지오데직 목재 돔 구조물의 좌굴하중 특성에 관한 연구

손수덕*, 하현주**, 홍석호**, 이승재*

*한국기술교육대학교 디자인·건축공학부

**한국기술교육대학교 건축공학과

e-mail:sdshon@koreatech.ac.kr

A Study on the Buckling Load Characteristics of Geodesic Dome using Timber

Sudeok Shon*, Hyunju Ha**, Seokho Hong**, Seungjae Lee*

*School of Industrial Design & Architectural Engineering, Korea University of Technology
and Education

**Department of Architectural Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

본 연구에서는 돔형 구조물의 불안정 현상과 좌굴하중의 특성에 관해서 연구하였다. 대상 돔 구조물은 일부 부재가 목재로 구성되며, 수직 또는 수평 부재의 물리적 특성이 다름으로 나타나는 불안정 특성을 관찰하였다. 형상은 지오데직 돔을 채택하였으며, 스틸 돔에 대한 불안정 좌굴하중의 특성과 비교하여 분석하였다. 비선형 해석을 통해서 평형 경로를 구하였으며, 특이점을 통해 좌굴하중을 결정하였다.

1. 서론

지오데직 돔 구조물은 비교적 작은 자중으로 큰 공간을 형성할 수 있게 한다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 구조불안정 문제는 돔 구조물에서 반드시 해결되어야만 안전한 구조물을 기대할 수 있다. 비선형성에 기인한 구조불안정 문제는 초기조건에 매우 민감하며, 형상의 불완전성에 대한 임계점과 분기점의 연구주제는 많이 다루어 졌다.¹⁾⁻⁴⁾ 불안정 연구에서 임계점과 분기현상 및 이들의 분류를 위한 다양한 해석적 연구가 수행되었다.⁵⁾⁻⁸⁾ 일반적으로 임계점은 접선강성행렬의 행렬식과 고유치 및 고유벡터의 특성을 이용해 판별할 수 있다.^{4),9)}

돔 구조 주로 부재좌굴, 절점좌굴 및 전체좌굴과 이들의 복합적인 결과로서 불안정 현상이 나타난다.^{3),10)} 이와 관련하여 절점 강성의 영향, 불완전성의 고려 등의 영향이 많이 분석되었다. 근래에도 안정에 관련하여 많은 연구가 수행되고 있으며, 임계후 거동과 정성적 구조 개선은 계속 다루어지고 있다.^{11),12)}

국내에서도 불안정 문제에 관해서 다양한 연구가 진행되었다. 모드 중첩법을 사용한 임계후 거동, 호장법의 적용, 임계점을 경로의 연구도 수행되었다. 절점강성과 이에 대한 분기점 특성도 많이 수행되었고, 프레임 구조물의 반강접합도 연구된 바 있다.^{13),14)} 그러나 각각의 좌굴에 대한 임계와 분기점

은 매우 복잡한 관계이며, 독립된 파라메타로 각각의 특성과 관계를 파악하고 정의하는 것은 쉽지 않다. 특히, 구조물의 강성과 절점의 강성에 대한 다른 특성의 고려는 좌굴에 큰 영향을 미치게 된다.

최근 목조구조물에 대한 가능성에 관해서 여러 연구가 진행되고 있으며, 환경적 측면에서의 목재 돔의 구현은 현재 여러 나라에서 진행되고 있다. 일반 구조물에서 목조 빌딩으로의 접근은 환경 친화적인 측면에서 매우 긍정적으로 바라보고 있으며, 경간이 긴 돔형 구조물에서의 적용에도 관심이 높아지고 있다.

따라서 본 연구에서는 목재를 이용한 돔 구조물의 구조 불안정성과 좌굴하중에 대한 특성에 관해서 연구를 수행한다. 채택된 돔의 형상은 지오데직 돔 구조물이며, 구조물의 절점은 구면에 놓이게 된다. 강재를 이용한 돔 구조물의 경우와 관련한 연구는 많이 진행되었지만 목재로 구성된 부재의 경우는 그리 많이 연구되지 않았으며, 구조물의 불안정 특성에 대한 평형경로 상의 임계점을 관찰하여 전체좌굴에 대한 하중레벨을 관찰하도록 한다. 주요 내용은 지오데직 돔형 구조물의 목재 부재의 배치에 대한 불안정 현상과 특성을 분석하며, 파라메타로는 라이즈-스팬비 및 분할수이다.

본 논문에서 다루게 될 불안정 해석은 강성행렬을 이용하여 증분해석 하며, 각 증분 단계에서 행렬식의 계산과 고유치 해석을 수행하여 강성행렬의 특성과 구조물의 불안정점과 좌

굴형태를 분석한다. 부재좌굴의 판정은 고려하지 않으며, 전 체좌굴에 대한 불안정 임계점만을 구하도록 하였다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2020R1I1A1A01065032) 또한 이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2019R1A2C2010693).

참고문헌

- [1] Thompson JMT and Hunt GW, On the buckling and imperfection-sensitivity of arches with and without prestress. *International Journal of Solids and Structures*, 19(5) (1983) 445-459
- [2] El-Sheikh A, Design of space truss structures, *Structural Engineering and Mechanics*, 6(2) (1998) 185-200
- [3] Lopez A, Puente I and Serna MA, Numerical model and experimental tests on single-layer latticed domes with semi-rigid joints, *Computers and Structures*, 85 (2007) 360-374
- [4] Shon SD, Ha JH and Lee SJ, Nonlinear dynamic analysis of space truss by using multistage homotopy perturbation method, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 22(9) (2012) 879-888
- [5] Huseyin K, The multi-parameter perturbation technique for the analysis of nonlinear system, *International Journal of Nonlinear Mechanics*, 8(5) (1973) 431-443
- [6] Abedi K and Parke GAR, Progressive collapse of single-layer braced domes, *International Journal of Space Structures*, 11(3) (1991) 291-306
- [7] Choong KK and Hangai Y, Review on methods of bifurcation analysis for geometrically nonlinear structures, *Bulletin of the International Association for Shell and Spatial structures*, 34(112) (1993) 133-149
- [8] Choong KK and Kim JY, A numerical strategy for computing the stability boundaries for multi-loading systems by using generalized inverse and continuation method, *Engineering Structures*, 23 (2001) 715-724
- [9] Bergan, PG, Solution algorithms for nonlinear structural problems, *Computers and Structures*, 12 (1980) 497-509
- [10] Bulenda Th and Knippers J(2001), Stability of grid shells, *Computers and Structures*, Vol 79, 1161-1174
- [11] Shon SD, Kim SD, Kang MM, Lee SG and Song HS, Nonlinear instability analysis of framed space structures with semi-rigid joints, *Proceeding of the IASS symposium 2002, Warsaw* 422-427
- [12] Hwang KJ and Knippers J, Stability of single layered grid shells with various connectors, *Proceeding of the ICSA 2010 Guimaraes, Portugal*, 581-588
- [13] Shon SD, Kim SD, Lee SJ and Kim JS, A study on the critical point and bifurcation according to load mode of dome-typed space frame structures, *Journal of Korean Association for Spatial Structures*, 11(1) (2011) 121-130
- [14] Lee SJ and Shon SD, Characteristics of buckling load and bifurcation in accordance with rise-span ratio of space truss considering initial imperfection, *Journal of Korean society of steel construction*, 24(3) (2012) 337-348