

## 강재 맨홀뚜껑의 보강구조 해석

김 홍 규\* · 양 영 수\*\* · 배 강 열\*\*\*,†

\*(주)신양에벤에셀

\*\*전남대학교 기계공학과

\*\*\*경남과학기술대학교 메카트로닉스공학과

## Analysis of Strengthening Structures of Steel Manhole Cover

Heung-Kyu Kim\*, Young-Soo Yang\*\* and Kang-Yul Bae\*\*\*,†

\*Shinyang Ebenezer Co., Ltd., Jinju 660-850, Korea

\*\*Dept. of Mechanical Engineering, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

\*\*\*Dept. of Mechatronics Engineering, Gyeongnam National Univ. of Science and Technology,  
Jinju 660-758, Korea

†Corresponding author : kybae@chinju.ac.kr

(Received January 10, 2014 ; Revised February 4, 2014 ; Accepted February 19, 2014)

## Abstract

Manhole cover, which is usually made of grey cast iron and consists of frame and cover, should have enough strength to support the heavy traffic load. The manhole cover made of cast iron has heavy weight to handle manually and is vulnerable to impact force with its brittle characteristics. Moreover, its production process of casting has been regulated in terms of environmental pollution. In this study, steel manhole cover is proposed to substitute the cast cover with a series of structural analyses to confirm its strength to support the test load for manhole cover. The cover of the proposed steel manhole cover is made of thin circular plate and stiffeners below the plate. Rectangular columns and hollow circular plate were selected for the shape of the stiffener. In order to give enough strength for the cover to behave within elastic range in the loading, strengthening structures of the cover were varied with increasing the number and the size of the stiffeners. The results of the analyses revealed that when both the hollow circular stiffener and cross stiffeners were additionally applied at the same time to the steel cover with longitudinal stiffeners, the maximum stress level in the cover could be reduced to that level presented in the cast cover.

Key Words : Steel manhole cover, Frame and cover, Distributed load, Strengthening structure, Finite element analysis, Equivalent stress

## 1. 서 론

맨홀뚜껑은 덮개를 분리한 후 내부로 들어가서 전기, 수도 및 가스설비들을 신설 또는 보수하기 위한 용도와 도로의 오수 및 우수를 수집하기 위한 용도로 구분되며, 차도 및 인도에서 중량물을 지지하는 내구성이 필요하고, 주행 중인 차량이나 보행자가 미끄러지는 것을

방지하기 위하여 덮개의 상부에는 미끄럼방지부가 형성되어야 한다. 일반적으로 맨홀뚜껑은 하부의 틀과 상부의 덮개로 구성되고, 덮개로 틀의 상부를 덮으면 덮개가 틀 입구의 내측으로 수용되어 거치되는 구조이며, 지면이나 콘크리트 및 아스팔트 등에 소정 깊이로 매립된다.

맨홀 덮개와 맨홀 틀은 주로 회주철이 소재로써 사용되며 주조공정으로 제작되어져, 성능과 상관없이 파손

을 방지하기 위한 구조라 중량이 매우 크게 되어, 덮개를 다시 열기가 용이하지 않고 취급시 안전사고의 위험성이 높다. 맨홀뚜껑의 큰 중량은 도로의 보수 등에서도 취급을 어렵게 하는 바, 이에 따른 다양한 연구가 수행되고 있다. 노후된 도로를 재포장하는 경우, 기존의 맨홀뚜껑을 제거하는 대신, C-ring을 삽입하여 시공하는 기술을 제안하여 통행불편이나 안전사고 등을 해소할 수 있는 기술개발 사례가 보고되고 있다<sup>1)</sup>. 도로 보수 시에 맨홀뚜껑의 용이한 재설치 작업에 대한 연구로서, 맨홀뚜껑을 외관과 내관으로 나누고 외관의 내벽면과 내관의 외벽면을 몇 단계의 기어 형상으로 가공하여 도로면의 여건에 따라 내관을 승강시켜서 도로의 노면과 맨홀 덮개가 놓이는 위치를 일치시키는 맨홀뚜껑의 설계와 최적화 기술이 제안되었다<sup>2)</sup>. 또한, 기존에 누수 차단, 시공의 복잡성, 시공 기간, 유지 보수가 문제가 된 방수 밀폐형 콘크리트 맨홀뚜껑을 강관으로 대체하는 방법을 제안하고, 차량에 의한 하중과 횡방향 토압 등 제반 하중에 대한 구조해석을 수행하고, 파라미터의 변화를 고려하여 형상의 최적화를 도출하고자 하였다<sup>3)</sup>. 그러나 주철 맨홀뚜껑 제품 자체의 소재나 제조공정의 개선에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

주철 맨홀뚜껑은 제조를 위해 용해, 조형, 주입, 탈사, 출고 및 주물사처리 단계를 거치는 주조 공정으로 제작되는 바, 제조비용이 과다 소요되고, 주변을 오염시키는 환경의 문제점이 있어 생산 공장에 대한 제재 및 규제가 심화되고 있다. 주철의 특성상 외관이 일률적으로 짙은 회색이고, 취성 파괴 등으로 인한 내구성이 부족과 위해 요소가 상존하고, 설치 후에도 주물 부스러기 발생 등 주변 환경이 오염되는 현상이 발생한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 소재를 강재로 변경하고 그에 따른 제조공정을 대체하는 강재 원형맨홀뚜껑을 제안하였다<sup>4,5)</sup>. 강재의 사용으로, 경량화 및 내구성을 향상하고, 용융도금 후 분체 도장으로 미려한 외관을 갖게 할 수 있고, 강성 향상을 위한 설계 다양화 가능하고, 자재 및 공정 축소로 제조원가의 절감을 실현할 수 있다<sup>6,7)</sup>.

본 연구에서는 강재 맨홀뚜껑의 강성을 증대하기 위한 방안으로 덮개의 보강구조로서 원판형 패드 보강대와 가로 보강대를 추가 설치하는 방안을 제안하고, 이를 최적으로 설계하고 검증하기 위하여 구조해석을 수행하였다. 해석은 상용 프로그램인 MARC를 이용하였고<sup>8,9)</sup>, 보강구조의 치수와 개수 변화를 해석의 파라미터로 활용하였다. 제안된 맨홀뚜껑이 시험하중 상황에

서 나타나는 응력 상태를 파악하여, 강재 맨홀뚜껑의 강성을 확보할 수 있는 최적의 구조를 도출하고자 하였다.

## 2. 맨홀뚜껑의 구조

### 2.1 주철 맨홀뚜껑의 구조

주철 맨홀뚜껑은 하부에 틀(frame)이 놓이고 상부에 덮개(cover)가 여닫히는 구조이고, 볼트 등으로 체결하게 된다. Fig. 1은 우수 및 오수 용도로 활용되는 맨홀뚜껑의 틀(Fig. 1(a))과 덮개(Fig. 1(b))의 형상을 보여주고 있다<sup>10)</sup>.

덮개 중앙부 두께가 약 50mm에 이르고 있고, 이러한 두께가 하중을 지탱한다고 할 수 있으나, 무거운 중량으로 취급하기가 용이하지 않게 된다. 맨홀뚜껑에 적용되는 회주철(GC200)의 경우는 최대 24kgf/mm<sup>2</sup>의 인장강도와 10,000kgf/mm<sup>2</sup> 내외의 탄성계수를 갖는다.

맨홀뚜껑의 시험 규정에서 정하중 시험은 맨홀뚜껑의 상부 중심에 두께 6mm의 고무판을 깔고 그 위에 길이 500mm, 너비 200mm, 두께 50mm의 강재판을 엮어 연직방향으로 400kN을 5분 이내에 일정한 속도로 하중에 달할 때까지 가하여 1분간 정지한 다음 하중을 제

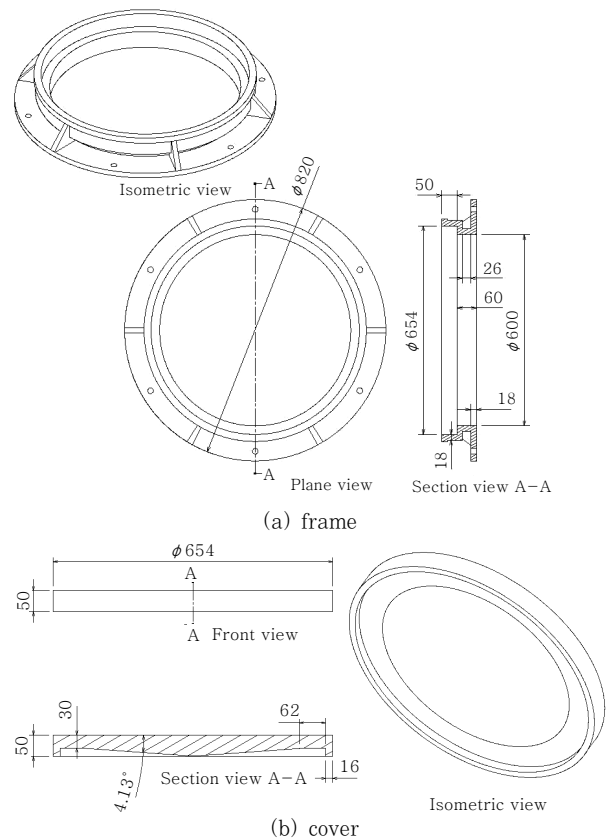


Fig. 1 Schematic diagram of manhole cover consisting of frame and cover

거하고, 잔류변형이 없어야 한다고 명시하고 있다<sup>11)</sup>. 이는 해당 크기의 정하중을 인가한 상태에서 맨홀뚜껑은 탄성범위 내에서 변형거동을 해야 함을 의미한다.

### 2.2 제안된 강재 맨홀뚜껑 및 보강구조

Fig. 2와 같은 하부 틀(맨홀 frame)과 상부 덮개(맨홀 cover)로 구성되는 강재 원형맨홀뚜껑을 제안하였다. 틀은 원형 강관의 가운데 부분이 제거된 형상의 바닥 프레임과 이의 내측 테두리를 따라 결합되어 수직으로 돌출되는 안내 프레임으로 구성된다. Fig. 2(a)에서 보인 바와 같이 덮개는 원형의 강재 덮개판과 덮개판의 하부면에 결합되어 덮개판의 하부면을 가로 지르며, 각각의 양측 단부가 안내 프레임의 상단부에 거치되는 다수 개의 세로 보강대(longitudinal stiffener)로 구성된다. Fig. 2(b)는 실제 냉연강판으로 제작된 맨홀뚜껑으로, 덮개와 틀을 분리하여 보여 주고 있고, 바닥면을 보이고 있는 덮개에는 보강대 그리고 원주 방향 보강패드(circular-pad stiffener)를 적용한 구조를 보여 주고 있다.

맨홀뚜껑의 시험에서는 하중이 뚜껑의 상부 중앙에서 500mm x 200mm의 분포하중으로 작용한다. 용접 작업 여유를 두기 위하여 최소 30mm 간격을 두고, 강재의 폭을 20mm를 선정한다고 하면 최대 5개의 사각 강재 기둥(보강대)이 하중을 지탱할 수 있게 맨홀뚜껑을 설계할 수 있다. 본 연구에서 기본적으로 제안하는 덮개는 Fig. 3(a)에 보인 바와 같이 3.2mm 두께의 강재 덮개판에 강성 확보를 위해 하중을 분산하여 지탱할 수 있는 세로 방향 보강대 5개를 내부에 취부한 형태이다. 보강대의 폭은 20mm, 두께는 46.8mm로 설정되고, 보강대 사이의 간격은 30mm이다. 냉간압연 강판(SS400)은 최소 25kgf/mm<sup>2</sup>의 항복응력, 21,000kgf/mm<sup>2</sup>의 탄성계수를 가진다.

맨홀뚜껑이 받는 시험하중 상황과 유사한 상황을 고려하여, 제안된 기본 강재 맨홀뚜껑 구조에 대한 강성과 추가적인 보강 여부를 단순 이론식을 활용하여 판단하

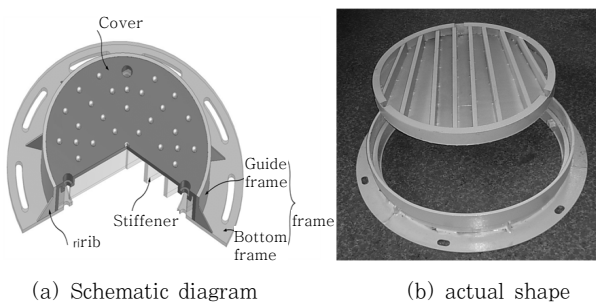


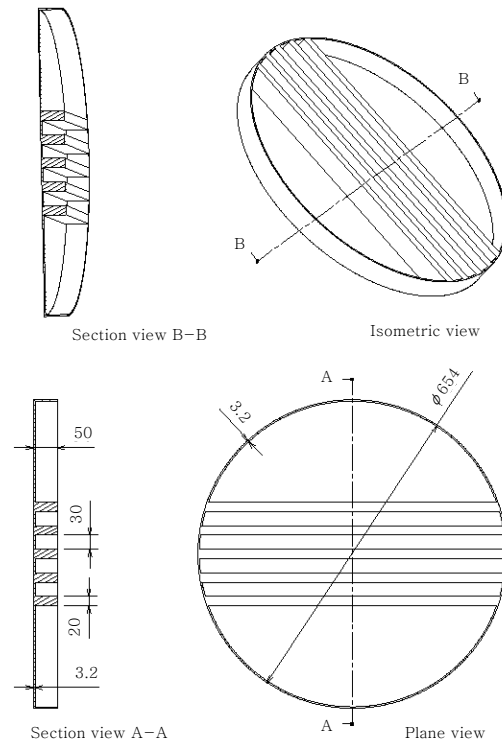
Fig. 2 Structure of circular-type steel manhole cover

고자 하였다. 이를 위해 강재 맨홀뚜껑의 덮개를 단순화 하여 가장 큰 하중을 받게 되는 보강대를 선정하고, 하부 틀과 안내 프레임의 지지를 고려하여, 중앙에 분포하중을 지탱하는 부정정보(statically indeterminate beam)로 가정하였다.

Fig. 3(b)와 같은 부정정보에서, 보의 길이를  $L$ , 중앙의 분포하중 길이를  $b$ , 가장자리 길이를  $a$ , 단위길이당의 하중을  $q$ 라고 하면, 임의의 위치  $x$ 에서의 미소 길이  $dx$ 에 분포하는 하중은  $qdx$ 가 되고, 이로 인한 두 지지부의 모멘트는 다음과 같다<sup>12)</sup>.

$$dM_a = \frac{qdx \cdot x(L-x)^2}{L^2}; \quad dM_b = \frac{qdx \cdot x^2(L-x)}{L^2} \quad (1)$$

따라서 분포하중 전체에 의한 모멘트  $M_a$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.



(a) Schematic diagram  
(b) statically indeterminate beam for stiffener

Fig. 3 Basic strengthening structures of the cover of steel manhole cover

$$M_a = \int_a^{a+b} dM_a = \frac{q}{12}(L^2 - 6a^2 + \frac{4a^3}{L}) \quad (2)$$

여기서,  $b = L - 2a$ 이다. 한편, 좌측 지지부의 반력은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$R_a = \frac{q}{L^3} \int_a^{a+b} (L-x)^2(L+2x)dx = \frac{q}{2}(L-2a) \quad (3)$$

그럼으로, 보의 길이 방향으로 임의의 위치  $x$ 에서의 모멘트는,  $x \leq a$  일 때,  $M_x = R_a x - M_a$ ,  $x > a$  일 때,  $M_x = R_a x - M_a - q(x-a)^2/2$  으로 구할 수 있고,  $x = L/2$  일 때,  $M_{x=L/2} = \frac{q}{8}(L^2 - 4a^2) - M_a$  로 나타난다. 따라서 최대 모멘트는  $x$ 가 0이거나  $L/2$ 에서 나타날 수 있다. 굽힘모멘트와 응력 간의 관계를 이용하고 보의 관성모멘트를  $I$ 라고 하면, 최대 굽힘응력은 최대모멘트를 받는 위치에서의 두께 방향 끝 위치( $y_c$ )에서  $\sigma_{max} = M_{max}y_c/I$  으로 산출할 수 있다.

단순 이론해석에서는 제안된 보강대의 강성을 간접적으로 예측할 수 있는 결과를 얻었고, 5개의 세로 방향 기본 보강대로 구성된 제안된 보강대 치수와 개수로는 탄성한계를 상회하는 응력과 변형이 예측되어, 맨홀뚜껑의 강성을 추가적으로 보완하는 방안이 필요하였다. 보강대의 강성을 증대시키는 방법으로, 보강대의 아래에 중앙이 빈 원형 판상의 패드(circular-pad stiffener)를 덧대는 방법과 현재의 보강대에 교차하는 보강대(cross stiffener)를 추가하는 방법을 제안하였다. 최대응력의 크기를 고려하여, 추가되어야 할 보강 구조의 형상 파라미터를 설계하였다. 바닥부에 원주 방향으로 패드 보강대를 두게 되면, 단면부에서 중립축으로부터 먼 위치인 바닥의 크기가 증가되어 하중지지부에 관성모멘트를 크게 하는 효과를 얻을 수 있고, 가로 방향 보강대를 두는 경우, 각 보강대에 집중되는 하중의 분

산 효과를 얻을 수 있다.

Fig. 4는 기본 세로 보강대와 가로 보강대가 조합된 덮개 구조에 패드 보강대를 추가로 적용한 보강 구조를 보여 주고 있다. 가로 보강대의 개수 또는 패드 보강대의 폭을 증가함으로써 강성의 증대를 확보할 수 있게 된다. 응력의 크기를 저감하고자 제안한 보강구조의 경우에 대하여도, 이를 최적화하기 위하여, 우선 부정정해석을 이론적으로 수행하여 응력 저감 효과를 예측하였다.

### 3. 강재 맨홀뚜껑의 모델 및 해석

제안된 보강구조와 이론해에서 예측된 범위의 구조 파라미터를 가진 강판 맨홀뚜껑에 대하여, 유한요소방법을 이용하여 모델링하고 해석하고자 하였다. 이를 위해, 먼저 맨홀뚜껑의 3차원 캐드모델을 만들고, MARC 프로그램에서 이를 읽어 들여, 경계조건과 재질 등을 설정하고 해석을 수행하였다<sup>8)</sup>. 모델링에서는 상부 덮개와 하부 틀로 구성된 맨홀뚜껑 전체를 최소 길이가 5mm 인 4면체 유한요소 60여만 개로 분할하였다. 주철 맨홀뚜껑은 회주철로 제작되어, 10,000kgf/mm<sup>2</sup>의 탄성계수와 0.25의 포아송 비를 적용하였고, 강재의 경우는 각각 21,000kgf/mm<sup>2</sup>와 0.3으로 설정하였다. 맨홀뚜껑의 정하중 시험조건과 유사하게 가압하기 위하여, 총 하중이 400kN, 가압면적이 500mm(보강대 길이 방향) × 200mm, 단위면적당의 압력이 4N/mm<sup>2</sup>임을 감안하여, 해석에서는 이를 해당 면적의 분포하중(face load)으로 적용하였다. 맨홀뚜껑의 정하중 시험규정에서는 시험 후 잔류변형이 나타나지 않아야 함을 명시하고 있으므로, 탄성해석으로 시험을 모사(simulation)하였다. Fig. 5는 유한요소로 모델링한 맨홀뚜껑의 외부와 맨홀뚜껑의 모델에서 설정한 경계조건을 보이고 있다. 도로에 체결되는 하부 틀의 볼트 구멍 주위는 모든 방향으로 변위가 구속되어 있고, 분포하중은 덮개 중앙부 표면에 균일한 크기의 표면력으로 설정되어 있다.

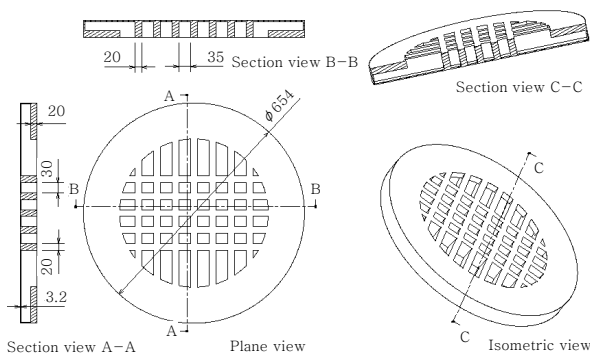
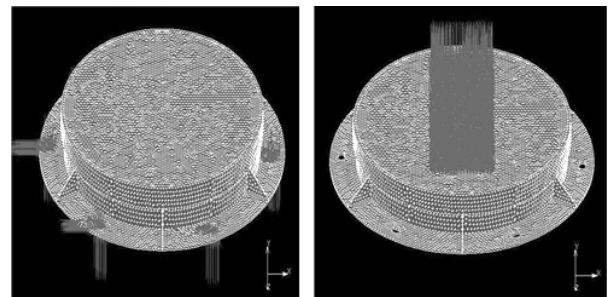


Fig. 4 Structures of the cover of the steel manhole consisting of longitudinal, circular-pad and cross stiffeners



(a) displacement constraint (b) face load  
Fig. 5 Finite element model of manhole cover and boundary conditions

강재 맨홀뚜껑은 제안된 보강 구조의 형태 및 치수의 변화를 파라미터로 두고 각 경우에 대한 해석을 수행하였다. 첫째, 박강판과 5개의 세로 보강대를 기본 구조로 하고, 여기에 덮개의 아래 부분에 20mm 두께를 가진 패드 보강대를 60, 80, 100, 120, 140mm의 폭으로 변화할 때에, 가해지는 시험 하중에 대하여 맨홀뚜껑에 대한 구조해석을 수행하였다. 둘째, 강판과 5개의 세로 보강대를 기본 구조로 하고, 여기에 가로 보강대를 4, 5, 6, 7, 8개로 변화할 때에, 맨홀뚜껑의 탄성 해석을 수행하였다. 셋째, 강판과 5개의 세로 보강대를 기본 구조로 하고, 7개의 가로 보강대로 구성된 강재 맨홀뚜껑에 60, 80, 100mm 폭의 패드 보강대가 추가로 적용된 경우에, 맨홀뚜껑에 대한 응력해석을 수행하였다.

한편, 맨홀뚜껑의 캐드 모델에서, 제안된 강재 맨홀뚜껑의 강성 보강구조를 적용할 경우에 대하여, 중량저감 효과를 판단하기 위하여 맨홀뚜껑의 무게 변화를 추출하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 기본 세로 보강대 구조 응력 해석

Fig. 6은, 세로 500mm 가로 200mm에 분포된 400kN의 하중이 주철 맨홀뚜껑의 표면에 가해질 때,

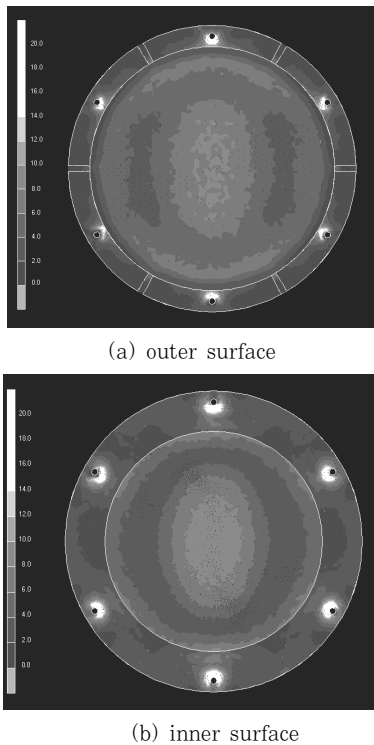


Fig. 6 Distribution of equivalent stress on the surface of cast manhole cover

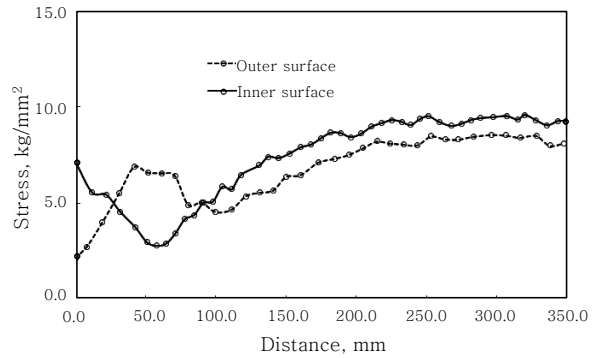


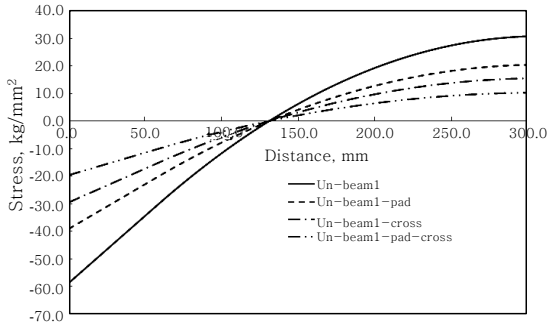
Fig. 7 Equivalent stress distribution along the center line on the surface of the cast manhole cover

뚜껑의 윗면(a)과 바닥면(b)의 응력분포를 나타내고 있다. 응력은 맨홀뚜껑의 항복여부를 판정하기 위한 것이므로 등가응력으로 나타내었다. 가장자리와 중앙부에서의 응력이  $10\text{kgf}/\text{mm}^2$  정도의 크기이고, 나머지 부분에 비해 높게 나타나고 있음을 보인다.

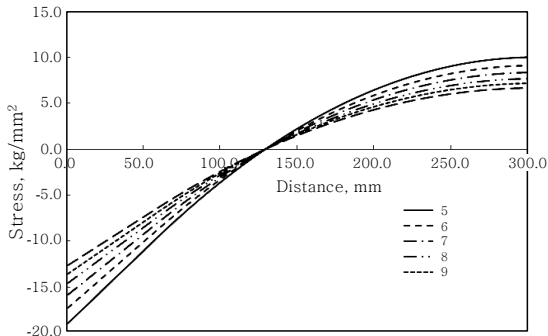
Fig. 7은 분포하중이 가해질 때 주철 맨홀뚜껑 덮개의 외부 표면과 내부 표면에 나타나는 등가응력 분포를 나타내고 있다. 결과에서 가로 축은 분포하중의 정 중앙부가 놓이는 세로 방향으로 대칭을 고려하여, 뚜껑 덮개의 가장 자리에서 중심을 향하는 방향의 거리를 나타내고 있다. 응력은 최대  $10\text{kgf}/\text{mm}^2$  이내의 크기를 나타내고 있고, 내면의 응력이 다소 크게 나타나는 결과를 보여 주고 있다. 이는 회주철의 인장강도(최대  $24\text{kgf}/\text{mm}^2$ )에는 크게 미치지 않는 크기로 판단할 수 있다. 가장자리의 응력이 0에 근접하지 않고 크게 나타나는 것은 맨홀뚜껑의 틀이 덮개의 보강대를 부정정보와 같은 형태로 지지하기 때문으로 판단된다.

Fig. 8은 강재 맨홀뚜껑의 보강 구조에 대한 이론적 해석 결과를 보이며, 대칭을 고려하여 보강대 한 측면의 응력 분포를 나타내고 있다. Fig. 8(a)에서는 맨홀뚜껑을 5개의 세로 보강대만으로 지지하는 구조(un-beam1)로 가정할 때, 중앙 보강대의 최하부에 나타나는 응력은 강재의 항복점( $25\text{kgf}/\text{mm}^2$ )과 인장강도( $41\text{kgf}/\text{mm}^2$ )를 훨씬 상회하는 크기를 갖는다고 할 수 있어, 소성변형의 발생이 가능하게 된다.

한편, 세로 보강대로 구성된 기본 맨홀뚜껑 구조에 패드 보강대와 가로 보강대를 추가 적용하는 경우, 이들 보강대에 의한 응력의 저감 효과를 Fig. 8(a)에서 동시에 보여 주고 있다. 먼저, 기본 구조(un-beam1)의 바닥면에 20mm 두께의 중공 원판 패드를 적용한 경우(un-beam1-pad)에는 약 30%의 응력저감 효과를 보이고 있고, 기본 구조(un-beam1)에 5개의 가로



(a) Effect of moment of inertia



(b) Effect of number of cross stiffeners

**Fig. 8** Stress distribution on the bottom surface of statically indeterminate beam under distributed load

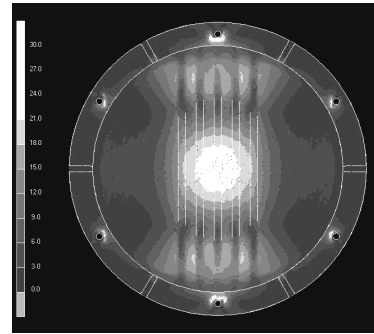
보강대를 적용한 경우(un-beam1-cross)는 약 50%의 저감 효과를 나타내고 있다. 패드 보강과 가로 보강대를 동시에 두는 경우(un-beam1-pad-cross)는 최대 응력이 기본 구조의 약 30% 크기인 20kg/mm<sup>2</sup>로 예측할 수 있다.

Fig. 8(b)에서는, 패드와 가로 보강대로 구성된 복합 보강대 구조의 맨홀뚜껑에서, 가로 보강대의 개수가 더 증가되면, 뚜껑 내 응력의 크기 수준이 점진적으로 낮아짐을 보이고 있다. 한편, 실제 맨홀뚜껑에서 덮개는 가장자리에서 완전히 구속되지 않으므로 부정정보에서 나타나는 응력 수준보다는 낮게 나타날 것으로 예상할 수 있다. 따라서 최적의 개수는 최대 응력 수준이 주철에서의 크기로 나타나고 덮개의 무게가 최소인 경우로 설정할 수 있다. 이는 맨홀뚜껑의 유한요소해석 결과에서 확인할 수 있다.

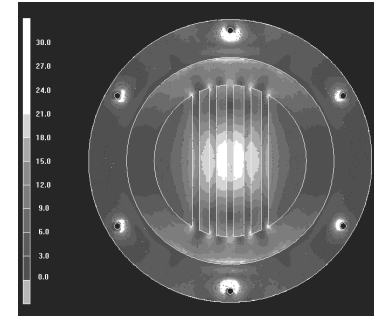
#### 4.2 패드 보강대의 강도 보강 효과

Fig. 9는 세로 보강대 5개와 80mm 폭의 패드 보강대로 구성된 강재 맨홀뚜껑에 분포하중이 가해진 경우, 유한요소해석으로 얻은 맨홀뚜껑 윗면과 바닥면의 등가 응력 분포를 나타내고 있다.

Fig. 10은 강재 맨홀뚜껑의 강성을 확보하고자 패드



(a) outer surface



(b) inner surface

**Fig. 9** Contour of equivalent stress on the surface of steel manhole cover

보강대를 적용하고 패드의 폭을 60mm(p60)에서 140mm(p140)까지 확대하여 응력 분포의 변화를 해석한 결과이다. Fig. 10(a)는 분포하중의 세로방향 중앙부를 따라 덮개의 가장자리에서 중심 방향을 따르는 위치에서 나타난 응력분포로, 가장자리와 중심의 응력이 유사한 크기를 가지나 가장자리 부가 다소 큰 응력을 보이고 있고, 약 130mm 부근에서 응력이 최소로 나타나고 있다. 이는 부정정보 해석에서 나타나는 압축과 인장의 경계부와 유사한 위치를 보이고 있다. 특히 가장자리에서 최대응력 크기는 Fig. 8에서 동일한 모델로 예측한 크기에 비해 15kg/mm<sup>2</sup> 이상으로 줄어든 크기를 나타내고 있다. 이는 부정정보와 달리 실제는 가장자리 지지부의 회전이 가능한 결과로 판단된다.

한편, 패드의 폭이 증가할수록 응력의 수준이 낮게 나타나고 이는 패드 보강대의 관성모멘트가 굽힘응력을 저감하게 하는 요인으로 파악할 수 있다. 응력의 최소값이 나타나는 위치도 다소 중앙부로 향하고 있으며, 이는 압축응력을 받는 부위가 넓어지는 것으로 해석된다. 패드의 폭이 100mm(p100) 이상이 되면, 응력의 수준은 20kg/mm<sup>2</sup> 이하로 낮아지게 된다. Fig. 10(b)는 덮개의 외면에 나타나는 응력분포이다. 가장자리보다는 중앙부가 응력이 높고, 정 중앙부에서 최대 응력이 나타나고 있다. 패드의 폭이 커질수록 응력은 저감되고 최대 응력의 수준도 20kg/mm<sup>2</sup> 이하로 낮아지고

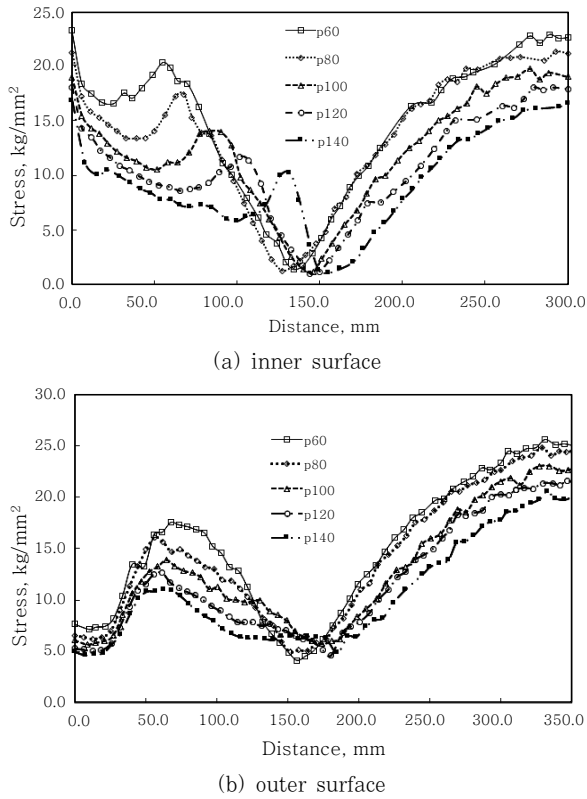


Fig. 10 Distribution of equivalent stress on the cover of the manhole cover strengthened with pad stiffener

있다. 따라서 패드 보강대의 폭이 100mm 이상이면 맨홀뚜껑은 탄성 변형 거동을 할 것으로 판단된다.

### 4.3 가로 보강대의 강도 보강 효과

Fig. 11(a)는, 세로방향 5개의 보강대를 가진 기본 맨홀뚜껑의 덮개에 가로 보강대를 추가한 개수에 따라 (cs4~cs8), 중앙 보강대 밑면에 나타나는 응력을 맨홀뚜껑의 가장자리에서 중심부(0~300mm)까지 나타내고 있다.

응력은 가장자리에서 크게 나타나고 있고, 보강대의 개수가 7개(cs7) 이상의 경우, 최대응력이 20kgf/mm<sup>2</sup> 이하가 될 수 있음을 보이고 있다. 중앙부에서는 비교적 응력의 수준이 낮고, 세로 보강대와 가로 보강대의 각 교차 위치에서 응력의 크기가 상승하고 저하하는 주기적 형태를 보이고 있다. Fig. 11(b)는 분포하중의 세로 방향 중앙부를 따라 덮개의 표면 가장자리에서 중심에 따라 나타나는 응력 분포로, 내부의 응력보다 낮게 나타나고, 가로 방향 보강대가 7개 이상이면, 최대응력은 10kgf/mm<sup>2</sup> 수준으로 낮아짐을 알 수 있다. 따라서, 패드 보강대 또는 가로 보강대를 적용함으로써 제안된 강재 맨홀뚜껑에 나타나는 응력을 항복응력 이

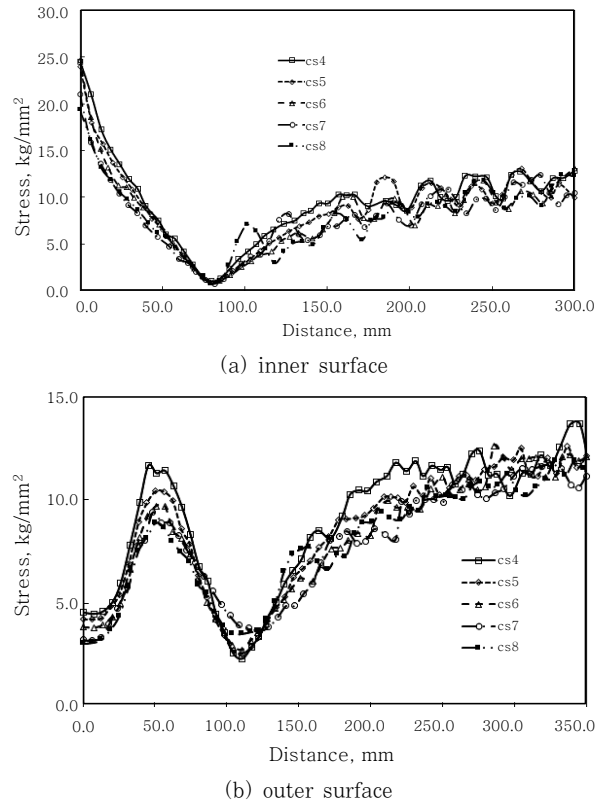


Fig. 11 Distribution of equivalent stress on the cover of the manhole cover strengthened with cross stiffeners

하로 저감할 수 있다. 그럼에도, 주철 맨홀뚜껑에서 나타나는 수준으로 응력을 더욱 저감하기 위해서는 덮개 구조의 제작에 한계가 있다고 판단되었다.

### 4.4 복합 보강대의 강도 보강 효과

Fig. 12는 5개의 세로 보강대와 7개의 가로 보강대로 구성된 강재 맨홀뚜껑에 패드 보강대가 추가로 적용된 경우에, 뚜껑 덮개 내면(Fig. 12(a))과 외면(Fig. 12(b))에 나타나는 응력 분포를 보이고 있다.

패드 보강대가 적용되면, 응력이 크게 저감되어 주철 맨홀뚜껑에서 나타나는 정도의 응력 수준인 10kgf/mm<sup>2</sup>의 크기로 나타남을 알 수 있다. 패드의 폭이 60, 80, 100mm로 증가(p60~p100)함에 따라 내면에서 최대응력의 수준은 다소 낮아지고 응력 분포의 형태도 차이를 보이나, 덮개 외면에서는 패드 폭의 효과가 크게 나타나지는 않음을 알 수 있다. 따라서 5개의 기본 세로 보강대와 7개의 가로 보강대 그리고 최소 폭의 패드 보강대를 두는 경우, 주철 맨홀뚜껑 수준인 강재 맨홀뚜껑의 최적 구조가 될 수 있을 것으로 예측할 수 있다.

Fig. 13(a)는 400kN의 분포하중이 가해진 상태에서 주철 맨홀뚜껑의 수직방향 변위를 나타내고 있다.

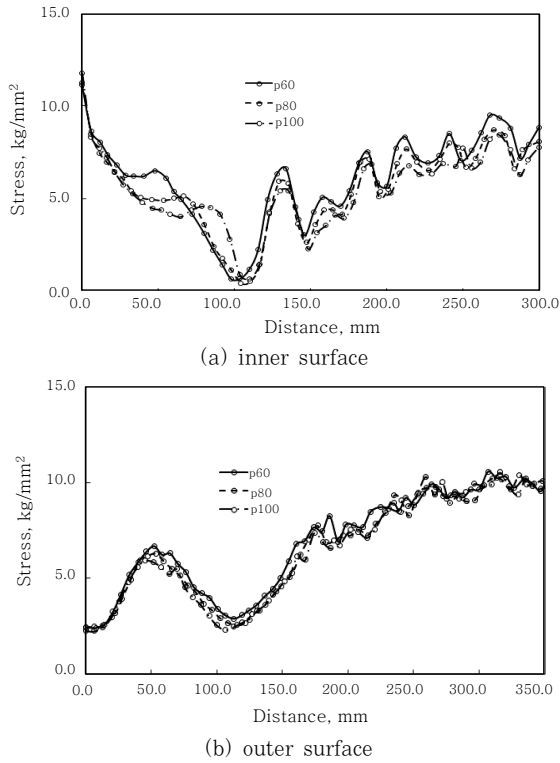


Fig. 12 Distribution of equivalent stress on the cover of the manhole cover strengthened with pad and cross stiffeners

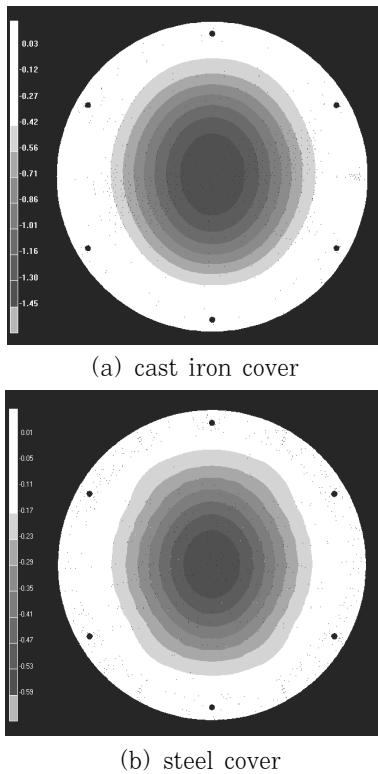


Fig. 13 Distribution of vertical displacement of the surface of the manhole cover under the test load

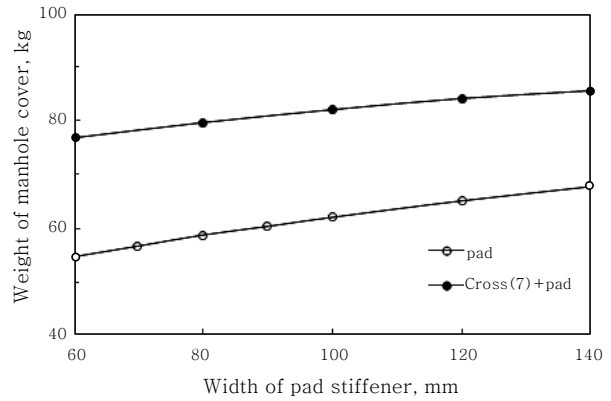


Fig. 14 Weight of the cover of manhole cover along with strengthened structures

변위는 분포하중을 인가한 부분을 중심으로 동심원 형태의 등치선을 보이고 있고, 중앙에서 최대 1.45mm의 처짐이 발생하는 것으로 예측되었다. Fig. 13(b)는 세로 보강대와 패드 보강대 그리고 7개의 가로 보강대로 구성된 강재 맨홀뚜껑의 수직방향 변위를 나타내고 있다. 최대 0.59mm의 처짐량을 나타내고 있다. 이는 주철의 경우에 비해 40% 정도의 크기이고, 변형이 크게 감소되는 것은 탄성계수가 주철의 경우보다 더 큰 결과로 판단된다.

3차원 캐드 모델에서 맨홀뚜껑의 무게를 추출한 바, 맨홀뚜껑의 틀은 주철의 경우가 71.8kg<sub>f</sub>이고 강재의 경우는 69.86kg<sub>f</sub>으로 차이가 크게 나지 않았다. 주철 맨홀뚜껑의 경우 덮개 무게는 93.43kg<sub>f</sub>으로 나타나고 있고, 보강 구조에 따른 강재 뚜껑의 덮개 무게는 Fig. 14에서 보이고 있다. 그림에서는 패드 보강대(pad), 패드 보강대와 7개의 가로 보강대를 추가한 경우(pad+cross)의 무게를 각각 나타내고 있다. 최적 구조라 할 수 있는 경우, 즉, 7개의 가로 보강대가 있고 60mm 폭의 패드 보강대가 있는 경우는 76.8kg<sub>f</sub>으로 나타나고 있고, 이는 주철 맨홀 덮개 중량보다 18% 정도 감소된 크기이다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 기존의 주철 맨홀뚜껑을 대체할 수 있는 강재 맨홀뚜껑과 강재 맨홀뚜껑 내부에 일정 크기와 개수의 강재 보강대를 취부한 보강구조를 제안하고, 제안된 보강구조를 기반으로 구조 파라미터의 변화에 따른 유한요소해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보강구조의 적합한 설계에 따라 강재 구조로서 기존 주철 맨홀뚜껑을 대체할 수 있다.
- 2) 기본 5개의 세로 보강대로 구성된 덮개에 폭 80mm 이상의 원형 패드 보강대로 보강이 되거나 또는 7개 이



상의 세로 보강대로 보강이 되는 경우의 강재 맨홀뚜껑에 서는 최대 응력이 소재의 항복강도보다 낮은  $20\text{kgf}/\text{mm}^2$  수준으로 나타났다.

3) 7개 이상의 세로 보강대와 폭 60mm 크기의 원형 패드 보강대로써 동시에 보강이 이루어지는 경우, 최대 응력이 주철 맨홀뚜껑과 유사한  $10\text{kgf}/\text{mm}^2$  수준으로 나타났고, 주철 맨홀뚜껑에 비하여 최대 18% 정도의 경량화를 이룰 수 있을 것으로 예측되어, 제안된 보강 방안에서 최적의 구조로 판단되었다.

4) 최적 구조에서의 강재 맨홀뚜껑의 변형은 주철에 비해 60% 정도로 크게 줄었다.

### Reference

1. J.H. Seo, H.J. Yang and K. Kim : The Research on Environment-Friendly Manhole Repair and Construction Technology, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, **21-5**(2012), 836- 841 (in Korean)
2. C.H. Kim and J.H. Park : A Study on Development of a Manhole with Height Adjustment, Proceedings of the Spring Conference of KSME, 2004, 710-715 (in Korean)
3. J.S. Lee, S.I. Kang, S.Y. Kwak, H.Y. Hwang and J.S. Yoon : Structural Analysis and Optimization of Water Proof-Sealed Manhole, Proceedings of the Conference of Korean Society of CAD/CAM Engineers, 2008, 822-827 (in Korean)
4. H.K. Kim : Steel plate manhole cover, Korean Patent Registration Number 2004493830000, 2010 (in Korean)
5. H.K. Kim : Process of Manufacture and Steel Sheet Manhole Cover of Steel Sheet Manhole Cover for Gutter Cover, Korean Patent Registration Number 1011481700000, 2012 (in Korean)
6. H.K. Kim : Lightweight Waterproofing Manhole Cover, Korean Patent Registration Number 1012266320000, 2013 (in Korean)
7. H.K. Kim : Development of Environment-Friendly Steel Circular Manhole Cover, Technical Report of the Research Project for Promoting Development of Region-Based Technology, Gyeongsangnam Province, 2012 (in Korean)
8. MSC Software, MARC User's Manual, 2005
9. K.Y. Bae, Y.S. Yang, C.M Hyun and S.H. Cho : Development of Simplified Formulas to Predict Deformation in Plate Bending Process with Oxy-Propane Gas Flame, Journal of the Korean Welding and Joining Society, **25-2**(2007), 172-177 (in Korean)
10. Korean Cast Iron Industry Co. Ltd. : Manhole Covers for Draining Rain and Waste Water and Domestic KS Manhole Covers, www.kcimanhole.com, 2013 (in Korean)
11. KS D 6021 : Specifications on Manhole Covers for Rain and Waste Water and for Electricity and Communication, 2013 (in Korean)
12. J. W. Lee : Solid Mechanics, Boseonggak, Ch. 8, 1992, 455-462 (in Korean)