

금속 그레이팅의 높이변화에 따른 최적치수 설계 및 안정성 해석

Optimal Dimension Design and Stability Analysis
of Non-slip Steel Grating

손인수^{1*}

In-Soo Son^{1*}

〈Abstract〉

In this study, in order to develop an non-slip metal grating, the stability of the grating according to the span of the grating and the gap and height of the bearing bar was evaluated. The optimal shape design of the grating was performed using the results of determining the stability of the grating. The purpose of this study is to determine the stability according to the spacing and height of the bearing bar by applying the design pressure at the design stage to develop the anti-skid grating, and to design the optimal shape for cost reduction. In the optimal design, the target variable was set as the mass, and the optimal design of the grating was performed based on about 20%. Regardless of the height of the bearing bar of the grating, the stress and deformation of the span and the grating showed a proportional tendency to each other, and it was found that the stress decreased as the height of the bearing bar increased. Based on the structural analysis results, an optimal design was performed using mass as the objective variable, and the existing 2mm thickness was changed to 1.6mm, reducing the mass by about 19%. The stress increased by about 4.4% compared to the maximum stress of the existing grating, but the minimum safety factor was 3.1, indicating that the optimally designed grating was stable.

Keywords : Bearing Bar, FEM, Non-Slip Grating, Optimal Design, Span, Stability Analysis

1* 정희원, 교신저자, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부 1* Corresponding Author, Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University
E-mail: issong92@deu.ac.kr

1. 서 론

금속 그레이팅은 건축, 토목에서 배수를 주목적으로 하는 격자 모양의 철재 구조물로 최근 플랜트 분야에도 널리 활용되고 있다. 따라서 금속 그레이팅은 우수한 배수 능력뿐만 아니라 강한 충격에도 견딜 수 있는 내구성이 요구되며, 그 용도에 따라 차량 등의 비교적 큰 하중에도 견딜 수 있는 강도를 가져야 한다. 이 연구에서는 플랜트 분야에 적용하는 미끄럼에 의한 안전사고를 예방하기 위하여 미끄럼 방지 기능을 갖는 그레이팅 개발을 위하여 그레이팅의 스팬(span)과 베어링 바(bearing bar)사이 간격 및 높이에 대한 안정성 판단을 통하여 최적형상 설계를 수행하고자 한다.

도로 배수용 그레이팅의 파손 시 전체를 교환해야 하는 불편을 해소하기 위하여 그레이팅 본체와 프레임을 분리시킨 구조에 대한 연구를 수행하여 그레이팅 본체는 탈착이 가능한 구조로 개선한 연구가 수행되었다[1, 2]. 가로형 그레이팅보다 유속에 대한 정향성을 감소시킨 세로형 스틸 그레이팅의 응력 분포 및 변형에 관한 연구를 수행하여 최적의 격자 간격의 그레이팅 설계도 진행되었다[3]. Kim 등[4]은 다구찌 기법과 솔리드웍스를 이용하여 그레이팅의 강성적 측면과 배수 성능적 측면에서 스틸 그레이팅의 설계 파라미터를 동시적으로 최적화시키는 방안에 대하여 연구하기도 하였다. 최근 미끄럼 방지용 금속 그레이팅의 베어링 바 사이의 간격에 따른 구조해석을 수행하여 베어링 바 간격에 따른 구조적 안정성을 판단하여 그레이팅 기초설계 및 해석 방법을 제시한 연구도 진행되고 있다[5]. 기존 연구에서는 금속 그레이팅의 베어링 바의 높이에 대한 안정성 해석과 그 결과를 이용한 그레이팅의 최적형상 설계에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. 따라서 이 연구의 목적은 미끄럼 방지용 그레이팅 개발을 위하여 설계단계

에서 설계압력을 적용하여 베어링 바의 간격 및 높이에 따른 안정성을 판단하고 원가 절감을 위하여 최적치수를 도출하는 것이다. 특히 그레이팅 스팬 길이와 베어링 바 간격 및 높이의 영향에 대하여 구조해석을 수행하여 최적의 그레이팅 설계치수를 확보하고자 한다.

2. 해석모델 및 해석조건

Fig. 1은 미끄럼 방지용 그레이팅의 설계도면을 나타낸 것으로, 2 mm 두께의 판재를 성형하여 베어링 바를 제작하고 이를 5 mm 두께의 엔드플레이트(end plate)에 용접하여 완성한다[5]. 구조해석에서는 Fig. 1에 표시된 베어링 바 사이의 간격(gap)을 3 mm, 8 mm, 그리고 15 mm에 대하여 베어링 바의 높이를 25 mm, 32mm, 38 mm, 44mm 그리고 50mm로 높이 변화에 따른 그레이팅의 구조해석 및 최적설계를 수행하였다. 또 동일한 폭에 대하여 일반적으로 생산업체에서 많이

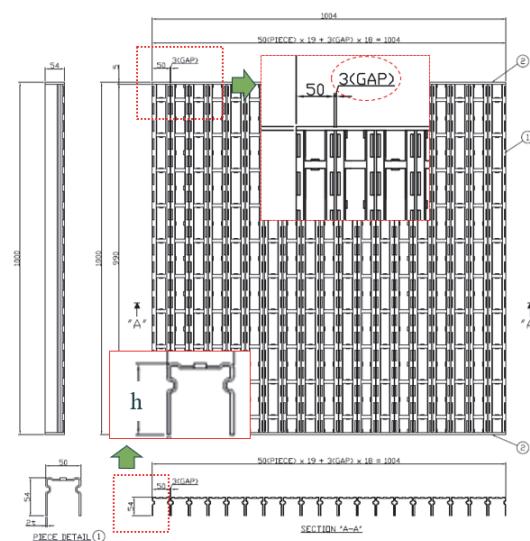


Fig. 1 Analysis model(2D) of grating

Table 1. Material property

| Material | Elastic modulus (GPa) | Yield strength (MPa) | Poisson's ratio |
|----------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| SS400 | 200 | 250 | 0.33 |

생산하는 그레이팅 스팬 규격을 적용하여 600 mm에서 2,700 mm까지 15개 스팬에 대하여 해석을 수행하고 결과를 도출하였다.

Table 1은 해석모델인 그레이팅의 재질인 SS400에 대한 기계적 물성치를 도시하였다.

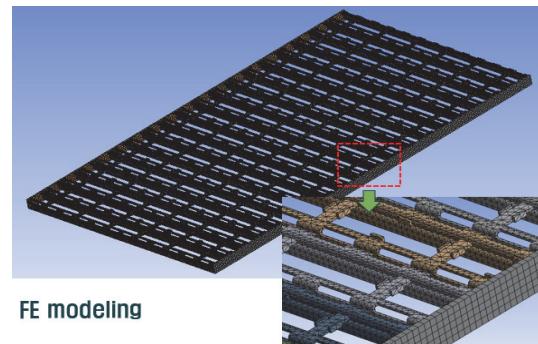
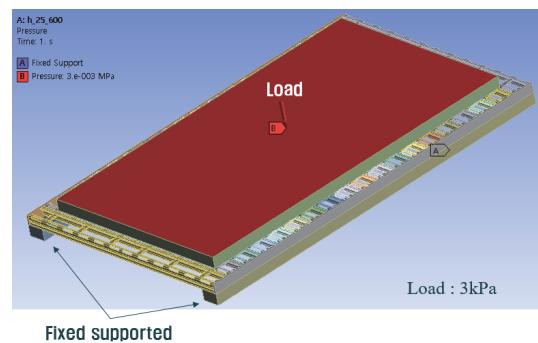
금속 그레이팅의 내하중성 시험방법 및 조건은 일반적으로 균일하중과 과부하 하중에 대하여 2가지 방법의 시험조건을 제시하고 있다[6]. 시험조건에 따르면 상부 가압판의 두께는 50 mm 이상이며, 시험 받침대는 가로세로 각 50 mm의 치수 규격을 사용하도록 되어 있다. 따라서 구조해석 수행에 있어 위의 내하중성 시험방법에 근거하여 가압판 및 받침대를 별도로 모델링하고 해석을 수행하였다.

3. 최적형상 설계

3.1 그레이팅 구조해석

금속 그레이팅의 해석은 설계압력인 3 kPa의 균일 하중조건을 적용하여 그레이팅의 내하중 시험방법(Light load type)을 바탕으로 그레이팅 베어링 바의 간격과 스팬 및 높이에 따른 구조해석을 수행하였다.

Fig. 2는 구조해석을 위한 그레이팅의 유한요소 모델을 도시한 것으로, 그레이팅의 스팬, 간격, 높이에 따라 노드 및 요소수는 모두 일정하지 않지만, 가압판 및 받침대는 요소 크기를 10 mm, 그

**Fig. 2 FE modeling of steel grating****Fig. 3 Boundary conditions for analysis**

리고 그레이팅은 5 mm로 균일하게 요소분할하여 해석을 수행하였다.

Fig. 3은 구조해석을 위한 경계조건을 도시한 것으로 가압판 상부에 설계압력인 3 kPa을 적용하였으며, 받침대 하부를 완전고정 조건을 부여하여 해석을 수행하였다. 해석을 수행하는 경

우 가압판 및 받침대의 해석 결과가 모두 나타나지만, 향후 본문에서는 관심 대상인 그레이팅의 해석 결과만을 표현하였다.

Fig. 4는 그레이팅 바의 간격이 15mm이고 스팬이 600인 그레이팅에 대하여 베어링 바의 높이에 따른 응력해석 결과를 도시한 것이다. 최대 응력은 그레이팅의 스팬 및 베어링 바의 높이와 관계없이 지지대와 그레이팅이 접촉하는 부분에서 발생함을 알 수 있다. 해석결과 그레이팅의 베어

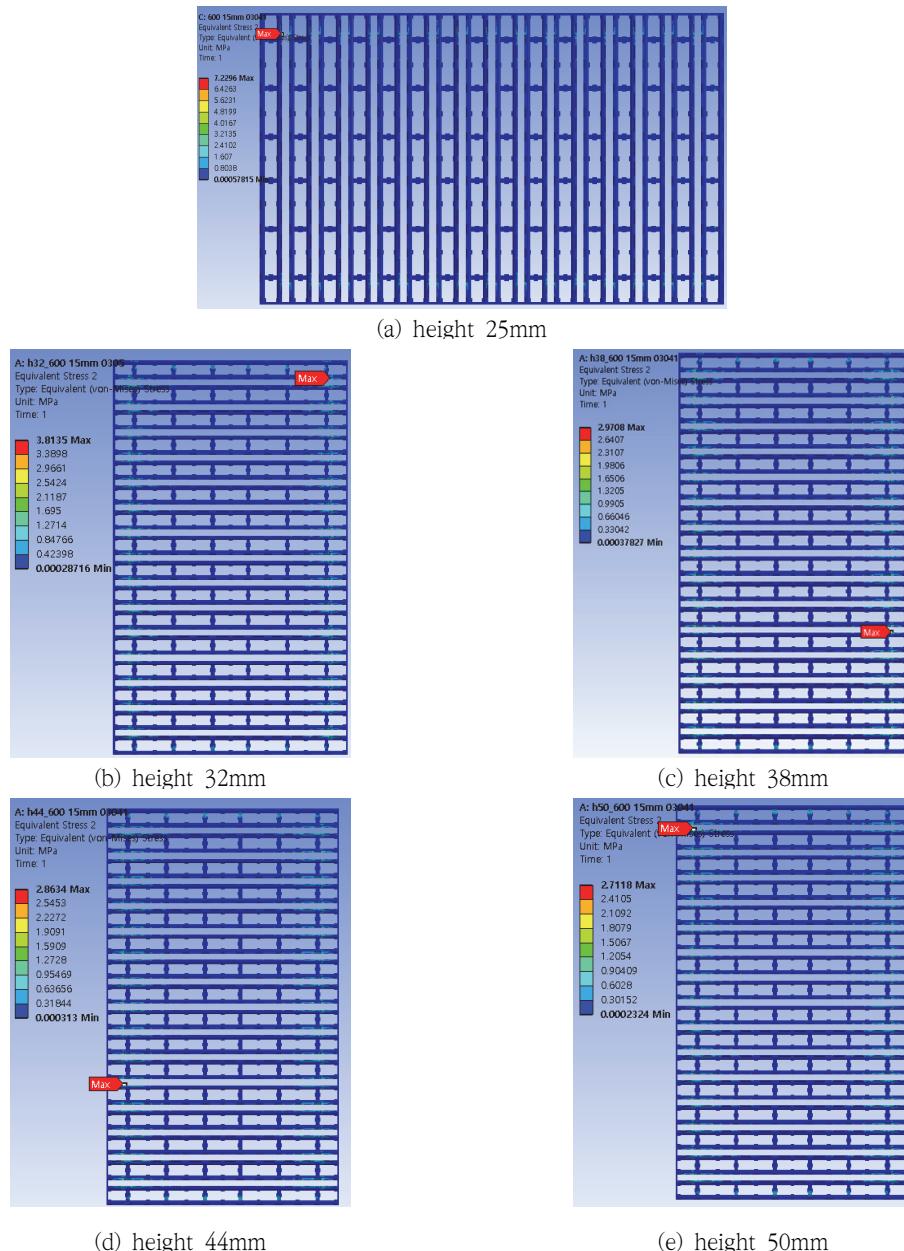


Fig. 4 Stress distribution of grating(gap 15mm, 600span)

링 바의 높이와 응력은 서로 반비례적인 경향을 보이며, 베어링 바의 간격이 클수록 응력을 더 커진다는 것을 알 수 있다.

Table 2는 베어링 바의 간격이 8mm인 경우

베어링 바의 높이 및 스팬에 따른 그레이팅의 구조해석 결과를 나타낸 것이다. 여기서 S는 응력 (MPa), D는 변형(mm)을 의미한다. 해석 결과 그레이팅 베어링 바의 높이가 높아질수록 응력이 감

소하는 것을 알 수 있다. 최대 응력은 베어링 바의 높이가 25mm, 스팬 2,700mm인 그레이팅에서 나타나며 그 값은 약 84.6MPa을 보인다.

Table 3은 최대 응력이 발생하는 2,700 mm 스팬에 대한 응력 및 안정성 판단을 수행한 결과이다. 전체 해석 결과 최대 응력은 gap 15mm, 스팬 2700mm, 바의 높이가 25mm인 경우 약 96.45MPa로 나타났으며 그레이팅 재질의 항복강도와 비교하여 안전율 약 2.9로 매우 안정하다는 것을 알 수 있다. 또한 그레이팅의 베어링 바의 높이가 높을수록 바의 간격에 따른 응력변화가 작아진다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Analysis result of grating(gap 8mm)

| Height (mm) | Span(mm) | | | | |
|----------------|----------|--------|--------|--------|--------|
| | 600 | 1,050 | 1,500 | 2,100 | 2,700 |
| h25 | S | 6.15 | 19.29 | 35.78 | 60.35 |
| | D | 0.0015 | 0.0129 | 0.0513 | 0.1963 |
| h32 | S | 3.46 | 14.07 | 21.97 | 34.51 |
| | D | 0.0015 | 0.0104 | 0.0411 | 0.1526 |
| h38 | S | 2.85 | 9.42 | 19.67 | 36.05 |
| | D | 0.0016 | 0.0087 | 0.0343 | 0.1287 |
| h44 | S | 2.73 | 8.94 | 17.43 | 31.79 |
| | D | 0.0018 | 0.0075 | 0.0289 | 0.1094 |
| h50 | S | 2.60 | 8.26 | 12.47 | 21.95 |
| | D | 0.0019 | 0.0077 | 0.0245 | 0.0898 |
| | | | | | 0.2368 |

Table 3. Analysis result of grating(span 2700mm)

| Bearing bar H | Max. Stress (MPa, gap 3mm) | SF | Max. Stress (MPa, gap 8mm) | SF | Max. Stress (MPa, gap 15mm) | SF |
|---------------|----------------------------|-----|----------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| h25 | 82.123 | 3.3 | 84.562 | 3.3 | 96.349 | 2.9 |
| h32 | 54.800 | 5.0 | 57.126 | 4.8 | 67.527 | 4.1 |
| h38 | 49.103 | 5.6 | 51.735 | 5.3 | 58.183 | 4.7 |
| h44 | 47.096 | 5.8 | 49.027 | 5.6 | 54.814 | 5.0 |
| h50 | 41.659 | 6.6 | 43.582 | 6.3 | 47.626 | 5.8 |

3.2 그레이팅 최적설계 및 안정성 판단

그레이팅의 구조해석 결과를 바탕으로 단가절감을 위하여 최적설계를 수행하였다. 기존 설계 치수에 대한 안정성 판단결과 최소 안전율이 2.9이기 때문에 최적설계에서 목적변수를 질량으로 정하고 약 20% 질량절감을 목적으로 최적설계를 수행하였다. 최적설계는 해석 상용프로그램인 Ansys Workbench 의 Topology Optimization 툴을 이용하였으며, 최적설계에 적용한 모델은 베어링 바의 간격이 8mm 인 그레이팅에 대하여 결과를 도출하였다.

Fig. 5는 높이 38mm이고 스팬이 600mm의 그레이팅에 대한 최적설계 결과를 도시한 것이다.

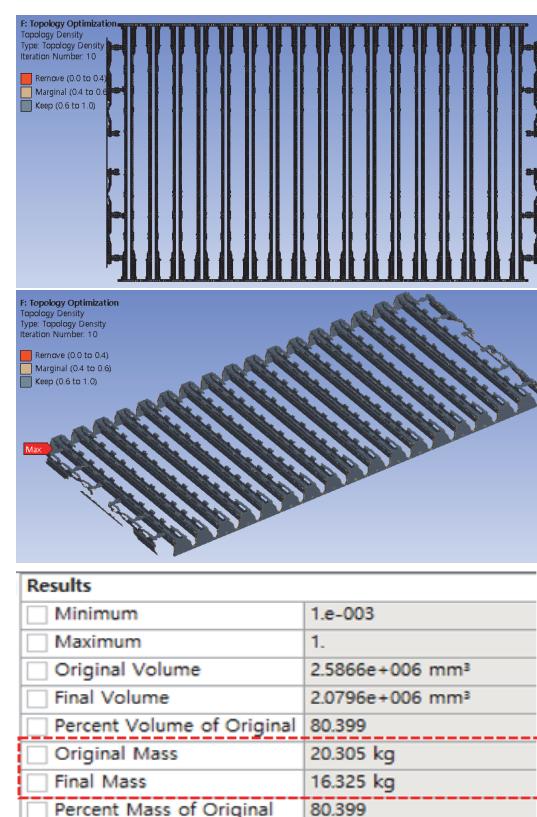


Fig. 5 Result of optimal design of grating(span 600, height 38mm)

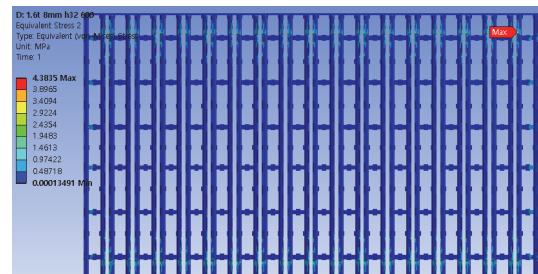
기존 설계 치수에 대하여 약 19.6% 질량을 감소하여 최적 형상을 도출하였다.

Table 4는 바의 간격이 8mm로 일정한 경우 베어링 바의 높이와 스팬에 따른 최적설계 결과를 나타낸 것이다. 최적설계의 목적변수는 질량으로 하였으며, D는 질량 감소율을 도시한 것이다. 최적설계 결과 베어링 바의 높이에 따라 약 18.7%에서 19.8% 질량 감소가 가능함을 알 수 있었으며, 최종적으로 그레이팅의 전체 두께를 변경하여 재료 및 중량 감소를 도모할 수 있을 것이라 판단된다. 기존 2mm의 두께를 변경하여 두께를 1.6mm로 설계 및 해석을 수행하여 안정성을 판단하였다.

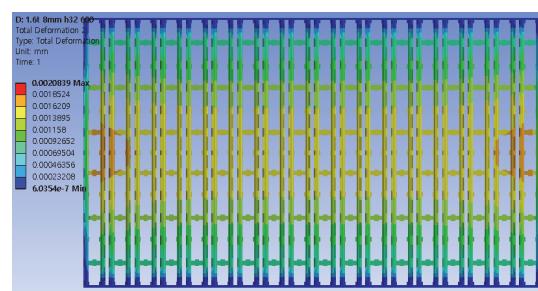
Fig. 6과 Fig. 7은 최적설계된 그레이팅에 대한 구조해석 결과를 도시한 것으로 기존 그레이팅의 변형 및 응력분포는 전체동으로 동일한 경향성을 보이며, 기존 응력에 비하여 조금 높은 응력값을 보이지만 모두 안정하다는 것을 확인할 수 있다.

Table 4. Optimal design result of grating

| Height (mm) | Span(mm) | | | | | |
|----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 600 | 1,050 | 1,500 | 2,100 | 2,700 | |
| h25 | Original(kg) | 14.9 | 24.7 | 34.5 | 47.4 | 60.8 |
| | Optimal(kg) | 12.4 | 22.3 | 28.3 | 39.5 | 50.1 |
| | D(%) | 16.6 | 17.7 | 18.1 | 18.8 | 18.8 |
| h32 | Original(kg) | 17.8 | 29.4 | 41.0 | 56.6 | 72.0 |
| | Optimal(kg) | 14.9 | 24.2 | 33.6 | 46.1 | 58.6 |
| | D(%) | 16.5 | 17.6 | 18.1 | 18.6 | 18.7 |
| h38 | Original(kg) | 20.3 | 33.4 | 46.6 | 64.2 | 81.7 |
| | Optimal(kg) | 16.9 | 27.5 | 38.1 | 52.2 | 66.3 |
| | D(%) | 16.4 | 17.6 | 18.1 | 18.6 | 18.8 |
| h44 | Original(kg) | 22.8 | 37.4 | 52.1 | 72.7 | 91.3 |
| | Optimal(kg) | 19.1 | 32.5 | 42.7 | 58.9 | 74.6 |
| | D(%) | 16.4 | 13.2 | 18.1 | 19.0 | 18.3 |
| h50 | Original(kg) | 25.5 | 41.4 | 57.6 | 79.3 | 100.9 |
| | Optimal(kg) | 21.1 | 34.9 | 47.2 | 65.4 | 82.7 |
| | D(%) | 17.0 | 15.6 | 18.2 | 17.9 | 18.3 |

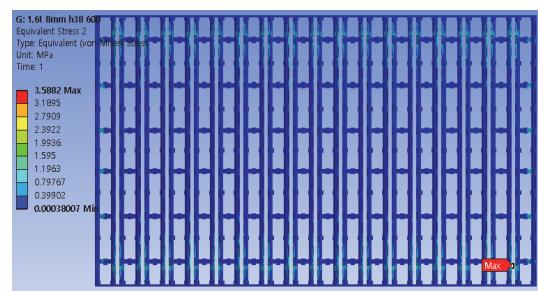


(a) stress(MPa)

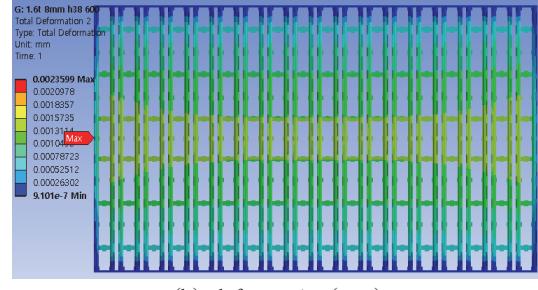


(b) deformation(mm)

Fig. 6 Analysis result for optimal design(gap 8 mm, height 32 mm, 600span)



(a) stress(MPa)



(b) deformation(mm)

Fig. 7 Analysis result for optimal design(gap 8 mm, height 38 mm, 600span)

Table 5. Stability analysis result of optimal grating

| Bearing bar H | Max. Stress(MPa) | Safety factor | Max. deformation (mm) |
|---------------|------------------|---------------|-----------------------|
| h25 | 88.544 | 3.1 | 0.53 |
| h32 | 64.651 | 4.3 | 0.43 |
| h38 | 61.889 | 4.4 | 0.36 |
| h44 | 55.322 | 5.0 | 0.31 |
| h50 | 50.557 | 5.4 | 0.27 |

Table 5는 최대 응력이 발생하는 2,700mm 스판을 갖는 그레이팅의 최적설계 치수에 대한 응력 해석 결과를 나타낸 것이다. 최소 안전계수는 높이 25mm에서 약 3.1로 초기 설계치수에 대한 안전계수 3.3보다 조금 낮아 졌지만 전체적으로 최적설계 치수에 대한 그레이팅은 안전하다는 것을 판단할 수 있다.

4. 결 론

이 연구에서는 미끄럼 방지용 금속 그레이팅을 개발을 위하여 그레이팅의 스판과 베어링 바 간격 및 높이에 따른 그레이팅의 안정성을 판단하고, 그 결과를 이용하여 최적치수 설계를 수행하였다.

그레이팅의 베어링 바 높이와 관계없이 스판과 응력 및 변형은 서로 비례적인 경향을 보이며, 베어링 바의 높이가 높아질수록 응력이 감소한다는 것을 알 수 있었다. 베어링 바의 높이가 25mm, 바의 간격 15mm, 스판 2,700mm에서 최대 응력 96.3MPa을 보였으며, 그레이팅 재질의 항복강도와 비교하여 약 2.9의 안전율로 매우 안정함을 알 수 있었다.

구조해석 결과를 바탕으로 질량을 목적변수로 최적설계를 수행하여 기존 2mm 두께를 1.6mm로 변경하여 약 19% 정도 질량을 감소하였다. 최

대 응력이 발생하는 베어링 바의 간격과 높이에 대하여 기존 그레이팅의 응력에 비하여 약 4.4% 정도 응력이 증가하였으나 최소 안전율은 3.1로 최적설계한 그레이팅은 안전하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Kim, K. S. and Lee, E. J., "A Study on the Development of Grating Structure for Drain of Water", Journal of KAIC, Vol. 7, No. 4, pp.531-538, (2006).
- [2] Kim, K. S. and Lee, E. J., "A Study on the Development of Grating Frame for Drain Water on Road", Journal of KAIC, Vol. 8, No. 4, pp. 713-720, (2007).
- [3] Lim, G. M., Lim, B. C. and Park, S. H., "A Study on the Stress and Deformation of Vertical Steel grating", Journal of KAIS, Vol. 17, No. 2, pp. 214-219, (2016).
- [4] Lee, S. I., Lee, S. W. and Park, S. Y., "Optimization of Design Parameters for Steel Grating Using Taguchi Method Considering Rigidity and Drainage Efficiency", Prans. KSME(A), Vol. 38, No. 8, pp. 905-910, (2014).
- [5] Son, I. S., "Structural Stability Estimation of Non-slip Steel Grating", Journal of the Korean Society of Industry Application, Vol. 24, No. 4, pp. 501-507, (2021).
- [6] Steel Grating, SPS-KMIC-007-2014: 2013.
(<http://koreametal.or.kr>)

(접수: 2022.04.30. 수정: 2022.06.07. 게재확정: 2022.06.08.)