

Cone형 복합재 Lattice 구조물의 설계 및 공정 연구

도영대* · 정상기* · 이상우** · 장홍빈*

Design and Fabrication of Cone Type Composite Lattice Structures

Youngdae Doh* · Sangki Chung* · Sangwoo Lee** · Hongbeen Chang*

ABSTRACT

This paper is concerned with anisogrid composite lattice structures whose load bearing shell is formed by systems of geodesic unidirectional composite ribs made by automatic wet winding process. Lattice structures are usually made in the form of conical shell and consist of systems of helical and hoop ribs fabricated by continuous filament winding from carbon and epoxy composites. Design variables of the structure which are the angle of helical ribs and ribs spacings are determined by cone geometry and geodesic line. and Fabrication methods for the conical composite lattice structure are presented.

초 록

이 논문은 필라멘트 와인딩 공법으로 제작된 cone형 복합재 lattice 구조물에 대한 연구이다. cone형 복합재 lattice 구조물은 helical rib과 hoop rib 구조로 이루어져 있다. 이 구조는 탄소 섬유를 에폭시수지에 함침 시켜 섬유의 끊어짐이 없이 연속적으로 실리콘 고무 금형의 홈 안에 필라멘트 와인딩 하여 제작한 것이다. 본 연구에서 cone형 복합재 lattice 구조물에 대한 설계 개념과 제작방법에 대해 기술하였다 .

Key Words: Lattice Structure(래티스 구조물), Filament Winding(필라멘트 와인딩), Silicon Rubber Molder(실리콘 고무 금형)

1. 서 론

복합재 Lattice 구조물은 필라멘트 와인딩 공법으로 제작한다. 복합재 Lattice 구조물은 Fig.

1 의 실린더형 혹은 Fig. 2와 같은 콘형의 구조물의 유형이 있으며 제작은 실리콘 고무로 제작된 금형의 홈(groove)에 탄소섬유 혹은 아라미드 섬유를 에폭시수지에 함침시켜서 필라멘트 와인딩 하여 제작하는데 러시아와 미국[1, 2]에서는 이 공법으로 구조물을 제작하여 항공기 부품 및 위성 발사체의 부품에 적용하여 구조물의 경량

* 국방과학연구소 1기술연구본부 6부

** (주)한국화이버 특수사업본부

† 교신저자, E-mail: doh4441@naver.com

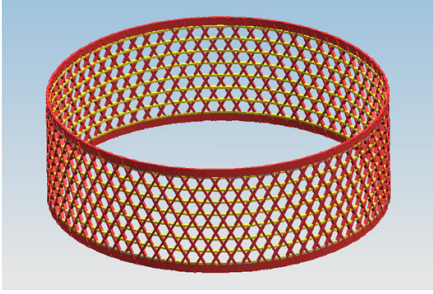


Fig. 1 실린더형 복합재 Lattice 구조물

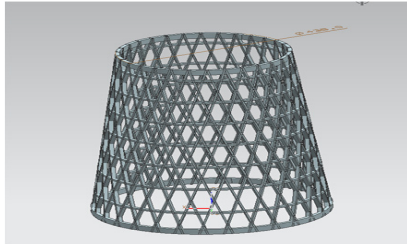


Fig. 2 cone형 복합재 Lattice 구조물

화를 이루고 있다. 본 논문에서는 cone형 복합재 lattice 구조물에 대한 설계 식을 제시하고 구조물의 제작 방법을 제시하고자 한다.

2. cone형 복합재 Lattice 구조물의 설계

cone형 복합재 lattice 구조물은 Fig. 3과 같이 helical rib 과 hoop rib으로 구성되어 있다.

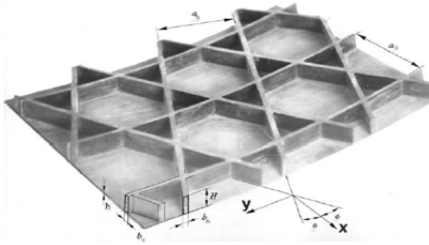


Fig. 3 Lattice 구조물의 helical rib과 hoop rib

cone형 lattice 구조물을 filament winding 공법으로 제작하기 위해서는 Fig. 4와 같이 cone형 표면위에 섬유가 geodesic line으로 감겨야 한다. Fig. 4와 같은 cone형 Lattice 구조물의 밑면 반경을 R , 윗면의 반경을 r_o , 윗면에서 밑면까지의 길이를 L , helical rib의 두께를 H , 폭을 b_h , helical rib의 수를 n_h , hoop rib의 두께는 helical rib의 두께와 같으며 폭을 b_c , hoop rib의 수를 n_c 로 설계 변수들을 설정한다.

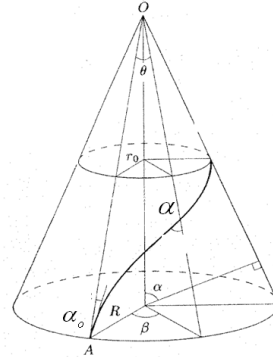


Fig. 4 cone형 표면위에서의 geodesic line

Hoop rib은 Fig. 2와 같이 helical rib의 교차점의 중간지점에 설치한다. 위의 설계변수들로부터 다음과 같이 geodesic line의 path를 구할 수 있다. 이에 대한 자세한 식들은 ref.[3]를 참조하여 본 논문에서 정리하였다. cone의 자오선과 회전축이 이루는 각은 다음과 같다

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{R - r_o}{L} \right) \quad (1)$$

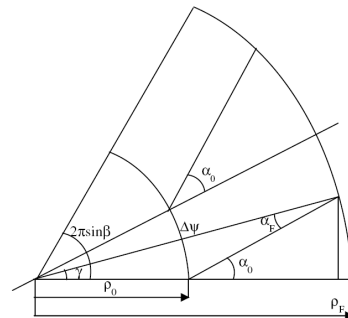


Fig. 5 cone의 표면의 전개도

Figure 5의 cone 표면의 전개도로부터 밑면에서의 geodesic line의 각도를 구할 수 있으며 이는 다음과 같다.

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \left(\frac{\rho_F \sin \gamma}{\rho_F \cos \gamma - \rho_0} \right) \quad (2)$$

여기서 γ 는 $\Delta\psi$ 는 helical rib과 hoop rib의 개수가 주어지면 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\gamma = \frac{\Delta\psi}{2} (n_c - 1) \quad (3)$$

$$\Delta\psi = \frac{2\pi \sin \beta}{n_h} \quad (4)$$

위의 식들과 Fig. 5로부터 cone의 윗면에서 자오선과 geodesic line이 이루는 각을 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_0 = \gamma + \alpha_F \quad (5)$$

geodesic line으로 와인딩 될 때 와인딩 path는 아래와 같은 관계식으로 된다.

$$\rho \sin \alpha = \rho_0 \sin \alpha_0 = C_0 = constant \quad (6)$$

윗면에서와 밑면에서 geodesic line이 자오선과 이루는 각도로부터 helical rib의 길이를 다음과 같이 구할 수 있다. 이로부터 helical rib의 질량, hoop rib 질량 및 전체질량을 각각 Eq. 8, Eq. 9 및 Eq. 10으로부터 구할 수 있다.

$$l_h = C_0 (\cotan \alpha_F - \cotan \alpha_0) \quad (7)$$

$$M_h = 2n_h m_h H b_h l_h \quad (8)$$

$$M_c = 2m_c H b_c n_h C_0 \ln \frac{\tan \frac{\alpha_0}{2}}{\tan \frac{\alpha_F}{2}} \quad (9)$$

$$M = M_h + M_c \quad (10)$$

본 연구에서는 cone형 복합재 lattice 구조물을 연구하기 위해 cone의 밑면의 외경이 876mm, 윗면의 외경이 543mm, 길이가 580mm에 대한 cone에 대하여 설계하였다. 이 구조물은 하중이 압축하중 10,000 kgf를 견딜 수 있게 설계 시 helical rib의 수를 40개, helical rib의 두께를 8mm, 폭을 6.7mm 그리고 hoop rib의 8개, 두께를 8mm, 폭을 6.7mm로 하였으며, 앞에서 전개한 식들을 이동하여 geodesic line이 자오선과 이루는 각들을 구할 수 있다. 즉 밑면에서 자오선과 이루는 각은 23.85도, 윗면에서 자오선과 이루는 각은 12.7도, helical rib의 길이는 785.2mm, helical rib의 무게는 4.88 kgf, hoop rib의 무게는 1.4kgf 그리고 총무게는 6.28 kgf로 계산되었다. cone형 구조물 제작을 위해서 3차원 설계를 CAD software인 NX 7.0을 사용하여 구조물 전체를 모델링 하였다. Fig. 6은 cone형 구조물의 최종형상이다. 여기서는 탄소섬유를 helical rib 및 hoop rib 위에 와인딩하여 lattice 구조물의 skin으로 사용하였다.

위의 구조물에 대하여 국방과학연구소에서 압축, 전단 및 굽힘하중을 가하여 시험하였는데 해석 결과와 시험결과와 잘 일치함을 알 수 있었으며 압축하중 10,000kgf 정도는 견딜 수 있음

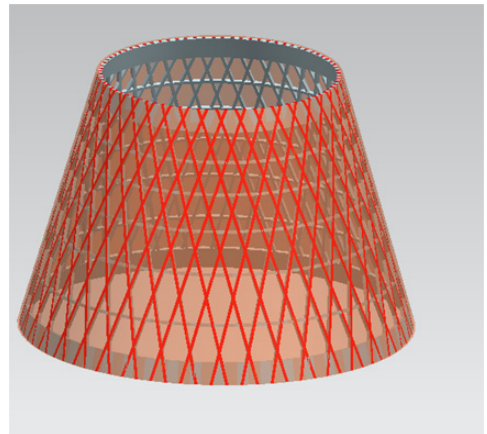


Fig. 6 cone형 lattice 구조물의 3차원 형상

을 확인하였다. 즉, 이 구조물은 무게대비 상당한 하중을 견딜 수 있음을 확인할 수 있었다.

3. 콘(Cone)형 Lattice 구조물 제작

콘형 Lattice 구조물의 제작 과정을 간단히 설명 하면 다음과 같다. helical rib 및 hoop rib 을 제작하기 위한 금형으로는 Fig. 7의 실리콘 고무 금형을 사용하였다. helical rib 및 hoop rib을 위한 홈이 가공된 Fig. 8과 같은 금속 금형에 미가황 상태인 실리콘 고무를 삽입하고 온도를 가하면서 프레스로 압력을 가해 실리콘 고무 금형을 제작하였다. 실리콘 고무 금형을 Fig. 9와 같이 금속 mandrel에 장착한 후 탄소(T-700)섬유를 에폭시에 함침시켜 필라멘트 와인딩 공법으로 제작하였다. 제작장비는 4축 제어용 필라멘트 와인딩 장비를 사용하였다. 탄소섬유를 에폭시수지에 함침시켜 필라멘트 와인딩 하여 제작한 후 오븐에서 경화 주기에 따라 경화하고, 금속 mandrel을 탈형하여 Fig. 10과 같이 실리콘 고무금형을 제거하면 콘형 Lattice 구조물을 제작할 수 있었다. 본 논문에서는 Lattice 구조물위에 Skin이 있는 구조물을 연구 하였으므로 Skin을 실리콘 고무 금형위에서 helical 및 hoop rib을 와인딩하고 난 후 연속적으로 탄소섬유를 와인딩하여 제작하였다. Skin을 제작하는 사진은 Fig. 11과 같으며, 제작된 제품의 최종형상은 Fig. 12. 와 같다.

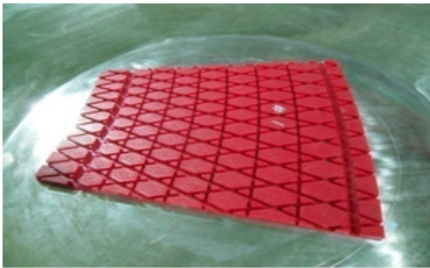


Fig. 7 Lattice 용 실리콘 고무금형

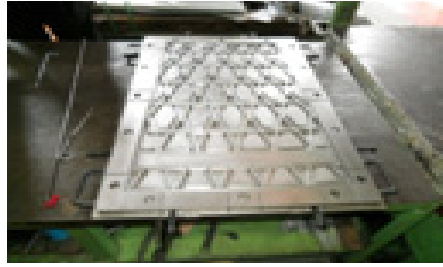


Fig. 8 실리콘 고무 금형 제작용 금속 금형

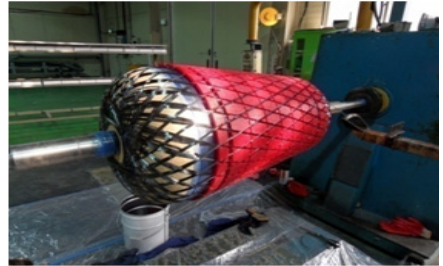


Fig. 9 실리콘 고무금형을 금속 mandrel에 장착한 후 탄소섬유/에폭시를 필라멘트와인딩 하는 장면

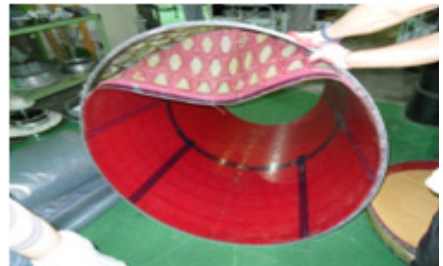


Fig. 10 실리콘 고무 금형을 제거 하는 장면

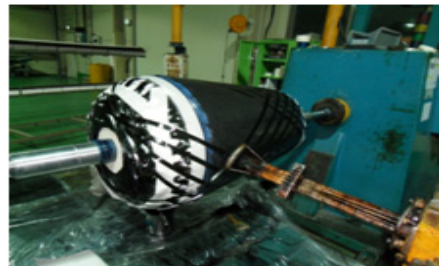


Fig. 11 Lattice 구조물 위에 Skin을 필라멘트 와인딩 하는 장면



Fig. 12 Lattice 구조물위에 Skin을 입힌 최종형상

5. 결 론

현재 선진국에서는 항공기 구조물 및 위성 발사체 부품을 복합재 Lattice 구조물로 제작하여 경량화 하고 있으나 국내에서는 국방과학연구소에서 처음으로 복합재 Lattice 구조를 연구하고 있는 것으로 생각된다. 본 연구에서 cone형 복합재 lattice 구조물을 위에서 제시한 설계 식을 적용하고 CAD software를 사용하여 3차원으로 형상화하였다. 이 3차원 형상으로부터 cone형 lattice용 실리콘 고무 금형을 만들고 실리콘 고무 금형으로 helical rib 및 hoop rib의 홈이 파

진 고무 금형을 제작하였다. 이 고무 금형을 cone 형 manrel에 장착하여 필라멘트 와인딩 공법으로 cone형 복합재 lattice 구조물을 성공적으로 제작할 수 있었다. 설계한 제품에 대하여 유한요소법을 적용하여 해석을 행하였으며 제작된 제품의 구조 신뢰성을 알기 위해 시험장비를 제작하여 압축, 전단 및 굽힘 시험을 행하였다. 해석과 시험결과와는 대체로 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. V.V.Vasiliev, A.F.Razin., "Anisogrid composite lattice structures for spacecraft and aircraft applications", Composite Structure 2006, pp.182-189
2. V.V.Vasiliev, V.A.barynin, A.F.Razin., "Anisogrid lattice structures - survey of development and application," Composite Structures , 2001, pp.361-370
3. V.V.Vasiliev, A.F.Razin., "Anisogrid composite lattice structures for commercial space application", AIAA 2005-3440