

스페이스 프레임 구조 해석을 위한 통합 시스템의 전처리 과정 개발을 위한 기초 연구

The Basic Study on the Pre-Process Development of Integrated System for the Structural Analysis of Space Frame

권영환*
Kwon, Young-Hwan

정환목**
Jung, Hwan-Mok

석창목***
Suk, Chang-Mok

김선희****
Kim, Seon-Hui

ABSTRACT

The integrated system for the structural analysis of space frame is made up 4 modules ; pre-process module, structural analysis module, optimum member design module and post-process module. Pre-process module of these 4 modules involves data input module and structure modeling module. This study is to develop an efficient modeling program as a basic for development of pre-process module.

This modeling program generates geometric information of space frame and performs the input file form for structure analysis only by input general data. User can model space frame efficiently within short time by using this program.

1. 서론

20세기 이후, 수치해석 분야의 연구성과는 컴퓨터의 급속한 발전에 힘입어 많은 구조해석·설계프로그램으로 개발, 보급되어 다양한 구조 공학 분야에 활용되고 있다. 그러나 기존의 구조 해석 프로그램은 전처리 단계, 구조해석 단계, 후처리 단계간의 연계성의 부족과 이로 인해 야기되는 불필요한 구조 설계자의 시간과 노력의 소모라는 문제점을 가지고 있다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 구조 해석 및 설계의 전반적인 과정 즉, 구조물의 모델링, 구조 해석, 부재 설계 등을 일괄적으로 처리할 수 있도록 한 구조 설계 시스템들이 개발되고 있다. 한편, 스페이스 프레임을 해석하는 프로그램의 대부분은 기하학적 자료를 포함하는 입력 데이터를 사용자가 case-by-case별로 직접 작성하도록 하고 있으므로 이는 상당한 시간과 노력이 필요하다. 그래서 스페이스 프레임 구조 해석을 위한 전처리 과정에서 형태 형성의 기초적인 자료 입력만으로 스페이스 프레임을 모델링하고 기하학적 자료를 자동으로 생성하는 프로그램 개발의 필요성이 요구되고 있다. 이에 본 연구에서는 대공간 구조물의 일종인 스페이스 프레임의 통합 구조 설계 시스템의 전처리 과정 개발을 위한 기초 연구로서 스페이스 프레임의 구조해석 모델링 단계를 자동적으로 처리하는 프로그램의 개발을 목적으로 한다.

- * 경북대학교 건축공학과 교수
- ** (주)대동엠에스 기술이사, 서울산업대학교 겸임교수·공박
- *** 경북대학교 건축공학과 박사과정
- **** 경북대학교 건축공학과 석사과정

2. 연구 범위

스페이스 프레임의 구조 해석을 위한 통합 시스템은,

- (1) 전처리 단계 - 데이터 입력 단계와 모델링 단계
- (2) 구조 해석 단계 - 구조물의 응력 및 좌굴 해석 단계
- (3) 부재 설계 단계 - 구조 해석 결과를 바탕으로 한 최적의 부재 결정 단계
- (4) 후처리 단계 - 구조 해석과 설계의 결과를 출력하는 단계

의 4단계로 구분되는데, 본 연구에서는 전처리 단계인 데이터 입력과 모델링 단계를 연구의 대상으로 한다. 그리고, 스페이스 프레임의 모델링 프로그램 범위는 그림1에서 보여지는 바와 같이 다음의 6종류로 한정한다. 특히 원구형 3각 격자 시스템(Model-4)의 경우는 기존의 선행 연구^(9,10)에서 그 우수성이 입증되고 있으며, 일본 나고야 등의 지붕구조를 비롯하여 현재 전세계적으로 관심의 대상이다. 그러나 복층의 경우에 대해서는 그 적용례가 거의 없으므로, 연구 범위에서 제외하였다.

- (1) 평면형 4각 복층 격자 시스템 (Model-1)
- (2) 원통형 4각 단층 격자 시스템 (Model-2)
- (3) 원통형 4각 복층 격자 시스템 (Model-3)
- (4) 원구형 3각 단층 격자 시스템 (Model-4)
- (5) 원구형 라멜라 단층 격자 시스템 (Model-5)
- (6) 원구형 라멜라 복층 격자 시스템 (Model-6)

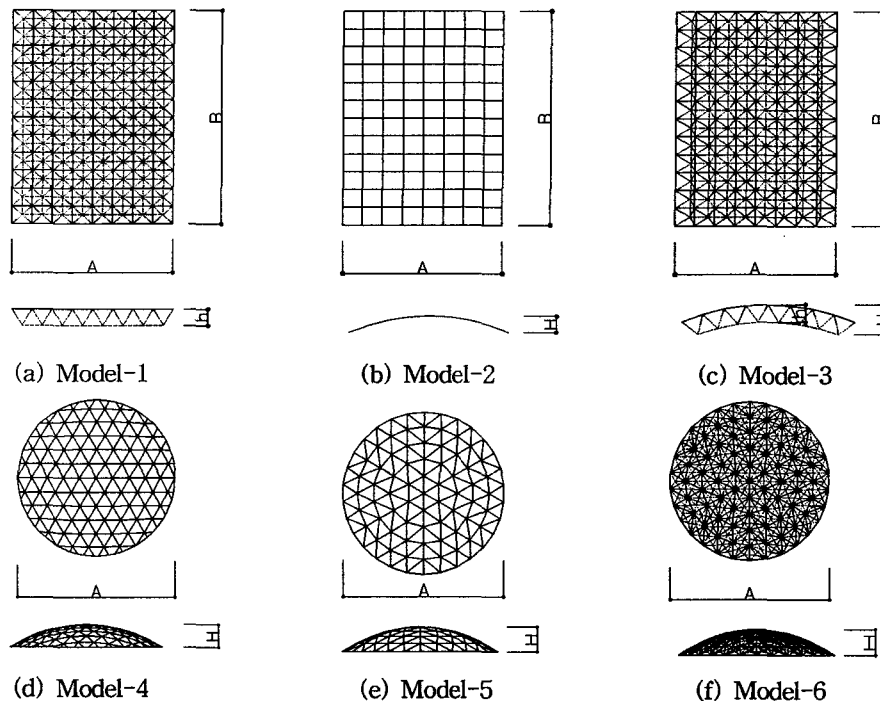


그림 1. 해석 모델의 평면 및 단면 형상

본 연구에서 사용하는 변수의 범위는 스페이스 프레임의 형상을 결정짓는 변수와 크기를 결정짓는 변수로 한정하였고, 이 값들은 사용자의 요구에 따라 조절될 수 있으며, 규모에는 제한이 없다. 그리고, 구조 해석을 위해 중간 절점의 유무와 부재의 크기, 설계 하중이 변수가 된다. 여기서, 부재의 크기는 전 영역에 대하여 동일한 값을 갖는 것으로 가정하고, 하중은 연직 하중이 3절점(또는 4절점)으로 둘러싸이는 3각형(또는 4각형)의 면적을 각 절점에 동일하게 배분하여 합한 면적의 크기로서 각 절점에 작용하는 것으로 하고 단, 중간 절점에는 하중이 작용하지 않는 것으로 가정한다. 또, 집합부의 강성 조건은 강접합의 접합상태를 가정하고, 프레임의 저면부의 경계는 절점 변위를 완전히 구속한다.

3. 전처리 프로그램 개발

3-1. 프로그램의 변수

원구형 격자 시스템의 형상을 결정짓는 변수는 네트워크 분할법의 종류, Layer 수, 중심각 분할수, 원주 방향 분할수가 있고, 크기를 결정짓는 변수는 저면의 지름, 저면에서 상현재까지의 높이, 상현재와 하현재 사이의 높이(복층의 경우)가 있다. 평면형 또는 원통형 격자시스템의 경우에는 Layer 수, 가로 방향 분할수, 세로 방향 분할수, 가로 길이, 세로 길이, 상현재와 하현재 사이의 높이(복층의 경우)가 변수가 되고, 원통형 격자시스템의 경우에는 저면에서 상현재까지의 높이도 변수가 된다. 각 모델에 대한 입력값을 아래와 같이 나타낸다. 그림 1에서 해석 모델의 단면 및 평면 형상과 변수를 나타낸다.

1. 평면형 4각 격자 시스템 (A, B, MA, MB, h, MP, D, t, W)
2. 원통형 4각 격자 시스템 (A, B, MA, MB, H, h, MP, D, t, W)
3. 원구형 격자 시스템 (C, A, MA, MB, H, h, MP, D, t, W)

A : 평면형, 원통형 격자시스템의 가로길이 또는 원구형 격자시스템의 저면 지름 (cm)

B : 평면형, 원통형 4각 격자시스템의 세로길이 (cm)

MA : 평면형, 원통형 4각 격자시스템의 가로방향 분할수 또는 원구형 격자시스템의 중심각 분할수

MB : 평면형, 원통형 4각 격자시스템의 세로방향 분할수 또는 원구형 격자시스템의 원주방향 분할수

H : 원통형 격자시스템 또는 원구형 격자시스템의 저면에서 상현재까지의 높이 (cm)

h : 복층의 상현재와 하현재 사이의 높이 (cm)

C : 원구형 격자시스템의 네트워크 분할법

MP : 중간 절점의 유무

D : 부재의 외경 (mm)

t : 부재의 두께 (mm)

W : 설계 하중 (kg/m²)

3-2. 모델링 프로그램

데이터의 입력을 효율적으로 하기 위하여 윈도우즈용 입력창을 만들었다. 따라서, 3-1에서 소개한 변수들은 입력창을 통하여 간단히 입력받는다. 입력이 끝나면 입력창의 입력 버튼을 눌러서 입력이 끝났음을 알리고, 확인 버튼을 눌러서 입력된 데이터를 확인한 후 프로그램을 실행한다. 만약 실행하기 전에 입력 데이터의 수정이 필요할 경우, 수정 버튼을 누르면 다시 입력창으로 돌아가므로 쉽게 입력값을 고칠 수 있다.

실행 버튼을 누르면 모델링 프로그램이 실행된다. 모델링 프로그램은 입력 창에서 입력받은 데이터를 가지고 스페이스 프레임의 기하학적 정보 즉, 절점수, 부재수, 절점의 좌표, 부재의 길이, 부재가 연결된 절점의 번호, 절점이 부담하는 하중 부담 면적, 저면 경계부의 절점 번호 등을 자동으로 생성하고, 이 값을 바탕으로 구조 해석을 위한 입력 파일을 생성하여 해석 프로그램에 제공할 수 있다. 모델링 프로그램은 Fortran 언어를 이용하여 작성하였다.

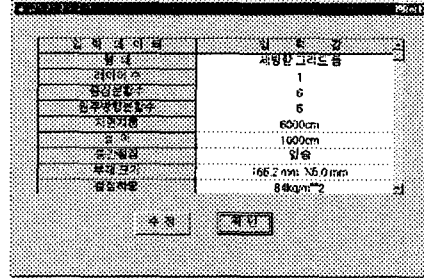
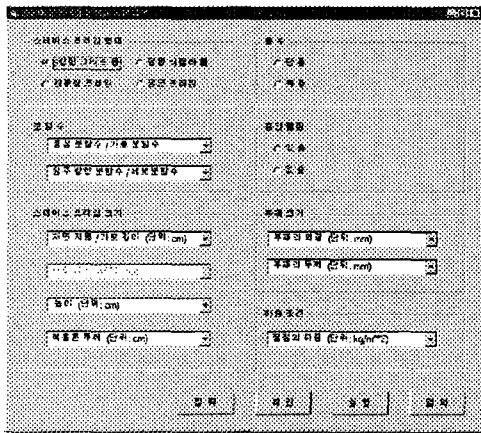
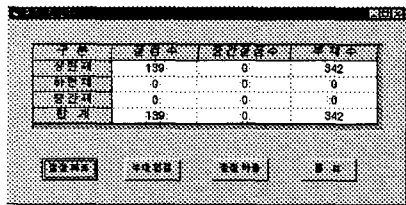
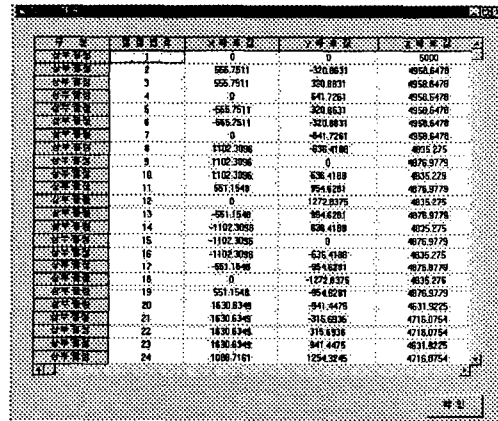


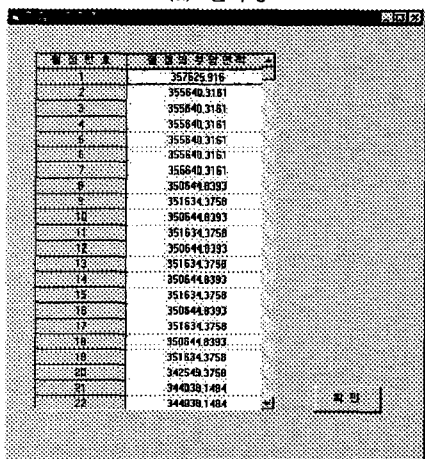
그림 2. 입력창과 입력 데이터의 확인창



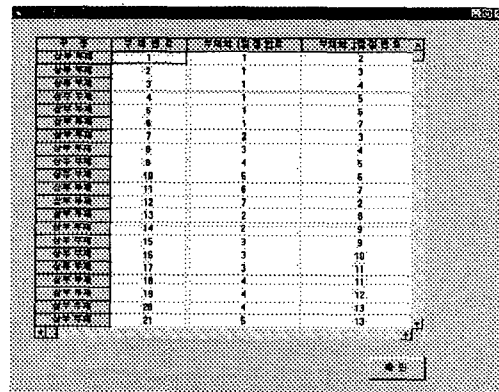
(a) 결과창



(b) 절점 좌표 출력창



(c) 절점 부담 면적 출력창



(d) 부재 연결 출력창

그림 3. 출력창과 출력 데이터창

모델링 프로그램이 실행된 후, 그 결과는 결과 버튼을 눌러서 확인할 수 있다. 결과창에서는 해석 모델의 절점수와 부재수를 상현재, 하현재, 중간재로 나누어 보여준다. 절점 좌표 버튼을 누르면 스페이스 프레임의 각 절점의 종류, 절점 번호, 절점 좌표 값을 보여주고, 부재 연결 버튼을 누르면 각 부재의 번호와 연결된 절점 번호를 보여준다. 절점 하중 버튼을 누르면 각 절점의 하중 부담 면적을 볼 수 있다.

그림 2는 입력창과 입력 데이터 확인창을 보이고 있다. 확인창은 원구형 3각 단층 격자 시스템의 입력값을 나타내고 있다. 그림 3은 그 결과창과 각 결과 값들을 보여주고 있다.

4. 프로그램의 적용

본 연구에서 개발한 전처리 프로그램을 6가지 모델에 대하여 실행하여 그 형상을 출력한 것이 그림 4이다. 그림 4의 형상 출력을 위한 입력 데이터의 값과 수행 시간을 표 1에 나타내었다. 표 1에서 프로그램 수행시간은 입력 시간, 출력 시간, 그림 출력 시간으로 나누어서 나타내었다. 입력 시간은 입력창에서 값을 선택한 후 입력 버튼을 누르고, 입력값을 확인할 때까지의 시간을 의미한다. 출력시간은 프로그램을 실행한 후에 결과창에서 그 값을 확인하는 순간까지를 의미한다. 그림 출력시간은 프로그램 실행으로 생성되는 데이터를 가지고 LISP파일을 이용하여 AUTO CAD 상에서 그림을 그리고, 각 절점의 번호, 부재의 번호를 붙이는 시간을 의미한다. 표 1에서 알 수 있듯이 6가지 모델 모두 총 수행 시간은 2분을 넘지 않는다. 해석에 사용된 컴퓨터는 Pentium(r)II-333MHz, RAM용량 128.0MB에 O.S.는 Windows 98이다.

원주 방향으로 5분할된 원구형 3각 단층 격자 시스템에 대하여 모델링 프로그램을 이용하여 자동 생성한 입력 데이터를 본 연구실의 좌굴 해석 프로그램에 적용한 결과 선행의 연구와 잘 일치하였으며^(2,8,9,10), 상용프로그램인 MIDAS-GEN에도 잘 적용되었다.

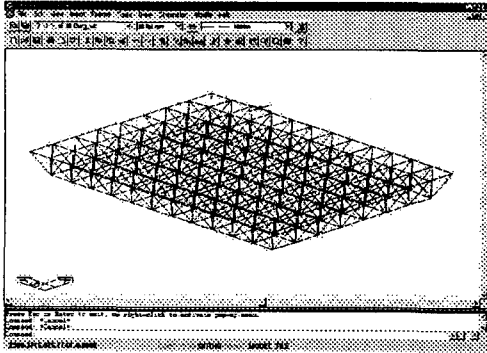
표 1. 모델의 입력값과 프로그램 수행시간

번호	모델의 규모 (단위 : cm)								프로그램 수행시간 (단위 : sec)			
	가로길이 (뚝의 저면지름)	세로길이	저면에서 상현재까지의 높이	상현재와 하현재사이의 높이	가로방향 분할수 (뚝의 중심각 분할수)	세로방향 분할수 (뚝의 원주방향 분할수)	절점수	부재수	입력	출력	그림출력	총소요시간
Model-1	3000	5000	300	300	8	12	213	768	31	16	26	73
Model-2	3000	5000	1000	0	8	12	117	212	25	10	23	58
Model-3	3000	5000	1000	300	8	12	213	768	32	15	25	72
Model-4	6000	.	1000	0	6	5	139	342	23	17	24	64
Model-5	6000	.	1000	0	6	5	91	240	25	22	20	67
Model-6	6000	.	1000	300	6	5	241	900	24	20	40	84

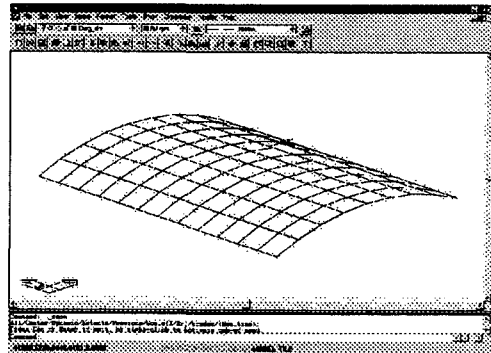
5. 결론

본 논문은 스페이스 프레임 구조 해석을 위한 통합 시스템의 전처리 과정 개발을 위한 기초 연구로서 구조물의 모델링 단계를 자동화하였다. 그 결과를 다음에 나타낸다.

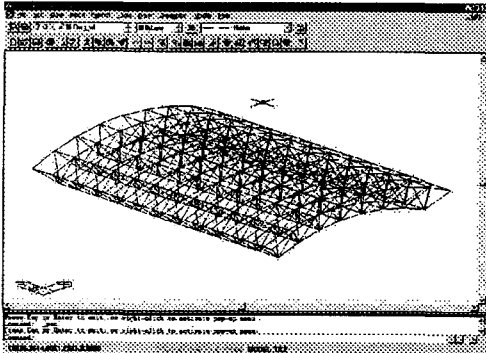
1. 스페이스 프레임의 형태 형성을 위한 기초적인 입력 값만을 가지고, 스페이스 프레임의 기하학적 정보 및 구조 해석을 위한 입력 파일의 생성이 짧은 시간에 가능하였다.
2. 사용자로 하여금 데이터 입력을 최소화하여 작업량과 시간을 줄일 수 있었다.
3. 입력창을 이용하여 프로그램 수행을 위한 데이터의 입력, 확인 및 수정이 간편하였다.
4. 상용 프로그램인 MIDAS-GEN을 이용한 구조해석에도 잘 적용되었다.



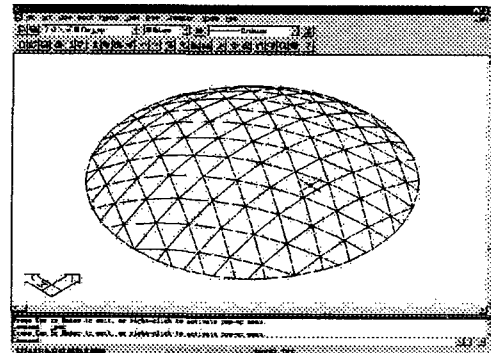
(a) 평면형 4각 복층 격자 시스템 (Model-1)



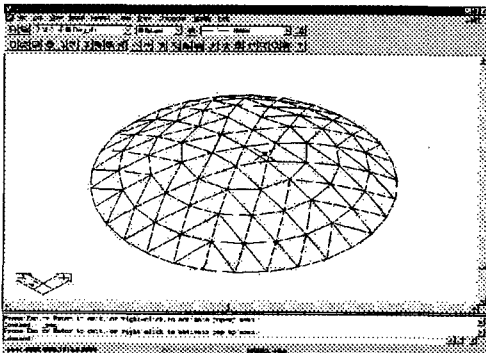
(b) 원통형 4각 단층 격자 시스템 (Model-2)



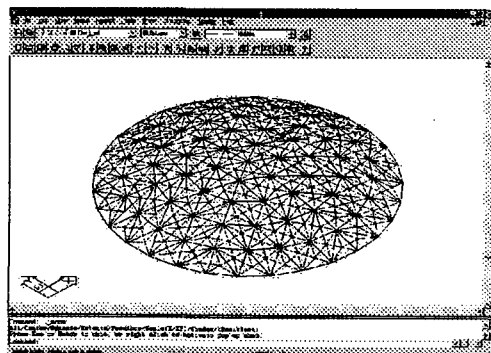
(c) 원통형 4각 복층 격자 시스템 (Model-3)



(d) 원구형 3각 단층 격자 시스템 (Model-4)



(e) 원구형 라멜라 단층 격자 시스템 (Model-5)



(f) 원구형 라멜라 복층 격자 시스템 (Model-6)

그림 4. 입력 데이터의 모델링 출력

참고문헌

1. 坪井善勝, 스페스프레임(立體格子構造)의設計·解析·施工, 1982年度文部省科學研究費補助金, 總合研究(B)研究報告書, 1983, pp.1-13.
2. 權寧煥, 三角形 네트워크를 갖는 單層래티스들의 屈屈特性에 관한 연구, 釜山大學校 工學博士學位論文, 1993. 8.
3. 日置興一郎, ラチスドームの不安定現象の概説, 單層ラチスドームの安定解析-その現象と問題点-, 日本建築學會シェル空間構造運營委員會, 스페스프레임小委員會, 1989.8, pp.1-23
4. 川井忠彦, 藤谷義信, 屈屈問題解析, 培風館, 1991.
5. 鷺津久一郎 外 4 人, 有限要素法ハンドブック 基礎編, 培風館, 1988.
6. 權宅鎮 外 4人, SPACE FRAME 구조물의 구조해석, 설계 및 시공, 제12회 전산구조공학회 기술강습회, 1995. 7.
7. 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터, 대공간구조물의 구조해석 및 설계에 관한 국제심포지엄 논문집, 1997. 7.
8. 姜玟和, 단층 및 복층 보울트형 강관 스페이스 프레임의 좌굴특성에 관한 비교연구, 경북대학교 석사학위논문, 1995. 2.
9. 李昊相, 삼각형 네트워크를 갖는 단층 및 복층 스페이스 프레임의 좌굴 특성에 관한 비교연구, 경북대학교 석사학위논문, 1998. 2.
10. 權寧煥 外 3人, 라이즈비에 따른 단층 및 복층 래티스 등의 좌굴 특성에 관한 비교연구, 韓國電算構造工學會 學術發表會 論文集, 1999. 10, pp.283-289