막 구조물 내로 누수가 발생하게 되는 요인이 되고 있다. 특히 폰딩(Ponding) 현상으로 하중 및 수압이 발생하였을 때 물의 침투가 발생할 수 있고, 내흡수성의 경우도 그 성능이 확보되지 않으면 막재가 내수성을 잃어 물이 침투했을 때 침투한 물이 막재의 직물부에 흡수되어 막 전체로 확산된다.

3.1.2 코팅부 누수요인

막재를 보호하기 위한 코팅재는 주로 수지계 재료가 사용되며, 장기적으로 외기에 노출되면 대기 중의 오존 및 자외선, 산성비나 염분 등에 의해 열화가 진행된다. 코팅재의 경우 열화되면 균열이 발생하고, 심한 경우 코팅재 하부 직포까지 영향을 주어 균열이 발생하여, 이는 직포에 직접적인 영향을 미쳐 수밀성 저하로 연결된다.

또한 코팅재와 직포의 접착력 부족 및 표면열화, 극단적인 막재의 구부러짐 등이 누수의 원인이 되고 있다. 접착력이 부족하면 막재에 부풀음이 발생하고, 심각한 경우 코팅재가 박리된다. 겨울철 시공 시 막재의 심한 굽힘은 막재 표면에 균열을 발생시키게

되어 그대로 시공 시 누수가 발생할 수 있다. 막재 표면의 케이블이나 기둥 등의 스침에 의한 코팅부 손상 역시 누밀성을 저하시키는 원인이다.

3.1.3 재료 간 접합부위에서의 누수요인

막재 상호간을 접합하기 위하여 열판용착접합, 봉제접합, 열풍용착접합, 고주파용착접합 등이 이용된다[5]. 이러한 다양한 접합 방법에 있어서 과도한 열전달, 과하중에 의한 접합부 치밀성 부족이 누수의 원인이 된다.

3.1.4 막재 및 접합부 누수 요인별 중요도 부여

3.1.3까지의 막재 및 접합부의 누수요인과 누수 발생 원인을 Table 3과 같이 정리하였다. 각 부위에 영향을 미치는 열화인자에 대하여 중요, 보통, 낮음으로 중요도를 부여하여 각 부위별 관리하여야 할 지표를 파악하였고, 이를 설계단계, 시공단계, 유지관리 단계로 나누어 제시하였다. 관리 지표로서는 내수성 및 내흡수성, 내약품성이 필수적으로 중요한 지표로 나타났다. 단계별 중요도로서는 막재의 경우는 설계단계에서부터 고려하여야 하며, 유지관리 단계에서도 지속적인 관리가 필요하다. 코팅부의 경우는 외기의 환경에 가장 직접적인 영향을 받는 부분으로 우려되는 모든 열화인자는 설계단계, 시공단계, 유지관리 단계에서 모두 관리 대상이 된다고 판단된다. 또한 접합부의 경우는 시공단계에서 중점적으로 관리할 필요가 있다.

3.2 지붕부 형식(개폐, 비개폐)에 따른 누수요인

3.2.1 개폐식 막 구조

지붕 개폐식 막 구조는 구조적 특성상 개폐부에서 비, 눈이나 용설수의 침입으로 인한 누수가 발생할 우려가 크게 존재한다. 특히 개폐식 지붕이 이동하는 슬라이딩부와 개폐식 지붕 간 맞댐부, 개폐식 지붕의 끝단부에서 누수가 발생한다.

1) 슬라이딩 부위

개폐식 지붕이 이동하는 슬라이딩부의 레일(주행부)은 상시 비에 노출되는 개구부로서 레일의 홈에 먼지 등 기타 여러 이물질에 의한 막힘이 배수 불량으로 이어져 우수의 넘침으로 누수가 발생한다.

2) 개폐 맞댐 부위

개폐 맞댐 부위에서의 누수는 기본적으로 맞댐부의 설계상 오류로 인해 발생하며, 기타 맞댐부를 구성하는 재료의 열화로 인해 발생한다. 설계상 오류란 구조물이 설치되는 지역의 강우환경과 풍환경을 고려하지 않은 설계를 말하며, 이 경우 바람을 동반한 강우 시 물입자의 침입을 허용하여 누수가 발생한다. 또한 맞댐부를 구성하는 재료의 내구성 미확보와 재료(우수방지 고무, 커버플레이트 등)의 교체시기 등을 준수하지 않아 누수되고 있다.

3) 개폐 끝단 부위

개폐식 지붕의 후면부인 개폐 끝단 부위는 들뜸부가 형성되며, 이러한 공간은 풍향에 의해 우수의 직접적인 침입이 예상되는 부위이다. 따라서 우수 침입 방지 처리가 요구된다.

Table 3. Performance of Each part and Importance of Deterioration ◎ Important ○ Normal × Low

	Required Performance	Deterioration Element										Stepwise Study						
		Water Resistance	Anti-absorptiveness	Chemical Resistance	Ozone Deterioration	Radiation Deterioration	Partial Inflation	Overall Inflation	Partial Crack	Overall Crack	Abrasion	Peeling Off			Contamination	Design Stage	Construction Stage	Maintenance
												Coating Layer - Fabric	Coating Layer - Coating	Sewing Machine Sewing Part				
Membrane	Fabric Part	◎	◎	◎	○	×	○	○	○	○	×	×	×	×	○	◎	○	◎
	Coating Part	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○	×	○	◎	○	◎	
	Heat Plate Deposition Part	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	×	○	◎	◎	◎
	Sewing Connection Part	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○	○	○	×	◎	○	◎	◎	◎	◎
	Hot Wind Deposition Part	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	○	×	○	○	◎	◎
Connection Part	High Frequency Deposition Part	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○	○	○	○	×	○	○	◎	◎	
	Bolt Connection Part	◎	◎	◎	○	○	×	○	○	○	○	×	×	×	○	○	○	◎
	Metal Connection	◎	◎	◎	○	○	×	×	○	○	○	×	×	×	○	○	○	◎
Rubber Packing	◎	◎	◎	◎	◎	×	×	×	×	○	×	×	×	○	◎	×	◎	

3.2.2 비개폐식 막 구조

비개폐식 막 구조의 누수는 일반적으로 앞서 언급한 막재의 누수요인과 동일하다. 특수한 요인으로 폰딩(Ponding)현상은 구조적으로도 큰 문제가 되며, 막 구조물의 수밀성능 측면에서는 부재의 접합부에 처짐이 발생하거나 구조물 설치 시 도입한 초기장력이 감소하여 우수가 장기 체류할 경우 체류수에 의한 막재의 열화 부위에서 누수가 발생한다.

3.2.3 개폐형식 형식에 따른 누수요인별 중요도 부여

막 구조물의 지붕부를 구조형식에 따라 개폐, 비개폐로 나누어 누수요인을 분석한 후 그 원인을 Table 4와 같이 정리하였다. 중요도 부여의 방법은 앞의 3.1.4항과 동일하며, 관리지표로서는 비개폐식 구조의 경우 폰딩 현상 및 변형이 중요한 지표로 나타났으며, 단계별 중요도에 따라 설계단계, 유지관리 단계에서 이를 고려해야 한다. 개폐식 구조의 경우 슬라이딩부에서 레일의 변형 및 강우 시 오버플로우의 방지가 중요한 지표로 나타났다. 또한 지붕 맞댐부 및 끝단부의 수밀성 및 내구성 역시 중요한 지표로 나타났다. 단계별 중요도에 따라 설계 단계 및 유지관리 단계에서 모두 이를 고려해야 한다. 특이점으로는 현장 적용성 검토항목을 추가하였는데, 이는 선행연구에서 실시한 지붕 개폐부의 맞댐부에 대한 모형 수밀성 시험결과, 풍환경 및 우수환경을 재현한 풍

동 시험에서 모든 디테일의 누수 발생을 반영한 것이다. 이러한 결과를 통해 설계단계에서 개폐식 지붕구조의 시공 디테일을 사전에 작성하여 모형 수밀성 시험을 반드시 시행한 후 그 결과에 따라 설계 디테일의 변경, 개선, 보완 후 본 시공을 해야 한다.

4. 대공간 막 구조물의 유지관리 지표

제 3장의 막구조물 누수 원인 분석을 통하여 다음의 5가지 사항을 근간으로 유지관리 지표를 제안하였다.

- 1) 막재 간 접합부의 누수 방지
- 2) 막재의 열화 환경 대응 필요
- 3) 막재의 수밀성능 확보
- 4) 막재와 구조재의 접합부 수밀성
- 5) 개폐부의 우수 침입 방지 대책 수립

유지관리의 지표는 다음의 Figure 2와 같으며, 유지관리 지표 항목은 설계단계에서의 수밀성능 품질 평가, 시설물이 설치되는 환경에 대한 영향 평가, 그에 따른 현장적용성 평가 등이 있으며, 시공단계에서는 막재 접합부의 품질확보를 위한 시험평가 등을 제안하였다. 또한 유지관리단계는 열화인자의 관리, 진단, 점검 방법 및 절차 등을 제안하였다.

Table 4. Performance of each part and Importance of Deterioration ◎ Important ○ Normal × Low

		Required Performance			Deterioration Element			Study of Feasibility for On-site Application	Stepwise Study		
		Water Tightness	Air Tightness	Durability	Deformation	Ripping	Overflow		Design Stage	Construction Stage	Maintenance
Sliding Part	Rail(Running Part)	×	○	×	◎	×	◎	○	◎	×	○
	Water Drainage	×	×	×	○	×	◎	×	×	×	◎
Retractable	Precipitation prevention treatment	◎	×	○	○	×	○	◎	◎	○	◎
	Deterioration of Material	○	×	◎	○	○	×	○	○	×	◎
Retractable End Part	Precipitation prevention treatment	◎	○	○	○	×	×	◎	◎	○	◎
	Deterioration of Material	○	×	◎	○	○	×	○	○	×	◎
Closed	Ponding Phenomenon Part	◎	×	○	○	○	×	○	○	○	◎
	Moving Part	○	○	×	◎	○	×	×	○	×	○

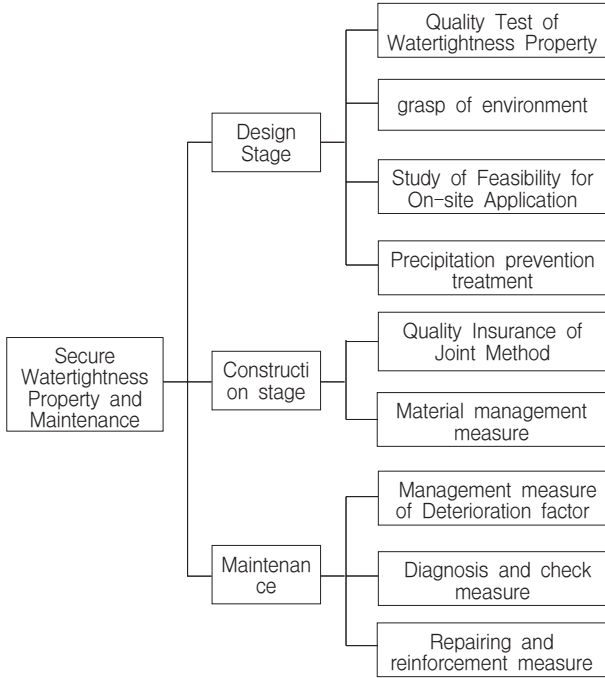


Figure 2. Assessment Index of Secure Watertightness Property and Maintenance

5. 막 구조물의 수밀성능 평가 지표

5.1 막재 및 접합부의 수밀성능 평가 지표

막재의 수밀성능은 막 구조물 전체의 수밀성을 좌우하는 가장 큰 핵심이며, 기본적으로 확보되어야 할 필수적인 요소이다. 따라서 설계단계 및 시공단계에서 막재의 수밀성능의 확보를 위하여 수행해야 할 평가 지표가 필요하다. 이에 4장에서 제안한 유지관리 지표를 근간으로 수밀성능 평가지표를 Figure 3와 같이 제안하였다. 수밀성능 평가 지표 항목은 코팅부의 경우 내수성, 내흡수성, 내화학성 및 코팅부 접합강도 등을 제안하였으며, 직물부는 코팅부와 공통된 내수성, 내흡수성, 내화학성을 제안하였다. 접합부의 경우는 습윤시 인장강도, 접합강도, 화학처리 후 인장강도 등을 제안하였다.

5.2 지붕형식(개폐, 비개폐)별 수밀성능 평가 지표

지붕형식별 수밀성 확보를 위한 수밀성능 평가 지표는 앞서 분류한 바와 같이 지붕 구조를 개폐형식과 비개폐형식으로 나누었으며, 비개폐형식은 5.1에서 언급한 평가 지표와 같다. 개폐형식의 경우는 수밀성능의 평가가 시공 전에 이루어져야 하므로 반드시 설계단계에서 개폐부 디테일 모형제작을 통한 풍동시험 시행을 채택하였다. 또한 풍동시험에 적용될 변수는 선행 연구[3]에서

제시한 막 구조물이 설치되는 지역의 과거 10년간 최대 강우량과 과거부터 현재까지 관측된 최대 풍속을 적용한다.

지붕 개폐형식에 대한 수밀성능 평가 지표는 Figure 4와 같이 제안하였다. 수밀성능 평가지표 항목은 슬라이딩부, 개폐식 지붕의 맞담부 및 끝단부 모두 앞서 언급한 모형 수밀성 시험을 실시하여 개폐부의 수밀성 평가, 내수성 평가 및 슬라이딩부의 배수성 평가, 오버플로우 여부 평가 등을 제안하였다. 또한 동시에 풍하중을 적용하여 풍하중 저항성 평가를 제안하였다.

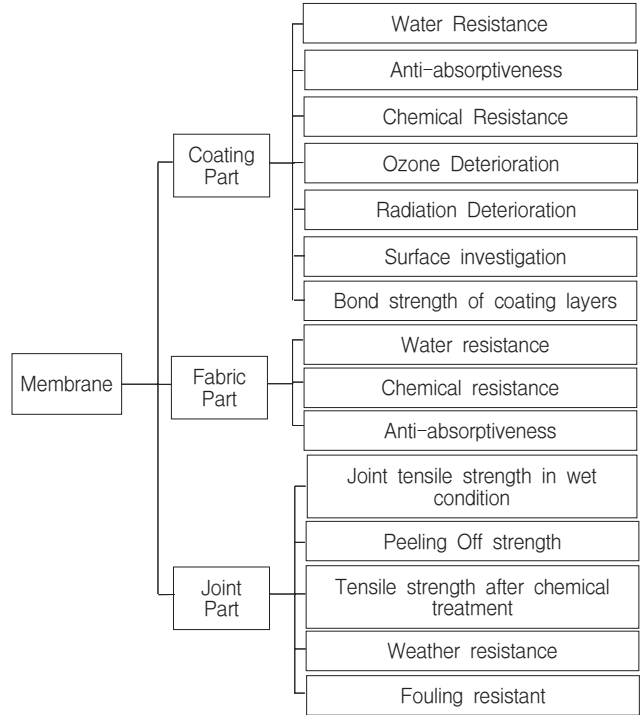


Figure 3. Test Index of Membrane and Joint Watertightness quality

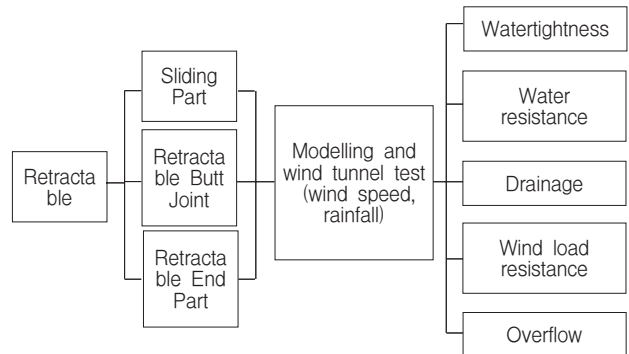


Figure 4. Test Index of Watertightness Quality of Retractable Part

6. 유지관리 점검 지표

5장의 수밀성능 평가지표가 초기시공 시 사용 환경에 적합한 재료 선정을 위한 것이라면, 이를 지속적으로 유지하기 위한 적절한 점검관리가 필요하다. 즉, 설계 성능이 이 사용 환경에 적합하게 설정한 범위 이하로 저하되지 않도록 관리하는 정기적 점검이 요구된다.

따라서 본 장에서는 일상점검이나 정기점검 등에 대한 지표를 설정한다. 점검 지표의 활용은 대공간 막 구조물의 유지관리를 위한 개보수 공사 시 공사의 규모의 최소화하고, 요구 수밀성능을 확보하는데 필요하다.

6.1 점검 종류의 제한

6.1.1 초기점검

신설 시설에서는 구조물의 시공 기록을 보존하고, 막재에 관련한 시험체를 보관한다. 사용 환경 또는 그 이외의 원인에 의한 막 구조물의 수밀성능 저하가 발생한 경우에도 원인 조사에 유용한 자료가 되며, 기존 시설에서는 점검시작 시가 초기점검이 된다. 점검시작 단계에서의 상태(막재의 열화 환경, 막재의 표면상태

등)을 정리하여 일상점검, 정기점검을 운용한다.

6.1.2 일상점검

일상점검에서는 막재의 표면이나 접합부 및 그 주변의 온도, 습도, 색변화 및 표면 열화 유무를 확인한다. 그 결과로 막재 및 접합부의 열화 상태를 확인한다. 예를 들어 기상부 습도 및 온도 측정은 막면의 결로 상황에 도움이 된다. 따라서 일상점검을 통하여 발생 가능한 열화에 대하여 관리한다.

6.1.3 정기점검

정기 점검은 막 구조물 시설의 운용에 따른 변동 상황을 정기적으로 평가한다. 정기점검 시에는 열화 환경의 시간변동을 파악함과 함께, 사계절마다 년간 변화 상태를 파악한다. 이들의 결과로부터 설계 시의 재료 선정에 필요한 열화 환경을 참고한다.

6.2 점검 지표

Table 5는 막 구조물의 점검항목 및 점검시기 등에 관한 지표를 제시한 것이다. 초기점검, 일상점검, 정기점검에 대하여 점검항목 및 점검시기, 빈도를 설정하여 구체적인 점검 계획을 세우며, 점검의 분류를 명확히 하여 각 점검 수행에 있어서 중복이 없도록 한다. 또한 점검 수행 후 기록을 작성하여 보관한다.

Table 5. Check Categoris and Check Period

Types of Checks	Check Categories	Check Period Check Frequency	Remarks
Initial Check	New Facility	①Existence of initial defect during the construction process of the membrane surface ②Status of connection part construction	When the construction is completed, Beginning of the operation Keep construction records
	Existing Facility	①Surface status of the membrane ②Status of deterioration in the connection part ③Whether water is leaking	Beginning stage of the checks List up the construction records of the initial construction and repairs
Daily Check	Status of Structure	①Surface status of the membrane Decoloration or rough surface by dust attachment, etc. ②Connection status of the connection part Whether the connection part is peeled off, whether water is leaking	Monthly 1~2 times of simple visual and touching checks when the opening of the cover during daily facility checks In addition to abrasion of the membrane and connection part, verify the existence of the sign of water leakage
	Status of Usage Environment	Dry ro wet status of the membrane surface exposed to weather	
Periodical Check	Status of Structure	①Surface status of the membrane Decoloration or rough surface by dust attachment, etc. ②Connection status of the connection part Whether the connection part is peeled off, whether water is leaking ③Degree of deterioration of the membrane surface and whether damaged ④Degree of contamination of the membrane surface and connection part	Once every season (4 times a year) considering the seasonal changes In addition to abrasion of the membrane and connection part, verify the existence of the sign of water leakage If the operation status of the facility is stabilized, it is possible to reduce the number of checks to 2 times a year.
	Status of Usage Environment	①Deterioration of rubber by radiation, oxidation, or ozone and wet or dry condition of the membrane surface ②Existence of deterioration by mechanical fatigue in the connection part between structure part and the membrane	

6.3 점검 절차

Figure 6에 유지관리 점검 절차를 제시하였다. 다만 제시한 절차에서는 누수확산 여부의 판단기준 및 보수공법의 검토 방법은 언급하지 않았으며, 초기점검, 일상점검, 정기점검을 통하여 결함 및 누수부위를 보수하기 위한 보수공법의 선정까지의 절차를 제시하였다.

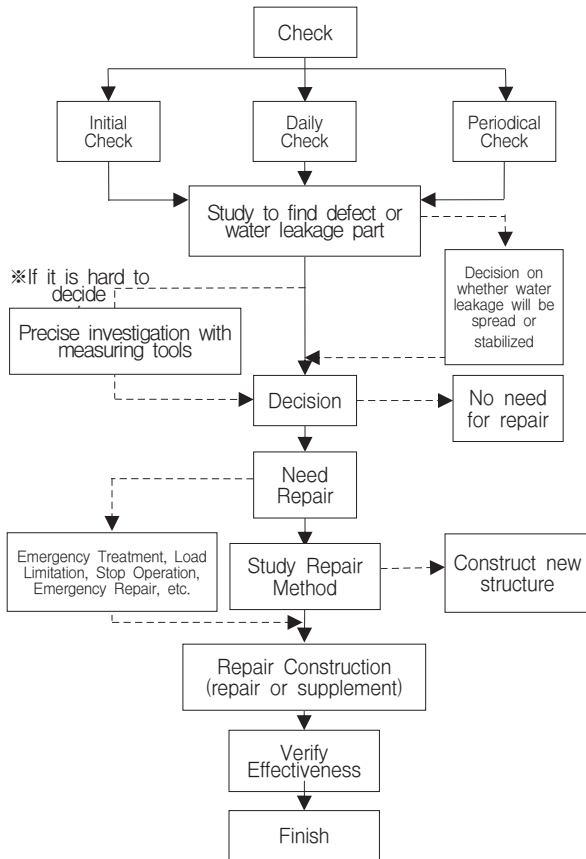


Figure 6. Watertightness Property Maintenance Process

7. 결 론

본 연구는 대공간 막 구조물의 수밀성능 확보를 위하여 유지관리 지침 마련을 위한 기초 연구로서, 막 구조물에 적용되는 막재, 막재와 구조재의 연결부, 지붕구조 형식(개폐식, 비개폐식)에 따라 필요한 유지관리 지표를 제안하고, 장기적 성능 확보를 위해 설계단계, 시공단계, 유지관리 단계에서의 필요한 수밀성능 평가 지표, 점검 지표를 부가적으로 제안하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 대공간 막 구조물의 누수하자 사례조사를 통하여 발생한 누수 및 열화 요인을 도출하였으며, 이를 통하여 대공간 막 구조물에서의 누수 취약부 원인 요소를 선정하였다.
- 2) 누수 취약부에 대한 원인 조사 결과를 통하여 구조물의

막재, 접합부, 개폐부에 대한 유지관리 지표를 제안하였으며, 각 지표별 중요성과 설계, 시공, 유지관리의 3단계를 통한 중점관리 대상을 구분하였다.

- 3) 제시된 유지관리지표를 근간으로 설계, 시공단계에서 확보되어야할 수밀성능 평가지표를 제시하였다.
- 4) 건설 후 사용과정에서 유지관리를 목적으로 진행하여야할 점검 항목 및 절차에 대한 지표를 제안하고, 이를 기초로 유지관리 점검 프로세스를 제시하였다.

이에 본 연구에서 제안한 유지관리 지표는 향후 대 공간 건축물의 지붕 구조물에서의 장기적 내구성능 확보를 위한 유지관리 지침서 작성의 기본 자료로 활용될 것으로 기대된다. 다만, 본 연구에서 언급하지 않은 성능 기준, 성능 평가 방법, 재료 및 공법의 선정, 시설 점검의 기준 등은 향후 연구를 통하여 발표할 예정이다.

요 약

최근 막 구조물의 수요 증가에 따라 막 구조물의 구조 및 재료적 연구의 진행은 막 구조물을 하나의 독립된 구조물로서 인정받을 만큼 활발히 진행되고 있지만, 유지 관리 측면의 연구의 경우 아직까지 이에 미치지 못한 상황이다. 특히 유지관리 측면의 연구 중 지붕구조의 수밀성 및 누수에 관한 연구는 해외에서 일부만을 다루고 있어 국내 실정에 맞는 유지관리 지표 개발이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 막 구조물 지붕부의 막재 및 접합부, 지붕 형태에 따른 누수취약부에 대한 하자 사례 조사를 통하여 누수 요인 및 열화 인자를 분석하였고, 이를 AHP기법을 활용하여 중요도를 부여하여, 막 구조물에서 필요한 유지관리 지표를 제안하였으며, 이를 바탕으로 막 구조물 지붕의 장기적으로 수밀성 확보를 위한 설계 및 시공단계에서의 수밀성 평가 지표, 준공 후 사용과정에서의 점검 관리 지표를 제안하였다.

키워드 : 대공간 막 구조물, 수밀성능, 유지관리지표, 누수

Acknowledgement

This research was supported by a grant(code#06 R&D B03) from Cutting-edge Urban Development Program funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

References

1. Lee MH, Kim JY, Kim DY, Kim, SD. A Study on Equivalent Static wind road estimation of large span roofs. Journal of

-
- the Korea Association for Shell and Spatial Structure
2006;19(28):83-90.
2. http://www2.readersnews.com/sub_read.html?uid=24393§ion=sc1.
 3. Oh SK, Baek KY, Lee SG. A Study on the Evaluation of Watertightness Properties for Rain-Block System in the Sliding-Roof Joint of Large-Span Membrane Structures. *Journal of the Korea Institute of building Construction* 2010;10(3):129-135.
 4. Park SW, Choi CK. A large retractable roof structure in world. *Proceedings of KASS Symposium* 2008:227-231.