

높이조절이 가능한 강재 맨홀뚜껑의 개발

박우철
강원대학교 기계설계공학과

The Development of Height Adjustable Steel Manhole cover

Woo-Cheul Park

Dept. of Mechanical Design Eng., Kangwon National University

요 약 주철 맨홀뚜껑은 제조과정에서 환경오염을 유발하며, 작업환경은 매우 열악하다. 또한, 맨홀 뚜껑의 높이와 도로 표면의 높이가 일치하지 않은 경우에는 많은 불편을 초래하며 안전에도 문제를 야기한다. 본 연구에서는 주철 맨홀뚜껑을 대체할 수 있고, 도로 노면 공사 시 도로 노면 높이와 맨홀 뚜껑의 높이를 동일하게 맞추기 용이한 높이 조절이 가능한 강재 맨홀 뚜껑 구조를 제안하였다. 요구되는 품질 성능을 만족시키기 위한 맨홀 뚜껑의 구조에 대한 설계변수를 파악하기 위하여 구조 해석을 수행하였다. 요구되는 내하중 용량을 만족하는 맨홀뚜껑을 제작하기 위하여 U자 모양의 보강대에 대하여 최적 설계를 수행하였다. 높이조절부의 원통과 하부 프레임 원통은 강판을 굽힘 가공하여 원형의 형상으로 만든 후 용접에 의하여 제작하였다. 또한, 보강대도 강판을 굽힘 가공하여 제작하였다. 높이 조절용 홈은 CNC 밀링머신에 의하여 가공하였다. 4차례의 시제품을 제작하여 내하중 실험을 수행하였으며, 시험의 결과를 반영하여 새로이 제작하였다. 내하중 시험에서 용접부의 파손은 발생하지 않았으며, 주로 변형은 높이조절 홈과 가셋트 판이 접촉하는 부위에서 발생하였다. 450kN의 부하 하중에 의해 1~2.7mm의 변형이 발생하지만, 하중을 제거한 후에 거의 잔류변형이 없으며, 맨홀뚜껑의 분해 및 재조립이 가능하기 때문에 내하중 평가도 만족하는 것으로 판정받았다.

Abstract Cast iron manhole lids cause environmental pollution during the manufacturing process, and the work environment is very poor. In addition, if the height of the manhole cover does not match the height of the road surface, it causes considerable inconvenience and safety problems. This study proposes a height - adjustable steel manhole cover that can replace cast iron manhole covers and easily match the road surface with the upper surface of the manhole cover. Structural analysis was performed to grasp the design variable of the structure of the manhole cover, satisfying the required quality performance. To fabricate a manhole cover that satisfies the required load capacity, the optimal design for the U-shaped reinforcement structure was made. The cylindrical shape of the height adjustment part and the low frame were formed by bending the steel sheet into a circular shape and then welding. Reinforcing bars were also made by bending a steel plate. The height adjustment groove was machined by a CNC milling machine. Four prototypes were fabricated and a load bearing test was carried out, and new manhole cover was made reflecting results of the test. In the load bearing test, there was no breakage of the welded part, and deformation occurred mainly at the contact area between the groove and gusset plate. Deformation of 1 to 2.7mm occurred due to a load of 450kN. On the other hand, after removing the load, there was almost no residual deformation, and the load bearing evaluation was judged to be satisfactory because the manhole cover could be disassembled and reassembled.

Keywords : Height adjustable frame, Load bearing, Reinforcement bar, Steel Man hole cover, Structural analysis

*Corresponding Author : Woo-Cheul Park(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-570-6392 email: wchpark@kangwon.ac.kr

Received April 2, 2018

Accepted June 1, 2018

Revised (1st May 2, 2018, 2nd May 14, 2018)

Published June 30, 2018

1. 서론

삶의 질이 높아지고 사회 소통에 대한 요구사항이 많아짐에 따라, 각종 전력 공급 및 정보 통신 케이블, 교통 신호 및 도심 가로등 전력공급 선로 등이 지하에 매설됨에 따라 이를 관리하기 위한 맨홀의 수도 증가하고 있다. 또한, 지구 온난화에 따른 집중 호우 등에 의한 영향으로 하수관거와 직접적으로 연결되는 노면 배수시설 중의 하나인 맨홀에 대한 관심도가 높아지고 있다. 통행하는 차량의 하중도 충분히 지탱하는 기능도 중요하지만, 수시로 개폐되는 특성상 개방가능도 용이해야 한다[1].

현재 도로에 설치되는 원형의 맨홀 뚜껑은 주로 주철제품으로 만들어져 있다. 주철제품의 제조과정에서 발생하는 폐주물사 및 기타 잉여물은 폐기물 처리대상이며, 제조 과정의 분진이나 용해로로 인해 작업환경은 매우 열악하다. 주철로 만들어진 제품은 설치 장소 및 용도에 따른 요구 성능에 부합되기 위해서는 중량이 무거워져 취급하기 불편하고, 이에 따라 물류비가 많이 소요된다. 또한, 이러한 맨홀 뚜껑의 무게로 인하여 맨홀 뚜껑의 신규 설치 및 도로 보수 공사 시 다수의 인원이나 별도의 장비가 요구된다. 또한, 지하 매설 시설이나 하수관거의 내부를 점검하거나 수리하기 위하여 진입을 시도하는 경우, 맨홀 뚜껑 상판의 무게로 인하여 1인이 개폐하기는 어려운 문제가 있다[2].

일반적으로 도로는 교통하중, 기후 변화, 노화 현상 등으로 인하여 도로 표면의 상태가 균일하지 않게 되며, 주기적인 덧씌우기 공사를 통하여 이를 보완한다. 덧씌우기 공사를 시행하면 도로의 높이가 변하게 되며, 맨홀 뚜껑의 높이와 도로 표면의 높이가 일치하지 않은 경우에는 차량 운행의 불편함과 안전문제 등 많은 불편을 초래하며, 이를 해소하기 위하여 매년 많은 국가 예산이 소요되고 있다[3].

본 연구에서는 도로 노면과 맨홀 뚜껑의 높이를 용이하게 일치시킬 수 있으며, 친환경적인 강재를 사용하는 높이조절형 맨홀 뚜껑을 제안하였으며, 맨홀 뚜껑의 설계변수에 대한 최적설계 및 구조해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 시제품을 제작하고 내하중 시험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 높이조절형 맨홀 뚜껑의 설계

2.1.1 높이조절형 맨홀 뚜껑의 구조

본 연구에서 제안된 맨홀 뚜껑은 냉간압연 강판을 이용하여 제작하는 것을 목표로 하였으며, 그 구성은 Fig. 1과 같다.

제안한 높이조절형 맨홀 뚜껑은 크게 맨홀 커버부, 높이조절부, 하부 플렌지로 구성되어 있다. 높이 조절부는 맨홀 뚜껑의 높이조절 기능을 하는 끼워맞춤용 홈이 파여져 있는 원통형 구조로 되어 있다. 또한, 그림에 나타난 바와 같이 도로면과 일치하는 부분에는 지면과의 접촉 면적 증대와 도로자재와의 결합력 증대를 위하여 날개부를 갖는 것을 특징으로 하고 있다. 하부 플렌지는 맨홀의 콘크리트부와 직접적인 접촉이 이루어지는 구성품이며, 높이조절부의 끼워맞춤용 홈에 끼워지는 가셋트판(gusset plate)이 붙어 있는 하부 플렌지로 구성되어 있다.

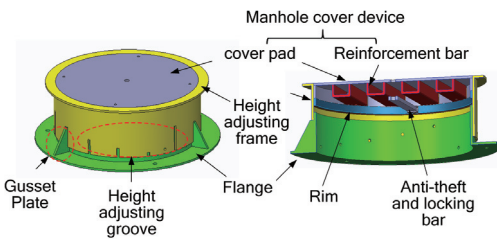


Fig. 1. The configuration of the height adjustable steel manhole cover

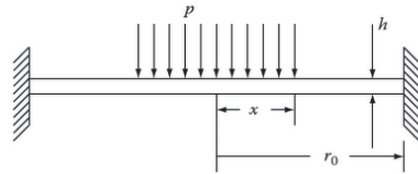


Fig. 2. A uniformly distributed load is applied to the center of a disk with a fixed end.

맨홀 뚜껑 상부에 하중이 작용하는 경우를 개략적으로 나타내면 Fig. 2와 같이 양단 고정 원판에 균일분포 하중이 작용하는 경우와 유사하게 고려할 수 있으며, 이에 대한 최대 굽힘 응력과 최대 처짐량은 다음의 계산식에 의해 구할 수 있다[4].

$$\sigma_{\max} = \frac{px^2}{h^2} \left[1.95 \ln \left(\frac{r_0}{x} \right) + 0.488 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2 \right], \quad (1)$$

$(x < 0.58r_0)$

$$y_{\max} = \frac{px^2}{Eh^3} \left[0.683r_0^2 - 0.683x^2 \ln\left(\frac{r_0}{x}\right) - 0.512x^2 \right] \quad (2)$$

여기서 E 는 재료의 탄성계수, p 는 균일분포하중, h 는 강관의 두께, r_0 는 원관의 반경이다.

위 식의 각각의 변수들은 KS D 6021의 규격 치수 중에서 $\phi 648\text{mm}$ 을 기준으로 하였으며, 맨홀 뚜껑의 소재는 일반 구조용강으로 많이 적용되는 SS400을 기준으로 하였다. 위의 규정에서 정의한 재하판 면적($500 \times 200\text{mm}$)과 동일한 크기의 원형 면적에 KS D 6021의 시험하중인 400kN 의 하중이 작용하는 것으로 고려하였다[5]. Table 1의 변수들을 식(1)과 식(2)에 각각 대입하여 계산하면 최대 응력은 고정 부위에서 $2,061\text{MPa}$ 로 나타나고, 최대 처짐은 중앙부에서 37mm 로 나타난다. 강재의 항복응력을 넘어서는 응력값이 나타나므로, 소성변형이 발생할 것으로 판단된다.

Table 1. Parameter for approximate calculation

Parameters	Value	Unit
E	2×10^{11}	Pa
x	178.45	mm
h	9	mm
r_0	324	mm
p	4,000	kPa

2.2.2 구조 해석 및 결과

본 연구에서는 Creo를 이용하여 맨홀 뚜껑의 구성품을 모델링한 후, ANSYS workbench와 Creo simulation을 사용하여 구조해석을 수행하였다[6,7]. 맨홀뚜껑은 모두 SS400로 제작되는 것으로 하였다. 해석에 사용된 SS400의 물성치는 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of SS400

Properties	Value	Unit
Density	7850	kg/m^3
Young's modulus	200	GPa
Poisson's Ratio	0.26	
Tensile Yield Strength	250	MPa
Tensile Ultimate Strength	400	MPa

구조물에 하중을 부여하기 위한 뚜껑 상부의 재하판은 맨홀 뚜껑 규격의 재하판의 면적과 동일하게 하였으며, 부하 하중은 재하판의 상부 표면에 400kN 이 작용하는 것으로 하였다.

Fig. 3은 위의 근사식의 조건과 동일한 조건하에서 ANSYS workbench와 Creo의 계산결과를 나타낸 것이다. ANSYS workbench를 이용한 한 해석결과, 최대응력의 크기는 $2,014\text{MPa}$ 로 나타나며, 또한, 최대 처짐은 원형 강관의 가운데 부분에서 38.1mm 로 나타난다. Creo를 활용한 해석결과, ANSYS workbench와 유사한 경향을 나타내고 있으나 최대응력의 크기는 $2,114\text{MPa}$ 로 나타났다. 두 소프트웨어의 결과와 근사식의 결과를 비교해 본 결과 차이가 거의 나타나지 않았다. 따라서 본 연구에서는 모델링 및 설계변수 변경이 용이한 3D CAD 소프트웨어인 Creo를 사용하여 구조해석 및 최적설계를 수행하였다.

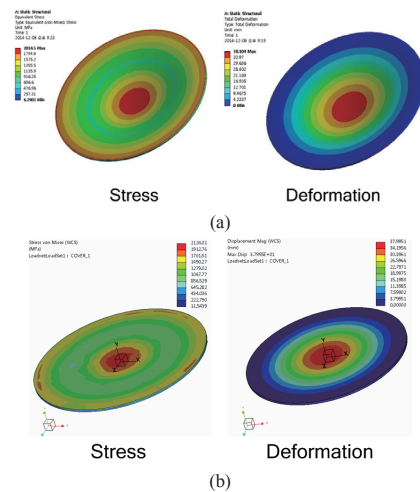


Fig. 3. Comparison of calculation results of ANSYS workbench and Creo. (a)ANSYS Workbench (b) Creo Simulation

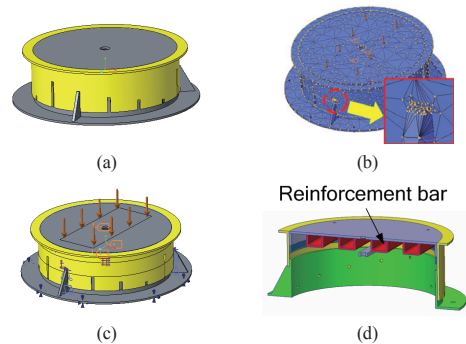


Fig. 4. Structural Analysis models of the height adjustable manhole cover. (a)Analysis model, (b)Mesh, (c)Load condition, (d)Reinforcement bar

Fig. 4는 Creo Simulation을 사용하여 구조해석에 사용된 해석모델을 나타낸 것이다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 최대 응력과 변위가 소성한계를 넘어가기 때문에 이를 방지하기 위하여 Fig. 4(d)와 같이 보강대를 설치하였다. 해석의 정확도를 높이기 위해 Fig. 4(b)와 같이 높이조절용 홈과 가셋트 판의 접촉면의 최대 요소 크기를 3mm로 제한하였다.

강재 맨홀뚜껑의 설계변수 선택에는 많은 제약이 따른다. 높이조절부 원통 두께는 상용 강판을 활용하여야만 하는 제약조건으로 9mm 혹은 12mm 중에서 선택하여야 하며, 가셋트 판의 설치 개수도 맨홀 뚜껑의 분해/조립의 용이함과 높이조절 홈 간격의 이유로 제한을 받는다. 또한, 보강 채널의 크기도 굽힘 가공기의 작업 공간의 제약과 용접작업 공간의 문제로 자유로이 선택할 수 없다.

각 설계변수들에 대한 민감도 해석의 결과 상판의 두께 및 원통의 두께, 림의 두께, 보강채널의 크기, 높이조절부 원통의 두께가 주요 변수임을 확인하였다.

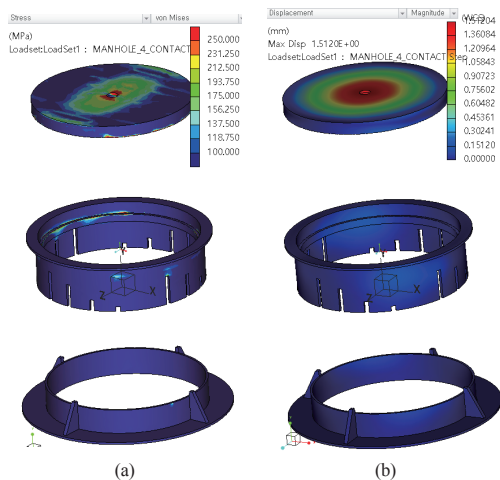


Fig. 5. Analysis results of manhole cover. (a)Stress distribution (b)Deformation distribution

Fig. 5는 가셋트 판 두께 18mm, 높이조절부 원통 두께 12mm, 채널 높이 50mm, 채널 폭 85mm, 림의 두께 12mm의 주요치수를 갖는 맨홀 뚜껑의 해석결과를 도시한 것이다. 해석의 정확도를 위하여 구성품들 사이의 접촉부위는 결합조건으로 접촉(contact)을 부여하였다. 접촉면상의 마찰계수는 강재 대 강재의 미끄럼상태의 값을 사용하여 정적 마찰계수는 0.74, 동적 마찰계수를 0.57

로 하였다. 맨홀 뚜껑의 많은 부위에서 대체적으로 100MPa 이하의 응력분포를 나타내고 있으나, 보강대가 설치된 상판부 및 림에 항복응력을 초과하는 응력이 나타나고 있다. 상판중앙부에 1,027MPa의 최대응력이 발생하고 있다. SS400의 소성한계인 400MPa 이상의 분포를 나타내는 부분은 매우 국소적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 상판 중앙부에서 최대 1.5mm의 변위가 발생되며, 나머지 부분에서는 거의 변형이 나타나지 않고 있다. 보강대를 적용함으로써 상판에 작용하는 하중의 분산에 효과가 있음을 확인하였으며, 맨홀 뚜껑에 작용하는 하중에 의한 응력은 대부분 상판의 보강대와 림과의 접촉부에서 발생됨을 확인하였다.

구조해석을 수행한 결과에 의해 결정된 강재 맨홀 뚜껑의 주요 치수는 Fig. 6과 같다.

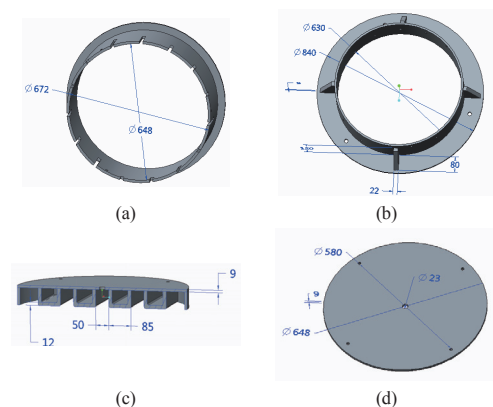


Fig. 6. Dimensions of major parts (a)height adjust diameter (b)gusset plate (c) Reinforcement bar (d) cover pad

2.2 제작 및 성능 평가

높이조절부의 원통 및 하부 프레임의 내부 링은 강판을 굽힘 가공하여 원형의 형상으로 만든 후 용접에 의하여 제작하였으며, 보강대도 강판을 굽힘 가공하여 제작하였다. 높이 조절용 홈은 파이프 형상으로 제작된 원통을 CNC 밀링머신에 의하여 가공하였다.

제안한 맨홀 뚜껑의 성능을 평가하기 위한 주요 항목은 Table 3과 같으며, 내하중성을 평가하기 위한 시험하중은 SPS-KFCAM201-1639의 시험하중인 450kN으로 하였다[8]. 시제품을 제작하여 내하중 실험을 수행한 후, 시험의 결과를 반영하여 새로운 맨홀뚜껑을 제작하였으며, 4차례의 내하중 시험에서 용접부의 파손은 발생하지

않았다. 주로 육안으로 확인할 수 있는 변형은 Fig. 7과 같이 높이조절 홈과 가셋트 판과의 접촉하는 부위이다. 가셋트 판의 수와 두께를 달리하여 문제를 해결하였다.

Table 3. Evaluation items

Evaluation items	Desired value	Actual Value	Unit
Load bearing capacity	450	450	kN
Minimum height	110	110	mm
Height Adjusting range	100	100	mm
Weight of Manhole	over 200	303.9	kg
Diameter	$\phi 648 \pm 2$	$\phi 646.5$	mm
Yield stress	245	366	N/mm ²

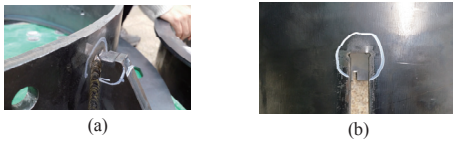


Fig. 7. Deformation areas by the load test. (a)Gusset plate, (b)Height adjusting groove

내하중 시험을 위하여 Fig. 8과 같이 실험 장치를 구성하였다. 부하되는 하중에 의한 맨홀 뚜껑의 변형을 기록하기 위하여 변위센서를 사용하여 기록하였다. 부하되는 하중에 의한 맨홀 뚜껑의 변형을 관찰하기 위하여 높이조절부와 하부 프레임 사이의 앞쪽과 뒤쪽에 각각 1개, 상판 위쪽 가운데 부분에 1개의 변위센서를 설치하였다. 변위 센서와 만능재료시험기(UH-100A, Shimadzu)로부터의 신호는 데이터 로거(GL220- UM1, GRAPHTEC)를 사용하여 수집하였으며, 수집된 신호는 노트북에 저장되도록 하였다.

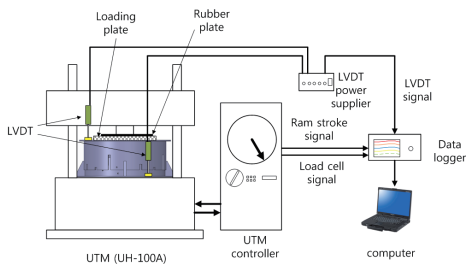


Fig. 8. The schematic diagram for the test of the load bearing property.

Fig. 9는 내하중 시험을 수행하기 위하여 UTM에 맨홀 뚜껑 및 변위 센서가 설치된 것을 나타낸 사진이다.

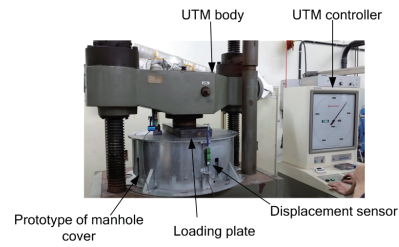


Fig. 9. Photo of the test of load bearing

Fig. 10은 가셋트 판의 수 4개, 두께는 22mm, 그리고 보강 채널 두께 12mm, 폭 85mm로 제작된 맨홀 뚜껑에 대한 정하중 시험 결과를 나타낸 것이다. 맨홀 뚜껑 앞쪽의 최대 변형량은 2.7mm이고, 뒤쪽에서 측정된 변형량은 최대 1.9mm이다. 상판 가운데 부분에서 측정된 변형량의 최대값은 약 1mm이며, 중앙부에서는 하중을 제거하여도 약 1mm 이하의 잔류변형을 나타내고 있다. 다른 부위와 다르게 중앙부에서만 변형이 발생된 원인은 수작업 용접에 의한 정밀도 불량과 센서 고정부 미흡 등이 있을 것으로 판단된다. 정확한 원인을 규명하기 위한 추가적인 실험이 있어야 할 것으로 판단된다. 그러나 파손이 발생하지 않았고, 하중제거 후에 대부분 잔류 변형이 존재하지 않는 상태로 나타나고 있다. 맨홀 뚜껑에 관한 규격의 내하중 평가 기준인 육안관찰에 의한 형태 유지 조건을 만족하기 때문에 내하중성을 충족하는 것으로 판정받았다.

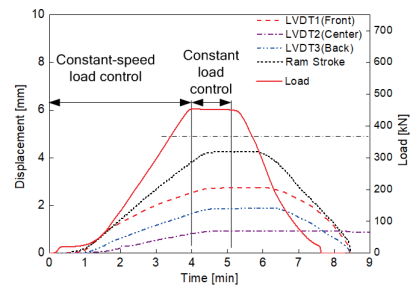


Fig. 10. Deformation vs. Load

Fig. 11은 Table 3의 맨홀 뚜껑 평가항목 중 외형부에 관하여 측정결과를 나타낸 것이다. Fig.11(a)는 직경을 측정된 것이며, Fig.11(b)와 (c)는 높이조절범위를 확인하기 위하여 최대 홈 깊이와 최소 홈 깊이를 측정한 것이다. 최종 제품의 평가항목에 대한 인증시험은 국제공인시험인증기관인 한국화학융합시험연구원의 입회하여 실시하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

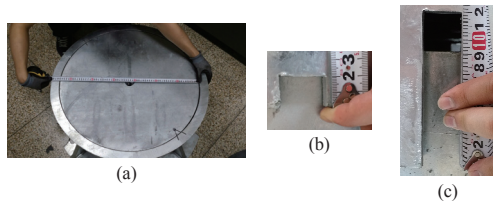


Fig. 11. Measurement of main dimensions.(a)diameter (648mm), (b)minimum depth(20mm), (c)maximum depth (120mm)

3. 결론

본 연구에서는 도로의 노면과 맨홀 뚜껑의 높이를 용이하게 일치시킬 수 있으며, 친환경적인 강재를 사용하는 높이조절형 맨홀 뚜껑을 개발하였으며, 결론은 다음과 같다.

- (1) 맨홀 커버부, 높이조절부, 하부 플렌지로 구성되어 있으며, 높이 조절부에 있는 4개의 높이 조절용 홈과 하부 플렌지의 가셋트 판과의 끼워 맞춤에 의해 높이조절이 가능하도록 제안하였다.
- (2) 호칭 직경 648mm를 기준으로 하여 강재 맨홀뚜껑을 모델링한 후 **contact**의 결합조건을 부여하여 비선형 구조해석을 수행하였다. 보강대가 상부의 변형을 억제하고, 가셋트 판과 높이조절 홈의 접촉부위에서 소성한계를 넘은 응력이 발생함을 확인하였다.
- (3) 시제품을 제작하여 내하중 실험을 수행한 후, 결과를 반영하여 새로이 제작된 제품에 대하여 내하중 시험을 수행하였다. 높이조절 홈과 가셋트 판과의 접촉하는 부위의 변형 문제는 가셋트 판 개수 4개, 두께를 22mm로 변경하여 해결하였다.
- (4) 제품의 평가항목에 대한 인증시험은 한국화학융합시험연구원의 입회하에 실시하였다. 모든 항목을 만족하였으며, 하중을 제거한 후에 거의 잔류변형이 없으며, 맨홀뚜껑의 분해 및 재조립이 가능하여 내하중 평가도 만족하는 것으로 판정받았다.

References

- [1] Ch. H. Kim and J. H. Park, 2004, "A Study on Development of a Manhole with Height Adjustment,"

Proceedings of the KSME Spring Conference, pp. 710-715. May, 2004.

- [2] H. K. Kim, Y. S. Yang and K. Y. Bae, "Analysis of Strengthening Structures of Steel Manhole Cover," *Journal of Welding and Joining*, vol. 32, no. 2, pp. 54-62. 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2014.32.2.54>
- [3] J. H. Seo, H. J. Yang and K. Kim, "The Research on Environmental-Friendly Manhole Repair and Construction Technology," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, vol. 21, no. 5, pp. 836-841. 2012.
DOI: <https://doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.5.836>
- [4] R. Huston and H. Josephs. "Practical Stress Analysis in Engineering Design, Third Edition", CRC Press, 2008.
- [5] KS D 6021: Manhole covers and frames, 2003.
- [6] TSNE Co. LTD, "Selected Problems for ANSYS Users", TSNE Co. LTD, pp. 191-252, 2013.
- [7] Randy H. Shin, Introduction to Finite Element Analysis Using Creo Simulate 1.0, pp. 10-2-10-28, SDC publications, 2011.
- [8] KFCa, "Cast Iron-Cast steel Manhole covers and frames : SPS-KFCAM201-1639", Korean Standards Association, 2014.

박 우 철(Woo-Cheul Park)

[종신회원]



- 1987년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1989년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1997년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

지능형 구조물 및 시스템, 진동 및 소음, 친환경기계설비