

2way 가드레일의 형상에 관한 연구

양선웅, 김세일, 신상준
서울대학교 기계항공공학부 우주항공전공
E-mail: sleeping@snu.ac.kr

초록: 고속도로에서 자주 사용되고 있는 2way 가드레일 형상의 효율성을 탐구해보기 위하여 가드레일 형상과 이와 단면적이 같은 여러 종류의 단면을 가진 보들과 응력 값을 비교하였다. vonMises stress값의 비교를 통해 기존 가드레일의 W모양 단면과 경제적으로는 동일하고 형태는 상이하며 구조적으로 더 안정적인 단면 형상을 찾아보고자 한다. 그 결과 2way 단면의 가드레일 보다는 반원 단면의 가드레일이, 두께가 4T인 2way 모델 보다는 3T인 모델의 안전계수가 더 높음을 확인하였다. 이를 통해 향후 가정이 없는 실제 상황에서는 어떠한 이유 때문에 2way 가드레일 형상을 사용하고 3T보단 4T, 5T를 보편적으로 사용하는지 연구해보면 좋을 듯 하다.

서론

가드레일은 방호울타리로서 교통사고 또는 차량이 차선에서 이탈되는 현상을 막아 인명 피해를 최소화 하는 역할을 한다. 큰 변위가 발생하더라도 끊어지지 않고 충돌 차량이 다시 차선으로 방향을 유지하게끔 보호하는 역할을 하는 만큼 가드레일은 구조적으로 안정적으로 설계가 되어야 한다. 현재 한국 고속도로 가드레일의 대부분의 형상은 Figure 1 과 같은 2way 형상이다. 가드레일이 이와 같이 W모양의 단면을 가지고 있는 이유는 가드레일에 사용되는 SS400 철재는 여러 번 굽힐수록 강도가 증가한다는 점과 가드레일의 단면에서 길 바깥쪽으로 튀어나와있는 부분이 차량의 범퍼 높이와 일치하여 충격흡수를 도와줄 수 있다는 점 때문이다.



Figure 1. 2way 가드레일

본 논문은 이러한 가드레일의 형상에 대한 수치해석을 하기 위하여 몇 가지 가정을 세우고 시작한다. 첫째, 가드레일은 표준형 SB2 H775*W4000(4T) 모델을 사용하고 길이가 4000mm이며 양단이 고정된 보로 간주한다. 둘째, 가드레일에 가해지는 힘은 3000N의 정적인 집중하중으로 보와 경사각 45°를 이루는 방향(충돌 각도가 45°)으로 보의 길이방향과 높이방향에 대하여 정 가운데에 가해진다. 이 두 가지 가정을 토대로 가드레일의 von-Mises stress의 최대값을 측정할 것이며 가드레일의 단면 형상의 효율을 따져보기 위하여 경제적인 이유로 같은 단면적을 가지며 2way 가드레일과 같이 충격을 흡수할 수 있는 다른

여러 가지의 단면을 가진 보에 대하여 같은 수행을 반복할 것이다. 또한 위의 분석에서 2way 가드레일의 표준 두께를 4T로 두었는데 이를 같은 단면적을 가지는 3T, 5T의 두께를 가지는 가드레일 형상과 비교를 해보았다.

본문

1. Edison 활용

에디슨의 활용에 있어서는 KAIST의 Beam Truss Analysis Solver를 이용하였다. 먼저 SolidWorks를 이용하여 길이가 4m이고 단면적이 모두 가드레일과 동일하게 설계된 여러 가지 보를 그린 다음, 이 파일을 csd 전 처리기에서 meshing과 물성치, 경계 조건, 힘 입력 과정을 수행하여 Solver의 입력파일을 생성하였다. 그 후 Solver를 사용하여 얻은 op2 파일을 이용하여 von-Mises stress의 최대값이 나오는 지점과 그 값을 알 수 있음과 동시에 시각화할 수 있었다.

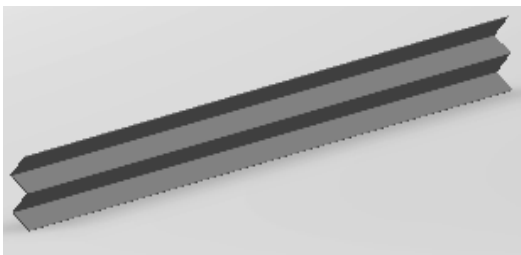


Figure 2. Solidworks로 설계된 가드레일

2. 이론적 배경

Finite Elements Method

Beam Truss Analysis Solver는 보와 트러스의 변위, 응력 값의 계산을 위해 유한요소해석(Finite Elements Method, 이하 FEM)을 활용하였다.[1-3] 위의 본문1의 전 처리기에서 수행한 meshing은 FEM을 위한 첫 과정이다. FEM은 복잡한 형상을 가진 물체를 삼각형, 사각형, 사면체 또는 육면체의 요소로 잘게 쪼개고 이 요

소간의 관계(에너지법)를 이용하여 변위와 응력의 근사치를 구할 수 있게 한다. 적게는 수백 개, 많게는 수만 개의 요소를 사용하기 때문에 컴퓨터 계산을 이용한 상용프로그램으로 FEM을 수행할 수 있다. 더 많은 요소를 만들수록 근사치가 실제 값과 가까워지지만[2] Beam Truss Analysis Solver에서는 분석 가능한 요소의 수가 한정되어 있기 때문에 적당한 개수의 요소가 나오게끔 meshing을 하였다. FEM에 관한 이론은 구조해석을 다루는 책에서 보편적으로 언급되기 때문에 여기서는 간략하게만 설명하였다.

von-Mises yield criterion

본 논문은 FEM으로 분석한 데이터들 중 von-Mises stress를 최적 형상을 선정하는 기준으로 삼았다. von-Mises yield criterion[4]은 J_2 , second deviator stress invariant가 임계 값에 도달했을 때 재료의 항복이 일어날 것이라고 예상하는 척도이다.

$$J_2 = k^2, k = \sigma_y / \sqrt{3} \quad (1)$$

K: 순수 전단 내 재료의 항복 응력

σ_y : 항복 응력이다

(1)과 J_2 가 Cauchy stress tensor을 이용하면

$$\sigma_v = \frac{1}{2} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + 6(\sigma_{23}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{12}^2)]$$

의 식이 도출되는데 $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{23}, \sigma_{31}, \sigma_{12}$ 의 값들로 정의된 σ_v 의 값이 σ_y 의 값보다 작아야 한다는 기준을 제시하는 이론이다. 결과 분석 과정에서 모든 단면의 항복 응력은 동일한 상황이므로 최대 von-Mises stress의 값이 작은 형상을 최적 형상으로 선정하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 단면 형상에 따른 분석

먼저 가드레일의 단면적이 $1242.21mm^2$ 와 같은 단면적을 가지며 두께가 4mm로 동일한 5가지의 단면의 보를 추가하여 총 6개의 보에 서론에 명시한 방법대로 처리를 하여 분석하였다.

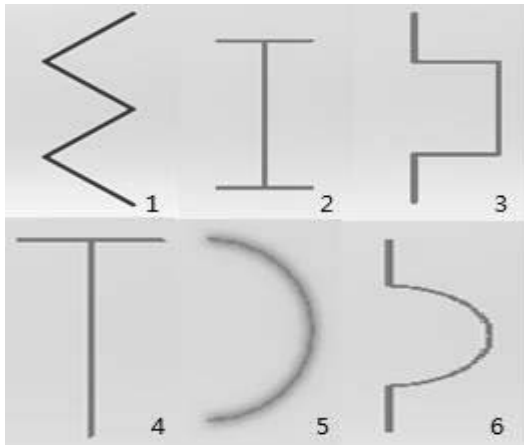


Figure 3. 여러 단면과 단면 번호

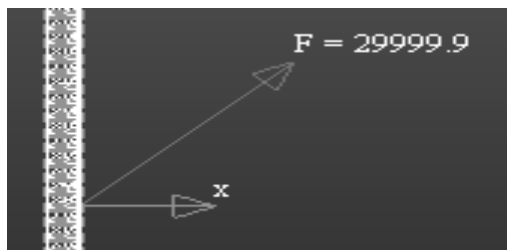


Figure 4. 위에서 본 1번 단면 보의 중앙에 가해지는 힘의 방향(충돌 방향)

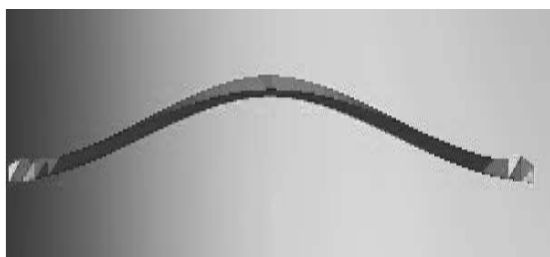


Figure 5. Edison를 사용하여 시각화된 1번 단면 보 분석 결과

보의 안정성을 검사하기 위하여 분석된 각

단면 형상의 모든 점에서의 von-Mises stress값들 중 최대값을 추출하여 표로 정리하면 다음과 같다.

단면 번호	Max von-Mises stress (GPa)
1	1.25
2	2.3
3	2.03
4	2.32
5	0.63
6	1.41

Table 1. Edison 분석에 의한 단면에 따른 von-Mises stress의 최대값

한편, 상용프로그램인 ANSYS를 이용하여 똑같은 현상을 같은 방법으로 분석하면 Table 2, 3과 같은 값을 얻을 수 있다.

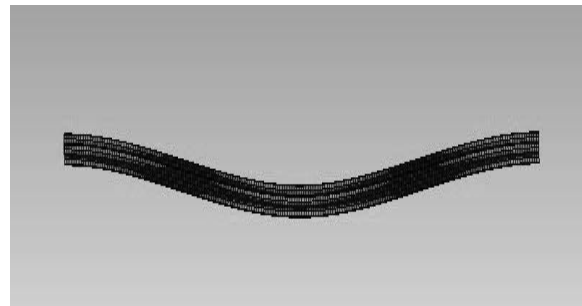


Figure 6. ANSYS를 사용하여 시각화된 1번 단면 보 분석 결과

단면 번호	Max Von-Mises stress(Gpa)
1	1.22
2	2.315
3	2.015
4	2.417
5	0.618
6	1.424

Table 2. ANSYS 분석에 의한 단면에 따른 von-Mises stress의 최대값

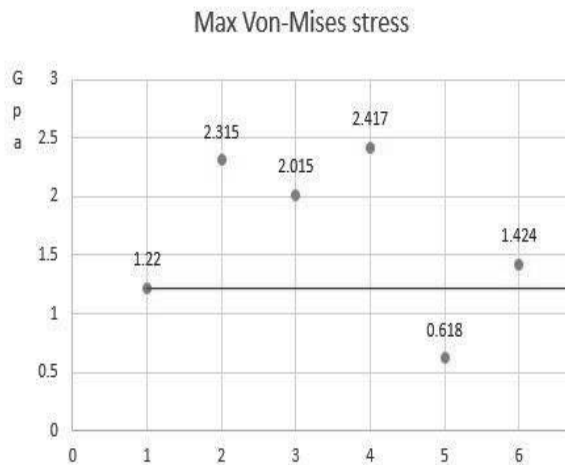


Figure 7. ANSYS분석에 의한 단면에 따른 von-Mises stress의 최대값

단면 번호	Safety Factor
1	0.40976
2	0.21091
3	0.24814
4	0.20685
5	0.81038
6	0.35114

Table 3. 단면에 따른 안전 계수의 최소값

3.2 2way 형상의 두께에 따른 분석

기존 4T 2way 가드레일의 단면적을 유지하면서 두께가 3T, 5T로 변화시키며 von-Mises stress값을 분석한 결과를 Figure 8에 시각화하였다.

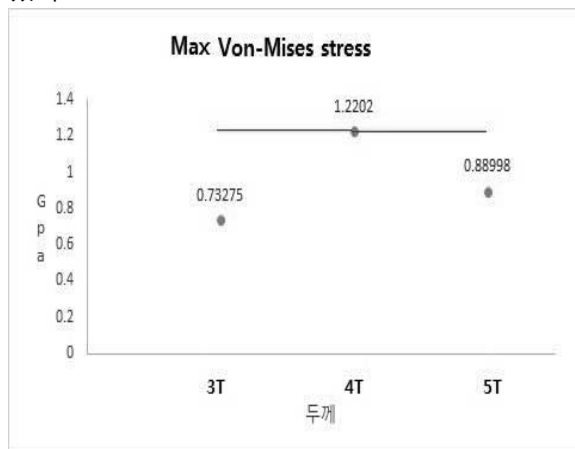


Figure 8. 두께에 따른 Max von-Mises stress

위의 그래프에서 알 수 있듯이 표준으로 삼은 4T 두께의 2way guardrail 모델보다 두께가 3T, 5T일 때 더욱 Max von-Mises stress의 값이 적게 나왔다. 특히 두께가 3T일 때 가장 낮은 값이 발생하였기는 하지만 이는 단면 형상에 따른 분석에서 5번 단면의 Max von-Mises stress 값보다는 큰 값을 가져 5번 단면의 형상이 더욱 안정하다는 사실을 알 수 있었다.

결론

본 논문은 EDISON의 Beam/Truss Analysis Solver와 상용프로그램인 ANSYS로 여러 단면 형상의 같은 길이 보에 같은 힘이 가해지는 상황을 분석하였다. 모든 단면은 경제적으로 차등을 두지 않기 위해 같은 단면적을 가지면서 두께는 모두 4t로 일정하게 설계가 되었다. 이 상황을 해석한 결과 Edison의 Solver는 상용프로그램과 비슷한 von-Mises stress 최대값을 도출하였고 이 값들을 비교해본 결과 구조적으로는 현재 고속도로의 가드레일 형상에 사용되고 있는 2way 단면보다는 5번 단면(반원 단면)이 최대 von-Mises stress값이 낮고(Figure 7) 그에 따라 안전 계수도 더 높아 안정적이라는 결론에 도달하였다. 또한 2way 가드레일의 두께에 따른 분석(3T, 4T, 5T) 결과 3T의 von-Mises stress 값이 가장 작지만 이는 5번 단면보다는 커 최종적으로 분석한 형상 중 반원 단면의 가드레일이 가장 안정적이라는 결론에 도달하였다. 즉, 차량 범퍼와의 충돌 점을 고려하여 반원 단면의 가드레일을 알맞게 설계하면 기존의 2way 형상의 가드레일에 비해서 구조적으로 더 안정적이므로 가드레일이 끊어지며 충돌 차량이 차선 밖으로 이탈하는 경우는 적어질 것이다.

감사의 글

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의
재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허
브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임
(NRF-2011-0020576)

참고문헌

- [1] Jagmohan L. Humar, Dynamics of Structures, Balkema (2002)
- [2] Stephen H. Crandall, An Introduction to Mechanics of Solids, Mc Graw Hill Education (2015)
- [3] Wai-Fah Chen, Theory of Beam-Columns, Mc Graw Hill Education (1976)
- [4] O. A. Bauchau, Structural Analysis, Springer (2009)
- [5] <http://www.edison.re.kr>. EDISON 웹사이트.