

3D 프린팅과 구조해석을 이용한 맨홀의 부양장치 설계 및 제작

이형욱
한국교통대학교 자동차공학과

Design and Prototyping of Lifting Devices for Manhole Cover using Structural Analysis and 3D Printing

Hyoungwook Lee

Department of Automotive Engineering, Korea National University of Transportation

요약 본 노면에 설치되어있는 맨홀의 지속적인 관리를 위해서는 맨홀의 개폐가 쉬워야 한다. 가혹한 조건하에 있는 맨홀은 틀과 커버가 고착되어 개폐가 어렵기 때문에 맨홀을 열 때 부양이 가능한 맨홀이 요구된다. 본 연구에서는 잠금식 맨홀을 부양식 맨홀로 개선하기 위한 부양 기구의 설계를 진행하였다. 잠금식 맨홀의 기구는 중앙에 위치한 볼트를 돌리면 볼트와 연결된 허브가 하강하고, 허브와 연결되어 있는 후크를 회전시키게 된다. 후크의 끝단이 맨홀 틀에 걸리도록 되어있다. 본 연구에서는 맨홀의 부양이 가능하도록 후크에 보조장치를 설치하도록 하였다. 부양 기능을 수행할 후크의 항복응력의 70%를 기준으로 약 300kg의 부양력을 지지할 수 있도록 구조를 설계하였다. 유한요소법을 이용한 구조해석을 통하여 형상 설계를 수행하였다. 우선 단순화된 2차원 모델로 1차 기초설계를 수행하고, 3차원 모델을 통하여 부착위치와 형상을 설계하였다. 설계된 형상에 대하여 구조적 문제점을 찾아보기 위하여 3D 프린팅을 통하여 축소 모델을 출력하였고, 기능이 작동함을 확인하였다. 최종적으로 가공을 통하여 부양 기구를 제작하여 기존의 잠금식 맨홀에 적용한 결과 평균 6.1 mm 정도의 부양이 가능함을 확인하였다.

Abstract In order to maintain manholes installed on the road, the manhole should be easy to open and close. Manhole covers under harsh conditions require that they can be lifted when attempting to open the manhole because the frame and cover are stuck and difficult to open and close. In this study, the design of a lifting mechanism was carried out to improve and integrate the locking type manhole. The mechanism of the locking manhole is that when the bolt located at the center is turned, the hub connected with the bolt descends, and the hook connected to the hub is rotated. The end of the hook is hooked to the manhole frame. The auxiliary device was installed on the hook so that the manhole cover can be lifted. The structure was designed to endure about 300kg of lifting force based on 70% of the yield stress of the hook to perform lifting function. The shape design was performed through the structural analysis using the finite element method. First, the basic design was performed with the simplified 2-dimensional model and the attachment position and shape were designed through the 3-dimensional model. In order to find out the structural problems of the designed shape, the scale downed model was fabricated through 3D printing and confirmed that the lifting function worked. Finally, it was confirmed that both the locking and the average lifting of about 6.1 mm can be done by applying the lifting mechanism through the machining and applying it to the existing locking manhole.

Keywords : Manhole, Lifting Device, Finite Element Analysis, 3D Printing, Locking Type

본 논문은 2017년 한국교통대학교 국립대학혁신지원사업으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Hyoungwook Lee(Korea National University of Transportation)

Tel: +82-43-841-5284 email: hwlee@ut.ac.kr

Received July 24, 2018

Revised (1st August 16, 2018, 2nd September 3, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

1. 서론

맨홀(manhole)은 지하에 매설된 관로, 배선 등 다양한 설치물을 수리하거나 관리하기 위하여 사람들이 출입할 수 있도록 노면에 설치되어있는 출입구로, 사각형의 전기통신 맨홀과 일반적인 형태의 원형 맨홀이 가장 많다. 요즘 우수, 오수, 하수뿐만 아니라 선로 등 여러 가지 설치물이 지하에 매설되는 경우가 많아 설치가 늘어나고 있다[1]. 한국상하수도협회의 2015년 하수도통계를 보면 하수관로에서 2015년 기준 전국의 맨홀은 2백5십만 개소가 넘는다. 이러한 많은 수의 맨홀은 사용 환경에 따른 커버 이탈, 역류에 의한 커버 이탈 등 여러 가지 안전 사고의 발생도 증가되었다.

지속적인 관리를 위해서는 주기적으로 맨홀을 개폐해야하는데 노면에 설치된 맨홀커버는 환경적으로 아주 열악한 상황에 놓이게 된다. 도로의 보수 공사에 따른 아스콘 등 건설물의 부착, 부식, 고착 등은 맨홀 커버의 개폐를 어렵게 하는 요인이다. 최근 맨홀의 개발 방향은 주로 이탈이나 도난 방지차원의 잠금 형태와 쉽게 개폐할 수 있도록 하는 부양 장치, 밀폐장치 등으로 볼 수 있는데, 본 연구에서는 부양 장치에 중점을 두었다. 맨홀에 대한 연구[1-4]는 맨홀의 보수 시공 관점에서 건설 및 토목분야에서의 연구와 기계적 측면, 소재적 측면에서 많이 연구되고 있다. 특히 박우철[4]은 구조해석과 최적설계를 이용하여 높이조절형 맨홀 뚜껑을 개발하였다. 맨홀은 생산에 대한 단체표준의 인증을 통하여 제품을 생산하고 판매하기 때문에 개별 회사에서 주로 특허 관점에서 많이 접근하고 있다.

본 연구에서는 맨홀 제작회사인 S사의 만능식 잠금형 맨홀[5]을 기준으로 부양이 가능한 부양 장치를 유한요소법을 이용하여 설계하고, 3D 프린팅을 이용하여 축소모형을 제작한 후 부양기능의 작동을 확인하였다. 기존의 제품은 잠금만이 가능한 제품으로 부양기능이 없는 제품이다. 전체적인 구조를 변경하여 부양식 제품을 개발할 경우는 맨홀 커버, 맨홀 틀의 금형설계, 생산방식의 변경이 필요하기 때문에 비용이 많이 증가하게 된다. 본 연구에서는 잠금에 사용되는 볼트와 후크 구조를 부양기능에서도 사용할 수 있도록 개선하고자 한다. 부양기능에서도 구조적인 안전성이 필요하기 때문에 유한요소법을 사용하여 설계하였다. 대상이 된 만능식 잠금형 맨홀의 구조적 장치를 포함한 3차원 도면은 Fig. 1과 같다.

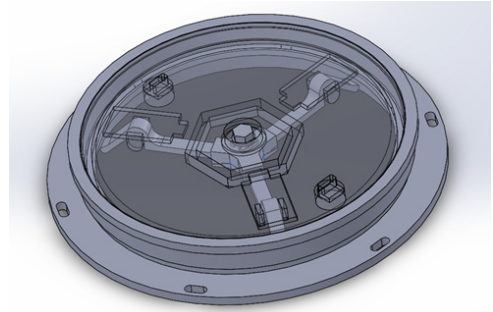


Fig. 1. Universal locking-type manhole

2. 본론

2.1 설계조건

Fig. 2에 잠금형 맨홀의 단면을 잠금 상태와 열림 상태로 도시하였다. (a)는 열림 상태로 맨홀 틀에 맨홀커버가 올려진 상태이며 (b)는 잠금 상태로 중앙부의 볼트의 잠금에 의하여 후크가 회전하고 후크의 끝단이 맨홀 틀에 걸리게 된다.

잠금형 맨홀은 Fig. 3과 같이 맨홀 커버와 맨홀 틀을 제외하면 크게 6개의 부품으로 구성된다. 볼트는 맨홀커버의 중앙부에 위치하고 내측에 핀 하우징이 있어 제자리에서 회전만 가능하도록 되어있다. 볼트에 체결되는 허브와 허브 베이스는 볼트의 회전에 따라 상하로 움직이게 되며 허브에 후크가 총 3개로 120도의 각도로 위치해 있다. 허브의 상하 움직임은 허브의 직선부를 상하로 움직이게 하고, 맨홀 커버에 있는 회전 고리를 중심으로 후크가 회전하게 된다. 후크의 끝단은 맨홀 틀의 하단부에 걸리게 되어 잠금 기능이 작동한다.

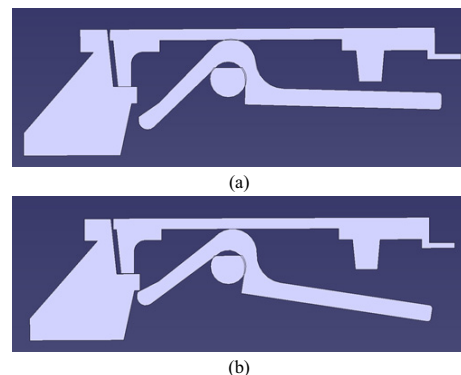


Fig. 2. Sectional view of the universal locking-type manhole (a) open (b) locking

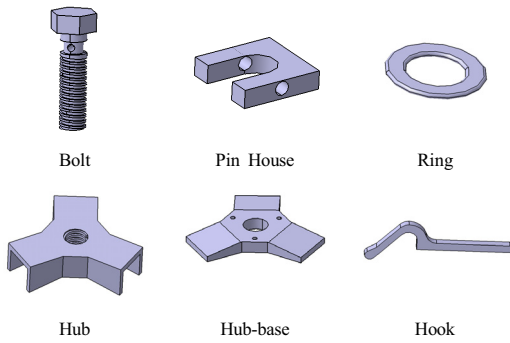


Fig. 3. Components of locking-type manhole

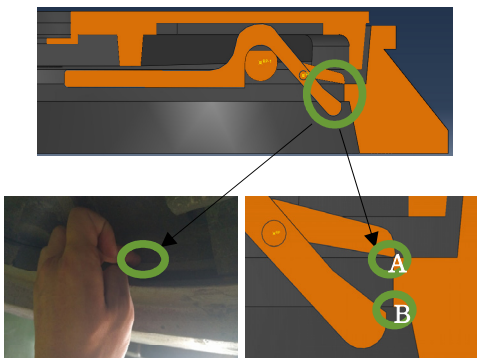


Fig. 4. Clearance checking of hook and lifting device using 3D CAD Model

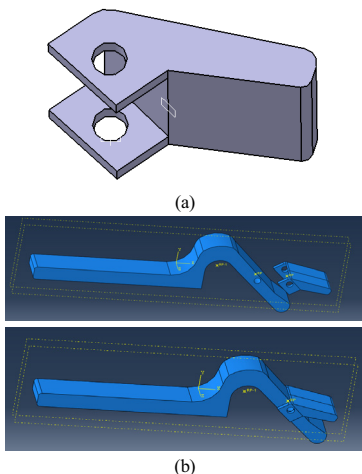


Fig. 5. Lifting device and assembly method

본 잠금식 맨홀에서 후크에 부양기능을 할 수 있는 보조장치를 상단에 부착하여 후크의 열림 방향으로 회전 시 맨홀 커버가 위치한 틀의 상단 턱을 받쳐 부양하도록 설계 방향을 설정하였다. 맨홀 커버는 틀을 기준으로 위

쪽에서 설치되기 때문에 후크와 부양 장치가 모두 부착된 상황에서 결합이 되어야 한다. 이를 위하여 Fig. 4와 같이 3D CAD를 이용하여 간섭을 체크하였다. A 점은 부양 시 후크와 틀이 닿는 부분이며, B는 맨홀 커버의 삽입 시 틀과 닿지 않아야 하는 부분이다. 두 위치 사이에 맨홀 틀의 턱이 위치하여야 한다.

부양 장치의 형상은 후크에 결합할 수 있도록 Fig. 5와 같이 설계하였고, Fig. 5의 (b)와 같이 핀을 이용하여 후크에 장착할 수 있도록 하여 기존의 부품을 큰 변경 없이 사용할 수 있도록 하였다.

2.2 구조해석

초기 설계된 형상에 대하여 구조적 안전성을 평가하였다. 맨홀이 체결된 구조에서 부양력에서도 후크 및 부양 장치가 파손되지 않아야 하기 때문에 구조해석을 수행하였다. Fig. 6에는 해석에 사용되는 맨홀 부품을 단면을 기준으로 도시하였다. 실제 맨홀 커버, 틀, 허브는 축대칭 형상이고 후크는 3개가 설치되기 때문에 3차원 해석을 하여야 하지만, 기초 설계를 위하여 2차원으로 형상을 모델링하였다.

Fig. 7과 같이 부품을 배치하였고 맨홀 커버의 무게가 약 60 kg이기 때문에 (a)에서는 맨홀 상부에 600 N을 부과하고 허브를 +y방향으로 45mm 상승시켰다. 허브와 후크, 후크와 맨홀 커버 사이에는 접촉조건을 부과하였고, 재료는 철 재질의 탄성체로 설정하였다. 탄성계수는 200 GPa, 포와송 비는 0.3으로 설정하였다. 프레임은 고정하였고, 커버는 y축 방향으로만 움직일 수 있도록 하였다. (b)의 경우는 커버가 틀과 고착되어있다고 고려하여 부양력이 더 필요한 경우로 가정하였다. 후크에도 핀 구멍을 뚫고, 200 kgf의 하중이 걸린다고 가정하여 2000 N의 하중을 커버에 부과하였다. 해석에 사용된 프로그램은 상용 내연적 유한요소프로그램인 ABAQUS/Standard이다.

두 가지 경우 모두 후크의 곡률부에서 최대 응력이 발생하며 (a)에서의 최대 응력은 22.4 MPa이며, 부양되는 높이는 1.3 cm이다. 이 응력은 항복응력 400 MPa 기준일 때 안전율은 17.85로 볼 수 있다. (b)에서는 하중이 증가되었고, 핀 구멍을 위치시켰기 때문에 최대 응력은 116.8 MPa로 증가하였다. 이는 항복응력의 약 30%로 안전하다고 판단할 수 있다.

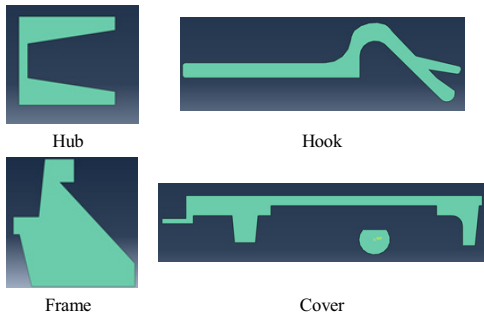


Fig. 6. Analysis model for 2D FEM simulation

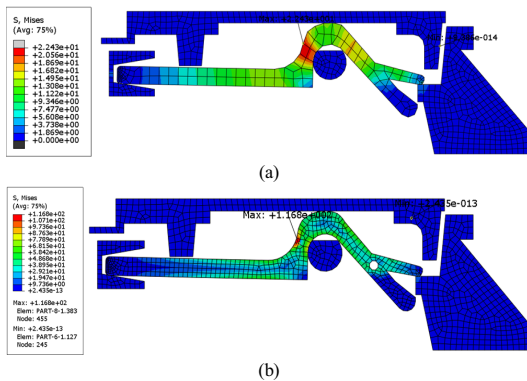


Fig. 7. von Mises stress distribution of manhole assembly for lifting (a) 60 kg of cover (b) 200kg of cover and additional load

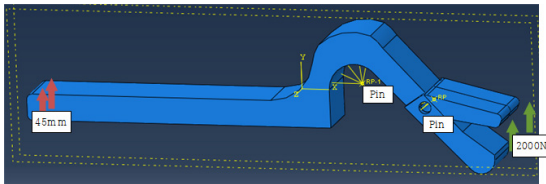


Fig. 8. Analysis conditions for 3D simulation

2차원 해석을 통하여 1차 기초 설계를 수행한 후, 3차원 해석으로 부양 장치의 폭과 핀의 위치를 설정하였다. 후크와 부양 장치의 구조적 안전성을 평가하기에는 맨홀 커버와 틀을 모두 모델링하여 해석하는 것은 불필요한 부분이 많기 때문에, 부양 장치와 체결된 후크만 Fig. 8과 같이 해석 대상으로 설정하였다. 맨홀 커버의 고리에 걸리는 후크의 곡률 부분은 회전점을 중심으로 핀 구속을 부과하였고, 후크의 직선 끝단부를 45 mm 상승시키고 부양 장치의 끝단에 하중 2000 N을 부과하였다.

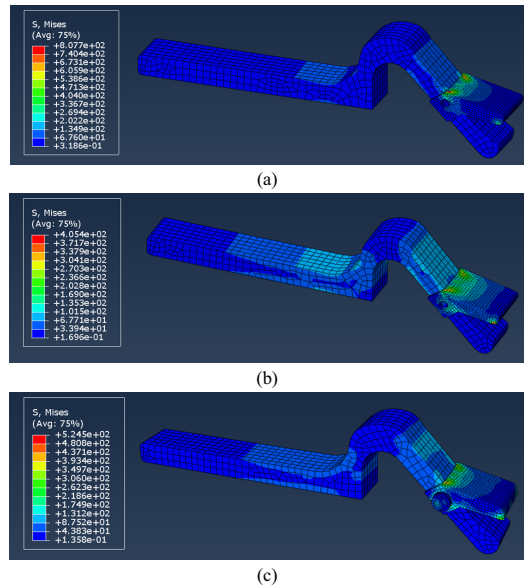


Fig. 9. von Mises stress distributions of hook and lifting device assembly (a) basic model (b) pin hole shifting (c) adding pin modeling

Fig. 9에 해석결과를 응력으로 도시하였다. (a)는 부양 장치를 핀 구속조건으로 후크와 결합하며 핀 구멍을 후크의 상단쪽에 위치시킨 모델이며, (b)는 핀 구멍을 후크의 두께 중심에 위치시킨 모델이다. (c)는 핀 구속조건 대신에 핀을 모델링하여 삽입한 모델이다. (a)의 경우 최대 응력이 807.7 MPa, (b)는 405.4 MPa, (c)는 524.5 MPa로 나타났다. 핀이 같이 변형하지 않으면 부양 장치와 후크가 닿는 부위에 과도한 응력이 발생하는 것을 알 수 있다. 세 가지 모델을 검토하면 (c)의 경우가 실제 변형과 가장 유사하게 묘사되는 것을 알 수 있다.

하중과 최대 응력선도는 거의 선형이기 때문에 항복 응력의 70%가 되는 280 MPa가 되기 위한 하중은 약 106.7 kgf로 산정할 수 있다. 실제 맨홀에서는 후크와 부양 장치가 3개 있는 것을 고려하면 항복응력의 70%에 해당하는 하중은 320 kgf 정도로 환산할 수 있다. 따라서 현재 설계된 부양 장치와 후크는 부양 하중 약 320 kgf를 지지할 수 있는 것을 판단할 수 있다.

맨홀에 대하여 최종적으로 설계된 후크와 부양 장치를 부착하여 잠금 상태와 부양 상태를 3D CAD를 이용하여 단면 상태로 표시하면 Fig. 10과 같다. (a)는 잠금 상태로 후크의 끝단이 맨홀 틀에 걸리며, (b)는 부양 상태로 후크에 달린 부양 장치의 끝단이 맨홀 틀을 받치고 있게 된다.

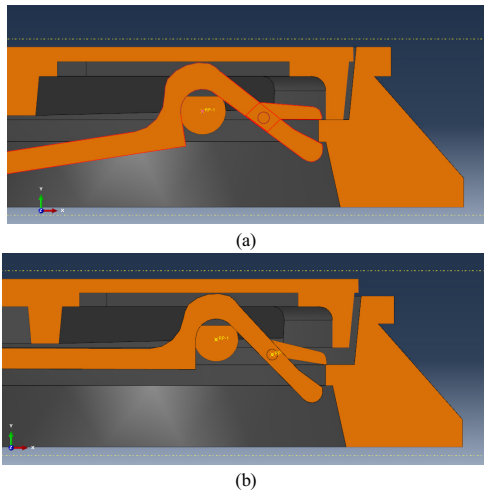


Fig. 10. Sectional views of locking and lifting statuses (a) locking (b) lifting and opening

2.3 3D 프린팅 제작

설계된 후크와 부양 장치를 포함하여 맨홀 커버 및 맨홀 틀까지 3D 프린터를 이용하여 출력하였다. 모든 부품을 0.178mm 층으로 ABS 재질로 출력하였다. 출력 시에는 43:1로 축소하였으며 구동되는 부품이기 때문에 공차 및 간섭을 고려하여 치수를 수정하였다. 출력된 부품은 Fig. 11 (a)에 도시하였다. 본 맨홀은 부양 장치와 잠금 장치가 포함되어 있기 때문에 하중을 받는 구조물로 볼 수 있다. 따라서 하중을 받는 부분은 스테인리스 재질로 금속 3D 프린팅하였다. 프린팅 된 부품을 Fig. 11 (b)에 도시하였다.

금속 3D 프린팅에서 볼트와 허브에는 나사산이 포함되지 되는데, 작은 사이즈로 인하여 나사산이 정확히 가공되지 않아 알루미늄 재질로 구동만 가능할 정도의 치수로 기계 가공하여 조립하였다. 기계 가공된 허브와 볼트를 조립한 형상을 Fig. 12에 도시하였다.

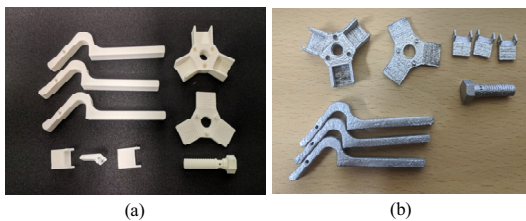


Fig. 11. 3D printed parts (a) ABS polymer (b) Stainless steel (STS 316L)

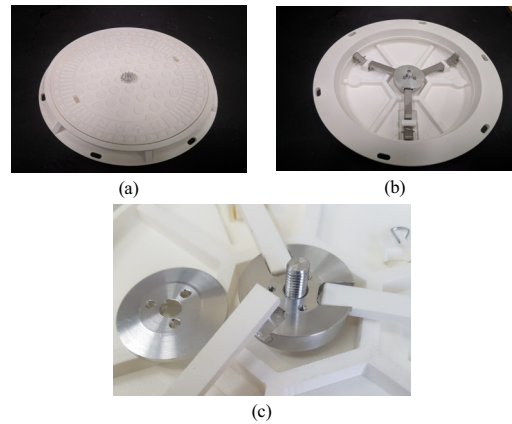


Fig. 12. Assembled 3D printed model (scale 43:1) (a) face view (b) bottom view (c) detailed view of assembled parts



Fig. 13. Lifting state of manhole cover using 3D printed manhole assembly

3D 프린터로 출력된 맨홀 커버, 틀, 후크와 기계 가공된 부품을 포함하여 조립된 맨홀 모형의 부양시킨 실험 형상을 Fig. 13에 도시하였다. 여기에서는 축소 모형이어서 부양 높이가 크게 나타나지는 않았다.

2.4 시제품 제작 및 실험

3D 프린팅 된 제품을 통하여 부양이 되는 것을 확인하였고, 실제 맨홀에 장착하기 위하여 기계 가공을 통하여 부양 장치를 제작하였다. 제작된 장치를 후크에 부착한 상태를 Fig. 14 (a)에 도시하였고, 실제 맨홀에 장착한 상태를 Fig. 14 (b)에 도시하였다.

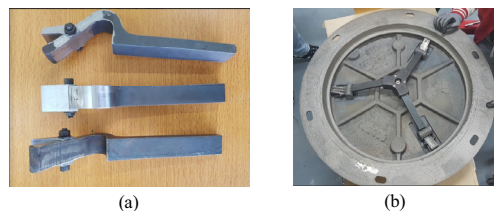


Fig. 14. Machined parts and assembled to manhole (a) hook and lifting devices (b) assembly

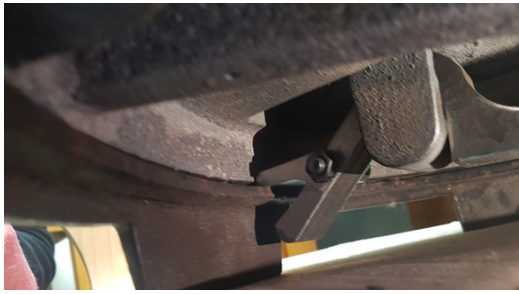


Fig. 15. Position of the lifting device and the manhole frame at the end of lifting experiment

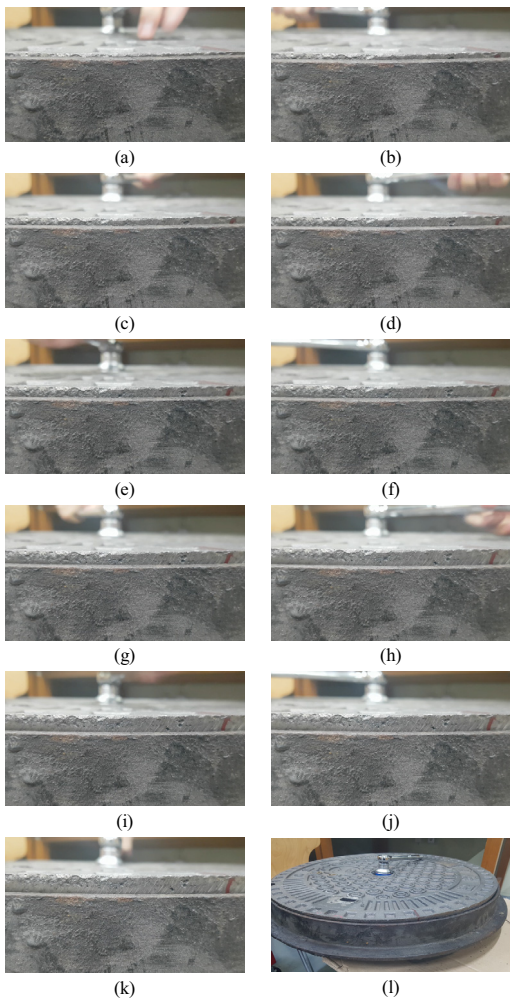


Fig. 16. Experiment of lifting of manhole cover with respect to the bolt rotation (a) 0° (b) 90° (c) 180° (d) 270° (e) 360° (f) 450° (g) 540° (h) 630° (i) 720° (j) 810° (k) 900° (l) lifted manhole cover

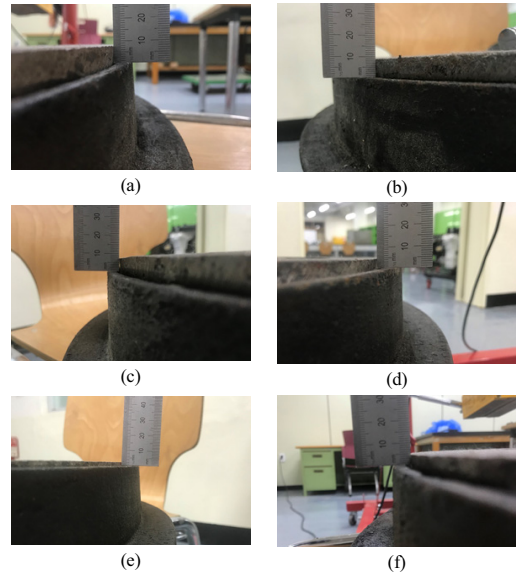


Fig. 17. Height measurement according to the circumferential position (a) 7.5 mm at 0° (b) 9.0 mm at 60° (c) 7.0 mm at 120° (d) 4.5 mm at 180° (e) 2.0 mm at 240° (f) 5.0 mm at 300°

Table 1. Lifting height measurement of manhole cover

Circumferential Position (CCW)		Height [mm]	Designated Points
1	0°	7.5	
2	60°	9.0	
3	120°	7.0	
4	180°	4.5	
5	240°	2.0	
6	300°	5.0	
minimum		2.0	
maximum		9.0	
Average		6.1	

부양 상태를 보다 명확히 확인하기 위하여 맨홀 틀을 인상시킬 때 사용하는 인상 링에 맨홀 커버를 장착하였다. Fig. 15에는 맨홀 인상 링의 턱에 걸려 부양이 된 맨홀의 내측에서 촬영한 사진을 도시하였다. 맨홀 틀이 원형이고 부양 장치의 끝단은 직선이기 때문에, 실제 고려한 것 보다는 양 끝단이 원형 링에 걸리게 되어 부양 기능이 잘 작동하는 것을 확인할 수 있었다.

맨홀 커버 중심부의 메인 볼트의 회전에 따른 부양 상태를 파악하기 위하여 볼트의 90도 회전에 따른 부양 높이를 사진으로 Fig. 16에 도시하였다. 총 900도 즉 2.5 회전까지 볼트를 돌릴 수 있으며, 맨홀 커버가 틀에서 잘 부양 되는 것을 확인할 수 있다. 최종적으로 부양된 높이

는 각 지점별로 약간의 차이가 있으며, 60도 간격으로 측정된 높이를 Fig. 17과 Table 1에 요약하여 정리하였다. Table 1에서 1, 3, 5번은 3개의 후크가 위치하고 있는 지점이다. 최소 2 mm이고, 최대 9 mm가 부양되며, 평균적으로 약 6.1 mm 정도로 측정되었다.

맨홀을 여는 것이 어려운 것은 맨홀 커버와 맨홀 틀의 측면 틈 사이에 아스팔트가 유입되어 고착되는 경우이다. 맨홀을 열기 위해서는 초기 고착된 상황만 해결하여 맨홀 커버와 맨홀 틀이 이탈되면 맨홀 커버의 홈을 이용하여 쉽게 열수 있다. 아스팔트는 여러 첨가물에 따라서 최대전단응력과 파괴 시 변형률이 달라지는 데, 참고문헌[6]에서 여러 첨가물에 따라라도 파괴 시 최대 변형률은 3%를 넘지 않고 있다. 맨홀 커버와 맨홀 틀 사이의 간극은 한쪽으로 최대로 치우칠 경우에도 최대 5mm를 넘지 않기 때문에 전단 변형률을 기준으로 할 경우 0.15mm의 부양이 있으면 아스팔트가 분리될 수 있다. 따라서 현재의 부양 높이 정도로 충분히 부양 기능이 작동되는 것으로 판단할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 맨홀을 열 때 맨홀 커버가 맨홀 틀에서 쉽게 떨어질 수 있도록 부양 장치를 설계하는 것을 목표로 하였다. 설계 과정에서 3D CAD와 유한요소법을 이용하였고, 실제 구동 상황을 모사하기 위하여 3D 프린팅 출력력을 수행하였다. 최종적으로 실제 제품에 부착하여 그 기능을 확인하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 구조해석을 통하여 부양 장치 및 부양 장치가 부착되는 후크의 응력 안전성을 기준으로 형상을 설계하여 설계 및 제작 상의 시행오차를 줄일 수 있도록 하였고, 이러한 과정은 제품 개발 및 개선 단계에서 쉽게 활용할 수 있는 부분이 될 수 있다.
- (2) 설계 시 해석 모델의 단순화 및 시간적 절약을 위하여 2차원 모델을 기반으로 1차 설계를 하였고, 3차원 모델을 이용한 구조해석을 통하여 부착 위치 및 두께를 설계하였다. 항복응력의 70%를 기준으로 약 320 kgf의 부양력을 발생시킬 수 있다.
- (3) 3차원 프린팅을 통하여 43:1의 축소 모델을 출력하여 체결성과 부양 가능성을 평가하였고, 실제 형상에 대하여 금속재질로 부품을 가공하여 맨홀에 장착하였고, 실험을 통하여 위치에 따라서 최

대 9 mm, 최소 2 mm, 평균 6.1 mm의 부양이 되는 것을 확인하였다.

- (4) 본 연구의 결과와 같이 부양 장치를 부착하게 되면 현재 잠금형 기능을 구현하는 중앙 볼트와 후크구조에서 잠금과 부양을 모두 실현 할 수 있으며, 현재 제작된 맨홀 금형 및 맨홀 틀 금형을 그대로 이용할 수 있어 경제적 이점이 있다.

References

- [1] H. Lee, "Structural Optimization of a Light-weight Manhole Cover Using FEM and Response Surface Method", *Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.25, No.6, pp.462-470, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2016.25.6.462>
- [2] J. H. Seo, H. J. Yang, 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://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.5.836>
- [3] H. K. Kim, Y. S. Yang, K. Y. Bae, "Analysis of Strengthening Structures of Steel Manhole Cover", *Journal of the Welding and Joining*, Vol.32, No.2, pp.54-62, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.5781/JWJ.2014.32.2.54>
- [4] W. C. Park, "The Development of Height Adjustbale Steel Manhole Cover", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.19, No.6, pp.581-586, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.6.581>
- [5] Shin Pyoeng Cast-Iron, http://spci.co.kr/sub2_1.php (accessed Jul. 17. 2018)
- [6] C. S. Bindu, K. S. Beena, "Comparison of Shear Strength Characteristics of Stone Matrix Asphalt Mixture with Waste Plastics and Polypropylene", *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, Vol.2, No.4, pp.13-21, 2013.

이형욱(Hyoungwook Lee)

[정회원]



- 1997년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2003년 2월 ~ 2008년 3월 : 한국생산기술연구원 선임연구원
- 2008년 4월 ~ 현재 : 한국교통대학교 자동차공학과 교수

<관심분야>

구조설계, 소성가공, 현가장치, CAE