높이 조절식 맨홀 개발에 관한 연구

김창호†·박준홍*

A Study on Development of a Manhole with Height Adjustment

Chang-Ho Kim, Joon-Hong Park

Key Words: Manhole(맨홀), Taguchi orthogonal array(다구찌 직교 배열), Casting(주조)

Abstract

There are a lot of manholes such as for water supply, sewage, telecommunication cable, traffic sign, electricity supply, and rainwater, etc. Conventional manholes installed on a road are impossible to adjust height, so that they should be entirely excavated to reinstall or repair. This entire excavation of a manhole causes too much time-consuming work, waste of resources, and obstruction of traffic.

In this study, in order to solve the above mentioned problems, a cover, outer and inner parts of a manhole are integrated by gear-shaped parts located between outer and inner parts of a manhole. Mechanical design is performed to determine dimension of gear-shaped parts by Taguchi orthogonal array table. Cast molds for a gear-shaped manhole are also manufactured.

1. 서 론

상하수도용, 각종 전력 공급 및 정보 통신 케이블 매설용, 교통 신호 및 도심 가로등 전력공급 선로용 및 빗물배수를 위한 우수용 등 각종 도심 및 주택가 주변에는 수많은 맨홀들이 산재해 있다. 맨홀의 종류는 Fig. 1의 오수, 우수용 맨홀(φ648, φ600)의 맨홀 및 칼라 맨홀(800×800×648)과 Fig. 2의 수공, 인공 주철 맨홀 및 정화조 맨홀, Fig. 3과 같은 전기 통신 맨홀 등이 있으며 이들을 제조하는 데 사용되는 재료는 주철, 폴리에틸렌(Polyetylene), 콘크리트 등 그 용도와 목적에 따라 다르다.

그러나 이들 기존의 맨홀들은 각종 도로 파손시나 보수시에 높이의 조절이 불가능하므로 맨홀 전체를 파내어 도로면의 표면과 일치하도록 다시 시공해야 하며, 이 과정에서 작업 비용이나 작업시간 지연 등으로 교통 및 통행 등에 많은 문제를 야기 시키고 있어 국가적 차원에서도 간접적인 물류 및 유통비 증가를 가중시키고 있다.

또한, 현재 시공되어 있는 맨홀들의 경우에도 도로면과의 높낮이가 일치하지 않아 차량의 운행시 돌출부나 함몰에 의해 운행상의 불편함은 물론 안전문제 등 많은 불편을 초래하고 있고, 보수비용 또한 엄청나 매년 엄청난 국가 예산이 낭비되고 있어 맨홀의 시공 현장에서 신속성과 편리함을 갖춘 맨홀의 개발로 원가절감을 할 수 있도록 맨홀의 높이를 조절할 수 있고 간편시공을 할 수 있어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 맨홀 자체를 바깥통(외관)과 안쪽통(내관)으로 나누고 외관의 내벽면과 내관의 외벽면을 몇 단계의 기어 형상으로 가공하여 도로면의 여건에 따란 내관을 올리거나 내려서 간편하게 도로의 노면과 맨홀의 덮게 높이를 일치시킬 수 있도록 하는 맨홀의 설계 및 최적화에 관한 기술을 개발하고자 한다.

† 동의대학교 기계정보산업공학부
E-mail : chkim21@dongeui.ac.kr
TEL : (051)890-1651 FAX : (02)123-1234
* 부산대학교 기계기술연구소

Fig. 1 A manhole for sewage and rainwater

Fig. 2 A cast iron manhole

Fig. 3 A manhole for telecommunication

본 개발 기술은 기존 제품과 비교하여 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있다. 맨홀을 교체 시공할 때, 기존 맨홀제품의 경우 작업량이 방대하므로 시공 작업인원이 평균 4~5명이 필요한 데 비해 본 개발 제품은 1명이면 충분히 교체 시공이 가능한 장점을 가지고 있다. 교체용 장비 부분에 있어서도 기존 제품의 경우에는 굴삭기 외 필요에 따라 각종 장비가 동원되어야 하고, 또한 시멘트 공사를 위한 각종 자재가 필요한 데 비해 본 개발 제품의 경우에는 삼각대 하나면 충분하고, 시공을 위한 자재는 전혀 불필요하다. 교체 시공시간이나 시공후 사용 시간의 경우에도 기존 제품은 3시간 이상에서 시멘트 양생기간을 포함하면 최소 2일 정도의 시간이 필요하지만 본 개발제품은 교체 시공시간이 약 5분 경과후에 바로 사용이 가능하다. 교체 시공 경비면에 있어서도 기존 제품은 약 5만 ~ 10만원 정도의 비용이 소요되지만 본 개발제품의 경우에는 약 5천원 정도의 교체 비용이 소요되고 비용 절감면에서도 대단히 우수하다. 기타 기존 제품의 경우 교체 시공기간 내 교통장해나 통행 등의 불편을 초래하지만 개발 제품은 몇 분의 교체 시간만이 필요함으로서 이들 불편을 단시간에 해소할 수 있다. 최근 각종 정보통신 산업의 발전과 도시 미관적 차원에서 각종 정보통신 선로나 전력설비 등이 대부분 지하로 매설됨에 따라 각종 종류의 맨홀은 급속히 증가추세에 있다. 따라서, 본 제품이 상품화가 이루어질 경우 그 파급효과는 지대하리라 생각되며, 충분한 가격 경쟁력으로 세계 각국으로의 수출 증대에 기여할 수 있다.

2. 기어형 높이 조절식 맨홀의 설계

맨홀 자체를 바깥통(외관)과 안쪽통(내관)으로 나누고 외관의 내벽면과 내관의 외벽면을 몇 단계의 톱니형 기어 형상으로 가공하여 도로면의 여건에 따란 내관을 올리거나 내려서 간편하게 도로의 노면과 맨홀의 덮게 높이를 일치시킬 수 있도록 하는 맨홀의 설계 및 최적화에 관한 기술을 개발하고자 한다.

Fig. 4는 외측통과 내측통, 그리고 외관의 내벽면과 외벽면을 기어 형상으로 가공한 조립도와 3차원으로 모델링한 그림을 나타내고 있다.

Fig. 4 Schematic drawing of manhole assembly

기어형 높이 조절식 맨홀을 주조에 의해 생산할 경우에 있어서 기어부 형상을 표준화하고 최적화하여 형상을 결정하였다. 기어형 높이 조절식 맨홀에서 기어부의 형상은 맨홀의 직경, 크기, 기어부의 개수 등에 따라 결정되므로 본 연구에서는 Taguchi 직교 배열표를 사용하여 시뮬레이션 횟수와 실험 횟수를 줄여 효율적으로 형상을 설계하였다.

먼저 맨홀 돌기 하나에 대하여 굽힘에 의한 전단과 피로 하중을 고려한 최종적인 응력식을 구해야 한다. 보의 단면에서 굽힘에 의한 전단 응력식은 다음과 같다[1,2].

$$\sigma = \frac{M}{Z} \tag{1}$$

$$M = F(W+H) \tag{2}$$

$$Z = \frac{TP^2}{6} \tag{3}$$

여기서, M은 굽힘 모멘트, Z는 단면계수, F는 하중, W는 돌기 부분의 높이, H는 돌기 부품의 튀어나온 부분의 길이, T는 돌기의 단면 폭, P는 돌기의 측면 높이이다. 따라서 식 (1)는 다음과 같이 된다.

$$\sigma = \frac{6F(W+H)}{TP^2} \tag{4}$$

테이퍼진 보에서 경사각이 작을 때는 위의 식이 그대로 사용되도 정확한 값과의 오차는 매우 작아서 무방하다. 경사각이 5도일 때는 1.0배, 10도에서는 0.97배, 15도에서는 0.95배이고 근사 비율로 계산하여 30도 일 때 0.9배, 45도 일 때 0.85배로 계산한다. 식 (4)로 계산한 경우가 최대의 응력값을 나타내므로 바람직하며 정확한 계산을 위하여 테이퍼 각 계수를 두어 계산하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\sigma_1 = \eta \cdot \frac{6F(W+H)}{TP^2} \tag{5}$$

여기서, η는 테이퍼 각 계수이다.

맨홀의 경우 자동차의 하중이 반복적으로 작용하는 교번 압축의 경우이다. 비철 금속에서 일반적으로 S-N 곡선이 수평으로 되지 않는 경우에서 일정한 N(106 혹은 107)을 지정하여 그 반복 횟수에 대한 피로 한도를 정의한다. 반복 횟수 N에 대한 피로 응력은 다음과 같다.

$$\sigma_2 = \sigma_1 - \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_w}{6}\right)\log_{10} N \tag{6}$$

여기서, σ_w는 피로한도로서 주철에 대하여 굽힘 피로인 경우 $\sigma_w = 0.4\sigma_B$이고, 압축 피로인 경우 $\sigma_w = 0.25\sigma_B$이고 맨홀의 경우 0.3으로 정하다. N은 반복 횟수로서 106으로 한다.

결론적으로 맨홀 돌기 하나에 대하여 굽힘에 의한 전단과 피로 하중을 고려한 최종적인 응력식은 다음과 같다.

$$\sigma_2 = 0.3 \cdot \eta \cdot \frac{6F(W+H)}{TP^2} \tag{7}$$

돌기 열의 수 n=1인 경우 견딜 수 있는 하중을 구하기 위해 작용면적을 구하면 다음과 같다.

$$A = 3 \times T \times P \tag{8}$$

따라서, 지지할 수 있는 하중 계산식은 다음과 같다.

$$F = \sigma_2 \times A = 3 \times T \times P \times 0.3 \cdot \eta \cdot \frac{6F(W+H)}{TP^2} \tag{9}$$

돌기 열의 수를 n이라고 하면, 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$F = n \times 3 \times T \times P \times 0.3 \cdot \eta \cdot \frac{6F(W+H)}{TP^2} \tag{10}$$

식 (10)과 같은 최종 응력식으로 Fig. 5과 같은 형상에서 Table 1과 같은 입력값과 Table 2와 같은 직교 배열표를 사용하여 계산하였다. 돌출 부위의 두께 H와 제품 두께 W는 제품의 크기에 따

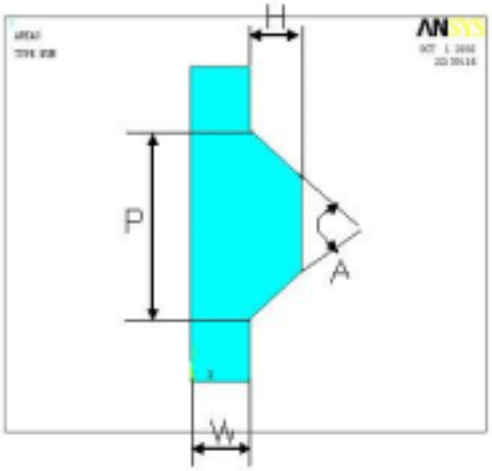

Fig. 5 Schematic drawing of a gear-shaped part

Table 1 Input value of Taguchi orthogonal array table

No.	H[mm]	n	P[mm]	W[mm]	F[kgf]
0	14	0.95	35	15.5	10000
1	15	0.90	40	16.5	10000
2	16	0.85	45	17.5	10000

른 제약으로 Table 1과 같이 3가지 경우에 대해서만 계산하였다.

Table 2는 Taguchi 방법에 의해 결정되어진 최적의 형상 치수를 나타내고 있으며, 계산되어진 지지 하중을 나타내는데 기어부의 열 수가 1열일 때도 30톤의 교변 하중을 견딜 수 있는 것으로 나타나 아주 견고한 맨홀임을 알 수 있다.

Table 2 Optimal value calculated by Taguchi orthogonal array table

H[mm]	n	P[mm]	W[mm]	T[mm]
14	0.85	45	15.5	157.55

3. 기어형 높이 조절식 맨홀의 제작

본 연구의 개발품인 높이 조절식 원형 맨홀은 한번 설치한 후에는 도로 노면의 높낮이 변화와는 무관하게 고정 시공되는 외관 도로 노면의 여건에 따라 높이 조절이 가능한 내관 및 내관의 상부에 이물질 침입 방지링 및 덮개의 3부분으로 구성된다. 본 개발 제품은 외관의 내벽면과 내관의 외벽면에는 기어형태로 제작되어 필요에 따라 외관은 고정된 채 내관만 기어 형태가 없는 쪽으로 돌려 높낮이를 자유롭게 조절할 수 있도록 설계된다. 그리고 내관과 외관의 기어부에는 돌출부가 부착되어 한번 높이 조절이 완료되어 삽입되면 차량 통행에 따른 진동이나 하중에도 파손되거나 이탈되지 않도록 견고히 설계되는 구조로 된다.

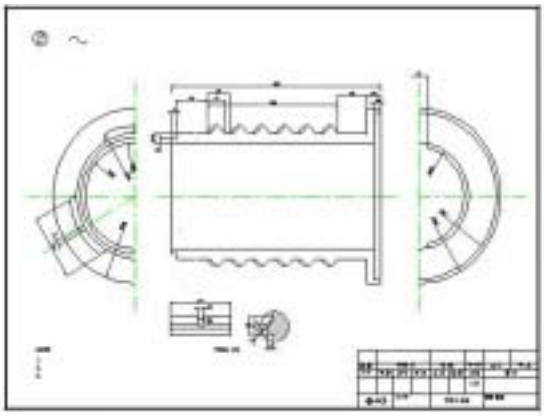

Fig. 6 Schematic drawing of an inner part

주조에 의하여 기어형 높이 조절식 맨홀을 제작하였으며, Fig. 6은 맨홀의 내통 설계 도면이다. 기어부의 형상은 앞장에서 계산되어진 형상의 치수를 사용하였다.

기어형 높이 조절식 맨홀을 주조로 만들기 위하여 목형을 제작하였으며, 그 사진을 Fig. 7에 나타내었다[3,4].

(a) Mold for an inner part of a manhole

(b) Mold for an outer part of a manhole

(c) Mold for an cover of a manhole

Fig. 7 Cast molds for a manhole

구상 흑연 주철을 재료로 하여 위의 목형으로 제품을 주조하였으며, 주조된 기어형 높이 조절식 맨홀의 제품은 아래 그림과 같다.

(a) the inner part of a manhole

(b) the outer part of a manhole

(c) the cover of a manhole

Fig. 8 Cast products for a manhole

4. 결론

맨홀 자체를 바깥통(외관)과 안쪽통(내관)으로 나누고 외관의 내벽면과 내관의 외벽면을 몇 단계의 기어 형상으로 가공하여 도로면의 여건에 따란 내관을 올리거나 내려서 간편하게 도로의 노면과 맨홀의 덮개 높이를 일치시킬 수 있도록 하는 맨홀의 설계와 제조에 관한 기술을 개발하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

1. 맨홀의 높이 조절이 가능하므로 도로면의 상태에 따른 보수와 유지가 용이하다.
2. 맨홀의 보수, 설치 작업 시 기존의 맨홀에 비해 인력 및 작업 시간 단축으로 경제적이다.
3. 교체 장비, 시공, 시간 면에서 우수하여 도로 체증이나 교통 방해를 유발하지 않고 보수, 교체 공사를 할 수 있다.
4. 기어형 높이 조절식 맨홀의 여러 가지 직경

에 따른 제품의 강도 설계와 제작 기술을 확보하였다.

참고 문헌

1. J.C. Park, J.C. Jung, J.B. Song, and J.K. Namgung, 1995, *New Mechanical Design, revised edition*, Chungmoongak Press, Korea (In Korean)
2. C.R. Hwang, J.W. Lee, M.S. Kim, 1994, *Mechanics of Solid*, Bando Press, Korea (In Korean)
3. P.F. Ostwald, 1996, *Manufacturing Processes and Systems, 9/E*, Wiley, U.S.A
4. Ki-Jong Park, Jong-Nam Lee and Gyung-Jin Park, 2003, *Structural Shape Optimization under Static Loads Transformed from Dynamic Loads*, Journal of KSME A, Vol. 27, No. 8, pp.1324-1330. (In Korean)