

자동반송장치의 구조설계에 관한 연구

A Study on the Structural Design in Automatic Transport System

김홍건* (전주대학교 기계공학과), 최금호(국립기술품질원)

Hong Gun Kim* (Department of Mechanical Engineering, Jeonju University)

Gum Ho Choe (National Institute for Technology and Quality)

Abstract

A structural design based on finite element analysis has been performed to investigate the reliable automatic transport system. For the procedure, different cross-sectional geometric factors were calculated and compared in detail. The von-Mises stresses were chosen to maintain a solid loading braring capacity for the safe design. Parametric studies showed that it is more inportant for the plate bending problem than the vertical loads of hanging bar to assess the safe and economic structural design.

1. 서 론

자동무인반송 시스템은 공장이나 사무실, 병원 등과 같은 모든 산업현장에서 반송업무 자동화를 추구하기 위한 모노레일형 반송장체에 관한 것으로서 주행부와 승하강 이송부로 구성되고 정보처리기능을 구비한 반송차를 모노레일상에 탑재한 뒤 이를 컴퓨터의 신호에 따라 신속정확하고 정숙하게 동작시켜 자동화와 능률화를 기하는데 그 목적이 있다 [1]. 현재 이와 관련되어 구조 해석을 기초로 한 효율적인 설계가 잘 정립되어 있지 않은 상태이다 [2].

이 논문에서는 무인반송시스템의 기본적인 골격을 일정단면을 가지는 봉으로 생각하고 하반부에 평판으로 용접한 상태에서의 응력을 해석하였으며, 이 때 봉의 크기와 형상을 바꿔가며 결과를 비교 검토하였다. 또 동적 하중 상태에서도 충분한 안전계수를 가지는가 평가하였으며 반송중량이 2톤에 달하는 대형 구조물로 고려하였다. 해석 Tool로는 상용 프로그램인 ANSYS [3]를 사용하여 von-Mises 응력을 중심으로 검토하였다. 이와 같이 개발중인 대형반송장치의 기본 골격은 중실봉 및 중공봉, 그리고 원형단면 및 사각 단면을 기준으로 하여 탄성해석을 하였으며 빔요소 및 셸요소를 사용하여 모델링하였다.

이와 같은 대용량 자동무인반송시스템의 적절한 설계모델은 현재 전량 수입에 의존하는 대용량 고속 모노레일형 무인반송시스템의 구조물 제작에서 국내개발의 기반구축 확보와 연구과정에서 축적된 구조해석 및 설계기술의 유사한 구조물의 안전성 및 경제성을 위해 널리 활용될 수 있을 것이다.

2. 유한요소 모델링

2.1 빔요소

1차원 형상을 가지는 요소의 결합으로 3차원 공간상에 결합될 수 있도록 설계하였으며 각 요소의 필요 데이터는 물성치, 단면 형상 및 치수 관성모멘트 등을 입력변수로 하였다. 이러한 빔

요소를 사용한 구조 형태가 Fig. 1에 나타나 있다. 그리고 동일 구조물의 Fig. 2에서 밑바닥의 검게 표시된 부분은 평판 Shell을 의미한다. 물성치로는 SM45C를 적용하여 종탄성계수 $E=200\text{GPa}$, 횡탄성계수 $G=80\text{GPa}$, 포아송의 비 $\nu=0.29$, 극한응력 $\sigma_u=580\text{MPa}$, 항복응력 $\sigma_y=300\text{MPa}$ 로 적용하였다.

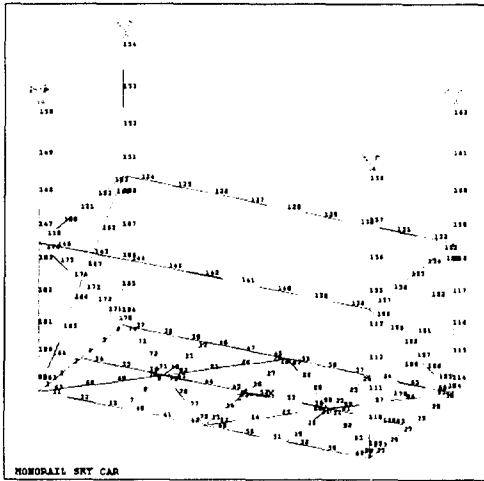


Fig. 1 Mech generation of beam element.

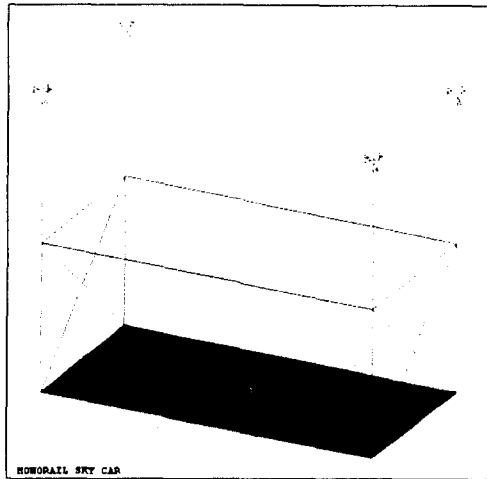


Fig. 2 Mech generation of beam and shell element (Black area indicates shell with beam).

2.2 셀요소

2차원 형상을 가지는 요소의 결합으로 3차원 공간상에 결합될 수 있도록 설계하였으며 각 요소의 필요 데이터는 역시 물성치, 단면 형상 및 치수 등을 입력변수로 하였다. 이러한 셀요소를 사용한 구조 형태가 Fig. 1의 밑바닥의 검게 표시된 부분으로 나타나 있으며 평판의 두께를 2mm, 3mm, 4mm로 변화시켜가며 각각 해석해 본 결과 구조물의 안정성에 거의 영향을 미치지 않는 것이 보여졌으므로 경제성을 고려하여 2.4mm로 택하였다.

2.3 경계조건 및 하중조건

경계조건은 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 상부 끝부분(4군데)이 고정된 것으로 하여 구속조건을 부여하였고 총하중은 해석시 2000kg으로 하여 계산한후 설계시에는 2g의 동적 효과까지 고려하였다.

3. 설계 절차

설계 절차로서 우선 수직방향의 구조물(4개의 빔)이 받는 하중지지능력은 다음의 식에 의해 간단히 계산된다.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

여기에서 하중 2000kg이 작용되면 단면적 A는 다음과 같이 계산된다. 이 때 극한응력을 기초로 설계하면 안전계수를 3으로 하여도 식(2)에서와 같이 매우 작은 단면적(10mm² 이하)이 계산되며 항복응력을 근거로 하여도 단면적이 20mm²이하로 계산되므로 이러한 응력 Scale은 Bending에 비해 큰 문제가 되지 않을 것이다.

$$A = \frac{P}{\sigma_u} = \frac{2000}{580} \approx 3.5(\text{mm}^2) \quad (2)$$

Table 1 단면형상 및 치수의 설계(Case Study)

CASE	단면 형상	치수 (mm)	단면적 (mm ²)	관성모멘트 (mm ⁴)	
				I _{yy}	I _{zz}
1	중실4각봉	20x20	400	13,333	13,333
2	중실4각봉	30x30	900	67,500	67,500
3	중실원형봉	φ23	416	13,730	13,730
4	중실원형봉	φ34	908	65,564	65,564
5	중공4각봉 (4각 PIPE)	50x50 (2.3t)	439	166,802	166,802
6	중공4각봉 (4각 PIPE)	60x60 (2.3t)	531	295,021	295,021

그러나 최대 굽힘모멘트에 의한 굽힘응력을 고려할 때 단면적이 상대적으로 매우 커져야 하며 단면형상 및 치수의 설계에 관한 Case Study 절차를 Table 1에서와 같이 6가지 경우에 관하여 구조해석을 수행하였다. 이 때 각형강관(중공봉)의 치수는 기존장재의 제품규격 내에서 선정하였다.

4. 결과 및 고찰

위의 Table 1에서와 같은 6가지 경우에 관하여 각각 구조해석을 해 본 결과 수직하중 작용시의 변형 상태는 Fig. 2와 같은 형태를 나타냄을 알 수 있으며 전단변형에 의한 항복을 적용하면 von Mises 응력은 식 (3)과 같이 된다 [4].

$$\sigma_e = \left[\frac{1}{2} \{ (\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 \} + 3 (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right]^{1/2} \quad (3)$$

따라서 Table 1의 각 경우에 관한 von Mises 응력을 유한요소해석을 통해 구한 다음 이 응력들이 σ_y 의 크기를 초과하는지 고찰하였다.

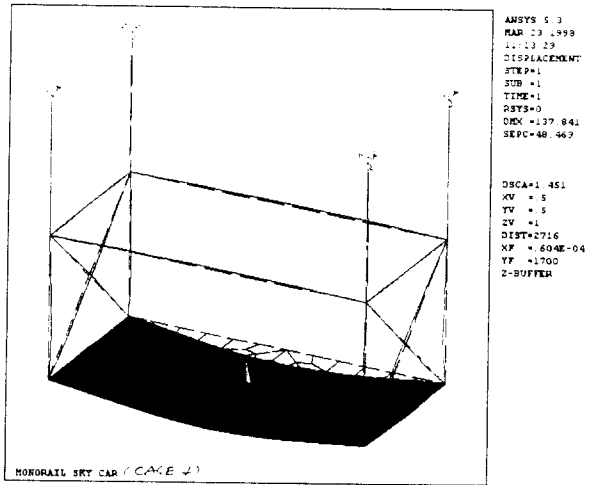


Fig. 3 Typical deformation shape of the model.

이러한 6가지 경우의 구조해석 결과 구해진 von Mises 응력 분포도는 각각 Fig. 4에서 Fig. 9와 같으며 각 경우에서의 최대치는 Table 2와 같다. 이 그림들에서 보는 바와 같이 굽힘응력은 매우 크다고 할 수 있으며 동일 단면적의 경우 최대 변형량이나 최대 von Mises 응력이 중실봉의 경우보다 중공봉의 경우 현저하게 작아짐을 알 수 있으며 결국 이 6개의 경우 Case 5가 가장 바람직한 것으로 검토되었다.

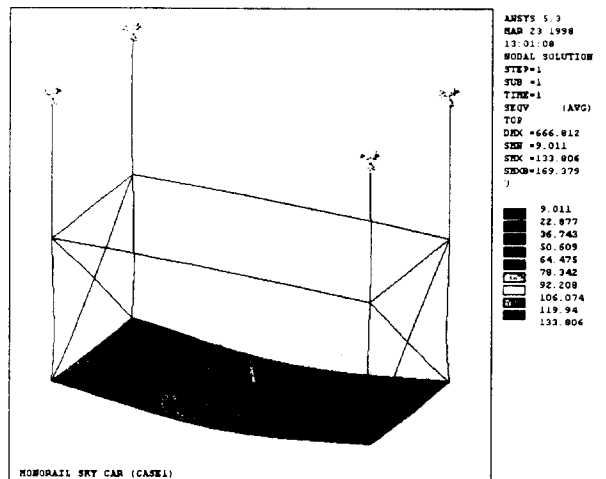


Fig. 4 The von Mises Stress distribution in case 1.

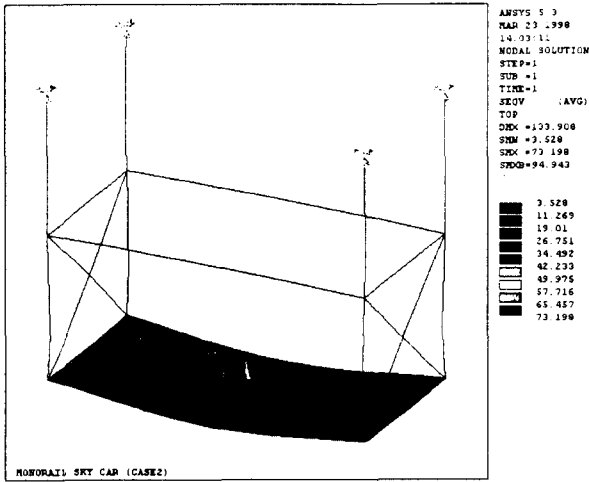


Fig. 5 The von Mises Stress distribution in case 2.

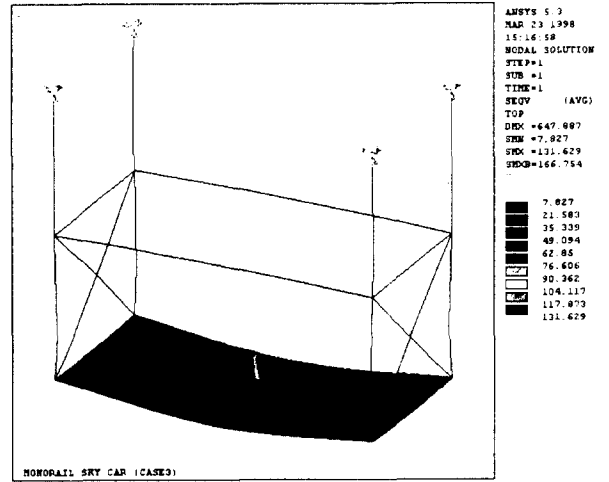


Fig. 6 The von Mises Stress distribution in case 3.

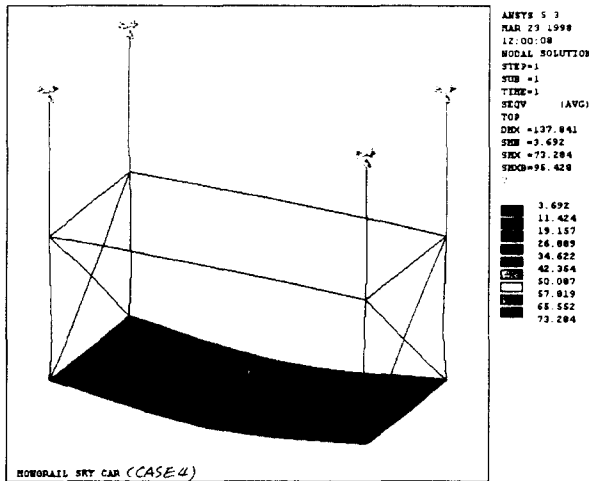


Fig. 7 The von Mises Stress distribution in case 4.

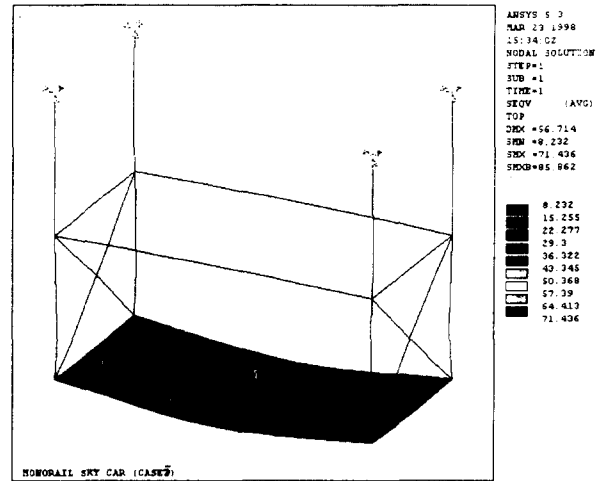


Fig. 8 The von Mises Stress distribution in case 5.

5. 결 론

천정형 모노레일 의 자동반송장치의 구조해석을 통해 안정성과 경제성을 동시에 갖춘 구조설계에 관해 고찰하였다. 특히 von Mises 응력 분포를 이용하여 탄성역이 유지되도록 하고 또 2g의 동적 효과도 고려하여 충분한 안전계수를 가

지는 구조물을 설계하였다. 6가지의 Case Study를 통해 조사해 본 결과 중공식 4각 파이프 사용할때 규격상 50x50 (2.3t) 정도면 충분한 안정성이 있음을 알게 되었고, 이와 같은 구조설계를 통해 경제적인 구조물 개발이 가능하게 되었다.

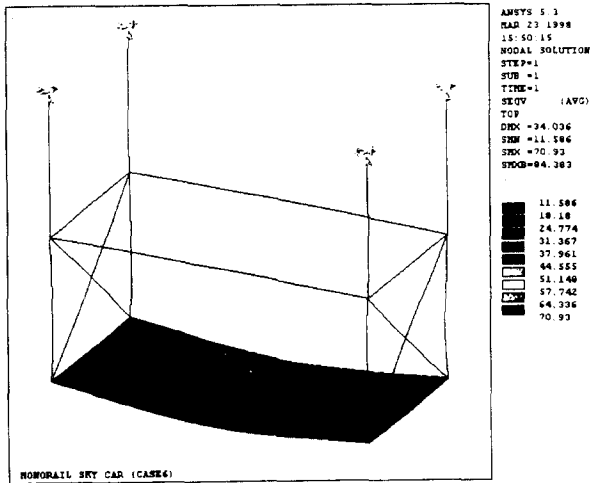


Fig. 9 The von Mises Stress distribution in case 6.

후 기

이 논문은 (주)선진물산으로부터 위탁의뢰되어 수행된 연구로서 이에 저자들은 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] 천정형 모노레일 반송차 제품구조 설명서, (주)선진물산, 1996.
 [2] 정선모, 한동철, 표준기계설계학, 1997.
 [3] Kohnke, P. C., 1989, ANSYS Theoretical Manual, 5th Edition,

Table 2 단면형상 및 치수의 변화에 따른 최대 변형량 및 응력치

CASE	단면 형상	최대 변형량 (mm)	최대 von Mises 응력치 (MPa)	단면적 (mm ²)
1	중실4각봉 (20x20)	666	133	400
2	중실4각봉 (30x30)	133	73	900
3	중실원형봉 (Φ23)	647	131	416
4	중실원형봉 (Φ34)	137	73	908
5	중공4각봉 (4각 PIPE) 50x50 (2.3t)	56	71	439
6	중공4각봉 (4각 PIPE) 60x60 (2.3t)	34	70	531

Swanson Analysis Systems Inc., Houston, PA.

[4] Cook, R. D., Malkua, D. S. and Plesha, M. E., 1989, "Concepts and Applications of Finite Element Analysis," John Wiley and Sons, Third Edition, pp. 163-295.