


막·케이블 구조물 비선형해석 프로그램 NASS 시연회

김 승 덕*

손 수 덕*

2006년5월 한국철강구조학회 학술발표회

막·케이블 구조물 비선형해석 프로그램 NASS 시연회




김승덕, 손수덕
세명대학교 대공간구조 연구단

세명대학교
SEMYUNG UNIVERSITY

건설기술연구개발사업

지원기관 : 건설교통부 건설교통기술평가원
기간 : 2003.12.30 - 2006.12.29



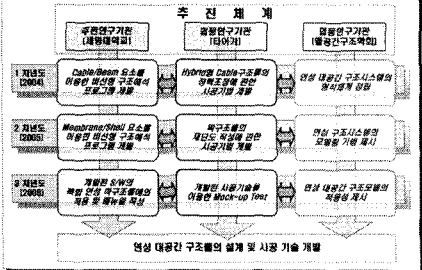
주관기관: 세명대학교 비선형해석 및 개발
협력기관: 한국철강구조학회 구조시스템 개발, (주)타이가 시공기술 개발

최종 목표
연성 대공간 구조물의 설계 및 시공 기술 개발

세명대학교 SEMYUNG UNIVERSITY, 사단법인 한국철강구조학회 KANSI, TIGER

연구 내용

추진 체계



1차년도 (2004년) Cable/Membrane 요소물 비선형 유한요소 구조해석 프로그램 개발

2차년도 (2005년) Membrane/Shell 요소물 비선형 유한요소 구조해석 프로그램 개발

3차년도 (2006년) 정렬된 선형/비선형 유한요소 구조해석 프로그램 개발

연성 대공간 구조물의 설계 및 시공 기술 개발

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

연구개발의 필요성

대공간 구조물 : 건축의 최첨단 분야
고 임여가치의 창출 가능
수요증대 및 시장 확장성 증부

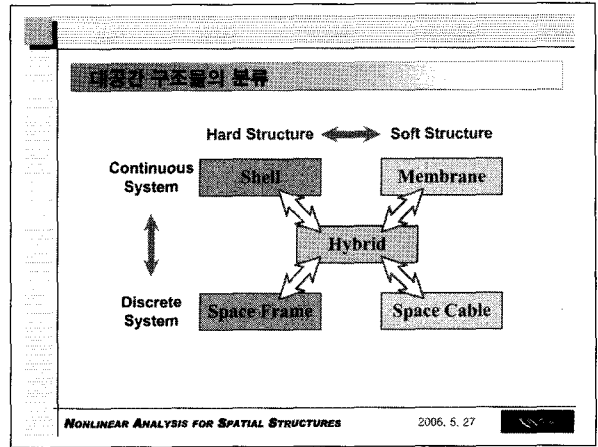
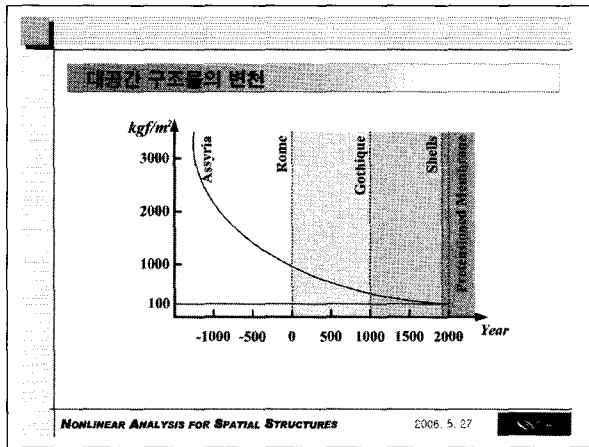
전설 : 곡외기술 의존 / 권능력의 부족 / 유지관리능력의 부족



(2002년 7월 및 8월) (2003년 9월)

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

* 세명대학교 대공간구조 연구단

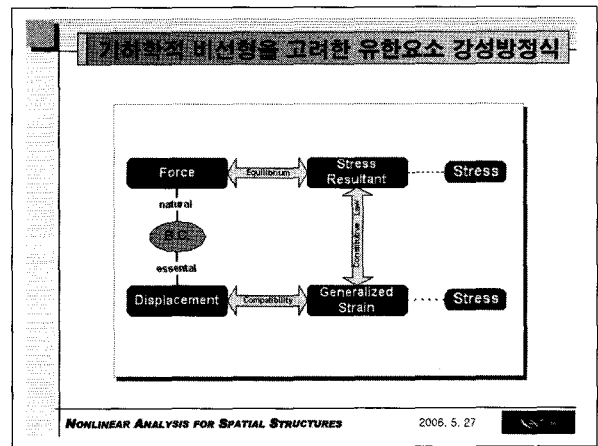
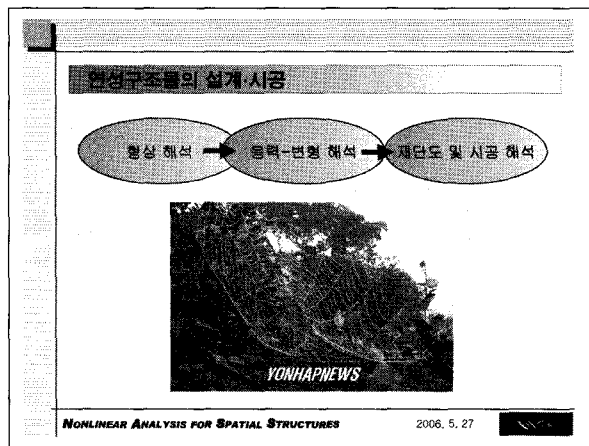
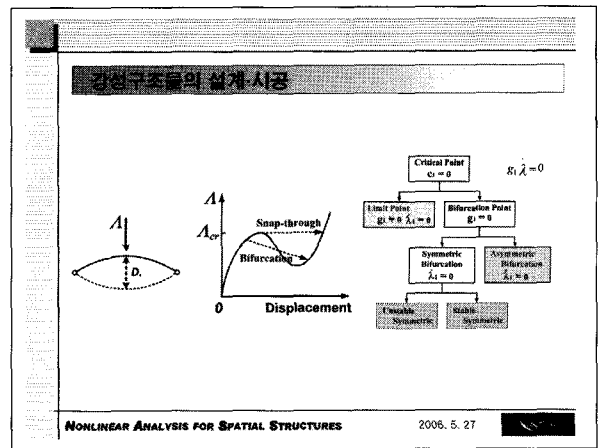


대공간 구조해석의 분류

| | | 연속체 shell 구조물 | Space Frame 구조물 | Membrane 구조물 | Space-Cable 구조물 | Hybrid 구조물 |
|-------|---------|---------------|-----------------|--------------|-----------------|------------|
| 정적 해석 | 좌굴해석 | ○ | ○ | | | ○ |
| | 형상 해석 | △ | △ | ○ | ○ | ○ |
| | 탄소상해석 | ○ | ○ | | | ○ |
| | Crest해석 | | | ○ | ○ | ○ |
| 동적 해석 | 내진 해석 | ○ | ○ | △ | △ | ○ |
| | 내풍 해석 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

○ : 아주 필요, ○ : 필요, △ : 경우에 따라 필요

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27



◆ 비선형 Cable / Truss 요소

$$\mathbf{f} - \mathbf{r} = (\mathbf{k}_E + \mathbf{k}_G)\mathbf{d}$$

$r = AEA[\sigma^{(0)} - f^{(0)}]$: 불균형력
 $k_E = AE[A^T A]$: 탄성강성행렬
 $k_G = A[\sigma^{(0)} B^T B]$: 기하강성행렬

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 비선형 Beam 요소

$$\Delta \mathbf{f} - \Delta \mathbf{r} = (\mathbf{k}_E + \mathbf{k}_G)\Delta \mathbf{d}$$

$k_E = k_1 + k_2 + k_3$
 $k_G = k_4 + k_5 + k_6$
 $\Delta r = r_1 + r_2 + r_3 - f$

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 비선형 Membrane 요소

$$\mathbf{f} - \mathbf{r} = (\mathbf{k}_E + \mathbf{k}_G)\mathbf{d}$$

$r = A_e h_e \cdot A^T \sigma^{(0)} - f^{(0)}$
 $k_E = A_e h_e [A^T E A]$
 $k_G = A_e h_e [\sigma^{(0)} B^T B + \sigma^{(0)} C^T C + r_1^{(0)} (B^T C - C^T B)]$

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 비선형 아이소파라메트릭 Shell 요소

$$\mathbf{f}^{(e)} - \mathbf{r}^{(e)} = [\mathbf{k}_E + \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2] \mathbf{d}^{(e)}$$

$\mathbf{r}^{(e)} = \mathbf{p}^{(e)} - \mathbf{f}^{(e)}$
 $k_E = \int_{\Omega_e} B_e^T D B_e dA$
 $k_1 = \int_{\Omega_e} B_e^T D B_e dA + \int_{\Omega_e} B_e^T D B_e dA + \int_{\Omega_e} B_e^T D B_e dA$
 $k_2 = \int_{\Omega_e} G^T \begin{bmatrix} N_x & N_y \\ N_x & N_y \end{bmatrix} G dA$

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 직교이방성 막 재료

$$\begin{Bmatrix} \delta_{x_1} \\ \delta_{x_2} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & \frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{\eta_{xy,x}}{G_{xy}} \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_y} & \frac{1}{E_y} & \frac{\eta_{xy,x}}{G_{xy}} \\ \frac{\eta_{xy,x}}{E_x} & \frac{\eta_{xy,y}}{E_y} & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{x_1} \\ \sigma_{x_2} \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}$$

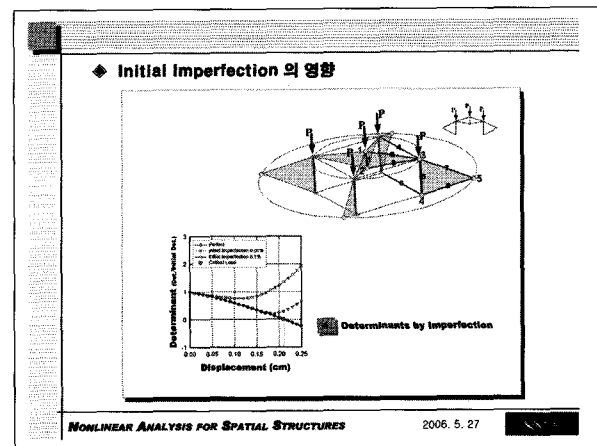
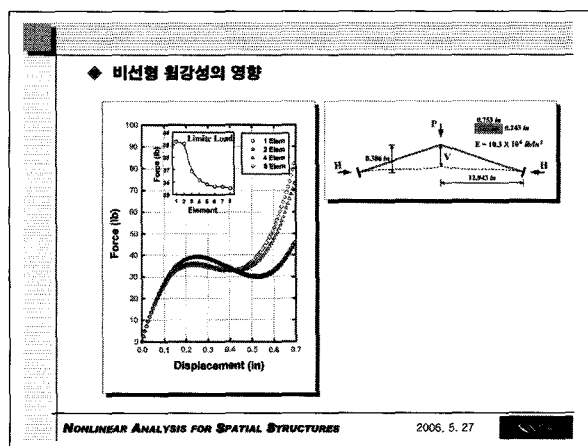
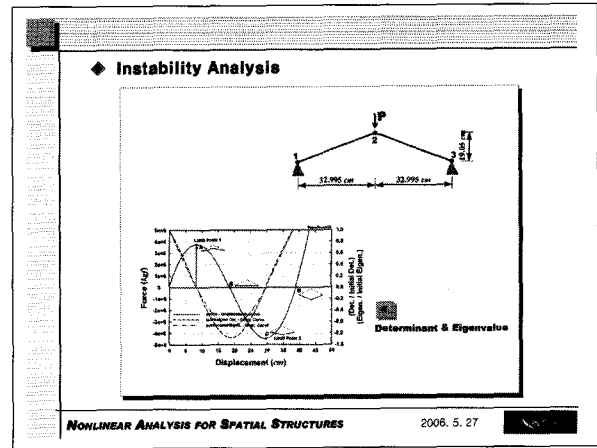
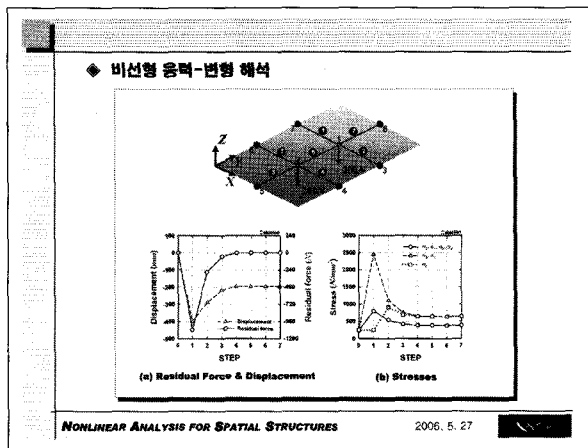
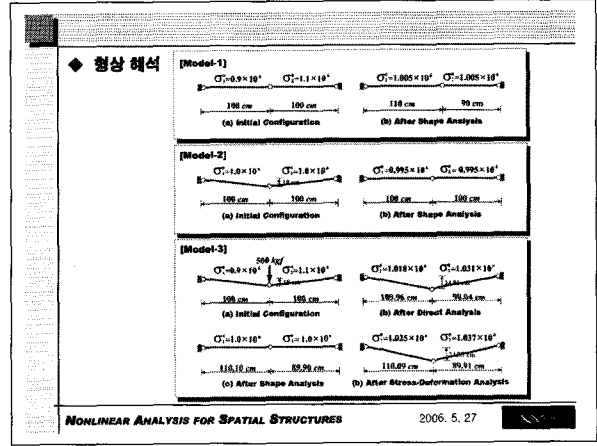
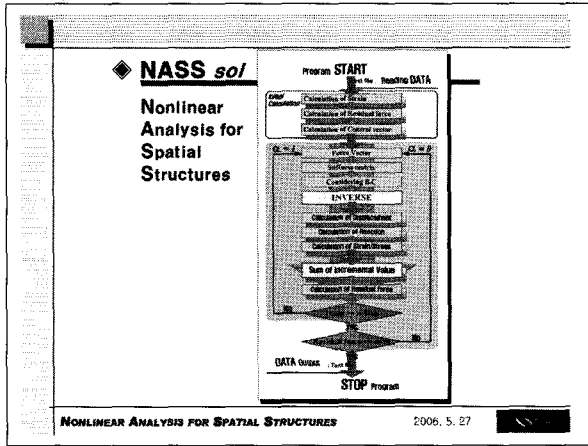
NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

비선형 해석프로그램 개발

● Newton-Raphson법
 ● 수정하중증분법
 ● 변위증분법

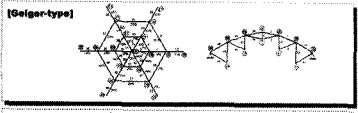
● 하중제어에 의한 평형탐색
 ● 변위제어에 의한 평형탐색
 ● 하중제어에 의한 용력-변형해석
 ● 변위제어에 의한 용력-변형해석

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

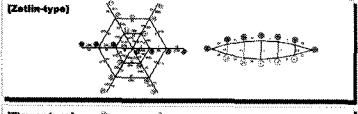


◆ Cable Dome 구조물의 미션형해석

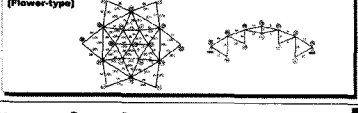
[Geiger-type]



[Zetlin-type]

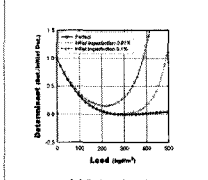


[Flower-type]




NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

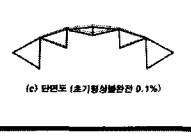
◆ Geiger-typed Cable Dome



(a) Determinant



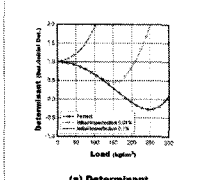
(b) 평면도 (초기형상불완전 0.1%)



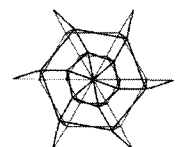
(c) 단면도 (초기형상불완전 0.1%)

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

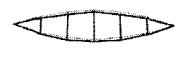
◆ Zetlin-typed Cable Dome



(a) Determinant



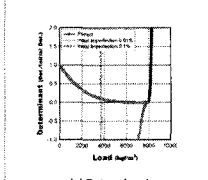
(b) 평면도 (초기형상불완전 0.1%)



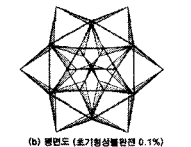
(c) 단면도 (초기형상불완전 0.1%)

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27


◆ Flower-typed Cable Dome




(a) Determinant



(b) 평면도 (초기형상불완전 0.1%)



(c) 단면도-X방향 (초기형상불완전 0.1%)

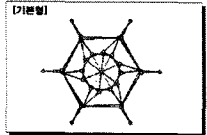


(d) 단면도-Y방향 (초기형상불완전 0.1%)

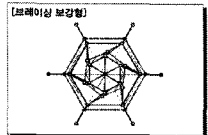
NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 보강된 Geiger-typed Cable Dome

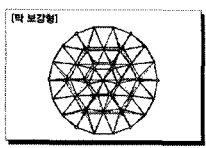
[기본형]



[보강된 강재 케이블 돔 (보강형)]

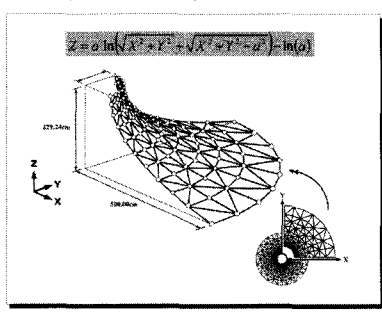


[막 보강형]

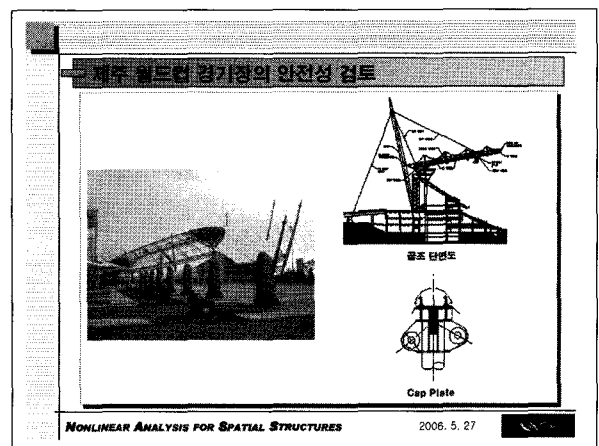
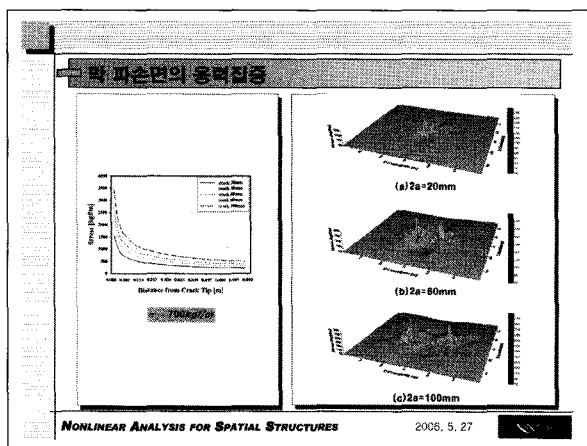
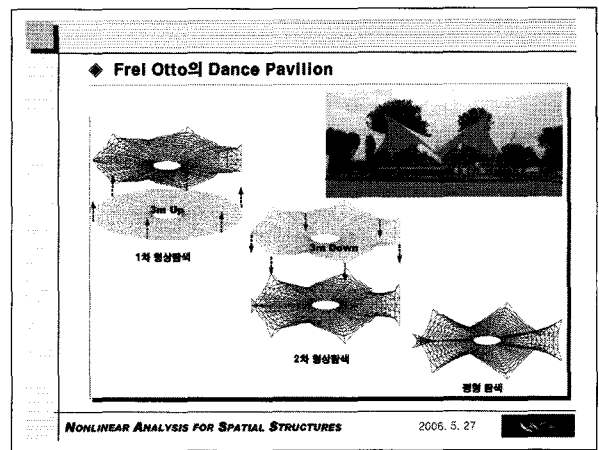
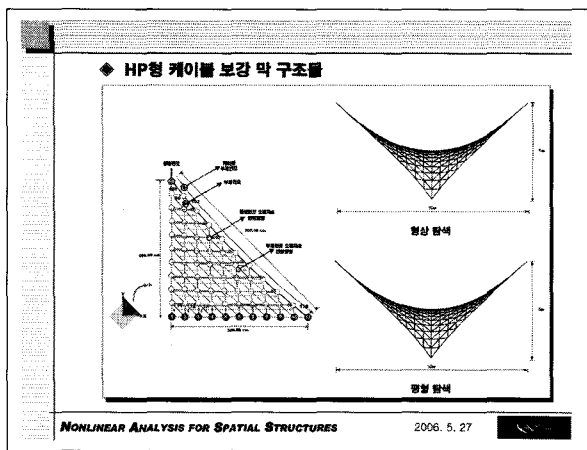
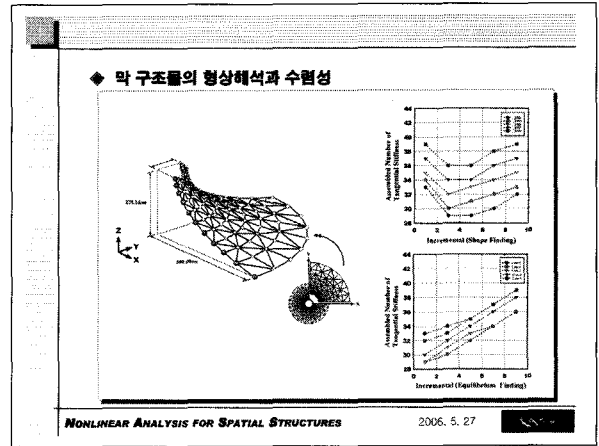
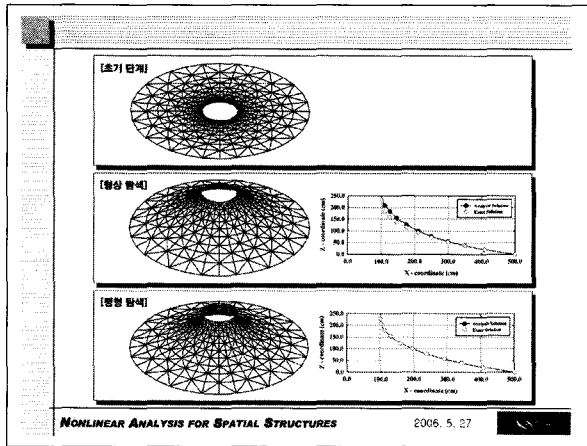


NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

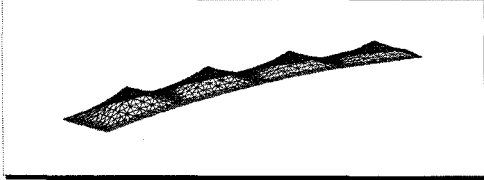
◆ Catenary형 막 구조물의 형상해석

$$z = a \ln \left(\frac{\sqrt{1 + \frac{y^2}{a^2}} + \sqrt{1 + \frac{x^2}{a^2}}}{2} \right) - \ln(a)$$


NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27



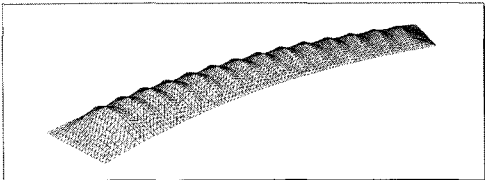
◆ Suspension형 막 구조물



| 도 번호 | 방향 | Stress (kgf/m) | Max. F.S. | | | | Element |
|----------|----|----------------|-------------|--------|--------|--------|---------|
| | | | Shear(II)-I | FQT-극대 | FQT-최소 | FQT-평균 | |
| B319w6v3 | W | 11683 | 1.20 | 1.28 | 1.36 | 1.40 | 2378 |
| | F | 9905 | 1.01 | 1.21 | 1.32 | 1.38 | 2298 |
| B315v6v4 | W | 8744 | 1.60 | 1.72 | 1.82 | 1.87 | 2378 |
| | F | 7603 | 1.32 | 1.58 | 1.72 | 1.80 | 2142 |

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

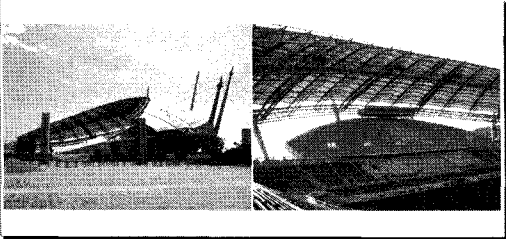
◆ Barrel Vault형 막 구조물



| Panel | Max. Stress (KN/m) | | Factor of safety | | | |
|-------|--------------------|--------|------------------|------|------|------|
| | wind up | | wind on | | | |
| | warp | fill | Shear(II)-I | fill | warp | fill |
| 1 | 36.433 | 32.305 | 3.77 | 3.04 | 4.69 | 4.88 |
| 2 | 36.719 | 34.746 | 3.74 | 2.82 | 4.65 | 4.54 |
| 3 | 37.815 | 34.717 | 3.68 | 2.83 | 4.54 | 4.54 |

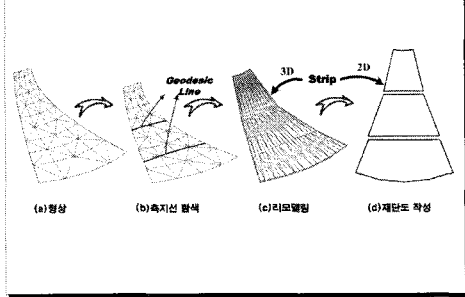
NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 재시공 후 전경



NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

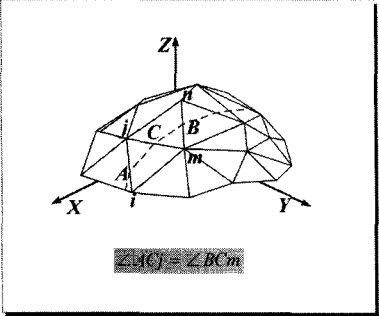
◆ 재단도 작성 프로그램 개발



(a) 형상 (b) 육지선 탐색 (c) 리모델링 (d) 재단도 작성

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

◆ 곡면의 육지선 조건



$\angle ACI = \angle BCm$

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

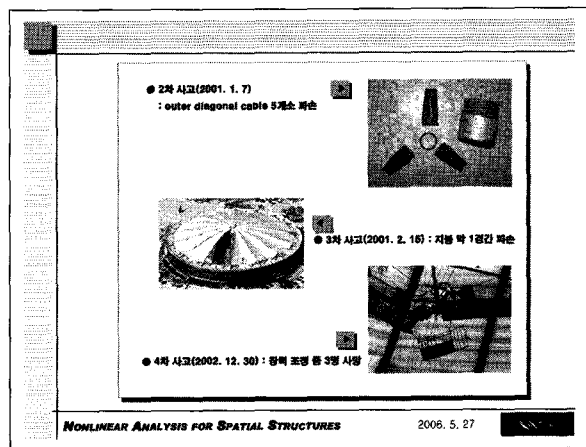
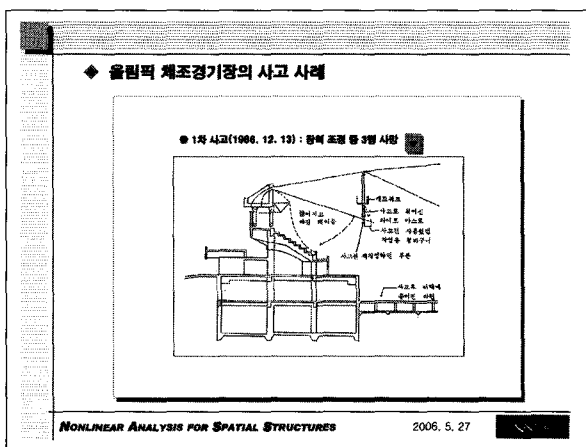
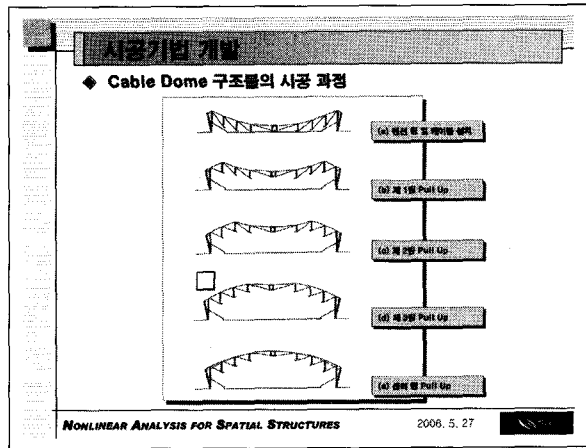
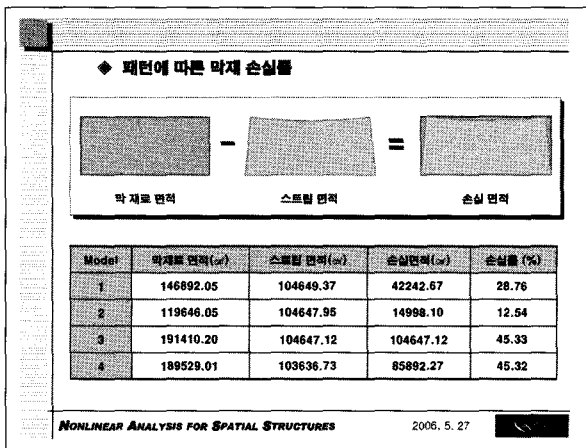
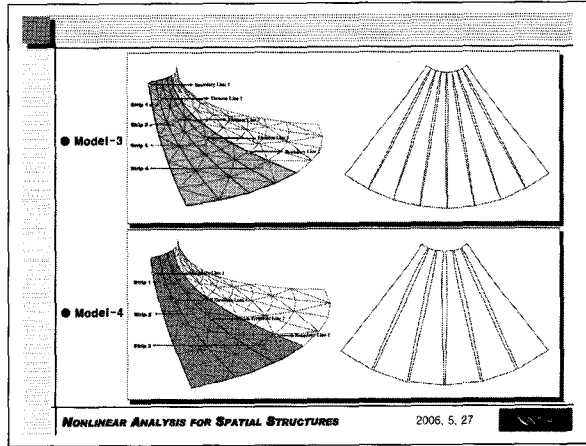
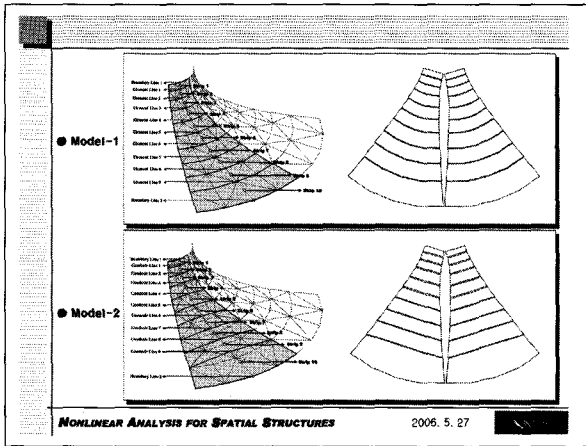
◆ NASS cut

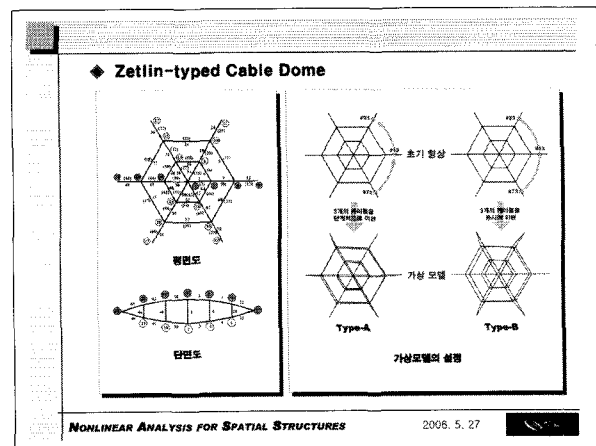
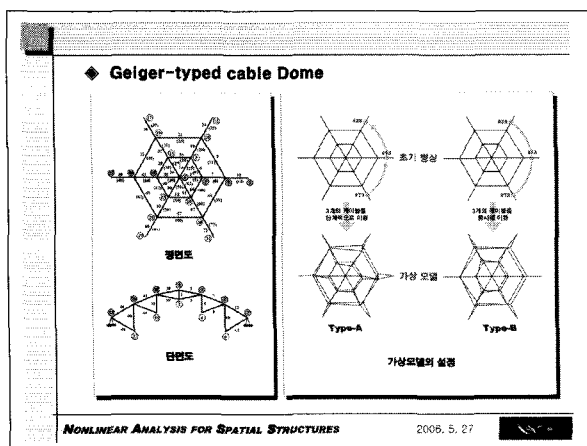
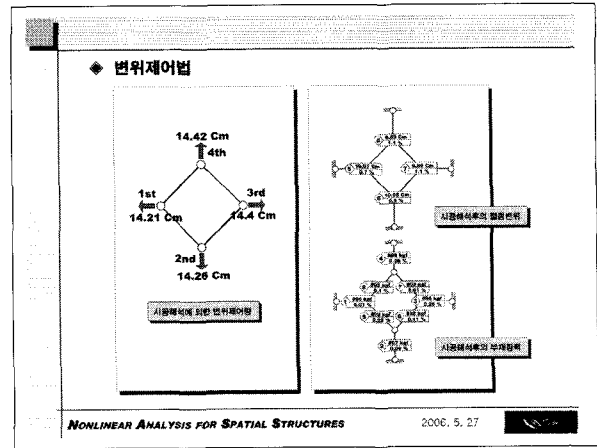
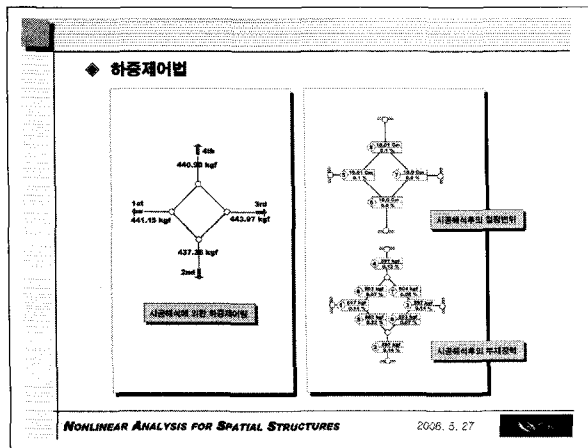
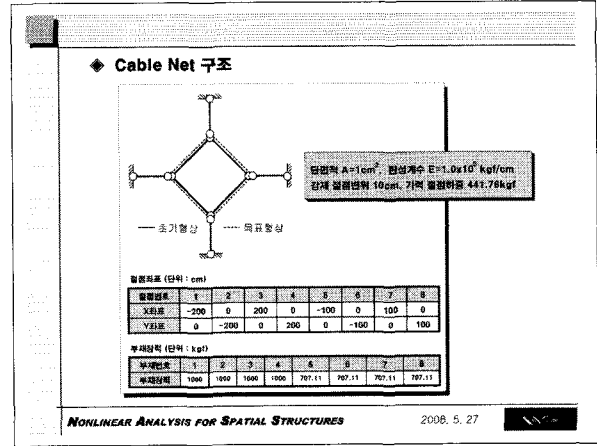
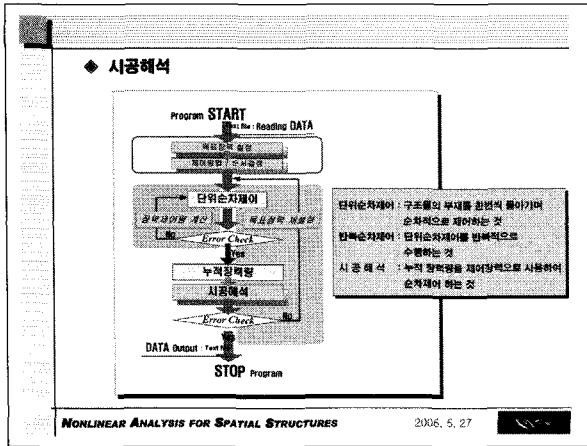
Nonlinear Analysis for Spatial Structures

```

    graph TD
      START([Program START]) --> READING[Reading DATA  
NASS format]
      READING --> COMMAND[COMMAND]
      COMMAND --> DRAW_SHAPE[Draw a shape of structure]
      DRAW_SHAPE --> DRAW_PLANE[Draw a Plane of membrane]
      DRAW_PLANE --> DRAW_PROJECTION[Draw a Projection]
      DRAW_PROJECTION --> DRAW_DIAGONAL[Draw a Diagonally Line]
      DRAW_DIAGONAL --> DRAW_CUTTING[Draw a Cutting Pattern]
      DRAW_CUTTING --> MAKE_DXF[Make a DXF file]
      MAKE_DXF --> SAVE[Save]
      SAVE --> STOP([STOP Program])
      
      COMMAND --> INFINITE_LOOP[Infinite Loop]
      INFINITE_LOOP --> DRAW_SHAPE
      
      DRAW_SHAPE --> YES_NO{YES/NO}
      YES_NO -- No --> DRAW_SHAPE
      YES_NO -- Yes --> STOP
  
```

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27





활용 가능 분야

- (1) 외벽(커튼 월) : 가볍고 시공이 용이. 다양한 곡면이 가능.
- (2) 상승기류를 이용한 발전소 : 자연 상승 연돌 효과 이용.
- (3) 냉각탑 : 경량으로 높이 200m 이상 가능.
- (4) 부상 활주로(상설 혹은 가설) : 해상에 설치하여 해저 잠수 가능.
- (5) 해상터널 : 보강된 튜브에 공기 투입.
- (6) 해상 저장탱크 : 가볍고 이상적인 곡면 형성 가능. 운반이 용이.
- (7) 막형 매립공법 : 시공 용이 및 경제적.
- (8) 열 : 케이블 등으로 보강된 막 이용.
- (9) 수상보도 : 공기를 투입한 튜브의 하부에 고수압 튜브를 붙임.

▶ 우주 구조물에서의 적용 : 복합 전개 구조물로 대형 우주플랜트 및 대형 우주정거장 건설.

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

기대 효과

▶ 기술적 측면

- ① 중소기업 중심의 기술 개발 ▶ 국가적 지원 ▶ 기술 경쟁력 강화
- ② 자력의 기술 자립 ▶ 인재 양성 및 고용 증진

▶ 경제 + 산업적 측면

- ① 수입대체 효과 : 국외사 기술에 의존 ▶ 국내 기술로 대체 ▶ 기술자립 가능
- ② 비용 절감 : 유지관리의 국내 기술 가능 ▶ 비용절감 효과 극대화
- ③ 기술 수출 : 동남아와 중국의 막구조 ▶ 우리 기술의 수출 ▶ 외화획득 및 고용창출
- ④ 공기 단축 및 공사비 절감 : 구조시스템 개발 ▶ 공기 단축과 공사비 절감 ▶ 국제 경쟁력 제고
- ⑤ 신기술 및 특허출원 : 신 구조시스템 및 신 디테일 개발 ▶ 신기술 및 특허출원 ▶ 기술 우위 확보

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

우주 연구개발의 전망

- ① 강성구조의 안정성 문제를 고려한 대공간 구조물의 설계 기술 개발
- ① 막재료의 신재료 개발
- ③ 대공간 구조물의 내화 및 열, 음 등의 환경 문제

▶ 우주 구조물의 지속적 연구 개발 :
형상변화 및 역학적 특성 변화 등을 포함하는 가변성 구조물
↓
지적적응구조물(Intelligent Adaptive Structure)

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

미래 구조물

맨하탄 프로젝트

Space Colony

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

▶ 우주 구조물에서의 적용

지적적응 구조물

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27

심층화 비전

그간의 순수 연구 결과들을 정리하여 실무에 직접 적용

↓

세계 최초의 대공간 구조물 범용 비선형 해석프로그램 개발

NONLINEAR ANALYSIS FOR SPATIAL STRUCTURES 2006. 5. 27