

## 배수용 그레이팅 프레임의 개선에 관한 연구

이은종<sup>1</sup>, 김기선<sup>1\*</sup>

### A Study on the Development of Grating Frame for Drain Water on Road

Eun-jong Lee<sup>1</sup> and Key-Sun Kim<sup>1\*</sup>

**요약** 그레이팅은 아스팔트 도로에 설치하여 배수를 할 수 있는 구조물이다. 본 논문에서는 그레이팅의 구조를 개선하여 토사의 쌓임을 방지 할 수 있는 개선품을 제안한다. 기존 제품은 프레임에 오물이 쌓여 있어 평상시 해충이나 악취가 발생 하며 우천 시 배수가 원활하지 못해 물이 고이는 현상도 빈번할 뿐만 아니라 역류하는 현상이 발생한다. 또한 기존 그레이팅이 프레임과 본체를 일체형으로 설치하여 파손 시 전체를 교체하여야 하는 단점이 있다. 본 연구는 그레이팅 본체와 프레임을 분리시킨 구조로 프레임은 맨 홀에 시멘트와 함께 기초공사 하여 고정된 후 그레이팅 본체는 장착탈이 가능하도록 한 구조로 개발 하였다.

**Abstract** Grating is an installed structure on the road for drain. This paper proposes a new product which can prevent the accumulation of earth and sand through the improvement of Grating structure. There were usually harmful insects and bad smell because of accumulated garbage in the frame of previous product. The whole thing of the existing This study is to separate grating from body. Also body structure consists of frame and box for collecting sewage. Thus, earth and sewage are prevented from accumulating in the drain main hole. The contents of this study is designed safely after structure analysis and vibration shape analysis about new products,

**Key Words** : grating, 그레이팅 high way, 고속도로 water drain, 배수 structure, 구조물 road, 도로

## I. 서론

도로변에서 흐르는 배수를 지하 하수구로 보내는 흠뻑 침을 배수용 그레이팅(grating)이라하며 그림 1과 같은 구조로 되어 있다. 기존 제품은 일체형으로 주물에 의하여 제작하였으나 최근에는 구조용강에 의한 스틸 제품의 그레이팅이 사용되고 있으며 이 스틸 그레이팅은 배수 능력이 우수하고 강한 충격에도 견딜 수 있는 내구성, 저렴한 가격 및 청소가 쉽다는 장점이 있어 상당부분 교체가 되었다. 그러나 현재 사용 중인 스틸 그레이팅의 가장 큰 문제점은 토사 및 오물이 직접 메인 홀에 떨어져 막히는 현상이 발생하여 이로 인하여 배수 기능이 저하되면서 고속도로의 경우 중앙 분리대 측 부분의 집수정의 물고임 현상으로 위험을 초래하고 있는 실정이다[1]. 또한 주택가나 일반 도로변에 설치된 스틸 그레이팅도 마찬가지로 국지성 집중 호우나, 장마철 등 강수량 증가시 제 기

능을 발휘 하지 못하는 결과가 발생 한다. 본 연구는 이를 개선하여 그레이팅 본체와 프레임을 분리시킨 구조로 하고 프레임에 바디를 추가하는 구조로 개선하였다. 또한 오물이 맨홀에 그대로 떨어지는 것을 방지하기 위하여 그레이드 받침 통을 만들어 중간 수집을 하여 제거할 수 있는 구조로 개선하였으며, 이에 대한 설계 자료를 위하여 제품 별로 해석 분석 후 결과를 고찰하였다.

## II. 구조 모델링

가능한 배수 능력이 좋고 악취 차단과 하수 역류 방지 기능을 갖춘 기능이 되도록 하였으며, 설치와 교체가 어려운 기존 스틸 그레이팅의 단점을 보완하여 뚜껑과 받침을 분리해 시공한 뒤 뚜껑을 고정시키도록 설계하였다. 또 토압을 지탱하기 위해 5mm의 철판을 사용했으며, 도어에 모래나 이물질이 끼어도 작동에 문제가 없도록 하였다. 파손된 경우 뚜껑만 교체하면 되므로 시간과 비용 절

<sup>1</sup>공주대학교 기계자동차공학부

\*교신저자: 김기선(keysun@kongju.ac.kr)

감 효과도 볼 수 있게 하여 모델링 하였다. 제품에 대한 구조는 그림 1과 같이 본체와 프레임의 분리형으로 하였으며, 프레임을 시멘트에 공사 시 기초 앵커 역할을 할 수 있도록 끝부분은 기초 콘크리트 속으로 들어가 고정하였다. 바디의 중앙부분은 안쪽으로 45도의 경사를 만들어 토사가 쌓이지 못하도록 하였다. 또한 제품이 하중을 받을시 신축이 가능하도록 횡단봉을 스투스트 바(Thrust Bar)로 하여 신축성을 부여하였다. 또한 오물을 수거하기위한 내부에 받침 바디를 설치하였으며, 측면에 물이 배출할 수 있는 구조로 하였다. 구조는 1개로 구성된 그림 1의 단식 그레이딩 본체와 그림 2와 같이 여러개를 연속하여 넣을 수 있는 복식 그레이딩 본체 구조로 되어있다. 제품의 모델링은 CATIA[2]를 이용하여 3차원 형상 모델링을 한 후 조립 현상을 확인하였다

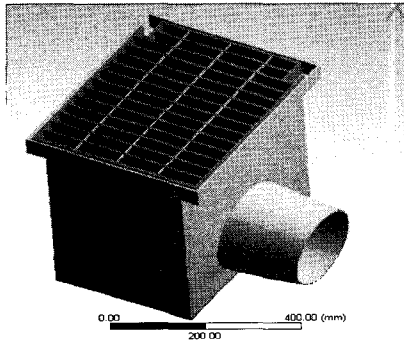


그림 1. 단식 그레이딩 본체

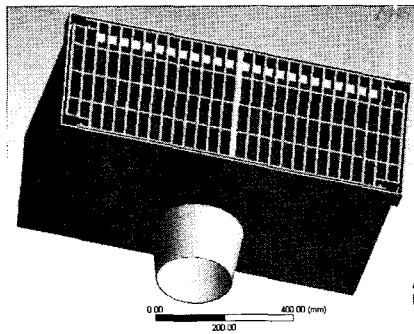


그림 2. 복식 그레이딩 본체

3차원 모델링 후 해석을 수행하였으며, 구조해석은 ANSYS 10을 이용하여 하중인가에 따른 등가 응력, 변형 및 변형율과 진동 모드 형상에 대하여 고찰하였다[3-5]. 구조 해석은 표 1과 같은 순서로 행하였으며, 재료는 구조용 강판을 사용하였고, 그 기계적 성질은 표 2와 같다[6].

표 1. 해석 절차

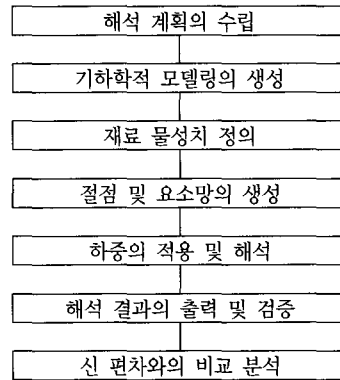


표 2. 재료의 기계적 성질

Name	Value
Compressive Ultimate Strength	0.0 MPa
Compressive Yield Strength	250.0 MPa
Density	$7.85 \times 10^{-6}$ kg/mm <sup>3</sup>
Poisson's Ratio	0.3
Tensile Yield Strength	250.0 MPa
Tensile Ultimate Strength	460.0 MPa
Young's Modulus	200,000.0 MPa

### III. 단식 그레이딩 구조해석

그림 3과 같이 조립품에 대한 모델링 된 형상을 조립 상태로 요소를 생성 작업을 한 결과 노드 수(NODES)는 40,803개 요소 분할수는 32,474개로 분할하였으며, 그 제품의 무게 및 부피는 표 3과 같다.

표 3. 요소 분할

Mass (kg)	Volume (m <sup>3</sup> )	Nodes	Elements
10.102	0.01	40,803	32,474

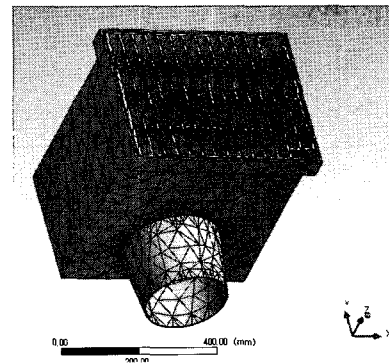


그림 3. 요소 분할

모델은 그레이팅 상판과 프레임을 조립한 상태에서 수행하였으며, 프레임을 고정된 상태이기 때문에 바닥 시멘트 기초면의 변화가 없다고 가정하였다. 지지점은 프레임과 접하는 면적으로 하였고, 하중은 중앙에 200mm \* 400mm의 범위에 분포압력으로 인가하였으며, 전체하중의 크기는 한국도로공사 시험 규격에 의하여 기본하중인 20 TON를 적용하였다. 하중 분포는 자동차의 타이어 압력과 유사하게 바뀌 중앙에는 큰 압력을 가장자리는 작은 하중이 작용하도록 하여 실제 조건과 유사하도록 하였으며, 그 분포는 그림 4와 같다. 또한 구속 조건으로 시멘트와 고정이 되는 상단 윗면은 고정이 되었다고 가정하여 계산하였다.

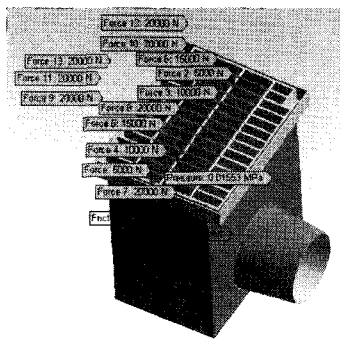


그림 4. 하중 및 토압 조건

응력 해석은 조립되고 토압이 작용하는 것을 고려하여 전체 분석을 하였으며, 등가응력으로 도시 하였다. 첫째로 개선 된 부품의 등가 응력 결과를 그림 5에 나타내었다. 여기에서 중앙 부위는 50에서 75 MPa까지 골고루 분포하였으며, 특히 중앙 부분이 응력이 커짐을 볼 수 있다. 여기에서 프레임의 초기에 응력 집중이 되었으나 실제로는 적을것으로 추정된다. 왜냐하면 구속 조건 시 고정으로 인한 오차와 실제 와이어를 모델링시 연봉으로 하여 생기는 소성 변형 오차이기 때문이다. 따라서 본 하중에 전대기에는 충분한 구조임을 확인하였다.

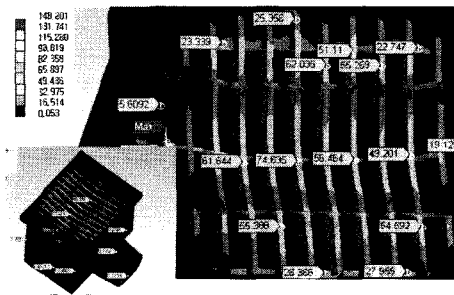


그림 5. 단식 그레이팅의 등가응력

다음으로 부품의 등가 변형률 결과가 그림 6에 나타나 있다. 여기에서 중앙 부위는  $3.7 * 10^{-4}$  으로 최대 변형률이 존재함을 알 수 있다. 외곽으로 가면 거의 변형이 없고 바디의 경우  $2 * 10^{-6}$  정도로 극히 미비하였다.

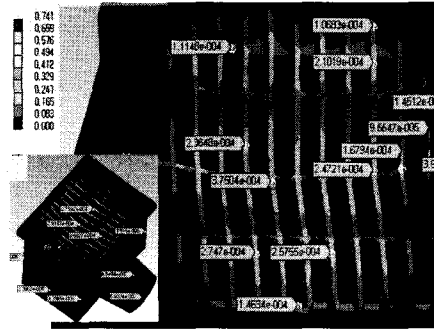


그림 6. 단식 그레이팅의 변형률

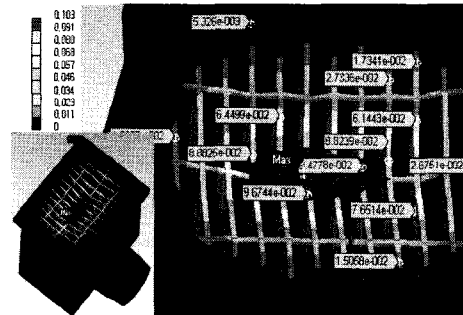


그림 7. 단식 그레이팅의 변형량

그림 7은 하중 작용시 변형량을 해석 한 결과이며, 여기에서 중앙 부위에서 가장 많은 변형량을 보여 최대 0.1mm 변형이 있는 것으로 나타났다. 해석의 경우 응력 집중에 의한 오차를 고려하면 그 값은 더 적어질 것으로 사료된다. 한편 개선품으로 바디를 개발하였으며, 내부 중간부위에 앵글(35\*36\*4)을 설치했을 경우와 없을 경우를 비교 해석하였다. 차량이 지나갈 때의 수직하중 외에 작용하는 토압에 대하여도 고려하였으며, 그 기준은 한국도로공사에서 규정한 도로설계요령(P432)을 근거로 계산하였다. 수직하중 20톤과 차량하중에 의한 축압이 0.01314 MPa 이 계산되었고 주변 토양에 의하여 받는 토압이 0.00245 MPa 으로 되어 총 0.01559 MPa 의 압력이 측면 및 바닥에서 받는 하중으로 추가 조건을 설정하였다. 응력 해석은 토압이 작용하는 것을 고려하여 전체 분석을 하였으며, 응력 표시는 등가응력으로 도시 하였다. 내부 지지앵글이 있는 경우 그림 8에 지지 앵글이 없는 경우 등가 응력 결과를 도시하였다. 앵글이 없는 최대응

력이 6.4 MPa 있으며 그림 9에서처럼 앵글을 설치할 경우 2.6 MPa로 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 바디의 배출구에서 앵글이 없는 2.0 MPa 이었으나 앵글을 설치할 경우 1.15MPa 로 줄었다. 전체적으로 6 MPa 이하로 토압이나 차량 지나갈 시 안전한 설계일 것으로 사료 된다.

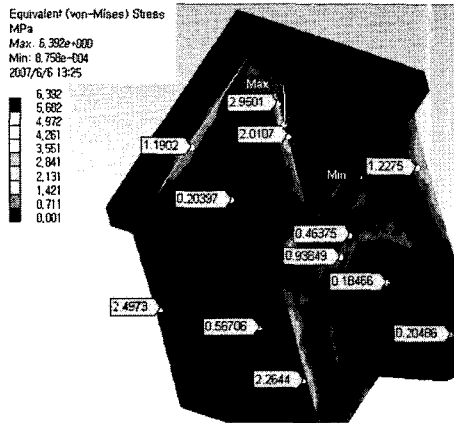


그림 8. 바디의 등가응력 (내부지지앵글 없는 경우)

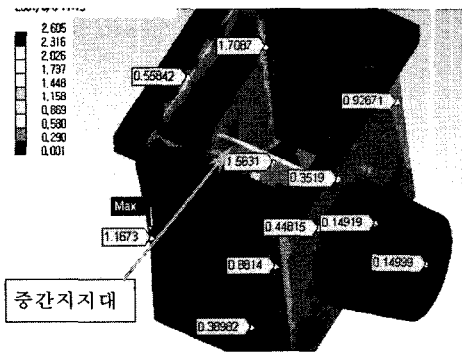


그림 9. 바디의 등가 응력 (내부지지앵글 있는 경우)

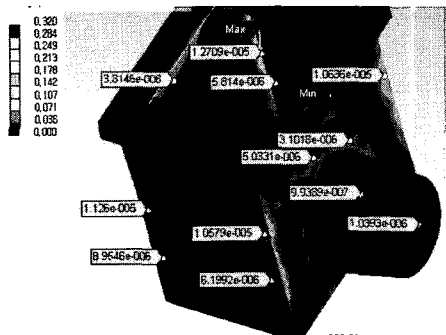


그림 10. 바디의 등가변형률 (내부지지앵글 없는 경우)

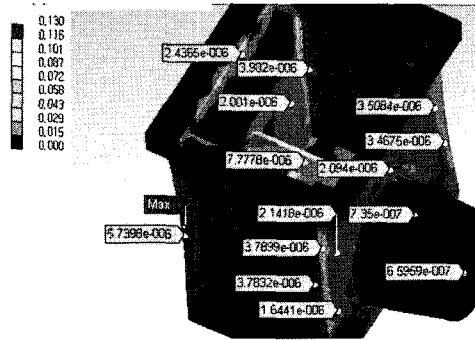


그림 11. 바디의 등가 변형률 (내부지지앵글이 있는 경우)

다음 그림 10과 그림 11는 변형률 해석의 결과로서, 앵글이 없는 최대 변형률이  $0.32 \times 10^{-4}$  이었으나 앵글을 설치할 경우  $0.13 \times 10^{-4}$  으로 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 바디의 배출구에서 앵글이 없는  $1 \times 10^{-6}$  이었으나 앵글을 설치할 경우  $0.66 \times 10^{-6}$  로 줄었다. 이 값은 두 모델 모두 거의 변형이 없는 상태로 안전한 설계로 사료된다.

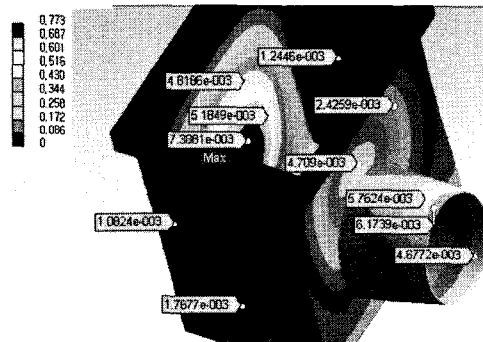


그림 12. 바디의 등가변형량 (내부지지앵글 없는 경우)

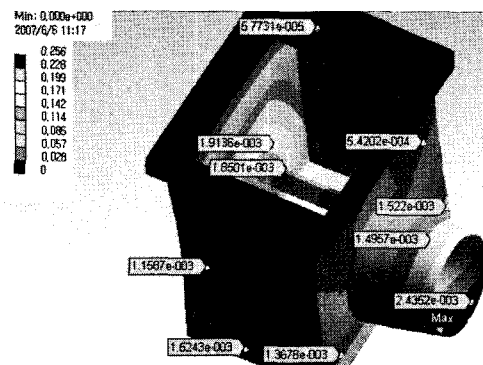


그림 13. 바디의 등가변형량 (내부지지앵글 있는 경우)

그림 12과 그림 13는 내부 앵글이 없는 경우와 있는 경우의 변형량 분포를 각각 도시한 것이다. 여기에서 앵글이 없는 최대 변형량은  $7.73 \times 10^{-3}$  mm 이었으나 앵글을 설치할 경우  $2.5 \times 10^{-3}$  mm 로 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 바디의 배출구 상부의 처짐량에 대하여 비교하면 앵글이 없는 처짐량은  $5.76 \times 10^{-3}$  mm 이었으나 앵글을 설치할 경우  $1.5 \times 10^{-3}$  mm 로 줄었다. 이 값은 두 모델 모두 안전한 설계로 중간 지지대가 없어도 가능할 것으로 사료된다.

#### IV. 복식 그레이팅 구조해석

복식 그레이팅 응력 해석은 조립되고 토압이 작용하는 것을 고려하여 전체 분석을 하였으며, 응력 표시는 등가응력으로 도시 하였다. 첫째로 개선 된 부품의 등가 응력 결과를 그림 14에 나타내었다. 여기에서 중앙 부위는 20에서 36 MPa까지 골고루 분포하였으며, 특히 중앙 부분에 응력이 커짐을 볼 수 있다. 따라서 본 하중에 견디기에는 충분한 구조임을 확인하였다. 그리고 단식보다 다소 적은 이유는 중앙의 이중 플레임이 바퀴의 최대 하중이 미치는 중앙에 위치하였기 때문이다.

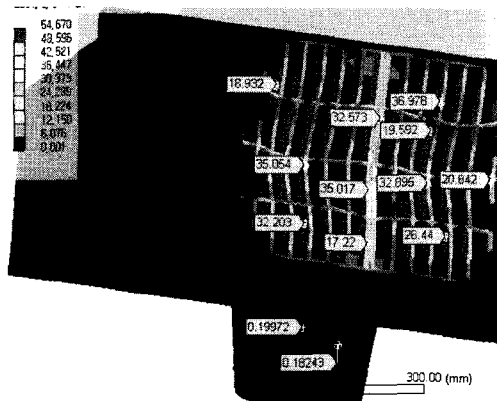


그림 14. 복식 조립시 등가응력

다음으로 부품의 등가 변형을 결과를 그림 15에 나타내었다. 여기에서 중앙 부위는  $2.7 \times 10^{-4}$  으로 최대 변형율이 존재함을 알 수 있다. 외곽으로 가면 거의 변형이 없고 바디의 경우  $1.7 \times 10^{-6}$  정도로 극히 미비하였다.

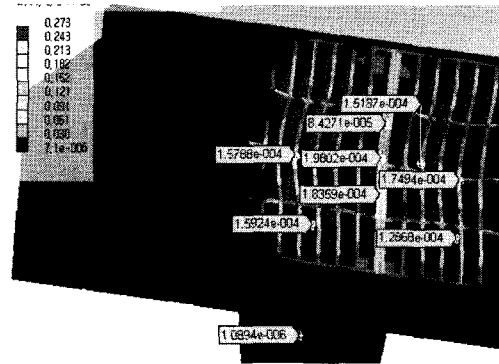


그림 15. 복식 조립시 등가변형률

그림 16는 하중 작용시 변형량에 대하여 해석 한 결과이며 여기에서 중앙 부위에서 가장 많은 변형량을 보여 최대 0.05mm 변형이 있는 것으로 나타났다. 해석의 경우 응력 집중에 의한 오차를 고려하면 그 값은 더 적어질 것으로 사료된다.

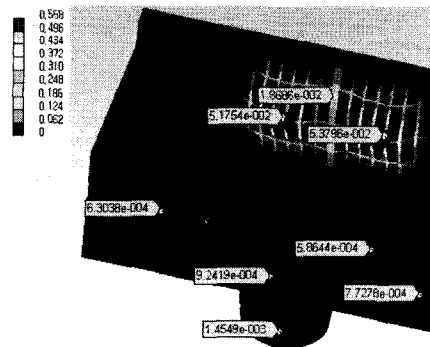


그림 16. 복식 조립시 변형량 분포

다음으로 복식 바디 해석에서는 개선품으로 복식 바디를 개발하여 긴 구간에 설치 가능토록 하였다. 차량이 지나갈 때의 수직하중 외에 작용하는 토압에 대하여 고려하였으며, 그 기준은 단식과 마찬가지로 한국도로공사에서 규정한 도로 설계 요령을 근거로 수직하중 20톤과 차량하중에 의한 축압이 0.01314 MPa 이 계산되었고 주변 토양에 의하여 받는 토압이 0.00245 MPa 으로 되어 총 0.01553 MPa 의 압력이 측면 및 바닥에서 받는 하중으로 추가 조건을 설정하였다. 응력 해석 결과 토압이 작용하는 것을 고려하면 그림 17에서 응력 표시는 등가응력으로 도시하였다. 최대응력은 1.1 MPa 이며 바디의 모서리와 중앙 평면에서 최대 응력이 발생하였다.

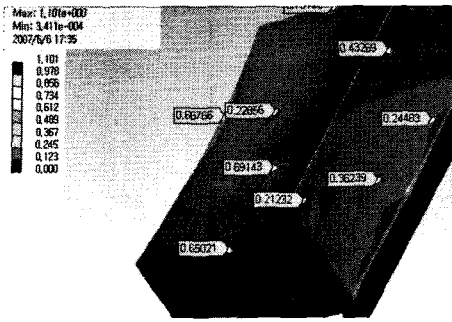


그림 17. 복식 바디의 응력

다음으로 변형을 해석 결과를 등가 변형율로 그림 18에 도시하였다. 최대 변형율이  $5.5 \times 10^{-6}$  을 확인하였다. 또한 바디의 배출구에서  $9.6 \times 10^{-7}$  으로 줄었다. 이 값은 변형이 없는 상태로 안전한 설계로 사료된다.

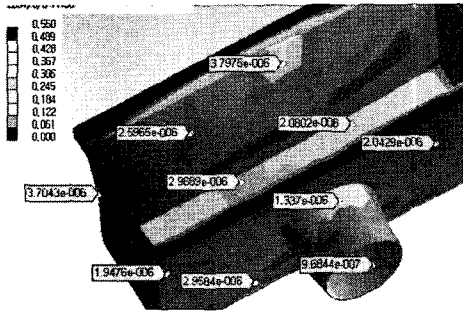


그림 18. 복식 바디의 변형율

제품의 처짐량에 따른 변형량에 대하여 해석한 결과를 그림 19에 도시하였다. 중앙에서의 처짐은  $2.39 \times 10^{-3}$  mm 으로 최대 값을 보이고 있다. 상기 해석을 통하여 본 제품에 대하여 토압 및 외부 차량이 지나갈 때 안전한 구조 설계가 되었음을 확인하였다.

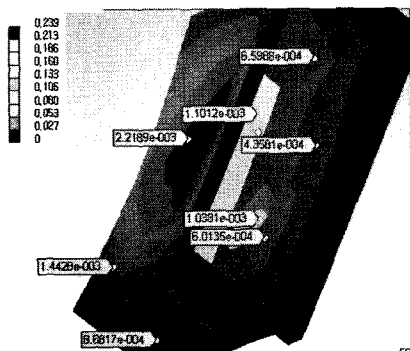


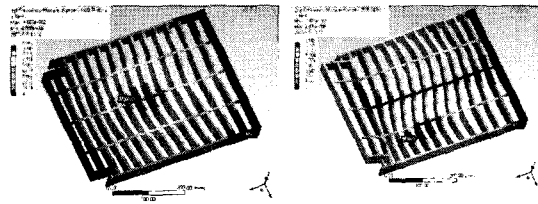
그림 19. 복식 바디의 변형량

## V. 진동 모드 해석

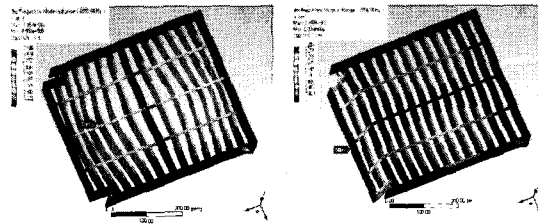
그레이팅 설계의 적정성을 확인하기 위하여 진동 모드 형상 해석을 수행 하였으며, 우선 그레이팅 진동 해석 결과 표 4과 같다. 1,699 Hz에서 1차 고유진동이 형성되어 있는 것이 확인하였고, 2차 모드에서는 2,538 Hz로 큰 변화가 없었으며, 고 차순 진동으로 큰 진동 변화는 없었다. 1차 고유진동모드에서 4차 모드에 대하여 해석한 형상을 그림 20에 각각 도시하였다. 상기 값에서처럼 안전성이 확보된 값을 보였다.

표 4. Natural Frequencies

Natural Frequencies	unit	Frequency
1차 Freq. Mode	Hz	1699.71
2차 Freq. Mode	Hz	2538.04
3차 Freq. Mode	Hz	2655.64
4차 Freq. Mode	Hz	2954.14



(a) 1차 Frequency Mode (b) 2차 Frequency Mode



(c) 3차 Frequency Mode (d) 4차 Frequency Mode

그림 20. 그레이팅의 진동 모드

다음으로 단식 바디 진동 해석 결과 표 5와 같다. 내부 앵글 미설치시 475.554 Hz에서 1차 고유진동이 형성되어 있는 것이 내부 앵글 설치시에는 167.106 Hz로 거의 진동수가 줄어드는 것을 확인하였으며, 2차 모드 이상에서

도 저 진동으로 분산되어 진동설계에서는 개선되었음을 볼 수 있다. 앵글 설치 전후에 대하여 1차 모드에서 4차 모드까지 해석한 형상을 그림 21에 각각 도시하였다.

표 5. Natural Frequencies

Natural Frequencies	unit	withAngle Frequency	without Angle Frequency
1차 Freq. Mode	Hz	167.106	475.554
2차 Freq. Mode	Hz	329.668	632.811
3차 Freq. Mode	Hz	358.149	732.255
4차 Freq. Mode	Hz	394.794	948.789

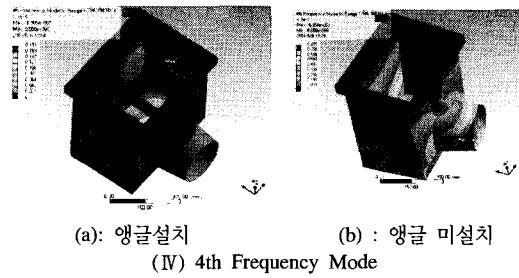


그림 21. 단식 바다 의 진동 모드

마지막으로 복식 바다 진동 형상 해석 결과 표 6과 같다. 110 Hz에서 1차 고유진동이 형성되어 있는 것이 확인하였고, 2차 모드에서는 120 Hz로 큰 변화가 없었으며 고 차순 진동으로 값도 큰 진동 변화는 없었다. 1차 모드에서 4차 모드에 대하여 해석한 형상을 그림 22에 각각 도시하였다.

표 6. Natural Frequencies

Natural Frequencies	unit	Frequency
1차 Freq. Mode	Hz	110.047
2차 Freq. Mode	Hz	120.071
3차 Freq. Mode	Hz	159.897
4차 Freq. Mode	Hz	220.556

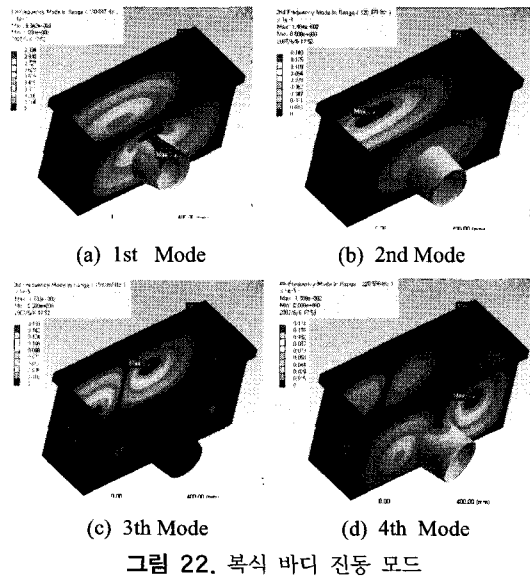
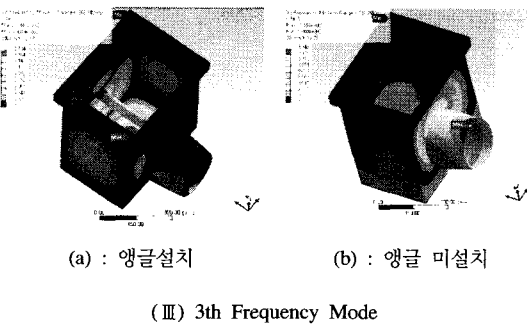
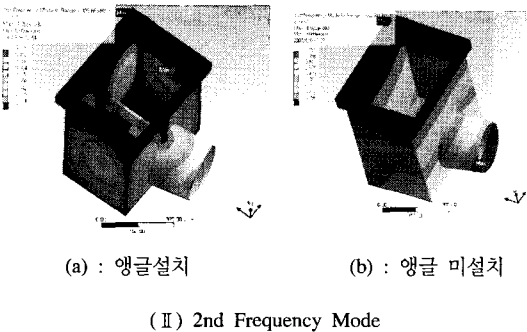
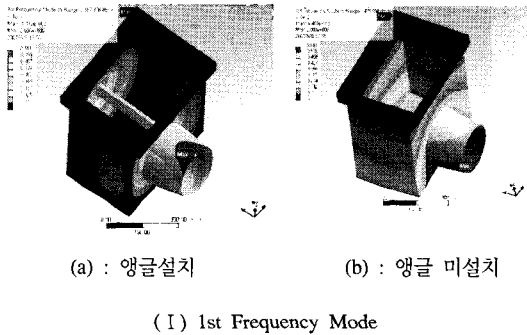


그림 22. 복식 바다 진동 모드

## V. 결론

본 논문은 오물이 맨홀에 그대로 떨어지는 것을 방지하기 위하여 그레이드 받침 통을 만들어 중간 수집을 하여 제거할 수 있는 구조로 개선하였으며, 설계 파라메타를 위하여 제품별로 해석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 개선된 제품에 대하여 차량이 지나가고 토압이 발생할 시 각 부위에 걸리는 응력 및 변형률을 구하였고, 설계 시 보강 부위를 확인 하였다.
2. 단식 그레이팅을 조립하여 응력 해석 하였을 경우 중앙 부위는 50에서 70 MPa까지 골고루 분포하였으며, 특히 중앙 부분이 응력이 커짐을 볼 수 있다. 이 경향은 변형율과 처짐량에서도 유사함을 보였다.
3. 단식에서 내부 중앙에 앵글이 없는 것과 앵글이 있는 것의 처짐량을 비교하면 여기에서 앵글이 없는 최대 변형량은  $7.73 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 이었으나 앵글을 설치할 경우  $2.5 \times 10^{-3} \text{ mm}$  로 줄어드는 것을 확인하였다.
4. 바디의 배출구 상부의 처짐량에 대하여 비교하면 앵글이 없는 처짐량은  $5.76 \times 10^{-3} \text{ mm}$  였으나 앵글을 설치할 경우  $1.5 \times 10^{-3} \text{ mm}$  로 줄어 개선되는 효과가 있었다. 그러나 이 값은 두 모델 모두 안전한 설계로 따라서 중간 지지대가 없어도 가능 할 것으로 사료된다. 이 경향은 응력해석 및 변형율 해석에서도 유사함을 보였다.
5. 진동 모드 형상 해석을 수행한 결과 그 결과 1차 모드에서 설계의 안전성을 확인하였다.

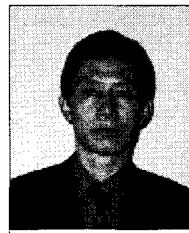
## 참고 문헌

- [1] 김기선, 이은종 "도로배 수용 그레이딩 구조의 개선에 관한 연구", 한국산학기술학회, pp531-538, 7권4호, 2006
- [2] 이석순, CATIA V3, 과학기술, pp55-102, 2006
- [3] ANSYS, Inc., Verification manual, pp141-192, 2001
- [4] ANSYS, Inc., Dynamics for ANSYS, pp50-62, 2005

- [5] Cyril M. Harris, "Resiliently of supported rigid 바디" "Shock Vibration, McGRAW-HALL, pp71-76, 1998
- [6] J.Djub, Limit State of the Plate Elements of Steel Structures, VEDA, pp233-242, 1978
- [7] H.O.Fuchs, Metal fatigue in engineering, JOHN WILEY & SONS, pp76-94, 2001
- [8] K.C.Rockey, The finite element method, Crosby Lockwood, pp77-94, 1996

### 김기선(Key-Sun Kim)

[중신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

- 1991년 8월 기계제작기술사

<관심분야>

지능형 재료응용 연구, 자동차부품 개발, 제조 전용기 개발

### 이은종(Eun-jong Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 단국대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 국민대학교 기계설계공학부(공학박사)
- 1988년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

생산공학, 정밀가공