

# 국내 막구조 분야의 현실과 과제

## Presence and Future in the Field of Membrane Structures in Korea



김희균\*  
Kim, Hee-Kyun



김재열\*\*  
Kim, Jae-Yeol

### 1. 막구조의 시작과 현재

건축구조에서 막구조라는 단어는 오래전부터 사용되어 왔지만, 일반적으로는 천막구조 또는 텐트구조 등의 단어로 인식되어 있다. 특히, 국내에서는 막구조보다 가설구조물의 의미로서의 천막구조나 1~2년 정도 사용되는 건축물의 이미지가 강하다. 가까운 일본은 1970년 개최된 오오사카 EXPO를 시작으로 막구조라는 분야가 건축 분야에 정착되어 꾸준히 발전되어 왔다. 특히, 1988년 도쿄돔<그림 1>의 완공으로 영구 구조물로서의 위치를 확고히 했다고 볼 수 있다. 물론, 지붕구조재인 막재의 개발도 수반되었다. 한국도 1993년의 대전 EXPO를 기점으로 국내에서도 막구조물의 사례가 증가되었다. 하지만, 건축 구조분야에서의 막구조라는 확고한 위치를 정착시키지 못하였고, 2002년 한일 월드컵을 계

기로 다시 찾아온 막구조의 위상 확보에도 제대로 대처하지 못한 느낌이다.



<그림 1> Tokyo Dome

### 2. 학문적인 시각에서 본 막구조

일본은 1967년 텐트구조연구회라는 이름으로 시작되고 1978년 일본막구조협회<그림1>로 정식 발족된 사단법인 일본막구조협회가 중심으로 막구조의 학문적 기술적인 연구와 기술 축적이 활발히 진행되

\* 정회원·공학박사

\*\* 정회원·협성대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

어 왔다. 또한, 학회가 중심되어 건축구조분야에서 막구조라는 구조분야가 확고한 위치를 유지하고 있다. 반면, 국내는 사단법인 한국공간구조학회(그림 1)가 2001년 설립되어 막구조의 분야를 포함한 공간 구조에 대한 연구 및 기술개발 활동을 시작하였다. 일본보다는 늦게 설립이 되었지만, 한일 2002 월드컵 경기장 건설등을 계기로 성장해 나가고 있다. 하지만, 막구조라는 분야가 건축구조 분야에 확고한 위치를 잡지 못한 상태에서 막구조보다는 대공간 구조에 관점을 두고 있는 게 현실이다. 또한, 막구조라는 단어 사용도 학계 관계자와 관련업계 관계자만이 사용할 뿐 일반적으로는 천막구조 또는 텐트라는 명칭이 사용되고 있는 것이 현실이다.



1) 한국공간구조학회



2) 일본막구조협회

〈그림 1〉 한·일 막구조관련 협회

### 3. 기술적인 시각에서 본 막구조

막구조에 대한 학문적·기술적인 면에서 한국은 아직 후발 주자라고 볼 수 있다. 일본의 경우에는 (사)일본 막구조협회가 중심으로 막구조 분야가 체계적으로 나아가고 있다. 또한, 세계 막구조물의 사례에서 알 수 있듯이 가장 높은 점유율을 차지하고 있는 Makmax Group의 본사(太陽工業)가 일본에 있어 여러 조건에서 막구조 분야가 앞서 나갈 수 있었다고 볼 수 있다. 반면에 한국의 경우는 일본의 막구조 기술을 도입하여 기술 축적 및 연구가 진행되고 있다고 볼 수 있다. 아직 국내에는 막구조에 대한 법규등도 아직 제정되어 있지 않아, 실제 시공 사례에서는 일반시방서 및 특기 시방서의 내용을 외국의 기준을 인용하는 경우가 많다. 특히, 막재료의 경우, 구조용 막재료의 기술적 기준은 외국의 기준에

따르고 있는 것이 현실이다. 국내에서도 새로운 막재의 개발이 진행되고 있고, 시공기준이 마련되어 있지만, 아직 부족하다고 볼 수 있다.

### 4. 시공성의 시각에서 본 막구조

하나의 막구조물을 완성하기 위해서는 계획-설계(구조해석 포함)-제작-시공에 이르는 전공정에 대해서 종합적으로 판단하고 계획을 세워서 진행되어야 한다. 이를 위해서는 전체적 프로세스의 작성과 각 단계에서의 실행 메뉴얼등의 작성, 시공전에 준비사항, 시공방법 및 계획등을 미리 작성하여 시물레이션을 통한 사전 검토가 이루어져야한다. 현재, 국내에서는 막구조 설계기준 및 해설이라는 지침서 외에도 여러가지 지침서가 있어 계획에서부터 현장의 시공담당자가 참고하기에 많은 도움을 주고 있지만, 더 많은 참고 자료가 필요하다. 또한, 국내에서는 통일된 기준에 대한 현장 검사나 감리자들이 참고할 만한 자료가 부족한 것도 사실이다. 그래서, 현장에서는 경험자의 생각과 판단이 우선이 되고, 시공이 진행되고 있는 것도 현실이다. 모든 막구조물 시공 현장에서 판단할 수 있는 시공 지침서와 구속력을 갖춘 법규의 마련도 필요하다고 생각된다. 일본의 경우는 막구조라는 분야가 확고히 자리잡고 있어, 누구라도 막구조를 계획하게 된다면 하나의 통일된 기준에 의해 모든 것이 계획되고 설계되고 판단하여 시공되어지고 있다. 오랜 시간동안의 축적된 기술에 의한 것이라 생각되며, 많은 시행착오를 겪은 후에 만들어진 기준이 아닐까 싶다. 일본과 같이 통일된 기준으로 법적 규제 속에 시공이 진행된다면 주먹구구식의 시공은 이루어지지 않을 것이다. 공사비의 기준도 마련될 것이며, 부실공사의 방지에도 도움이 될 것이며, 약속되어진 기준에 의한 시공으로 기술력의 축적과 새로운 기술의 개발도 이루어질 것으로 판단된다.

## 5. 유지관리적 시각에서 본 막구조

국내에도 많은 막구조물이 시공되어져 왔고, 세계적으로 높은 평가를 받은 막구조 건축물도 다수 존재하고 있다. 하지만, 반면에 중소규모의 막구조는 정해진 기준이 없이 시공된 사례도 많아서 막구조에 대한 이미지를 실추시키고 있는 것도 현실이다. 단지, 예산 문제 또는 행사용 단기간 사용을 위한 구조물 그리고, 막구조에 대한 인식이 아직 천막이라고 인식하여 시공관리 및 완공 검사에 대한 지식 부족에 의한 부실한 막구조물의 건설등으로 완공 뒤 1~2년후에 짧게는 몇개월만에 부실공사로 판명되어 더 이상의 막구조물의 계획이 사라지는 안타까운 일도 비일비재하다고 볼 수 있다.

국내에서도 막구조 건축물의 완공 후의 유지 관리에 대한 기준을 빨리 마련하여 법적 구속력을 가지게 하여야 한다고 생각한다. 최근에 한국에서는 새로운 막재인 ETFE재료를 사용한 건축물의 시공사례가 증가되고 있다. 세계적인 추세를 보더라도 유럽이나 가까운 중국에서도 많이 사용되고 있는 새로운 막재이다. 지금이 국내의 기술력을 축적할 수 있는 좋은 기회라고 생각된다. 막구조 관련 업체와 학계가 서로 힘을 모아야 할 때라고 생각한다.

## 6. 막구조물의 부실 사례와 대책

막구조물은 자연과 가장 가까운 곳에서 공존하는 건축물이라 할 수 있다. 공원의 야외무대, 체육시설 등의 스탠드 지붕, 쉼터등의 중소규모의 막구조물은 자연과 공존하면서 사람들과 가장 친근감을 유지할 수 있다. 하지만, 체계화되지않은 막구조물에 대한 설계에서 시공에 이르는 전반적인 프로세스와 시공법의 이해 부족과 시공 기술력의 부족함으로 가끔씩 미관을 해치게 하는 경우도 간혹 있다. 다음의 그림 자료는 막구조물의 부실 사례를 보여주고 있다. 막구조물은 철골 구조와 밀접한 관계에 있으며, 시공방법 또한 철골 구조물의 시공방법에 많이 기인한

다. 철골의 제작 및 검사, 마감방법등은 골조막구조물에 그대로 적용이 된다.



〈그림 2〉 플레이트부 도장 마감 부실



〈그림 3〉 플레이트 고정볼트부 마감 부실

〈그림 2〉는 막구조물에서 흔히, 멤브레인-플레이트라고 하는 단부의 막고정 플레이트이다. 〈그림 3〉은 멤브레인-플레이트와 철골구조물의 끝단과의 고정을 위한 조볼트를 보여주고 있다. 〈그림 2〉는 볼트부의 마감 도장의 미처리에 의한 녹발생, 〈그림 3〉에서는 조볼트부의 마감 도장의 미처리에 의한 녹발생등을 알 수 있다. 시공상에서 조금의 관심 부족이 전체 구조물의 미관을 해치고 수명을 단축시키는 결과를 가져오는 것을 알 수 있다.

〈그림 4〉와 〈그림 5〉는 막구조물 단부의 멤브레인-플레이트 마감부분의 케이블고정부를 보여주고 있다. 앞에서 보여준 〈그림 2〉와 〈그림 3〉의 내용





〈그림 4〉 단부 케이블 마감 부실



〈그림 5〉 단부 케이블 마감 부실

을 포함하고 있고, 또한, 케이블 마감부의 볼트마감과 여장길이의 불일치등을 알 수 있다. 철골구조와 같이 동일한 여장길이의 기준이 있지만, 법적인 구속력이 없는 것과 시공시의 관리부족 및 인식부족을 원인으로 들 수 있다. 이러한 시공은 시간의 경과에 따른 볼트 풀림등에 따른 2차 사고발생의 위험성도 가지고 있다. 따라서, 골조막구조물에서도 골조는 철골구조와 동일한 구조재 강재를 사용하고 있기 때문에 철골 구조물과 동일한 기준이 적용된다. 하지만, 현장에서는 막구조물이라는 인식에 의한 소홀한 관리감독으로 이러한 부실이 나타나고 있다. 또한, 시공기술자들의 막구조에 대한 인식의 변화도 필요하다고 느껴진다.



〈그림 6〉 내부 고정볼트 마감 부실



〈그림 7〉 단부 케이블 마감

〈그림 6〉은 〈그림 2〉와 〈그림 3〉에 언급한 골조막구조물의 철골부분의 볼트부의 도장 마감의 미처리에 의한 녹발생을 보여준다. 〈그림 7〉은 막구조물의 케이블 단부 마감이 깨끗하게 시공 처리된 사례를 보여준다. 마감부의 여장길이 확보, 도장의 일치등을 알 수 있다.



〈그림 8〉 자연속의 막구조물

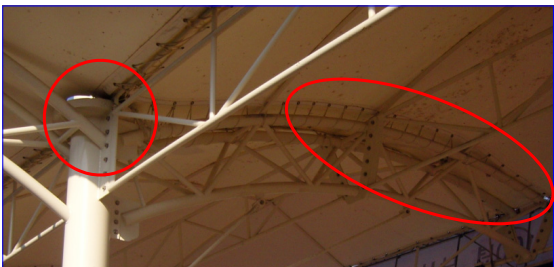
〈그림 8〉에서와 같이 막구조물은 자연속에 위치하여 자연과 함께 할 때, 가장 아름다움을 느끼게 해주는 구조물이라 할 수 있다. 막구조물의 다양한 디자인성, 막재의 부드러운 이미지와 빛 투과성등은 다른 재료가 흉내낼 수 없는 장점을 지니고 있다. 하지만, 이러한 우수한 특성을 가진 막구조물이지만, 설계에서 시공에 이르는 과정을 충실히 이해하고 수행하지 않으면 아래와 같은 결과를 가져오게 된다.



〈그림 9〉 마감부분 미처리에 의한 부실

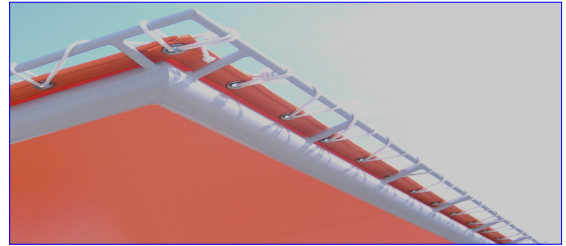


〈그림 10〉 중간막고정부 로프마감의



〈그림 11〉 관통부와 로프고정부의 마감 부실

〈그림 9〉는 코너부의 장력 미처리에 의한 주름발생과 철골 기둥부재의 관통부의 부실마감에 의한 오픈부 발생을 보여주고 있다. 또한, 〈그림 10〉과 〈그림 11〉에서는 내부 지붕 중간 부분의 막재고정의 미숙함에 의한 부실과 기둥 관통부의 부실 사례를 보여준다. 설계상의 미스에 현장 시공에서의 부실시공이 더해져 마감부의 엉성함이 그대로 나타난 사례라고 볼 수 있다.



〈그림 12〉 외곽막고정부 로프마감



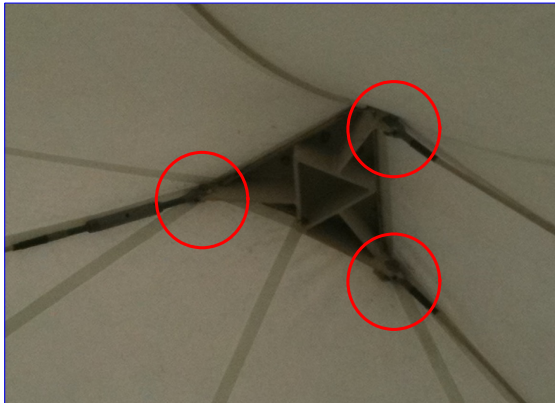
〈그림 13〉 중간막고정부 로프마감

〈그림 12〉와 〈그림 13〉은 막구조물의 단부 및 중앙부의 막재 고정을 로프로 했을때의 제대로 된 사례를 나타내고 있다. 한국공간구조학회에서 발간한 막구조 설계기준 및 해설에도 공통적인 기술자료가 실려있어 참고로 할 수 있다. 고정 로프간의 간격 및 매듭법 또한 기술되어 있다. 시공기술자 및 감리감독의 조금한 관심이 아름다운 막구조물을 탄생시킬



수 있다고 자신한다.

또, 한가지는 막재 제작시에 대한 사례를 예로 들어 보겠다. 기본적으로 앞서 소개한 자료에도 기술되어 있지만, 막재면이 철골이나 케이블에 맞닿는 부분은 동등한 막재로 보강하여 제작 및 시공하여야 한다고 되어 있다.



〈그림 14〉 정점 부분의 보강 부실



〈그림 15〉 정점 부분의 보강

〈그림 14〉는 막구조물의 정점 돌출부의 내부 모습이다. 케이블 3본이 한부분에 모이는 마감부로서 삼각형 점선으로 나타난 부분에 막재 보강이 부족함을 알 수 있다. 이 경우, 시간의 경과에 따라서 케이블과 맞닿는 부분의 막재 파손의 우려가 높다고 할 수 있다. 이와 같은 마감부는 케이블이 막면과 맞닿는 부분의 보강도 이루어져야 하고, 또한, 삼각형 부분의 철골 마감부분에도 플레이트를 감싸는 정도의 막재 보강이 필요하다. 〈그림 15〉의 원형 돌출정점부

의 보강을 참고로 할 수 있다.

## 7. 마무리

지금까지 막구조물에서 볼 수 있는 부실부분에 대해서 몇가지 사례로 알아보고, 대책방안에 대해서 정리해 보았다. 하지만, 무엇보다도 막구조에 관련된 업무를 실제로 하고 있는 필자를 비롯한 모든 관계자들이 막구조물에 대한 인식의 변화가 가장 필요하다고 판단된다. 모든 막구조물은 1~2년으로 수명을 다하는 가설물이 아니라, 10년 이상을 내다보는 건축물로서 존재한다는 것을 설계자와 발주처 그리고, 시공기술자와 관리감리 감독자 모두가 제대로 인식하여야 설계에서 완성에 이르기까지 전 공정에서 제대로 된 막구조물이 탄생할 수 있다고 생각한다. 또한, 학계 및 학회 관계자 모든 분들의 관심과 노력으로 막구조가 건축구조의 한분야로서 빠른 시일에 정착되기를 기대한다.

최근에는 지자체에서 경쟁적으로 수익사업과 지역개발의 일환으로 추진하고 있는 주민들에게 아름다운 경관 만들기 프로젝트는 지역의 랜드마크가 될 과 동시에 자연을 공유하고 자연과 공존하는 새로운 디자인을 적용한 새로운 공간을 창출할 수 있다. 이러한 요구를 충족시키기에도 다양한 디자인의 적용이 가능한 막구조의 채택이 점점 더 유리해지고 있고, 증가하고 있다. 특히, 최근 다양한 디자인과 용도의 막구조물이 건설되고, 국내 월드컵 경기장의 막지붕처럼 대규모 건축물에 막구조가 적용되면서 영구 구조물로서 꾸준히 사랑받고 있고, 최근의 낙동강 대표 물문화관에 적용된 ETFE막재처럼 우수한 구조적 기능을 가진 새로운 막재의 등장으로 막구조가 건축구조분야에 확고한 위치를 다질 새로운 기회를 맞이했다고 생각된다. 이러한 시점에서 좀 더 모두가 노력한다면 국내에서도 막구조가 건축분야의 한분야로 확고히 자리매김하는 날도 그리 멀지 않을 것이라고 기대해본다.