

공기막 구조에 관한 IASS 기준

이 장 복*, 박 명 현**,

1. 서

세계적인 막구조물의 현황들은 그 특유의 조형성과 구조적 특성으로 인하여 사용 범위가 점차적으로 증가하고 있는 실정이다.

가까운 일본에서는 막구조물의 사용이 보편화되고 있으며 독일과 같은 나라에서는 막구조물의 가설물의 개념이 아닌 항구적인 건축물로써 취급되고 있는 실정이다.

금번 우리나라에서도 대전 EXPO '93을 통하여 막구조물에 대한 관심이 점차 증가하고 있으나, 몇몇 관심있는 사람들을 제외하고는 정보를 얻을 수 있는 자료 조차도 거의 찾아보기 힘든 실정이며, 이러한 구조물에 대한 이해가 상당히 부족한 것 또한 사실이다.

따라서 명진기술 연구소에서는 보다 많은 사람들의 막구조물에 대한 새로운 인식을 위하여 IASS(International Association for Shell and Spatial Structures)의 서스펜션 구조 및 공기막 구조의 소위원회가 발간한 기준집의 본문(기준 A)을 소개하고자 한다.

2. IASS 기준집의 구성

IASS 기준집은 '기준 A'와 '기준 B'로 이루어

져 있으며 기준 A에서는 (1) 일반론 (2) 구조계획 (3) 안전기준 (4) 막 재료 (5) 하중 (6) 해석 (7) 앵커 시스템 (8) 팽창(INFLATION) 시스템 (9) 2차적인 구조요소 (10) 조립과 시공 (11) 화재 방지와 대피 계획 (12) 내부 환경과 위생 (13) 유지와 조절 등이 언급되어져 있고, 기준 B에서는 기준 A에 대한 세부적인 사항들을 다루고 있으나 지면 관계상 기준 A에 대한 부분만을 게재한다.

(1) 일반론

1.1 범위

1.1.1 이 기준은 공기-지지 구조물의 구조설계에 적용된다. 기준이 적용될 수 없거나, 일부 또는 전체적으로 실제조건과 일치하지 않는 경우의 구조물에 대해서는 분리된 연구와 조사의 설계를 수행해야 한다.

1.2 정의

1.2.1 공기-지지 구조물은 송풍기와 같은 적절한 공기 공급 시스템으로부터 막의 내면에 가해지는 내부공기압으로부터 형태, 구조적 완전성, 강도, 그리고 안정성등이 유지되는 막으로 구성된 임의의 구조물로써 정의된다.

1.3 구성

1.3.1 공기-지지구조물은 막, 공기공급 시스템, 공기흐름을 조절하는 비상구와 출입문, 적당한 앵커시스템으로 구성되어 있다.

주변상황에 따라서 막에 대한 케이블 보강시스템과 환·배기장치의 항, 단열재, 공기조화시스

* 정회원, 명진 기술연구소 연구원

** 섭외이사, 명진단조(주) 대표이사

템, 그리고 조명장치등이 설치 되어야 한다.

1.4 안전도 고려

1.4.1 건물의 사용목적, 크기, 사용연한, 설치부지의 선택 그리고 기타의 모든 요소들은 구조적 안정성을 보장하고, 점유물을 안전하고도 빠르게 대피 시킬 수 있어야 한다. 적당한 안전수단의 효과적인 적용이 마련되어야 한다.

1.5 유지와 조절 메뉴얼

1.5.1 설계자는 구조물의 사용연한 동안에 그 안전성의 유지와 공기-지지 구조물에 대한 유지와 조절법 그리고 검사와 시험에 대한 사용메뉴얼을 준비해야 한다. 구조물은 반드시 이 메뉴얼에 따라서 조절되어야 한다.

1.6 국가규준과의 관계

1.6.1 이 규준과 동등한 국가 규준이 존재한다면, 국가규준이 원칙적으로 우선한다.

(2) 구조계획

2.1 조사

2.1.1 사용자의 안전에 영향을 주는 요소 뿐 아니라 하중조건, 지반조건 등을 포함하는 건물 부지의 조사는 주의깊게 수행되어야 한다.

2.2 형태

2.2.1 구조물의 외부하중에 대해서 허용된 변형과 응력을 가지고 내부압에 의해서 형성되는 안정된 곡면이어야 한다. 형태는 또한 내부설계압 하에서 바람에 의한 유해한 진동을 방지할 수 있어야 한다. 구조물은 눈, 그리고(또는) 비에 의한 Ponding현상을 방지할 수 있는 형태가 되어야 한다.

2.3 材料

2.3.1 막재료와 그의 연결부는 충분한 強度와 剛性を 가져야 하고 장기간 사용후에도 안정된 구조적 성능을 지녀야 한다. 필요하다면, 막재료는 특별히 화재방지를 위한 처리가 되어야 한다.

2.3.2 케이블, 정착기구, 앵커등은 충분한 강도와 강성, 그리고 내구성을 지녀야 한다.

2.4 소요 내부 압력

2.4.1 내부압력은 하중조건에 따른 소요값을 유지해야 한다.

2.4.2 평상시 규정된 내부압은 기상예보없이 자

주 발생되는 하중하에서 그 구조물의 사용성과 형태를 유지하기에 충분해야 한다. 내부공기압은 하중이 구조물에 작용하는 한, 어떠한 예견된 하중하에서도 구조물의 안정성과 형태를 유지할 수 있는 값이어야 한다.

2.5 공기 공급 용량

2.5.1 공기공급시스템의 용량과 관련하여, 송풍기는 환기와 구조물에서의 공기 누출에 의한 공기 손실을 허용하면서, 필요한 내부공기압을 유지하기에 충분한 용량이어야 한다.

2.6 눈과 얼음의 제거와 용해

2.6.1 결빙과 Ponding 불안정성 그리고 붕괴를 유발할 수 있는 해로운 적설로부터 항시 구조물이 안정되기 위해서 눈을 제거하거나 용해시키기 위한 적당한 자치가 준비되어야 한다. 막의 내외부에 결빙현상을 방지하기 위해서 유사한 예방책이 만들어져야 한다.

2.7 예비 장비

2.7.1 예비송풍기, 비상전원, 비상조명장치 등 주요장비들의 고장발생 경우에 즉각적이고 유용하게 대처하기 위하여 계획되고 설치되어야 한다.

(3) 안전기준

3.1 서

3.1.1 예견된 하중에 의해서 구조적, 2차적 건축 부재에 도입된 응력은 관련된 부재의 허용응력을 초과할 수 없다.

3.1.2 구조물은 안전해야 하고 임의의 예견된 하중하에서 허용치를 벗어난 변형이 없어야 한다.

3.2 허용응력

3.2.1 막재료, 케이블 그리고 그의 연결부에 대한 허용응력은 각각의 강도를 적당한 안전계수로 나누어서 얻는다. 안전계수는 강도를 고려할 실제 조건과 재료의 절저하, 연결방식, 예상되는 구조물의 사용연한, 그리고 주변조건에 따라서 결정한다.

3.2.2 앵커의 허용인발력은 시공현장의 표준지반 조건하에서 앵커의 인발저항을 적당한 안전계수로 나누어 얻을 수 있다. 또한 안전계수는 하중과 주변조건, 지반조건, 앵커의 형태와 특성을 고려한 실제 조건에 따라서 인발력을 수평, 수직성

분으로 나누어서 결정할 수 있다.

3.2.3 충분한 간격과 짧은 기간에 대해서만 분명하게 발생하는 하중에 의한 응력에 대해서, 적당히 감소된 안전계수가 실제조건에 따라서 사용될 수 있다.

이러한 경우에서도 막재료, 케이블, 그리고 이들의 연결부에 대한 안전계수 값은 20보다 적어야 한다.

3.3 허용변형

3.3.1 구조물의 허용변형은 건물의 사용성을 충분히 유지 시킬 수 있는 범위내에 있어야 한다.

3.3.2 충분한 간격과 단지 짧은 기간동안에 작용하는 하중에 의한 구조물의 허용변형은 구조물의 완전성과 형태를 유지하도록 설정되어야 한다.

(4) 막 재료

4.1 막 재료

4.1.1 적용

4.1.1.1 본 규준에서 취급하는 막재료는 피복섬유, 합성섬유, 또는 유리섬유이고 다른 재료는 정밀한 해석으로 사용될 수 있다.

4.1.1.2 막 재료간의 접합부는 재봉에 의하거나 고주파 열융해접합, 또는 접착제에 의하여 만들어진다. 접합된 면은 필요하다면 외거 저항성을 주기 위해서 적당한 보호조치를 취해야 한다.

4.1.2 일반론

4.1.2.1 막재료는 잘 분배된 치수, 보기좋은 외관, 균등한 품질 그리고 구조물의 손상과 질저하, 그리고 누수의 원인이 되는 결함과 기형이 없어야 한다.

4.1.2.2 접합부를 포함하여 막재료의 강도는 합리적인 실험방법에 의해서 검증되어야 한다.

4.1.2.3 설계에서 사용되는 인장강도 전단강성 그리고 Poisson비와 같은 재료적 특성의 값은 실제 사용된 재료, 실제크기 구조물 또는 原型(Prototype)으로부터 얻어진 자료에 대해서 수행된 실험결과에 근거한 값이어야 한다.

4.1.3 강도

4.1.3.1 막재료의 인장강도, Creep파괴강도, 그리고 기타 강도특성은 구조물의 안전을 보장하기에 충분한 값이어야 한다.

4.1.4 실험방법

4.1.4.1 막재료의 인장강도는 Strip법으로부터 얻어진 값을 근거로 해야한다.

4.1.4.2 막재료의 접합부 강도는 접합부에 수직으로 작용된 하중을 받는 막재료에 대한 Strip법의 결과치를 근거로 해야 한다.

4.1.4.3 막재료의 인열강도(Tearing Strength)는 Trapezoidal법 또는 tongue법에 의해서 얻어진 값을 근거로 해야 한다.

4.1.4.4 막재료와 접합부의 Creep파괴거동은 Strip법과 같은 정도의 실험법으로부터 얻은 값을 근거로 해야 한다.

4.2 케이블

4.2.1 일반론

4.2.1.1 개구부와 앵커부분에서 막을 보강하기 위해서 사용된 케이블은 안정된 강도, 강성, 그리고 내구성을 가진 와이어 로프, 또는 합성 섬유 로프이어야 한다.

4.2.1.2 앵커 뿐만 아니라 케이블의 강도, 강성, Creep변형도는 적당한 실험법에 의해서 검증되어야 한다.

4.2.2 강도

케이블과 앵커 부분의 강도는 구조물의 안정성을 유지하기에 충분해야 한다.

4.3 필름

4.3.1 일반론

4.3.1.1 필름은 특별한 경우를 제외하고는 주로 채광 목적으로 사용된다. 필름은 충분한 품질과 강도를 가져야 하고, 저온에서의 경화현상과 자외선에의 노출, 그리고 화학성분에 의한 노화현상에 특별히 세심한 주의를 가지고 사용해야 한다.

4.3.1.2 필름의 강도와 강성 그리고 그들의 접합부는 적당한 시험법에 의해서 검증되어야 한다.

(5) 하 중

5.1 서

5.1.1 설계하중은 구조물의 제안된 사용연한, 건축부지에 대한 자료, 그리고 제안된 구조물의 특성에 의한 요소들의 상호관계를 기초로 하여 결정되어야 한다. 규정된 설계하중에서, 구조물의 전체 사용연한 동안에 받게 되는 가장 불리한 하중

조합을 선택해야 한다.

5.2 풍하중

5.2.1 막에 수직으로 작용하는 靜의 風壓은 다음 식으로 표현된다.

$$W=C \cdot q$$

q =속도압

C =풍압계수

5.2.2 설계속도압 q 는 지반위의 건물높이, 건물 대지의 지반면 조건과 주변환경에 대응하여 지방에 따라 규준으로 결정된다. 또한, 설계속도압은 온도 변화와 공기밀도와 같은 요소, 구조물의 사용연한, 순간 최대풍속과 그 평가 방법등을 고려하여 다음의 공식으로 계산할 수 있다.

$$q=\frac{1}{2} \rho V^2$$

* ρ =공기밀도

* V =풍 속

5.2.3 막에 대한 풍압계수의 크기와 변화는 건물 주변의 환경, 풍속, 막면의 주름(Fuffness), 크기의 변환, 구조적 형태, 내압과 속도압의 비, 그리고 바람의 동적 영향등과 같은 요소등에 의존한다. 규준이 없거나 신뢰성 있는 자료가 없다면 이러한 요소들은 풍동 실험 또는 현장측정에 의해서 주로 결정된다.

5.3 적설하중

5.3.1 설계 적설하중은 실제조건과 지역적 눈의 특성, 예상 적설량등을 기초로 하여 정해지는 값이다. 적설형태는 구조물에 가장 불리한 영향을 주는 것으로 가정한다.

5.3.2 특별히 다설 지역에서는 구조물의 바깥벽에 대한 눈의 축압효과를 고려해야 한다.

5.3.3 눈이 녹이는 장치, 눈을 제거하는 장치등이 설치되어 있을 때, 적설하중은 그 효율성에 따라서 감소될 수 있다.

5.3.4 다설에 의한 Ponding불안정성의 가능성이 고려되어야 하고 필요한 예방수단이 구조물의 유지와 설계에 포함되어야 한다.

5.4 고정하중

5.4.1 고정하중으로써, 실제하중이 사용된다.

5.5 지지하중

5.5.1 공기-지지 구조물은 지진장해를 거의 받지 않은 것으로 알려져 있다. 그러나, 지진하중이 지지구조, 출입문, 공기팽창시스템등에 중요하다고 판단되는 경우에는 이러한 지진효과에 대한 적절한 고려를 해야 한다.

5.6 내부압력

5.6.1 설계 내부압은 하중조건에 따라서 약간 다른 값으로 결정된다. 또한, 내부압력은 구조물의 변형, 그리고 갑작스러운 온도변화에 따라서 변화한다. 따라서, 하중이 결정되면 내부압력은 공기 공급에서 발생할 수 있는 변화뿐 아니라 이러한 요소들을 고려하여 결정해야 한다.

5.7 적재하중

5.7.1 막에 어떤 물건을 매다는 것은 바람직하지 못하다. 그러나, 필요하다면 이러한 물체의 하중은 설계하중으로써 포함되어야 한다. 이러한 하중에 의한 Ponding불안정성의 발생을 막기위해서, 이 하중에 의해서 제기되는 국부적 압력에 특별한 주의를 해야 한다.

5.8 기타하중

5.8.1 내부압력이 낮을 때, 비, 눈, 또는 눈이 녹은 물 등에 의해서 Ponding 불안정성이 나타날 수 있다. 이러한 경우에, 적용된 임의 하중에 부가적으로 Ponding 부분에 축적된 매체의 중량을 Ponding불안정해석의 수행에 고려해야 한다.

5.8.2 주위 환경에 따라서 축적된 결빙에 의한 하중이 고려되어야 한다.

5.9 하중조합

5.9.1 하중조합은 실제조건에 따라서 결정되어야 한다.

(6) 해석

6.1 서

6.1.1 구조해석은 설계하중하에서 구조물의 응력분포, 응력 크기, 변형 등을 평가하여 구조물의 내구성, 剛性, 강도, 안정성 등을 검사하고 연구하는 것을 목표로 해야 한다.

6.1.2 이전 단원에서 언급한 시험은 부분적 또는 전체적인 실험수단으로 수행되어질 수 있다.

6.2 해석

6.2.1 해석모델에서, 실제조건에 부합하는 합리적인 假定이 구조물의 형태, 전체 구조시스템, 재료 등에 관련되어 설정되어야 한다.

6.2.2 모든 해석은 충분한 정확성을 가지고 실제 조건과 부합하도록 수행되어야 한다.

6.2.3 해석은 하중조건에 따라서 결정되어지는 내부압과 하중의 필요한 조합에 대해서 구조물의 변형과 응력을 얻기 위해서 수행되어야 한다.

6.2.4 필요하다고 판단되면, 시공 동안에 구조적 시스템에 대해서 시험을 수행할 수 있다.

6.3 동적 해석

6.3.1 지속적인 동적효과를 받는 구조물의 경우에, 동적하중에 대한 구조적 기동이 검토되어야 한다.

(7) 정착 시스템

7.1 서

7.1.1 정착시스템은 위치이탈, Uplift, 기울어짐 등과 같은 구조적 손상을 일으키지 않고, 설계최대 내부압과 설계최대하중 모두에 저항할 수 있어야 한다. 동시에, 정착은 지속적인 내부압력하중에 기인한 힘에 저항할 수 있어야 한다.

7.1.2 예로써, 홍수와 같은 재해에 기인하여 건설부지의 지반조건의 변화가 발생하는 경우에도 정착은 각 하중 뿐 아니라 그들의 조합된 하중에 기인한 인발력(Pull-out Force)에 저항할 수 있어야 한다.

7.2 정착의 선택

7.2.1 정착은 대략 다음의 두 가지 범주로 구분할 수 있다. “고정”중량에 의한 인발력 저항시스템과 지반과 정착시스템 사이의 접착, 그리고(또는)마찰에 의존하는 시스템이 그것이다. 구조물의 규모와 사용뿐 아니라 지반조건, 기상조건, 구조물의 사용연한 등을 고려하여 가장 적합한 저항시스템을 선택해야 한다.

7.3 하중

7.3.1 정착시스템의 인발력에 대한 설계치는 형태변화에 따른 막력의 방향변화에 대한 허용치를 두면서, 막의 낮은 부분에서 존재하는 최대 막인장력의 기초에 전달되는 힘성분에 최소한 같아야 한다.

7.4 인발저항

7.4.1 지반정착의 인발저항은 원칙적으로 지반 조사와 현장부지에서의 인발시험의 수단으로 확인되어야 한다.

(8) 팽창 시스템

8.1 서

8.1.1 팽창시스템은 구조물에 강성과 안정성을 제공하는 내부공기압에 의해서 외부하중에 대한 저항력을 부여할 수 있어야 한다.

8.1.2 팽창시스템은 장기간 지속적인 동작에 저항할 수 있는 견고한 고품질이어야 하고 안정적으로 공기를 공급할 수 있어야 한다.

8.1.3 팽창시스템은 여러가지 예상되는 작동 조건하에서 고장이 나지 않도록 설계 제작 및 보호되어야 한다.

8.2 공기 공급

8.2.1 송풍기는 설계하중하에서 설계내부압을 얻기 위한 충분한 공기체적과 공기압을 제공할 수 있어야 하며, 또한 내부공기유통에 필요한 공기체적을 공급할 수 있어야 한다.

8.3 보조송풍기

8.3.1 팽창시스템은 주송풍기와 주송풍기를 대체할 수 있는 충분한 용량을 가진 보조송풍기로 구성되어야 한다.

8.4 비상전원

8.4.1 팽창시스템은 작동의 연속성을 보장하기 위해서 정격전원을 대체하기에 충분한 용량을 가진 비상전원 시스템을 갖추어야 한다.

(9) 2차 구조요소

9.1 서

9.1.1 구조물의 각 부분과 장치는 구조물이 효과적으로 그리고 안전하게 사용될 수 있는 방법으로 계획되고 설계되어야 한다.

9.2 현관과 출입구

9.2.1 현관과 비상구를 포함한 출입구는 특별한 경우를 제외하고는 자기-지지 방식이어야 하고 구조물의 사용연한동안에 예견되는 모든 작동 조건하에서 유용해야 한다.

9.2.2 현관과 출입구는 내부공기압을 현관의 개

저하시키는 요인이 되지 않고, 구조물에 사람과 자동차가 출입할 수 있도록 만들어져야 한다.

9.2.3 비상구는 비상시 구조물로부터 사람들이 안전하고 신속하게 대피할 수 있도록 만들어져야 한다.

9.3 환기장치와 배기구

9.3.1 필요시, 환기장치와 배기구가 적당한 위치에 개폐식으로 만들어져야 한다.

9.4 막의 고정장치

9.4.1 막은 강한 지지구조물 또는 정착부에 막의 주름 그리고 큰 응력집중을 피하는 방법으로 부착되어야 한다.

9.4.2 막 판넬의 접합은 막응력이 균등하게 분포되도록 그리고 국부응력집중의 발생이 최소한이 되도록 만들어져야 한다.

9.4.3 연결과 접합은 기밀성, 내구성, 기후저항성을 갖도록 조립되어야 한다.

9.5 낙뢰 예방

9.5.1 필요시 구조물은 효과적인 낙뢰예방 시스템을 갖추어야 한다.

9.6 측정장치

9.6.1 내압게이지와 필요시, 풍속계, 적설게이지, 온도계등이 정확한 측정 능력을 갖추기 위해서 적당한 위치에 설치되어야 한다.

(10) 조립과 시공

10.1 재단 패턴

10.1.1 막재료는 막재료의 강도사용을 최적화하기 위해서, 재단 패턴에 따라서 잘려져야 하고, 따라서 설계형태가 팽창후에 실현될 수 있어야 한다.

10.2 접합

10.2.1 막재료는 기본섬유의 응력이 균등하게 분포되고, 접합부에서 응력집중이 최소화되고 강성이 증가되는 방법으로 접합되어야 한다.

10.2.2 막재료와 보강케이블사이의 접합은 막응력의 발생이 최소화되는 방법으로 수행되어야 한다.

10.2.3 접합은 기밀성, 방수성 그리고 필요하다면, 내구성에 대한 적당한 보호 조치를 취해야 한다.

10.3 보강

10.3.1 응력집중이 예상되는 두 막사이 또는 두 개의 서로 다른 재료 사이의 접합부에서 막재료는 적절히 보강되어야 한다.

10.3.2 막과 케이블의 마찰발생이 예상되는 부분에서, 막재료는 적절히 보강되어야 한다.

10.4 실행

10.4.1 실행은 모든 각도에서 시험후에 계획되어야 한다. 시공은 이러한 실행 프로그램에 따라서 수행되어야 한다.

10.4.2 정착 기초와 연속 콘크리트 기초는 정확하고 견고하게 타설되어야 한다.

10.4.3 덮개의 팽창은 안전성과 신뢰성있는 작업이 되도록 준비된 실행 프로그램에 따라서 수행되어야 한다.

10.4.4 여러가지 재료와 부가물(Accessories)은 설치동안에 열화되는 것을 피하는 방법으로 설치되어야 한다.

10.5 검사

10.5.1 모든 구조물은 시공 완료후에 형태의 측정을 통하여 설계형태에 대한 정확도를 체크해야 한다.

10.5.2 바람직하지 않은 현상이 없도록 하기 위해서 내압을 최대 설계치까지 올리고 이 값을 유지시킨다.

(11) 화재방지와 대피계획

11.1 화재방지 계획

11.1.1 재료, 시공방법 그리고 관리를 고려해서 구조물의 화재방지에 세심한 주의를 기울여야 한다. 건물은 화재시 소방활동이 신속하고 신뢰성 있게 수행될 수 있도록 설계되어야 한다.

11.2 대피계획

11.2.1 적당한 장소에 적절한 갯수와 규모, 그리고 적당한 형태의 비상구가 준비되어야 하고 대피로의 유지가 비상시 장비등을 구조물로부터 신속하고 쉽게 대피시킬 수 있도록 계획되어야 한다.

(12) 내부환경과 위생

12.1 적당한 내부환경이 건물의 특정한 사용에 대해서 실내의 건강과 위생에 대한 요구사항에 만

족하기 위해서 유지되어야 한다. 필요한 곳에 연기배기와 환기가 구조물의 안정과 완전성을 방해하거나 위태롭게 하지 않는 범위내 수행되어야 한다.

(13) 유지와 조절

13.1 구조물의 유지와 조절

13.1.1 막, 정착시스템, 팽창시스템, 통로, 비상구 그리고 다른 보조적 장치등이 내구성을 위한 최적의 조건을 유지하기 위해 적당히 유지, 조절되어야 한다.

13.1.2 내압은 조정과 유지되어, 언제나 설계내부압 수준을 유지하도록 한다.

13.1.3 비상전원, 보조송풍기, 그리고 비상조명장치 등은 언제나, 각각의 주장비로부터의 역할을

이행받을 수 있도록 유지, 조절되어야 한다.

13.1.4 구조물, 장비 등은 심한 적설시 또는 강풍시에 주의깊게 관찰되어야 하고 만약 필요하다면 적절한 단계에 그것을 사용할 수 있게 유지되어야 한다.

13.2 저장물

13.2.1 저장물은 구조적으로 화재에 안전한 부분까지 막으로부터 적당한 간격을 유지해야 한다.

13.3 화재예방조절

13.3.1 이러한 형태의 구조물 특성에 따라서 화재예방에 대한 세심한 설비를 갖추어야 한다.

13.4 대피

13.4.1 필요하다고 생각될 때 모든 점유물의 즉각적이고 안전한 대피를 위해서 적절한 배열이 필요하다.