일본 중고이륜차 옥션회장 BDS 프로젝트

BDS Project
-An Auction Market for Used Bikes in Japan-

이 주 나*
Lee, Ju-Na

최근, 일본의 중고이륜차 옥션업계의 톱을 달리고 있는 (주)BDS가 이륜차전용 옥션장을 치바현 카시와시(千葉県柏市) 외곽의 큐쇼난마치(旧沼南町)로 옮겨 개장했다(2007년 상반기).

일반손님은 입장시키지 않는 완전 회원제의 이 옥션장은 12.4ha의 광대한 부지에 기업의 서비스 센터와 옥션회장, 그리고 중고이륜차의 출품회장 등을 포함한 건축면적 약 40,000m^{2}의 광대한 건설프로젝트로 완성되었다. 그중 약 23,000m^2 면적의 출품회장은 호른형의 들림형 막구조가 연속적으로 광활한 지역을 덮고 있는 방식이어서, 일본 내에서도 막구조의 새로운 사례가 되었다(<그림 1> 참조).

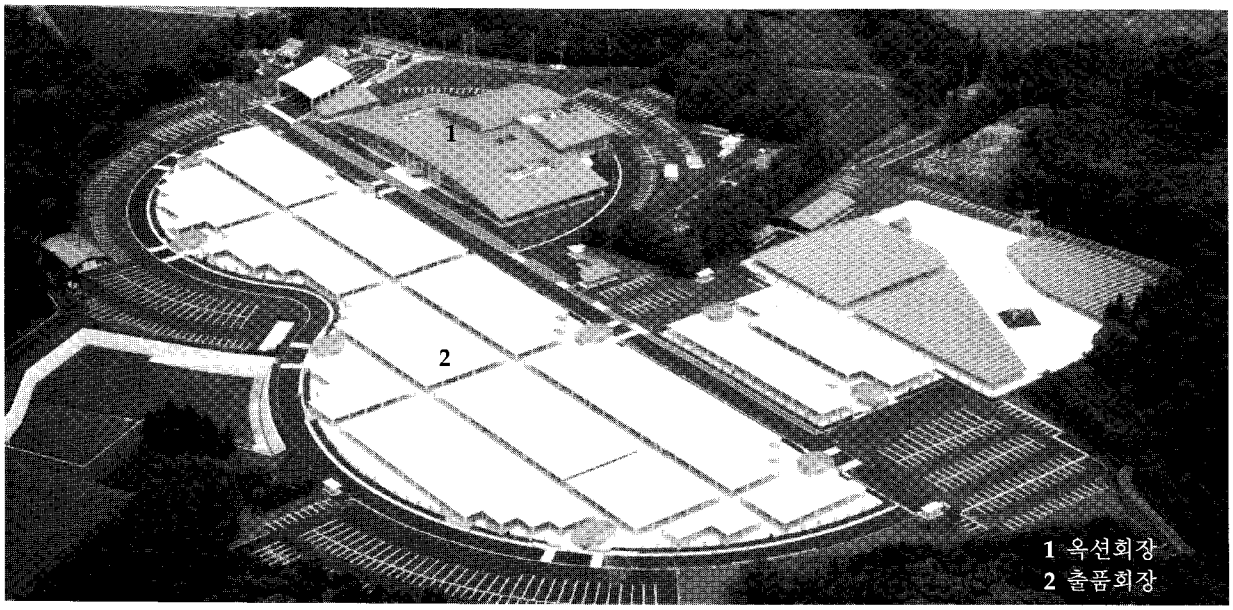
구조체가 마감재이자 거의 건축물의 전부인 이 대형 막구조의 구조설계는 일본대학의 사이토 마사오교수의 공간구조디자인연구실에서 담당하였다. 특히 본 저자는 이 BDS 프로젝트가 진행될 당시 일본대학의 공간구조디자인연구실에서 연구원으로 있었는데, 직접 설계과정에 참여하여 설계안을 기획하고 프로젝트의 성립과 설계 전 과정에 걸친 진행과정을 지켜볼 수 있었다. 따라서 금번 기회에 이 건축물의 계획과 시공과정을 소개함으로써 대규모 막구조에 대한 관심을 높이고자 한다.

* 정회원, 충북대학교 학술연구교수, 공학박사

1. 설계조건 및 프로그램

부지는 숲으로 둘러싸인 12.4ha의 평지로 중앙은 계곡을 매립한 땅이었다. 남쪽의 좁은 지방도는 지역의 주 이용도로여서 활용이 불가능했고, 대안으로 북측의 현립도로를 접근로로 할 수밖에 없었다. 그러나 북측에 인접지(180m×60m)가 크게 관입하는 등, 요철이 있는 복잡한 지형의 부지여서 계획과 시공에 어려움이 있었다. 이에 따라 평면형을 반원형을 기본으로 하여 구내통로를 조합하고 대지경계와의 사이에 주차장(660대)을 분산배치하여 구석구석까지 유효하게 활용하는 평면 안을 결정하였다.

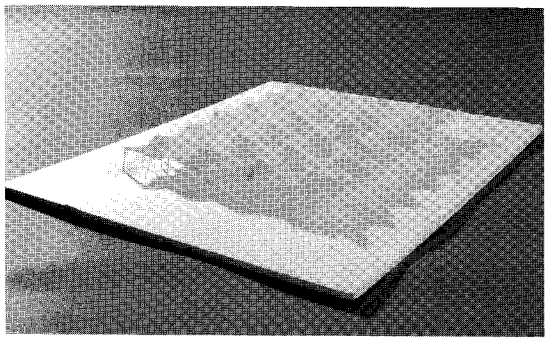
설계에 있어, BDS로부터 요구되는 설계 프로그램은 회원이 쾌적하게 하루를 보낼 수 있는 장소와 수입, 검사, 반출을 원활히 수행할 수 있는 넓은 옥션회장이었다. 그러나 예산이 넉넉치 않았고, 다른 공사와 비교했을 때 73%에 불과한 공기 안에 작업을 수행해야 하는 어려움이 있었다. 설계초기에 부족한



〈그림 1〉 치바현 카시와시 소재의 중고이륜차 옥션회장 BDS 전경 일본대 공간구조디자인연구실제공

예산과 공사기간을 만족시키는 건축방식이 제안되지 않는다면 건축주는 프로젝트 자체를 포기하겠다는 상황이었다.

이러한 제한적인 조건에 맞닥뜨려서 우리에게 떠오른 아이디어가 바로 막구조였다. 비록 단일의 대공간은 아니라고 해도, 전례가 없는 넓은 공간을 덮어야 한다는 것이 놀랍기도 했지만, 이로 인해 마치 한 장의 막을 띄운 듯 가벼운 지붕이 전체를 덮고 있는 듯이 보이게 하겠다고 하는 구상이 초기 단계부터 발생되었다.

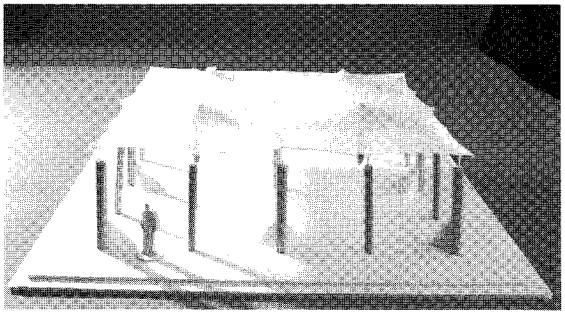


〈그림 2〉 최초의 계획안 모델

먼저 우리는 한 장의 막이 떠있는 듯 한 이미지를 약 15cm내외의 작은 모델을 통하여 건축주와 설계자에게 보여주었다(<그림 2> 참조). 초기의 계획은 완성된 구조와는 다르게, 정방형의 스팬으로 규칙적으로 기둥을 세우고 중앙 현수막의 한 점을 아래로 잡아당겨 호른형 곡률을 만드는 방식의 아이디어였다.

아주 작은 이 모델은 건축주와 실시 설계자들이 막구조에 흥미를 가지게 해서 실제 이 프로젝트를 추진하기로 하는데 큰 역할을 하였다. 막구조로 한다면 당시 고민되었던 공기와 예산의 문제를 해결할 수 있다는 가능성이 보였기 때문이다.

그리고 그 후 반복되는 설계검토 끝에, 여러 사용상의 이유와 시공적 이유로 인해 6.0×6.8m의 유니트가 연속된 들림형 막구조방식으로 변경되었고, 수정된 계획내용이 모델제작을 통해 다시 제안되었다(<그림 3> 참조). 네 개의 기둥이 막을 지지하는 하나의 유니트 중앙에 강봉으로 들어올린 뜬지주를 배치하여 막을 호른모양으로 들어올리며, 가장자리에는 케이블에 막면을 정착시키고 기둥에서 바깥쪽



〈그림 3〉 들림형 방식의 계획안 모델

으로 버팀대를 설치하여 막면이 구체에서 마치 떠 있는 듯이 보이게 하는 안이었다. 이것이 최종적으로 건축주에게 받아들여져 실제 실현가능한 프로젝트로 진행되게 되었다.

계획안이 결정된 후, 사이토 마사오교수는 4개의 대형 막회사를 모아 기술협동체제를 제안했다. 공구를 나누어 경쟁하면서 각 사가 가진 기량을 적극적으로 공유하면, 짧은 공기에 높은 레벨의 기술력이 발휘될 수 있다는 아이디어였다. 이에 따라 대형막구조회사(小川텍크, 小川텐트, 協立工業, 太陽工業)와 다케나카 고무텐, 그리고 실시설계자가 모여 월 2회로 대략 총 8회의 워킹그룹을 실시했다. 검토내용은 디테일, 시공방법의 확인과 제안 등이었고, 각 사의 경험, 노하우 등을 융합하여 실제 시공으로 진행하였다.

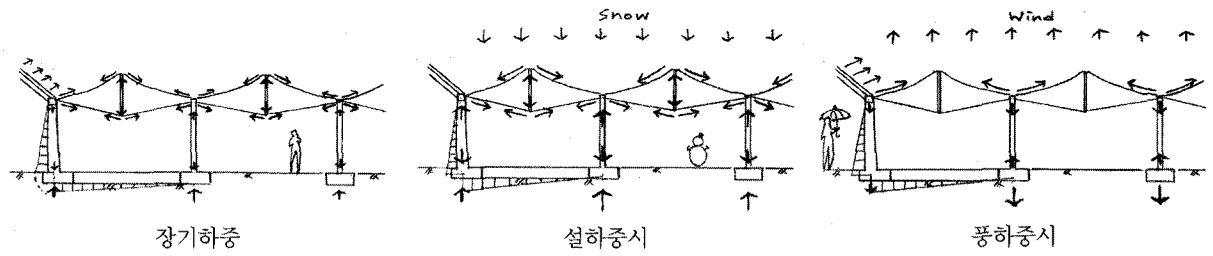
2. 구조체의 설계

2.1 구조체

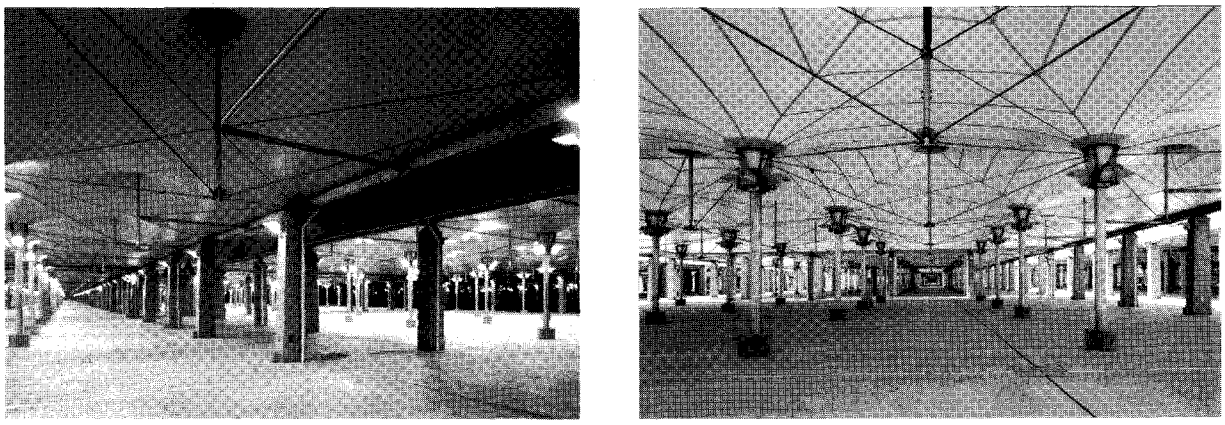
본 구조는 6.0×6.8m의 기준 유니트를 연결하여 최대 1000m^{2}정도의 단위블럭을 구성하고, 이 단위블럭 28개가 전체가 되도록 구성하였다. 구조를 덮은 막면은 기준 유니트의 네 귀퉁이에서 높이 3.5m의 기둥에 의해 지지되고, 유니트의 중앙부에서 강관의 뜬지주에 의해 처마높이+1.2m가 들어올려져 '호른 곡면'을 형성하고 있다(<그림 4>와 <그림 5> 참조).

뜬지주는 네 귀퉁이 기둥에서 당겨진 강봉에 의해 공중으로 떠올려지고, 막은 인장력에 의해 외력에 저항하여 들림형 막구조를 구성하고 있다. 막의 인장력 확보를 위하여 블럭의 외주부에는 막의 정착을 위한 보(경계보)를 설치하였다. 이 경계보는 시공상의 용이성과 경제성, 그리고 막정착 위치와 보 깊이의 편심에 따른 비틀림 응력을 고려하고 또한 처마홈통을 겸용할 조건 등을 고려하여 H형강으로 결정되었다.

블럭내부에 있는 기둥은 축력만을 저항하는 것으로 강관기둥을 배치하였고, 블럭외부에는 경계보로 전달되는 수평력에 저항하기 위하여, 최종까지 결정에 어려움이 있었지만, RC켄틸레버 기둥을 설치하였다. 그리고 주각에 전달된 휨응력을 처리하기 위해, 기초보와 기초를 설치했다. 각 기둥은 우수배수관과 조명 등의 설비시설을 포함하도록 고려되었다.



〈그림 4〉 BDS 출품회장의 구조다이어그램



〈그림 5〉 완성된 출품회장의 내부모습 일본대 공간구조디자인연구실제공

초기의 원 설계안에서는 막재의 부유감을 강조하기 위하여 막재의 가장자리가 연성재인 케이블로 시공되기를 원했고, 외주부의 기둥 또한 얇은 강관으로 하거나 백스테이 케이블 설치를 검토하였으나, 경비와 공기문제 때문에 여러 번의 회의를 거쳐 현재와 같은 안이 되었다. 초기설계자로서는 좀더 경량의 부유감을 갖는 이미지를 가지지 못하게 된 것이 아쉽게 생각된다.

2.2 막재

막구조는 곡률을 가진 형태와 막면에 발생하는 인장력에 의해 외력에 저항한다. 장기하중시에 형태저항성능을 발휘시키기 위해, 또한 장래의 막의 장력완화에 대응하기 위해 미리 막면에 초기장력을 도입하였다. 이 초기장력에 의해 뜬지주에 압축력, 강봉(로드)에 인장력, 경계보, RC기둥에 수평력이 발생해 가구가 안정된다. 적설시에는 막면에 얹혀진 눈이 주로 호른 상부에 전해져 뜬지주, 로드, 기둥으로 전해지게 될 것이고, 풍하중시에는 막에 발생한 힘이 기둥 및 경계보에 직접 전해질 것이다. 따라서 설계과정에서는 호른 곡면이 연속되는 구조방식을 위해 간단한 풍동실험을 통해 풍력계수를 설정했다.

막재는 유리섬유를 염화비닐 코팅한 B종 막재를 이용하고 유니트 내에서 원주방향으로 4분할 되는 재단패턴으로 했다. 막의 형상결정(호른 최고점 높이 등)은 막의 재료낭비를 줄이는 재단패턴과 적설시 발생위험이 있는 폰딩 등을 고려하여 결정되었다.

3. Mock-up test에 의한 검토

본 설계과정에서는 기본설계에서 시공방법과 디테일을 결정한 후, 1×4유니트의 목업 테스트를 실시했다. 상정한 막의 전개, 가설치, 막의 정착방식, 들림 기구의 검증 등을 실시하고, 막면의 형상, 접합라인과 주름의 발생 등을 확인했다. 또한 외부 가장자리의 모서리 바깥부분은 막면의 곡률이 작고, 폰딩이 일어나기 쉽기 때문에, 막면을 부분적으로 들어올리는 아치의 보강재를 붙여, 그 효과도 검증하였다. 덧붙여 철골기둥부분에 설치된 선홈통도 재현하고 유지관리 등의 검증도 수행하였다. 목업테스트의 설치과정은 <그림 6>에서 보였다.

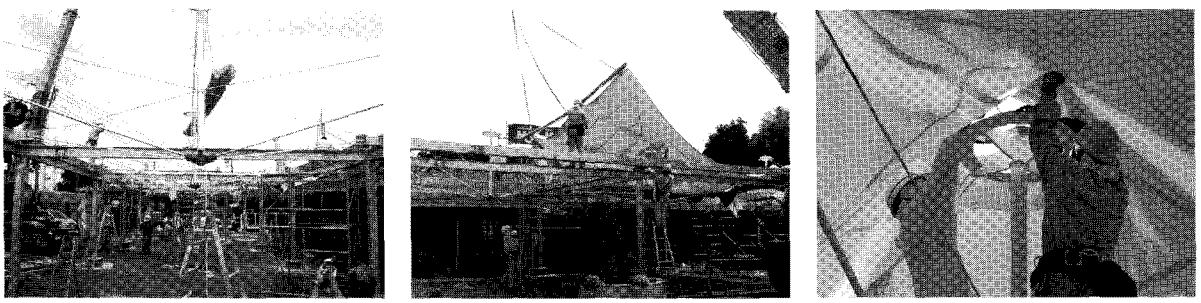
4. 시공방법과 디테일

본 프로젝트는 짧은 공기 때문에 부지개발과 거의 동시에 건축공사가 이루어졌다. 지반에는 매립토가 일부 존재했기 때문에, 평판재하시험과 충격가속도법에 의한 지내력의 확인작업이 주요했고, 지반작업과 기초 및 기초보의 시공이 순차적으로 실시되었다.

그리고 RC기둥의 타설 후 철골시공이 실시되었다. 철골부재는 막의 정착부를 포함한 일체가 한국의 철골업체에 의해 외주제작 되었다. 동일한 철골부재가 대단히 많은 양으로 사용되는 만큼 가격경쟁력에서 한국업체가 선택된 것으로 보인다. 다만 제작방법과 관리방법, 도금방법 등은 일본기준을 만족시키기 위해 철저한 관리를 수행하였다 한다.

운반된 철골부재는 각 부재가 경량이기 때문에 작은 크레인과 인력으로 조립되었다. 또한 뜬지주 하부의 높이를 설계-180mm가 되도록 철골공사를 실시해, 막의 전개와 들림을 준비하였다.

막을 펼쳐 고정시키는 방법은 목업 테스트를 통

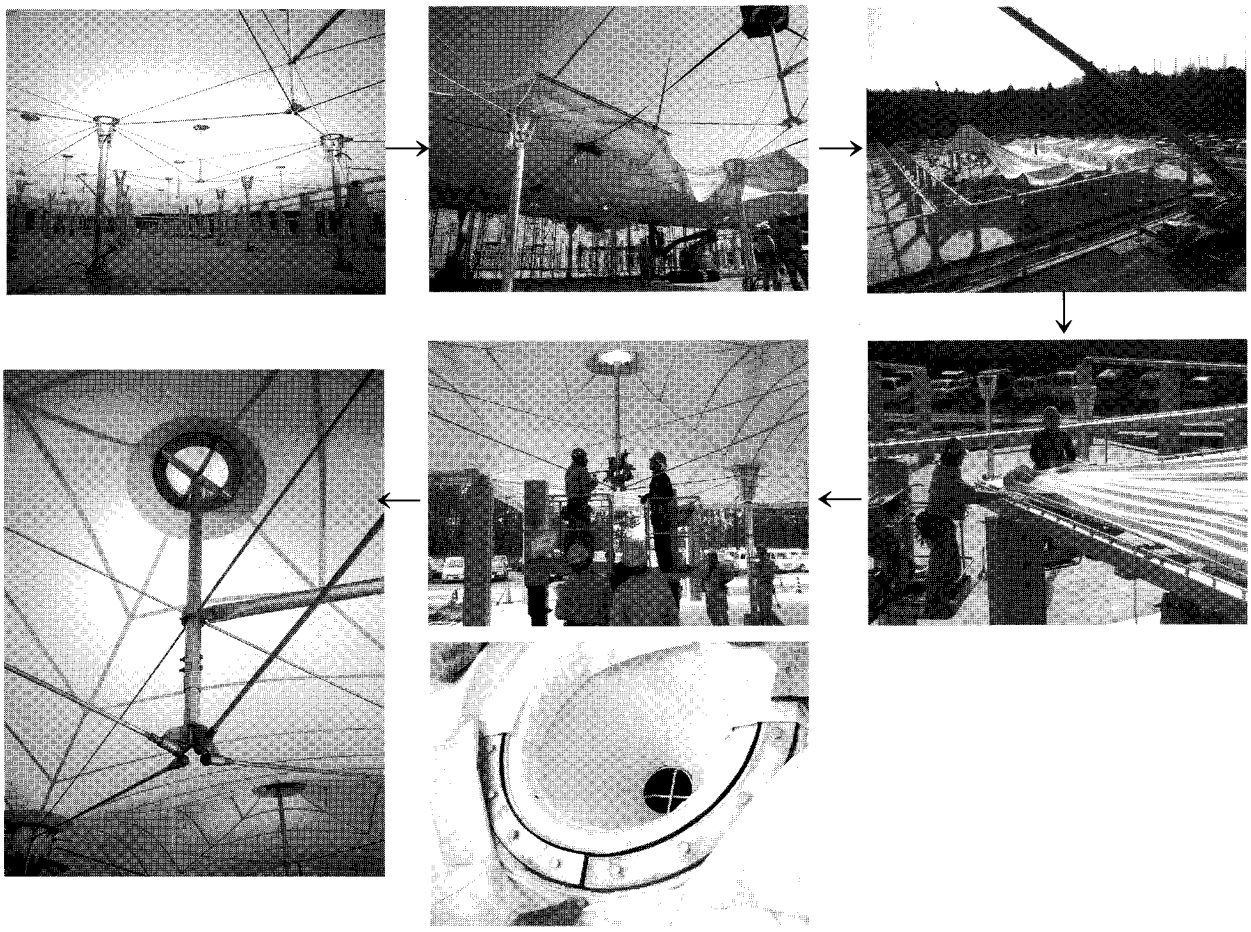


〈그림 6〉 Mock-up test 과정의 시공모습

하여도 검토한 것으로, 일반적으로 막에 장력을 부여해 가면서 골조에 고정시키게 되면 작업시간이 상당히 걸리는 것을 알 수 있다. 본 프로젝트에서는 공기와 공사비에 여유가 적었으므로, 장력없이 여유를 둔 상태에서 빠르게 외주부에 우선 고정시킨 후, 내부를 마치 우산을 펼치듯 순차적으로 들어올려 막에 장력을 도입하는 시공법을제안하고, 그것을 가능하게 하는 디테일을 계획했다(그림 7).

즉, 뜬지주 하부에 길이조정부를 설치하여, 막을 펼칠 때에는 뜬지주를 줄여두어 막을 느슨한 형태로 하고 쉽게 경계보에 펼쳐 붙였다. 그리고나서, 목표로 하는 높이까지 뜬지주를 단계별로 들어올려, 막면에 초기장력을 도입하였다. 30mm간격으로 뚫려있는 볼트구멍에 핀을 긴결시킴으로써 뜬지주를 들어올렸고, 그리고나서 미세조정 나사기구로 조정하였다. 이러한 조절기구는 후에 장력이완으로 인한 장력재도입 시에도 용이하게 사용될 것으로 기대된다. 또한 준공시의 들림 높이는 기준높이 -35mm에서+80mm(차 115mm)로 되었다. 뜬지주의 예비구멍이 두 개 남아 있으므로, 30mm×2개=60mm와 하부의 나사조임 후 남은 약 150mm는 재도입시 들림이 가능한 여유분이다.

막재는, 공사에 참여한 4개사가 분담하여 일본내에서 제작하였는데, 이에 따라 3종류의 다른 막재를 이용하게 되었다. 따라서 각 사의 다양한 축소율 때문에 재단도도 미소하게 달랐다. 이 때문에, 시공시의 뜬지주의 들림높이를 막재 종류 마다 3종류로 상정하고, 재종마다 처음으로 시공하는 블럭에 있어 몇 개의 뜬지주의 축력을 변형게이지로 측정하였다. 뜬지주의 축력으로부터 막면으로 도입된 장력을 파악하여 들림량을 결정하고, 이를 이용하여 다른 블럭의 시공을 수행하였다. 또한 설계에서 상정했던 초기장력에 미치지 못한 경우에는 그 재종의 블럭에 관하여 재장력도입도 실시했다.



〈그림 7〉 BDS의 시공과정 일본대 공간구조디자인연구실제공

막의 디테일은 발생응력과 시공성을 고려하여, 경계보 부분에 로프를 이용하여 고정하였고, 뜬지주의 상부나 중앙기둥 상부에서는 평바로 누르는 디테일로 했다. 그리고 여러 덮개 막과 FRP 캡을 설치 및 설비공사로 공사는 마무리 되었다.

본 프로젝트는 완공 후, 약 2만 3000m^{2}에 미치는 막에 의한 전시장이 '녹색의 숲 위에서 춤추고 있는 하얀 구름'이라는 이미지를 나타내는 말로 '플로팅 크라우드'(Floating Cloud)라는 이름으로 불린다고 한다. 이 도쿄돔에 육박하는 거대한 프로젝트는 비교적 단기간에 손쉬운 기술의 아이디어를 동원하여 이루어진 사례라고 생각된다. 그러나 그렇기 때문에 단기간에 광활한 공간을 가벼우면서도 독특한 공간감으로 덮어내는 막구조의 장점과 활용가능성을 다시한번 분명하게 보여주는 예가 아닌가 한다.

아이디어 도출과정과 프로젝트 결실의 과정을 지켜본 본 저자로서는, 그 완성된 BDS의 막지붕 위로, 저녁식사도 잊은 채 등받이도 없는 나무의자에 앉아 기술실현에 골몰하던 칠순의 사이토 마사오교수와 각 대형시공업체의 나이 지긋한 기술책임자들의 협력의 힘을 다시 떠올리게 된다.