

막구조의 설계 · 시공 및 유지 보수

박 명 현* 박 지 원**

1. 서언

역사적으로 유목민족들이 애용하여 왔던 텐트는 구조의 경량성과 손쉬운 설치, 해체 등으로 많이 사용되었으나 전천후, 대공간을 지향하는 구조로는 적합하지 않았는데, 이는 막재료의 내구성이나 강도가 부족했기 때문이다.

그러나 최근에 들어 각종 신재료의 출현으로 가볍고 투광이 좋으며 강도가 우수하여 장기구조물로 손색이 없는 막구조(membrane structure)가 가능하게 되었다.

종래의 중후하고 딱딱한 이미지의 구조물과는 달리 가볍고 아름다운 곡선의 구조를 지향하는 막구조물은 미국, 일본 등의 선진국에서 1960년대 이후 다방면에 걸쳐 적용, 발전되어 왔으나 국내에서는 초창기 단계에 불과한 실정이었다.

오는 대전 EXPO '93은 막구조물의 보급에 큰 기폭제 역할을 함은 물론이고 생활수준의 향상에 따라 다양한 생활문화공간에 필요한 많은 막구조물의 건설이 예상이 된다.

2. 설계

1) 막재료의 특성

막은 일반적으로 인장과 전단에는 저항하나 휨응력이나 막면에 수직하게 발생하는 응력에는 저항할 수 없으므로 막표면에서 초기 인장을 주어

형상을 조절하여 설치할 수 있어야 한다.

보통의 막은 제작된 섬유에 코팅을 하여 쓰는데 섬유조직은 물리적 강도를, 코팅면은 화학적 성질을 좌우하게 된다.

막섬유는 경사 위사 방향의 조직으로 구성되어 이방성을 가지고 있다는 것을 설계시 염두에 두어야 한다.

그러나 골조막 구조의 경우 해석의 편의상 가로 세로 방향의 장력비를 1:1로 하여 등장력 곡면으로 형상해석을 할 수도 있으나 케이블이 보강된 구조에서는 필히 이방성을 갖는 기하학적 비선형으로 해석하는것이 효과적이다.

2) 막재료의 선정

설계시 막재료의 선정은 건축물의 특성에 적합하게 선정하여야 하므로 매우 중요하다.

기존의 텐트 구조물에서 단기용으로 많이 쓰여 왔던 Tarpaulin 재질은 인장강도가 100-200 lbs/in. 정도로 장기구조물에서 사용은 거의 불가능하다. 따라서 유리섬유에 Teflon(PTEE)이나 Silicone을 코팅한 재질로 시공(인장강도가 600-800 lbs/in.)하여야만 장기구조물로써의 성능을 보증할 수가 있다.

또한, PVC코팅막재의 경우 야외에 설치할 때 자외선의 노출에 대해 부식이 되므로 내자외선 첨가제를 사용하나 그 효과가 미미하므로 단기설치물에 대하여서만 사용하도록 하고 6개월이상 사용시는 Teflon이나 Silicone같은 내화학적 성질이 우수한 코팅재를 반드시 사용해야 한다.

그리고 막구조의 특성상 중요한 투광성의 경우

*특별회원사, 명진단조공업주식회사 대표이사

**상동 개발부차장

는 섬유원단의 밀도, 실의 두께, 합사 방법 등을 조절하여 설계에 요구된 시방대로 맞춰야 할 것이다.

3) Air Dome의 설계

(1) 개요

내압에 의해 막을 지지하는 대규모 무주공간을 얻을 때 많이 사용된다. 장점은 구조가 막재와 케이블에 의해 막면이 구성되기 때문에 자중이 적고 계절에 좌우되지 않는 기둥이 없는 대공간이 용이하게 구성되며, 막면이 처질 경우에도 케이블에 의해 지지되고 있기 때문에 안정성이 높다.

단점으로는 내압을 유지 시키기 위해 항상 송풍기를 가동하므로 유지 비용이 들어가며 압력유지 상 밀폐공간으로만 설계하여야 한다.

막재의 강성이 종래의 강성체보다 적기 때문에 변형이 크게 되기 쉬우며 극히 적은 변형의 판정이 용이하지 않고 막재 이방성을 고려한 해석을 하여야 한다.

(2) 구조설계

Air Dome은 설하중보다 풍하중의 영향이 지배적이므로 이를 고려하여 설계한다.

가) 필요내부압력 P_o 의 선정

$$q = \frac{V^2}{16} \frac{\sqrt{h}}{10} \quad V; \text{ 설계 최대 풍속(m/sec)}$$

$$h; \text{ 구조물의 높이(m)}$$

표 2-2

형상	필요내압
a) 3/4구형	$P_o \geq q$
b) 반구형	$P_o \geq 0.7 q$
c) 양단이 1/4구형인 Cylinder형	$p_o \geq 0.6 q$

나) 막면에 발생하는 장력

a) 원통형 구조

$$\text{원통부 원주 방향 장력 } N = r(q + P_o)$$

$$\text{원통부 축 방향 장력 } N = r\left[\alpha_1 q - \frac{P_o}{2}\right]$$

표 2-3 α_1 값(원통형 구조)

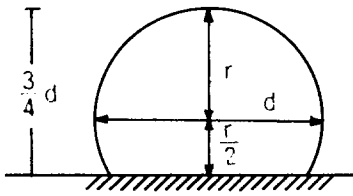
1/w	양단 구의 높이와 직경의 비 h/2r		
	3/8	1/2	3/4
0.25이내	2.3	1.8	1.5
0.50	1.3	1.4	1.5
0.75	1.1	1.3	1.6
1.00	1.0	1.3	1.7

b) 구형구조

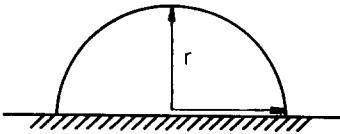
$$\text{장력 } N = r\left[\alpha_2 q + \frac{P_o}{2}\right]$$

표 2-4 α_2 값(구형구조)

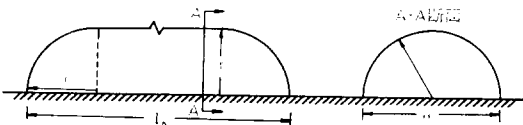
h/2r	α_2
0.25이내	0.7
0.50	1.3
0.75	1.7



a) 3/4 구형



b) 반구형



c) 양단이 1/4구형인 원통형

표 2-1

3. 시공

1) 막 재료의 접합방법

기존 국내에서 나오는 막재료는 폭이 1200-1800mm 정도이므로 접합을 하여 사용해야 한다.

a) 고주파 접합: PVC 계통에 많이 쓰인다.

b) 열융착 접합: Teflon계 접합에 쓰인다.

c) 봉제 접합: PVC 계통에 주로 쓰이며 유리섬유계는 접합하지 않다.

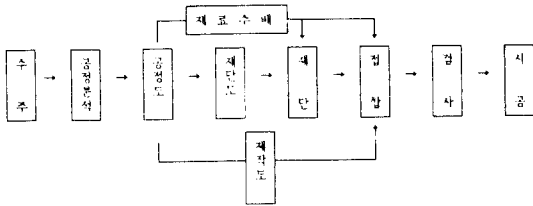


표 3-1 접합의 공정도

d) 접착제 접합: 실리콘계에 주로 쓰인다.

2) 막면의 재단

막면의 재단은 강도와 경제성을 감안하여 하되 컴퓨터 재단을 실시하는 것이 큰 도움이 된다.

접합부는 가능한 한 분산시키고 한쪽으로 몰리지 않게 한다. 기본적으로는 주응력방향과 실의 방향을 가지런히하고 구조의 변형이 크지 않게 한다. 구조계획단계에서 곡면의 대략의 실의 방향을 고려하여 막재 상호간의 접합을 어떻게 할 것인가를 결정하여야 한다.

막의 재단시에 막면의 장력을 고려하여 형상해석에 의한 세부 재단도를 만드는 방법과 설계곡면에서 평면 재단도를 구하는 방법이 있다.

설계 곡면에서 재단하는 방법은 곡면식을 계산하여 재단을 하는 방법과 모형을 제작하여 확대하여 재단도를 만드는 방법으로 모두 현장시공시 재 성형작업을 거쳐서 시공하여야 한다.

대규모막구조물 시공은 현장에서의 접합을 고려하여 시공하며 현장에서 단부에 로프나 철판을 붙여서 볼트로 접합하기 때문에 여기에 대한 고려를 하여 시공한다.

유리섬유를 코팅하는 제품은 접하면 안되기 때문에 감아서 운반하기 좋게 하기위해 unit로 설계하여야 한다.

3) Wire Rope 및 철물류

대부분의 막구조물은 케이블을 사용하는 경우가 많으므로 적절한 Wire와 철물의 선정이 필요하다.

막면의 형상에 곡면이 많을 경우는 마심이 들어간 Wire를 선정하며 대규모나 많은 하중을 받는 부분은 I.W.R.C 또는 Locked Coil Wire를 쓴다.

장기구조물에서 Wire의 안전율은 3, 단기는 2.2로 채택한다. Wire의 체결법은 강도와 경제적인

면을 고려하여 Socket 또는 Sling의 사용을 결정하며 모든 철물류는 단조품을 써야만 한다.

4) 공장제작 및 현장 작업 흐름도

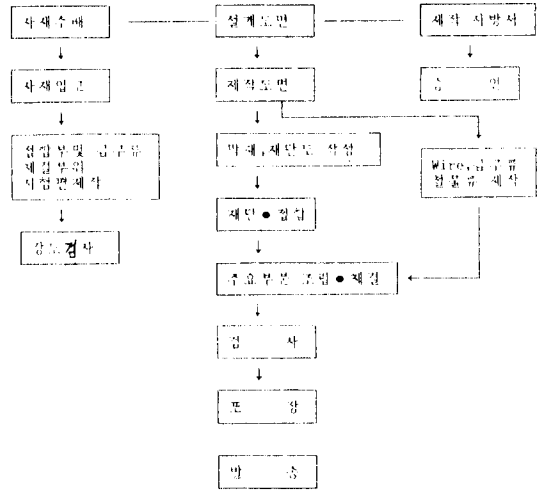


표 3-2 공정작업도

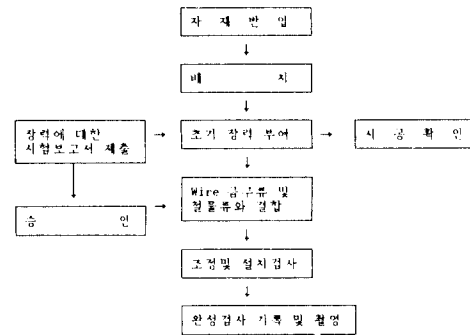


표 3-3 현장 작업도

4. 유지·보수관리

막구조는 보통 막면의 긴장상태를 유지하고 양호한 사용상태를 위해서 구조적 안정성과 유지 보수 관리에 유의할 점이 많다.

특히 공기막구조의 경우 구조의 안전성이 내압 유지 관리에 있는 경우가 많으므로 이를 명심하여야 한다.

1) 점검

막구조물의 점검 항목을 설정하여 수시로 점검하고 특히 강풍이나 적설시에 특히 유의한다.

점검항목의 예 : 볼트, 너트의 위치와 조임상태, Turnbuckle, Shackle 등의 나사 조임 상태, 케이블과 연결부위의 손상, 막재의 손상, RC부위와의 연결부, 인장부위에 과도한 인장 및 인열이 가해 지는지 점검. 주름이나 처진부분점검. 보수용기구 점검.

2) 막재의 강도관리

막재료의 내구성에 관해서는 유의할 점이 많으므로 일반적으로 같은 재료의 막재를 구조물 부근에 설치하여 노출시키고 장기적인 강도 시험을 하며 잔존 내력을 확인하는 것이 필요하다.

특히, 강풍이나 폭설시에는 접합부위가 손상되지 않는가 유의할 필요가 있다.

3) 장력관리

막면은 초기 장력의 도입에 의해 안정화되고 강성이 생기므로 항상 적절한 장력이 유지되도록 노력한다.

장기적으로 점검하여 소정의 장력을 유지하기 위한 장치를 설치하여야 한다.

4) 주변설치물 관리

막구조는 강풍과 적설에 의한 변형이 비교적 크므로 주위의 각종 기기류가 닿아서 손상을 입힐 수가 있으므로 이를 설계에 반영시키고 막면의 손상을 가할 가능성이 있는 기물에 대해서는 적절한 방호책을 세운다.

5) 공기막 구조에서 내압의 관리·유지

Air Dome System에서 내압은 송풍 시스템에

의해 유지되므로 일정한 압력을 유지할 수 있는 여분의 장비 및 정전대비책을 강구하여야 하며 2종의 Check System을 개발하여야 한다.

5. 결론

이상으로 막구조의 설계, 시공, 유지관리에 대해 개략적으로 기술하였다. 막구조는 그 여러가지 특성이 아직 규명이 안된 부분이 많고 시공오차가 비교적 큰 편이므로 막 재료의 역학적, 재료적 특성에 대한 연구와 형상해석 모델의 공식화, 막재단의 컴퓨터화가 필요하며 초기장력 도입에 따른 시공과정의 해석이 더욱 필요하다.

따라서 설계, 형상해석, 재단에서 시공 및 유지관리에 이르는 일괄적인 System의 개발이 시급하다 하겠다.

참 고 문 헌

1. 坪井善勝, 吊構造, 日本鋼構造協會, 1975.
2. 膜構造物の維持保全 指針, 同解説, 日本膜構造協會
3. Subcommittee on Cable-Suspended Structure : "Cable-Suspended Roof Construction State-of-the-Art," Journal of Structural Division, ASCE, vol.97, No.ST6, June, 1971.
4. Isono, Y., "Abstract of Pneumatic Structure Design Standard in Japan", Pro. International Symposium on Pneumatic Structures, IASS, Delft, 1972.