

알루미늄 돔 구조물에서 표면의 삼각형 최적 형상 모델링

이성철*(인하대 대학원 기계공학과), 조종두(인하대 기계공학과)

Modeling of the triangle optimum shape in the surface of an Aluminum dome structure

S. C. Lee(Mechanical Eng. Dept., IHU), C. D. CHO(Mechanical Eng. Dept., IHU)

ABSTRACT

A complete dome structure is based on a basic dome modeling, and the basic dome modeling affects safety of the dome structure. In other to save the manufacture expenses, an optimum shape modeling of a dome structure is necessary work of before manufacture of the dome. In this study, modeling of the triangle optimum shape in the surface of an aluminum dome is more focused to optimize shape of the dome and save manufacture expenses. After being made the systematic procedure of the basic modeling, the programming work of the procedure is performed. The program is made by C language, and the trust of the program is proved by comparison between output data of the program and basic modeling in PATRAN.

Key Words : optimum shape(최적형상), outrigger(현외부재), gusset, panel, strut, systematic modeling, symmetry

1. 서론

현재 돔을 설계, 제작함에 있어 다양한 크기의 돔을 각각 모델링하고 그 물량을 산출하는데 많은 시간과 노력이 들고 있다. 또한 돔 형상 모델링 과정이 돔의 크기 별로 다르고 계속적인 시행착오의 방법으로 최적형상을 구현함에 오랜 시간과 노력을 필요로 하므로 그 과정의 체계화, 일률화가 요구된다. CAD 작업에서 돔의 모델링 과정과 제작에 필요한 대략적인 물량산출방법이 일률적이라는 것에 착안하여 모델링 과정을 체계화하고 그 알고리즘에 기초해서 프로그래밍하는 것에 주안점을 두었다. 기존의 제작된 알루미늄 돔 구조물이 여러 복합 하중 하에 어느 정도 그 안정성을 갖추었다고 인정하여 본 연구에서는 안정성이 입증된 돔 형상을 모델로 하였으며 그 표면의 삼각형 구조 최적 형상 모델링을 체계화 하였다. 알루미늄 돔 구조물에서 그 표면에 규칙적으로 배열되는 삼각형들의 꼭지점 위치를 구현된 프로그래밍의 실행으로 자동으로 출력하여 그 출력된 좌표와 길이, 각도를 input data로 사용함으로써 3 차원에서의 모델링 작업을 프로그램에 의해 자동 수행하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에서는 단지 돔의 basic modeling 과정을 프로그래밍 하였으므로 그 출력된 data에 의해 돔

과 그 재료의 상세도는 따로 작업을 해야 할 것이다. 돔 표면의 삼각형 형상 최적화란 사용될 수 있는 재료의 최대크기로 최대의 조립허용 오차를 고려하여 최소한의 물량이 들어가도록 따라서 최소의 돔 자체하중이 가해지도록 하는 물량 및 형상의 최적화라 할 수 있다. 본 연구에서는 상업용 유한요소코드(MSC/NASTRAN)에 의해 해석된 모델에 근간을 두었으며 basic modeling 역시 MSC/PATRAN에 의해 수행되었다. CAD 작업에 의해 모델링 된 돔 형상과 삼각형들의 치수를 프로그램에 의해 구해진 Output data와 비교 검증하여 최적형상 모델링 알고리즘과 프로그램의 신뢰성을 확인하였다.

2. 최적형상 모델링 알고리즘

Fig.1은 돔 구조물 최적설계를 위한 작업순서를 나타낸 것으로 크게 전처리 모듈, 주처리 모듈, 후처리 모듈의 세 부분으로 구성된다. 본 연구에서는 주로 주처리 모듈인 최적형상 모델링의 체계화와 후처리 모듈인 체계화된 모델링 과정을 프로그래밍하여 더욱 빠르고 손쉽게 형상 모델링과 data를 얻는 것에 주력하였다. 따라서 전처리 모듈에서 수행된 FE 해석의 신뢰성에 근간하여 모델링 하였다.

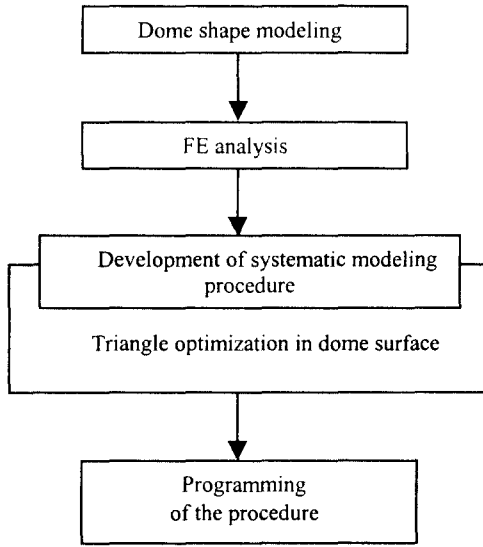


Fig. 1 Shape optimization algorithm

3. Basic Modeling

Fig.2 와 Fig.3 은 PATRAN 에서 수행되는 basic modeling 의 symmetry 와 완성된 modeling 의 측면도이다. 돔의 크기는 폭 60.60m, 높이 9.185m 이다.

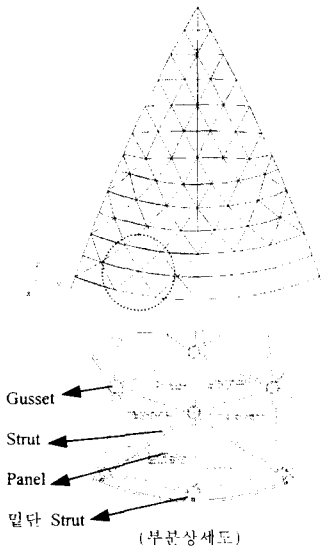


Fig. 2 Symmetry of the basic dome modeling

돔의 주어진 너비와 크기에 따라 가장 윗 단부터 모델링을 시작한다. 삼각형 panel 의 최대크기는 삼각형 안의 수선의 길이가 2200mm 를 넘을 수 없

으며 삼각형의 어떤 내각도 48° 이상이어야 한다. 왜냐하면 gusset 으로 유입되는 strut 들의 사이 각이 48° 이상이어야 조립이 가능하기 때문이다. 그리고 밑단 Strut 의 길이는 350mm 이상 700mm 이하가 되도록 설정했다. 최적형상의 모델링을 위해서는 최소한의 재료로 허용 범위의 안정성에서 설계되도록 해야 한다.

Fig. 2 에서 보여지는 symmetry 는 1/7 이며 각도는 (360/7)° 이다. symmetry modeling 은 trial & error 에 의해 수행되었으며 최초의 삼각형 크기는 다음과 같다.

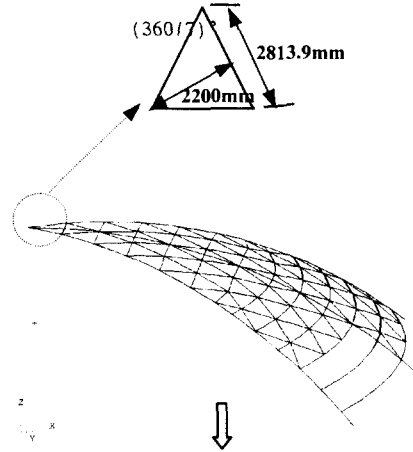


Fig. 3 Side of the complete dome model

4. Flow chart of the Modeling Procedure

프로그래밍에 사용된 계산 모듈은 크게 세가지로 분류될 수 있다. 첫째로 점의 위치를 찾아서 계산하는 모듈, 두번째로 각 점의 좌표를 입력 받아 삼각형의 각도와 길이를 계산하는 모듈, 세번째로 출력된 data 로 3 차원에서 모델링 된 돔의 형상을 보여주는 모듈이다.

점 좌표를 계산하기 위해 사용된 식은 다음과 같다.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = R^2$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = r^2$$

위의 식은 3 차원에서 구의 방정식이며 R 은 돔에 외접하는 구의 반지름이고 r 은 삼각형의 이동변 길이다.

$$\begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ z_b \end{bmatrix}$$

윗 식은, symmetry 의 좌우가 대칭이므로 각 점들을 transfer 시키는 matrix 이다.

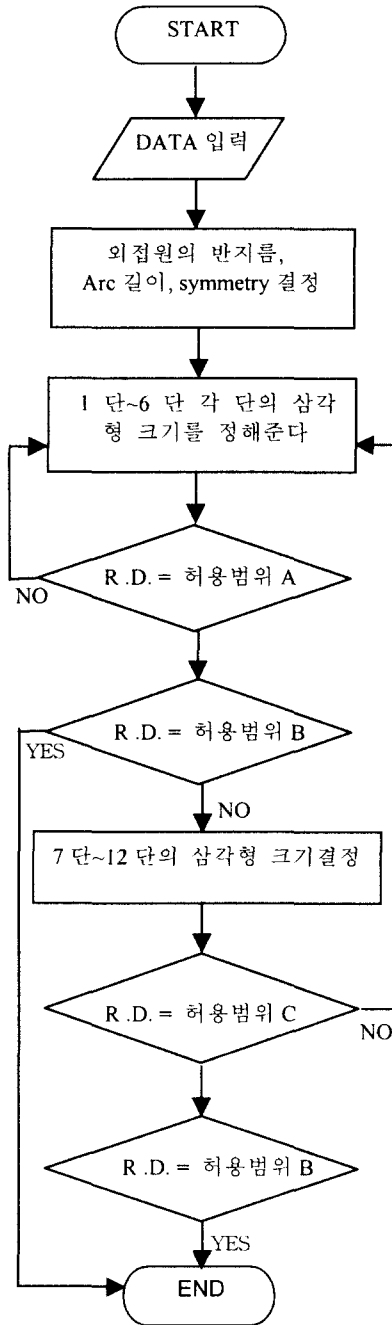


Fig.4 Flow chart of the dome modeling

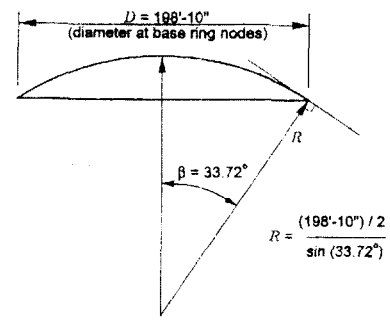


Fig.5 Geometric parameters defining the profile of dome

- Dome diameter at the anchor bolt = 200 feet (60.96m)
- Dome diameter at the base ring (D) = 198 feet (60.60m)
- Dome slop at the base (β) = 33.72 degree
- Dome spherical radius(R) = 179 feet (54.585m)

Fig.5 는 외접원의 반지름을 구하는 과정을 그림으로 설명한 것이다.

Fig.4 의 flow chart 에서 1~6 단까지 점의 좌표를 구하는 모듈과 7~12 단까지의 점을 구하는 모듈은 서로 다르다. 허용범위 A 는 R.D.(residual distance)값의 범위에 따라 1 단부터 다시 Iteration 하거나 i+1 단으로 가거나 혹은 6 단으로 점프하기 위한 범위이다. 허용범위 B 는 R.D.가 밀단 strut(outrigger)의 범위와 일치할 때 프로그램을 종료하게 된다. 허용범위 C 는 1 단부터 다시 iteration 하거나 i+1 단으로 가기 위한 범위이다.

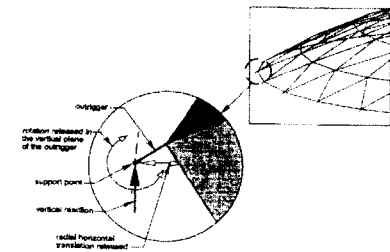


Fig.6 Reaction of an aluminum dome acting at the end of an outrigger

Fig.6 은 outrigger 의 끝점에서 받는 하중과 돔의 하중에 의해 예상되는 outrigger 의 반발력에 관한 그림이다. 따라서 outrigger 의 적절한 길이를 설정하여 허용범위에 적용하여야 한다. flow chart 에서 보는 바와 같이 12 단까지 제한된 이유는 현재의 1/7 symmetry 에서는 돔의 최대 단수가 12 단이 넘어가면 가장 밀단인 12 단에 배열되는 삼각형의 내각이 48° 미만이 되어 gusset 으로의 strut 유입각도가 허용각도 미만이 되기 때문이다. 따라서 이러한 문

제를 해결하기 위해서는 gusset 과 Strut 의 조립위치를 변화시키거나 strut 좀더 가늘어져야 할 필요가 있을 것이다. 하지만 이러한 형태의 제작과 설계는 신뢰할 수 있는 구조해석이 수반되어야 한다.

5. 결론

본 논문에서는 돔 표면의 삼각형 최적형상 모델링을 목적으로 하였으며 동시에 단시간 내에 다양한 크기의 돔을 모델링 하는 체계적이고 일률적인 procedure 를 개발하는 것에 중점을 두었다. 그리고 개발된 체계적인 procedure 에 기초하여 프로그램을 만드는 데 주력하였다. 그 결과 돔의 최적형상 모델링 과정을 체계화 하였으며 지름 60m 까지의 크기는 현재 정립된 알고리즘과 모델링 procedure 를 통해 단시간 내에 형상최적 기초 모델링이 가능하며 재료들(panel, gusset, strut)의 허용크기에 따라 더 큰 돔의 모델링도 가능하도록 알고리즘을 만들었다. 또한 기초적인 모델링을 통해 우리가 궁극적으로 알고자 하는 돔의 설계, 제작에 필요한 대략적인 물량을 산출할 수가 있다. 정형화된 타입의 돔 형상이 단시간 내에 모델링 될 수 있기에 여러 다양한 크기의 돔을 모델링 하여 database 화 하는 것도 고려될 수 있을 것이다. 앞으로 수행되어야 할 과제로는 60m 이상의 돔을 모델링 하는 procedure 를 체계화 해야 할 것이며 현재의 basic modeling 이 더욱더 신뢰성을 갖기 위해서는 완성된 돔 전체에서 고려될 수 있는 다양한 조건에서의 구조해석이 수반되어야 할 것이다.

참고문헌

1. J. Randolph Kissell, and Robert L. Ferry, "ALUMINUM STRUCTURES, A Guide to Their Specifications and Design"
2. Kawaguchi M, Tatemichi I, Chen PS "Optimum shapes of a cable dome structure", Engineering Structures, V.21 N.8, 719-725, 19990801
3. T. J. Mixer, D. S. Porter, "Next-generation telescope enclosure: a 91-m (300 ft.) geodesic dome", Proceedings of SPIE Telescope Structures, Enclosures, Controls, Assembly/Integration/Validation, and Commissioning, 311-319, 20000327
4. Mattheck, C., and Burkhardt, S., "A New Method of Structural Shape Optimization Based on Biological Growth," International Journal of Fatigue, vol. 12, no. 3, pp.185 ~ 190, 1990.
5. 안현순. "과학기술계산 프로그래밍"
6. Mattheck, C., and Moldenhauer, H., "An Intelligent CAD-Method Based on Biological Growth," Fatigue Fracture in Engineering Materials and Structural, vol. 13, no. 1, pp. 41 ~ 51, 1990.
7. Zienkiewicz, O. C., and Campbell, J. S., "Shape

- Optimization and Sequential Linear Programming," in R. H. Gallagher and O.C. Zienkiewicz(ed.), Optimum Structural Design Theory and Application, pp. 109 ~ 126, 1973.
8. Haftka, R. T. and Grandhi, R. V., "Structural Shape Optimization - a Survey," Comp. Meth. Appl. Mech. & Eng. 57, pp. 91 ~ 106, 1986.
9. Arora, J. S., 1989, "Introduction to Optimum Design," McGraw-Hill, New York
10. A. A. Seireg, and Jorge Rodriguez, "Optimization the Shape of Mechanical Elements and Structure", Marcel dekker, pp. 379 ~ 417, 1997.