ISSN 1598-4095 (Print)
ISSN 2287-7401 (Online)
http://dx.doi.org/10.9712/KASS.2020.20.3.91

Journal of Korean Association for Spatial Structures
Vol. 20, No. 3 (통권 81호), pp.91~98, September, 2020

막구조 정착부의 인장파단시험을 통한 신장특성 및 응력전달체계에 관한 연구

Study on Stress Transition Mechanism and Uniaxial Tensile Characteristics by Tensile Fractured Test of Clamping Part of Membrane Structures

김 희 균* Kim, Hee-Kyun
전 상 현** Jeon, Sang-Hyeon
하 창 우** Ha, Chang-Woo
김 재 열*** Kim, Jae-Yeol

Abstract

For form stability of membrane structures, membrane material is required to be in tension. Therefore, in planning and maintenance management, the engineer should consider enough about introduction of stress during construction and re-introduction of stress after completion. Clamping part is an important portion with the function for introducing tension into membrane materials, and the function to transmit stress to boundary structures, such as steel frames. Then, the purpose of this research is to clarify stress condition and stress transfer mechanism including clamping part of membrane structures, and to grasp the changing tendency of membrane structures with the passage of time. In this research, following previous one, we perform well-balanced evaluation by conducting tensile fractured tests of clamping part's specimens, and by measuring individually the amount of displacement of not only overall specimen's length but membrane material and clamping part. Thereby, we consider the influence the difference in the hardness of edge rope and the difference in the direction of thread affect modification and fracture load.

Keywords : Membrane structure, Membrane material, Clamping part, Edge rope

1. 서론

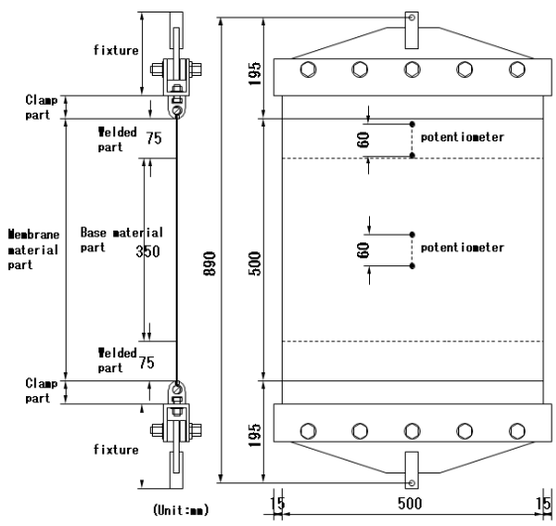
막구조가 안정된 형상을 유지하기 위해서는 막면이 장력 상태가 되어야 하고, 막면을 안정된 초기장력 상태로 유지하기 위해서는 장력도입 및 장력관리가 중요하다. 또한 막재료는 점탄성체인 코팅 수지의 재료 특성으로 인해 크리프 및 릴렉세이션(응력완화)을 발생시킨다. 이러한 현상에 대해서도 적절하게 대처하는 것이 막면의 장력 관리에 있어서 매우 중요하다.

한편, 막구조에서는 막재료가 받은 외력을 철골 지주 등 다른 구조에 전달한다. 이러한 응력 전달을 받는 정착부는 철골 등의 경계 구조로 응력을 전달하는 기능과 막면에 장력을 도입하기 위한 기능을 가지고 있는 중요한 부분이다. 기존의 문헌을 살펴보면 실험을 통한 막재료 재료비선형성의 역학적 특성에 관해서는 여러 연구보고가 있다[1-3]. 하지만 정착부나 용착부에 관한 연구보고는 많지 않다. 막재료 A종(사불화에틸렌수지 코티드 유리섬유 직포)을 사용한 경우의 정착부는 막재료에 구멍을 뚫어 볼트와 플레이트로 고정하는 방식과 막재료에 구멍을 뚫지 않고 클램프로 고정하는 방식이 일반적이다. 본 연구에서는 클램프 정착방식을 대상으로 막구조 정착부의 인장파단시험을 실시하여 이제까지 규명하지 못한 정착부의 신장특성과 응력전달체계에 대해서 명확히 밝혀보기로 한다.

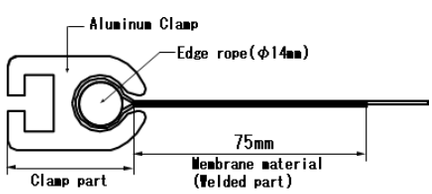
모재 등에 비하면 정착부나 용착부에서 발생하는 변형량은 매우 작고, 막면 전체에 미치는 영향은 무시할 수 있는 정도인 경우도 있다. 하지만 막구조의 적절한 장력관리를 위해서는 모재뿐 만 아니라 정착부, 용착부를 포함한 전체적인 평가를 하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 아직까지 구체적으로 해명되지 않은 정착부 및 용착부에 대하여 정량적인 평가를 실시하는 것을 목적으로 하고 있다.

* 정회원, ㈜에코닝 연구소장, 공학박사
Econing Co., Ltd.
** 정회원, 협성대학교 도시건축공학과, 박사과정
Dept. of Architectural Eng., Hyupsung Univ.
*** 교신저자, 정회원, 협성대학교 건축공학과 교수, 공학박사
Dept. of Architectural Eng., Hyupsung Univ.
Tel: 031-299-0758 Fax: 031-298-2737
E-mail: jykim@uhs.ac.kr

Kawabata, Kim & Nakamura(2002)는 제1단계로서 모재, 용착부 및 클램프 정착부의 1축 신장특성을 파단하중의 1/4을 상한 하중으로 하여 1축 인장시험과 간단한 모델을 이용한 해석에 의해 검토하였다[4]. 클램프 정착부는 막재료의 모재 부분 및 용착 부분과 엣지 및 〈Fig. 2〉와 같이 클램프 금속물의 접촉 부분으로 구성된다〈Fig. 1〉.



〈Fig. 1〉 Clamping part tensile test piece shape



〈Fig. 2〉 Clamp part detail

본 연구에서는 먼저 막재료의 1축 인장시험을 실시하여 얻은 데이터를 바탕으로 막재료의 모재와 용착부에 대해 각각의 인장강성을 산정하고, 클램프 정착부의 막재료 부분에 대하여 간단한 모델에 의한 해석을 실시하여 막부분의 신장량을 산출했다. 또한 클램프 정착부의 1축 인장시험 결과에서 막 부분의 신장 부분을 뺀 것을 클램프 부분의 변형량으로 판단하여 클램프 부분에 대한 정량평가를 실시했다. 시험에는 막재료 A종을 사용했다.

본 연구에서는 Kawabata, Kim & Nakamura(2002)의 결과[4]를 바탕으로 막재료가 파단될 때까지 1축 인장시험을 실시하여 파단하중 레벨에서의 클램프 정착부의 신장특성을 검토한다. Kawabata, Kim & Nakamura(2002)는 허용응력도 이하의 비교적 저하중 영역에서의 정착부의 거동을 평가[4]했지만, 본 연구에서는 고하중 영역에서 정착부의 변형이 어느 정도 진행하는지를 평가하고, 엣지로프 경도의 차이에 의한 영향 및 클램프 정착이 막재료의 파단강도에 미치는 영향 등을 평가한다.

2. 정착부 인장파단 시험

2.1 실험 개요

실험은 2,000kN Amsler 시험기를 이용해 실시한다. 시험체의 형상은 〈Fig. 1〉 및 〈Fig. 2〉와 같다. 시험체 종류는 〈Table 1〉과 같다. 시험체는 막재료 부분, 클램프 부분 및 이를 시험기에 고정하는 고정철물로 이루어진다. 막재료 전체 크기는 500×500mm이며, 350mm 폭의 모재부와 상하 75mm 폭의 용착부로 이루어진다. 막재료의 상·하단부는 알루미늄 클램프 내부에서 로프를 감싸 말아서 75mm 폭으로 열용착한다.

엣지로프는 뜨개질 방식이 견고한 경질로프와 뜨개질 방식이 느슨한 연질로프의 2종류를 준비한다. 이는 가력시 로프의 단면 변형이 막재료 엣지의 클램프 금속물로부터의 발출량(클램프 부분의 변형량)에 영향을 줄 가능성이 있기 때문에 로프의 경도 차이가 클램프 부분의 변형량에 미치는 영향을 평가하기 위해서이다. 재하 속도는 50mm/min으로 한다.

〈Table 1〉 Test piece type

	Type	Shape D×L	Test piece Warp	Test piece Fill	Load speed
Trial test	Hard rope	500mm × 500mm	2	1	50mm/min
Main test	Hard rope		1	2	
	Soft rope		3	3	

Kawabata, Kim & Nakamura(2002)는 설계상 허용응력도에 가까운 하중 레벨인 30N/mm를 상한으로 하여 이를 균등하게 분할한 4단계의 하중을 설정하고, 하중 제로에서 각 단계까지 재하 및 제하를 3 사이클씩 반복하는 반복 가력에 의한 실험을 실시했다[4]. 이때 막재료의 1축 인장에서는 종축실과 횡축실의 크림프 교환이

나 실의 느슨함의 영향에 의해 하중-신장 곡선이 강한 비선형성을 나타낸다.

특히 저하중 영역에서 이러한 경향이 현저하게 나타나기 때문에[5] 상한을 30N/mm로 함으로써 저하중 영역에서의 신장특성을 상세히 검토한다. 고하중 영역에서 하중-신장 곡선은 거의 직선 상태가 된다. 이는 크림프 교환이나 실의 느슨함이 없어지고 유리섬유 직사의 강성 효과로 볼 수 있다. 한편, 클램프 부분에서도 재하 하중의 증가에 따라 엣지의 추가 발출이 발생할 것으로 예상된다. 따라서 본 실험에서는 고하중 영역에서의 막재료 부분 및 클램프 부분의 신장량을 정확하게 계측하기 위해 30N/mm를 4단계로 구분한 반복 가력에 추가하여 하중 레벨 60N/mm, 90N/mm에 대해서도 각 3 사이클, 합계 6단계로 구분한 반복 가력을 실시한 후 파단할 때까지 재하한다.

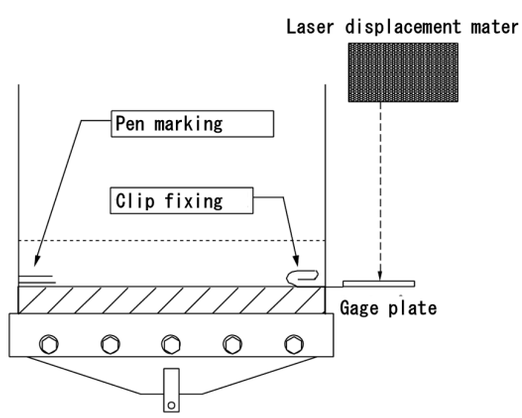
또한 본 실험에서는 제하 시 막재료의 느슨함을 없애고 막재료에 장력이 작용하는 상태를 계속 유지하기 위해 제하 시에는 하중 1N/mm를 하한으로 했다. 소정의 하중 값에 달했을 때나 하중 1N/mm로 되돌린 시점에서는 시험기를 10초간 고정하여 일정한 변형률 상태를 유지하도록 했다. Kawabata, Kim & Nakamura(2002)는 CCD 카메라의 조작을 위해 유지 시간을 30초로 설정하였지만[4], 본 실험에서는 유지 시간의 길이가 결과에 미치는 영향이 없는 것을 확인했기 때문에 CCD 카메라는 이용하지 않고 실험 효율을 고려해 10초로 설정했다.

계측 방법으로는 시험체 전체의 변형량과는 별도로 〈Fig. 1〉과 같이 막재료의 모재 부분과 용착 부분에 각각 Potentiometer를 설치하여 모재 부분과 용착 부분의 변형량을 개별적으로 계측하도록 했다. 막재료 부분의 변형량 계측을 위해 Kawabata, Kim & Nakamura(2002)는 CCD 카메라에 의한 3차원 화상 해석을 이용해 실시했지만[4], 계측 작업에 많은 시간이 소요되고 소요시간 대비 정밀한 결과를 얻지 못한 점을 고려하여 본 실험에서는 Potentiometer를 이용하기로 했다. Potentiometer는 막재료의 파단 시 충격으로 낙하하는 것을 방지하기 위해 하중 90N/mm까지 가력한 후 시험체에서 분리한다.

클램프 부분의 변형량에 대해서는 Kawabata, Kim & Nakamura(2002)는 전체 변형량에서 해석으로 산출한 막재료 부분의 변형량을 빼는 것으로 간접적으로 산출했다[4]. 하지만 이러한 방법으로는 클램프 부분의 변형량이 해석결과에 의존하게 되어 산출결과와 실제 변형량의 비교확인을 할 수 없다. 또한 전체 변형량에서 막재료 부분을 뺀 값에는 고정철물의 불균형 등 불명확한 요소가 포함되어 있어 엣지 부분의 발출량을 엄밀하게 평가하기에는 충분하다고 할 수 없다. 따라서 클램프 부분의 변형량을 직접적으로 계측하기 위해서 본 실험에서는 〈Fig. 3〉 및 〈Fig. 4〉와 같이 막재료의 클램프 끝부분에 표점을 부착하고 레이저 변위계를 이용하여 클램프 부분의 변형량을 계측한다.

레이저 변위계에 의한 계측과는 별도로 막재료의 클램프 끝부분에 펜으로 마킹하여 각 하중 재하 시의 발출량을 연속적으로 계측한다. 펜으로 마킹하는 것은 가력 전의 무부하 시 7.5N/mm, 30N/mm, 60N/mm 및 90N/mm 가력 때 실시한다. 파단 후에는 시험체 전체가 파단의 충격에 의해 큰 변형을 일으켜 하중도 제하되어 버리기 때문에 정확한 계측 결과를 얻을 수 없다고 판단하여 파단 후 마킹에 의한 계측은 실시하지 않기로 했다.

예비실험으로써 경질 엣지로프의 시험체에 대해 인장파단실험을 실시했다. 예비실험에서는 하중 속도 50mm/min으로 30N/mm까지의 가력을 3 사이클 실시한 후 막재료가 파단할 때까지 가력했다. 계측은 시험체 전체의 변형량과 Potentiometer에 의한 막재료 부분의 변형량에 대해서만 실시하고, 클램프 부분의 레이저 변위계 및 마킹에 의한 계측은 실시하지 않는다. Potentiometer에 의한 계측은 30N/mm까지로 했다. 예비실험은 파단 하중의 확인과 시험기의 동작 확인을 목적으로 했기 때문에 시험조건은 본 실험과는 다르지만, 참고자료로서 예비실험 결과를 본 실험의 결과와 함께 정리했다.



〈Fig. 3〉 Clamp part measuring method

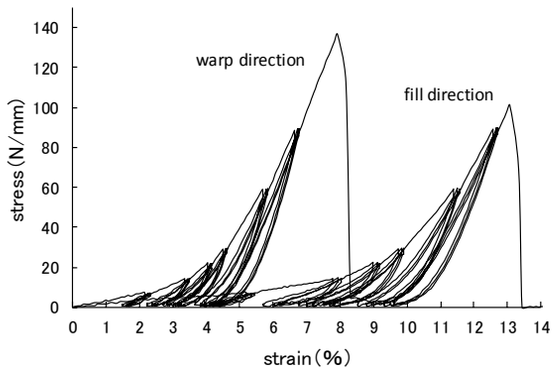
〈Fig. 4〉 Laser displacement measurement

2.2 정착부 시험체의 1축 신장특성

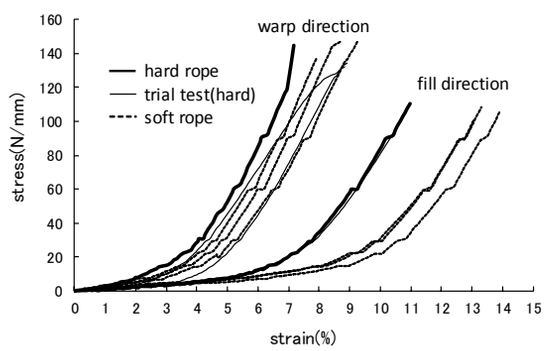
〈Fig. 5〉는 정착부 시험체(본 실험 중의 연질 엣지로프 type)의 1축 신장 곡선 예시를 나타낸다. 종축은 단위폭 당의 인장력이며, 횡축은 변형율이다. 변형률은 시험기 상단의 크로스헤드 변위를 시험체의 초기 길이 500mm로 나눈 값이다.

실험 시작 시 막재료에 장력이 발생하지 않은 상태로 막재료는 느슨한 상태가 된다. 이 때문에 막재료가 팽팽한 상태가 될 때까지는 하중 제로 상태에서 변형률만 증가한다. 따라서 각 시험체의 변형률을 정확하게 비교하기 위해 막재료에 하중이 가해지기 시작한 시점에서 시험체의 변형률이 제로가 되도록 원점을 설정한다.

〈Fig. 6〉은 정착부 시험체의 전체 1축 신장곡선이다. 〈Fig. 5〉와 같이 종축은 단위폭 당의 인장력, 횡축은 변형률이며, 막재료에 하중이 가해지기 시작한 시점에서의 변형량이 제로가 되도록 원점을 설정한다. 그래프를 보기 쉽게 하기 위해서 반복 가력을 실시한 부분에 관해서는 각 단계의 제 1 사이클 재하 시 곡선을 연결한 것을 나타낸다. 각 단계의 전환점에서는 일부에 불연속적인 데이터가 보이지만, 이는 반복 가력에 의한 잔류 변형률의 영향을 포함하고 있기 때문이다. 실선은 경질 엣지로프의 시험결과로 굵은 선이 본 실험결과이며, 가는 선은 예비실험의 결과를 나타낸다. 파선은 연질 엣지로프의 시험결과이다.



〈Fig. 5〉 Uniaxial elongation curve (Clamp part)



〈Fig. 6〉 Uniaxial elongation curve (Clamp part)

경질 엣지로프에 대해서 예비실험(가는 선)과 본 실험(굵은 선)의 결과를 비교할 때 종실 방향에서는 미소한 차이가 보이지만 횡실 방향에서는 거의 일치한다. 시험체 수가 적어서 명확하게 판단할 수 없으나, 가력 방법의 차이가 신장특성에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다. 파단강도에 관해서는 종실 방향이 약 140N/mm이며, 이에 반해 횡실 방향은 약 110N/mm로 종실 방향에 비해 낮은 값을 나타낸다. 단, 막재료 A종의 인장강도가 종실 방향이 150N/mm, 횡실 방향이 120N/mm 정도인 것을 고려하면 클램프 정착이 막재료의 강도에 미치는 영향은 그다지 크지 않다고 할 수 있다. 엣지로프의 경도 차이는 종실 방향에서는 각 시험 결과에 편차가 있어서 뚜렷한 경향은 보이지 않고, 횡실 방향에서는 연질 엣지로프의 시험체에 약간의 편차가 있지만 경질 엣지로프(실선)와 연질 엣지로프(파선)의 변형률에는 큰 차이를 보인다. 엣지로프의 경도 차이는 파단하중에는 거의 영향을 주지 않지만 변형률에는 미치는 영향이 커서 경질 엣지로프의 경우가 변형률이 적은 경향이 있다고 할 수 있다. 각 신장 곡선을 비교하면 고하중 영역에

서는 모두 비슷한 구배를 나타내고 있어 엣지로프의 차이는 40N/mm 부근까지의 저하중 영역에서 현저하게 나타나는 것을 알 수 있다.

2.3 막재료 부분의 1축 신장특성

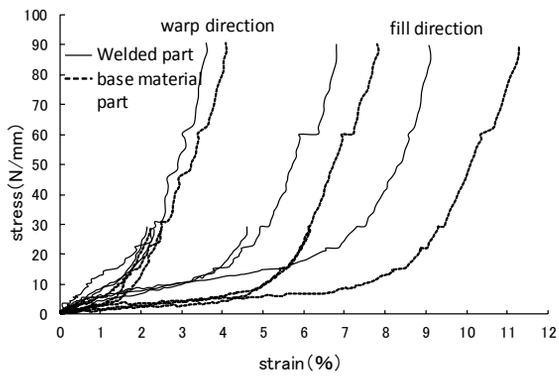
〈Fig. 7〉과 〈Fig. 8〉은 Potentiometer의 계측에 의한 막재료 부분의 1축 신장 곡선을 나타낸다. 〈Fig. 7〉은 경질 엣지로프 시험체의 결과, 〈Fig. 8〉은 연질 엣지로프 시험체의 결과이다. 각각 종축은 단위폭 당의 인장력, 횡축은 변형률을 나타낸다. 변형률은 Potentiometer의 변위를 Potentiometer의 초기 장착 간격 60mm로 나눈 값이다. 막재료에 장력이 발생하기 시작한 시점에서의 변형률이 제로가 되도록 원점을 설정했다. 그래프 내 실선은 용착부, 점선은 모재부의 신장곡선을 나타낸다. 〈Fig. 6〉과 마찬가지로 각 단계의 제 1 사이클 재하 시 곡선을 연결한 것으로서, 각 단계의 전환점에 나타나는 불연속적인 데이터는 반복 가력에 의한 잔류 변형률의 영향이다.

경질 엣지로프 시험체에 대해서 종실 방향은 편차가 적지만 횡실 방향은 편차가 크다. 이는 횡실 방향의 시험체 중 본 실험에 사용한 시험체 1개 및 예비실험에서 사용한 시험체는 실험을 실시하기 전 30N/mm까지 한 번 가력한 이력이 있으며, 막재료의 클림프 교환 및 실의 느슨함이 해소된 것이 영향을 주어 본래보다 발생하는 변형률이 적어졌기 때문으로 판단된다. 한편, 연질 엣지로프 시험체는 종실 방향과 횡실 방향 모두 편차가 없이 거의 일치한다.

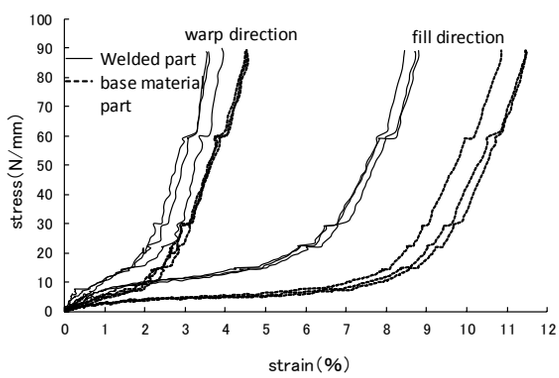
경질 엣지로프 시험체 중 재하 이력이 있는 시험체의 결과를 제외하고 각 시험 결과의 90N/mm 시 변형률을 비교해보면 경질 엣지로프와 연질 엣지로프 모두 종실 방향은 모재가 약 4%, 용착부가 약 3.5%이며, 횡실 방향은 모재가 약 11.5%, 용착부가 약 9%인 것을 알 수 있다. 따라서 엣지로프의 경도 차이는 막재료 부분의 신장 특성에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

2.4 클램프 부분의 변형량

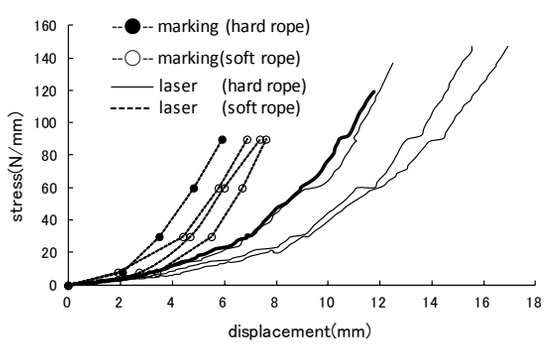
〈Fig. 9〉와 〈Fig. 10〉은 레이저 변위계의 계측과 마킹에 의한 클램프 부분의 변형량을 나타내며, 〈Fig. 9〉는 종실 방향, 〈Fig. 10〉은 횡실 방향의 시험결과이다. 종축은 시험체에 가해지는 단위폭 당의 인장력, 횡축은 클램프 부분의 변형량을 나타낸다. 레이저 변위계와 마킹의 결과에서는 5mm 정도의 차이를 보인다. 이러한 차이는 레이저 변위계의 결과에는 클램프 부분의 변형량 외 재하 중 발생하는 고정철물의 불균형이나 표점 부착 위치와 클램프 끝부분 사이 막재료 부분의 신장량이 포함되어 발생한 것으로 볼 수 있다. 이러한 요인이 포함된 레이저 변위계의 결과에는 약간의 편차가 발생하지만 연속적인 데이터를 얻을 수 있는 이점도 있다.



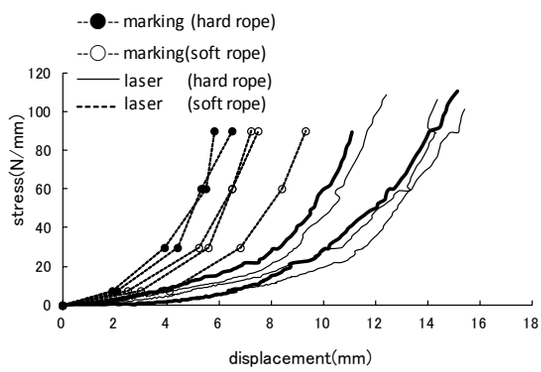
〈Fig. 7〉 Uniaxial elongation curve (Membrane material part, Hard rope)



〈Fig. 8〉 Uniaxial elongation curve (Membrane material part, Soft rope)



〈Fig. 9〉 Deformation of clamp part (Warp)



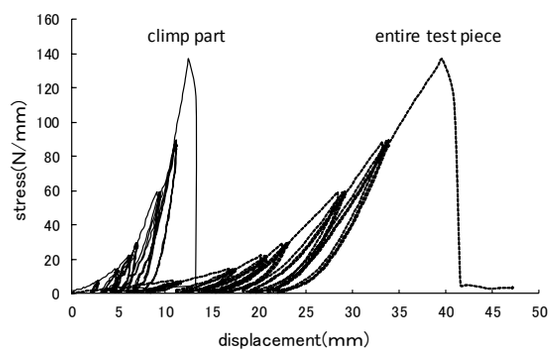
〈Fig. 10〉 Deformation of clamp part (Fill)

〈Fig. 11〉은 실험결과의 하나의 예로서 시험체 전체의 변형량과 클램프 부분의 변형량 간 관계를 나타낸 것이다. 시험체의 재하 사이클과 마찬가지로 클램프 부분의 신축이 반복되고 있음을 알 수 있다. 재하 시와 제하 시의 경로가 다르고, 재하와 제하의 반복에 따라 변형률이 증가함으로써 클램프 내부에서 엣지로프를 감싸고 있는 막재료 부분의 점성과 잔류변형률의 영향이 클램프 부분의 신장 곡선에 영향을 준다고 할 수 있다.

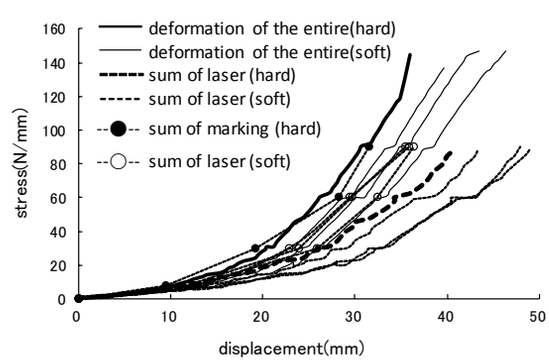
또한 〈Fig. 9〉와 〈Fig. 10〉에서 조금의 편차가 보이지만 경질 엣지로프보다 연질 엣지로프의 시험체가 클램프 부분의 변형이 큰 경향을 나타내고 있으며, 그 차이는 엣지로프 변형량의 차이라고 할 수 있다. 한편, 막재료의 실 방향 차이는 클램프 부분의 변형량에는 큰 영향이 없다고 할 수 있다. 이는 클램프 내부 막재료의 길이가 4~5cm 정도로 실 방향의 차이가 발생하더라도 변형량이 매우 작은 것을 원인으로 볼 수 있다. 클램프 부분의 변형은 30N/mm까지의 저하중 영역에서 크게 발생하지만, 고하중 영역에서도 재하에 따라 변형이 진행되고 있다고 할 수 있다. 또한 한 번 재하를 가한 정착부에는 막면과 마찬가지로 잔류 변형률이 남아 있을 가능성이 있으므로 주의가 필요하다.

〈Fig. 12〉와 〈Fig. 13〉은 막재료 부분과 클램프 부분의 변형량 합계값과 정착부 시험체 전체의 변형량(실선)의 비교를 나타낸다. 〈Fig. 12〉는 종실 방향, 〈Fig. 13〉은 횡실 방향의 신장 곡선이다. 막재료 부분의 변형량은 모재 부분와 용착 부분에 대해 각각 Potentiometer에 의한 변형률에 부재 길이(모재부 350mm, 용착부 150mm)를 곱해서 산출하고 각각의 변형량을 더하여 구한다. 클램프 부분의 변형량은 상하 2개소의 클램프 부분의 변형량이 같다고 가정하고, 레이저 변위계에 의한 계측값 및 마킹에 의한 계측값을 각각 2배하여 구한다. 합계값은 막재료 부분의 변형량과 레이저 변위계에 의한 클램프 부분의 변형량을 더한 것(점선)과 7.5N/mm, 30N/mm, 60N/mm 및 90N/mm 시 막재료 부분의 변형량 및 마킹에 의한 클램프 부분의 변형량을 더한 것(●,○)의 2종류를 나타낸다. 종축은 단위폭 당 인장력, 가로축은 변형량이다.

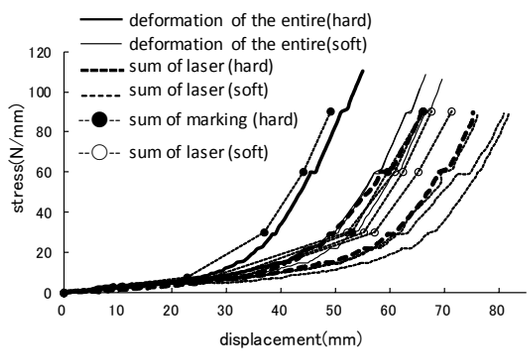
레이저 변위계에 의한 합계값은 전체 변형량보다 10mm 정도 큰 변형량을 나타내고 있지만, 마킹에 의한 합계값은 전체 변형량과 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 따라서 마킹 계측에 의한 클램프 부분의 변형량은 거의 정확하다고는 할 수 있지만, 하중 레벨 90N/mm 시 클램프 부분의 변형량은 경질 엣지로프의 경우 5~6mm, 연질 엣지로프의 경우는 6~8mm 정도라고 할 수 있다.



〈Fig. 11〉 Elongation curve of entire test piece and clamp

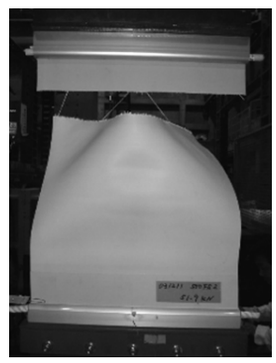


〈Fig. 12〉 Comparison of the sum of the deformation of each part and the deformation of the entire test piece (Warp)



〈Fig. 13〉 Comparison of the sum of the deformation of each part and the deformation of the entire test piece (Fill)

〈Fig. 14〉 Fracture shape of test piece (Warp)



〈Fig. 15〉 Fracture shape of test piece (Fill)

2.5 막재료의 파단 형상

〈Fig. 14〉와 〈Fig. 15〉는 종실 방향과 횡실 방향 시험체 파단 형상의 하나의 예를 나타낸다. 다른 시험체도 동일한 파단 형상이 나타나고 있다. 횡실 방향 시험체는 가력 직교 방향으로 직선적으로 파단하고, 종실 방향 시험체에서는 모재 중앙 부분에서 복잡한 곡선 형태로 파단하는 경향이 나타난다. 종실 방향 시험체의 파단 부분을 살펴보면 가력 방향의 실(종실)은 끊어져 있지만, 가력 직교 방향의 실(횡실)은 끊어지지 않고 여러 방향으로 당겨져 있는 것을 알 수 있다. 막재료는 종실 방향과 횡실 방향에서 단위 길이 당 직사의 개수가 달라서 종실 방향이 밀실하게 직사가 교차하고 있다. 또한 막재료의 제작상 종실에 비해 횡실이 더 많은 파형을 가진 구조로 되어있다. 이러한 직사 구조의 차이가 파단 형상의 차이로 나타난 것으로 추측된다. 파단 위치에 관해서는 종실 방향 시험체는 모두 〈Fig. 14〉와 같이 막재료 중앙 부분에서 파단하고 있는 것에 반해, 횡실 방향 시험체는 막재료 중앙부에서 파단하는 1개의 시험체가 있으나 그 이외에는 모두 〈Fig. 15〉와 같이 용착 끝단에서 파단하였다. 용착 부분은 모재 부분에 비해 강성이 높고, 가력 직교 방향의 수축도 모재 부분에 비해 적다. 이러한 이유로 용착 끝단에 응력이 집중한 것으로 판단된다.

3. 결론

기존 연구보고[1-3]에서는 막재료의 역학적 특성을 분석하고 재료비선형특성에 대해 규명하고 있다. 본 연구에서는 막재료의 재료비선형성을 고려하고 막재료와 알루미늄 클램프로 이루어진 정착부를 포함한 막구조의 응력 상태 및 응력전달체계를 밝혀내고, 시간 경과에 따른 막구조의 변화를 파악하는 것을 목적으로 고하중 영역에서의 거동 및 파단 상태를 검증하기 위해 Kawabata, Kim & Nakamura(2002)[4]에 이어서 클램프 정착시험체의 인장실험을 실시하였다.

본 연구를 통해서 알루미늄 클램프를 이용한 정착 방법에서는 정착에 의한 막재료의 강도 저하가 크지 않다는 것이 명확해졌다. 이는 알루미늄 클램프의 구조상 막재료에는 균등하게 인장력이 전달되기 쉽고, 볼트 정착과 같이 막재료에 볼트 구멍을 뚫는 등의 강성 저하 요인이 적기 때문이라고 할 수 있다. 그러나 실 방향에 따라 용착 끝단에서 파단하는 경우가 많아 정착부에서는 상정한 내력보다 낮은 하중으로 파단할 가능성도 있으므로 정착부의 내력 결정을 할 때에는 주의가 필요하다.

또한 엣지로프 경도의 차이나 가력 방법의 차이 및 재하 이력 유무는 변형량에 차이가 나타나지만, 파단 하중에는 차이가 나타나지 않았다. 이는 실의 크림프 교환이나 실의 느슨함의 영향을 포함해 저하중 영역과는 달리 고하중 영역에서는 실의 느슨함 등이 모두 해소되어 유리섬유 직사의 강성만이 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다.

클램프 부분의 변형량은 실 방향에 관계없이 90N/mm 응력 시 5~8mm, 엣지로프의 경도에 따른 차이는 1~2mm 정도였다. 저하중 영역에서 크게 변형하지만, 고하중 영역에서도 변형은 계속 진행되고 재하가 가해진 정착부에서는 잔류 변형이 발생하는 것이 명확해졌다.

감사의 글

이 논문은 2019년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구의 일부입니다. 지원에 감사드립니다(과제번호 NRF-2019R1A2C1007548).

References

1. Ishitoku, S., Tanaka, K., Takahashi, K., & Ataka, N., “Determining mechanical properties of membrane materials by uniaxial texting method”, Research Report on Membrane Structures, No.4, pp.31~39, 1990
2. Minami, H., “Mechanical Properties of PTFE-Coated Plain Weave Glass Fiber Fabrics and the Evaluations”, Research Report on Membrane Structures, No.5, pp.61~70, 1991
3. Hino, Y., & Ishii, K., “An evaluation method on the material nonlinearity in the analysis of membrane structures”, Research Report on Membrane Structures, No.8, pp.35~49, 1994
4. Kawabata, M., Kim, H. K., & Nakamura, E., "Study on stress transition mechanism of cramping part of membrane structures -uniaxial tensilecharacteristics of welded part and crumping part-", Research Report on Membrane Structures, No.16, pp.29~37, 2002
5. Ishii, K., "Membrane Materials For Membrane Structures –Mechanical Properties and a Model for Structural Analysis-", Research Report on Membrane Structures, No.6, pp.91~119, 1992

- Received : July 28, 2020
- Revised : August 05, 2020
- Accepted : August 06, 2020