



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년06월27일
(11) 등록번호 10-1993791
(24) 등록일자 2019년06월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F04B 39/00 (2006.01) F16C 3/20 (2006.01)
F16F 15/24 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F04B 39/0094 (2013.01)
F16C 3/20 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0030213
(22) 출원일자 2018년03월15일
심사청구일자 2018년03월15일
(56) 선행기술조사문헌
KR100212755 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김현진
인천광역시 연수구 해돋이로 107(송도동, 송도 더샵 퍼스트월드)
임정택
인천광역시 남동구 경인로626번길 45(간석동, 세연빌리지)
최재웅
인천광역시 연수구 해송로30번길 20(송도동, 송도 웰카운티 4단지)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 2 항

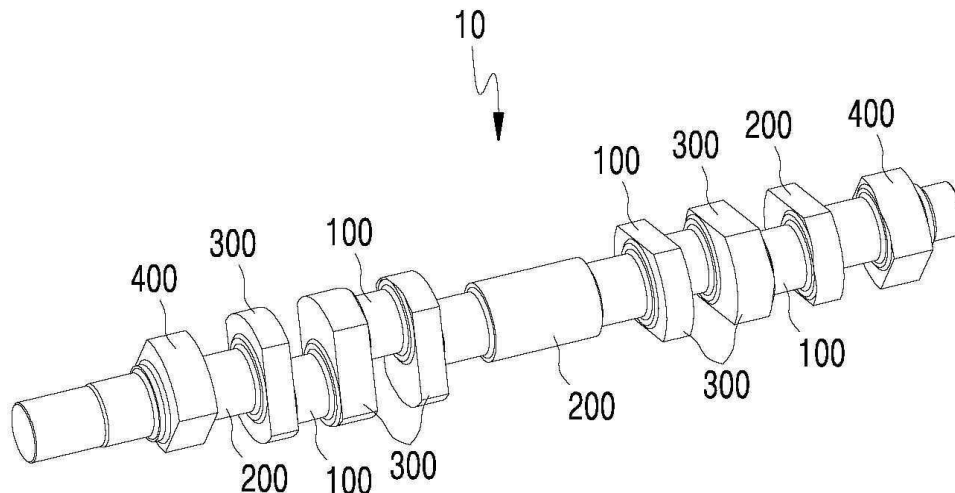
심사관 : 황성만

(54) 발명의 명칭 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축

(57) 요약

대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축이 개시된다. 본 발명의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축은, 360/N도의 위상차를 형성하는 N개의 크랭크핀; 크랭크핀과 메인저널을 연결하는 복수의 웹; 및 크랭크핀과 이격되어 메인저널의 양단부에 각각 결합되고, 서로 180도의 위상차를 갖는 한 쌍의 균형추를 포함하는 것을 특징으로 한다. 본 발명에 의하면, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어지는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축을 제공할 수 있게 된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F16F 15/24 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

삭제

청구항 2

90도의 위상차를 형성하는 4개의 크랭크핀;

상기 크랭크핀과 메인저널을 연결하는 복수의 웨브; 및

상기 크랭크핀과 이격되어 상기 메인저널의 양단부에 각각 결합되고, 서로 180도의 위상차를 갖는 한 쌍의 균형추를 포함하고,

상기 크랭크핀의 회전운동과 연동하여 피스톤, 피스톤봉, 크로스헤드 및 연결봉이 왕복운동하는 과정에서 아래의 수식을 만족하며,

$$W_{cw} = \frac{1}{4l_{cw}} \sqrt{[l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2 + [l_1 W_1 - l_2 W_2 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2}$$

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \sin^{-1} \left(\frac{l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r}{[l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2 + [l_1 W_1 - l_2 W_2 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2} \right)$$

여기서, l_1 은 크랭크축 센터로부터 바깥쪽 크랭크핀까지의 거리이고, l_2 는 크랭크축 센터로부터 안쪽 크랭크핀까지의 거리이며, l_{cw} 는 샤프트 중심에서 균형추 중심까지의 거리이고, W_r 은 각각의 크랭크핀에 걸리는 회전 운동하는 부재들의 원심력이며, W_{cw} 는 각각의 균형추의 원심력이고, α 는 균형추의 위상각인 것을 특징으로 하는 대향형 대기통 왕복동 압축기의 크랭크축.

청구항 3

60도의 위상차를 형성하는 6개의 크랭크핀;

상기 크랭크핀과 메인저널을 연결하는 복수의 웨브; 및

상기 크랭크핀과 이격되어 상기 메인저널의 양단부에 각각 결합되고, 서로 180도의 위상차를 갖는 한 쌍의 균형추를 포함하고,

상기 크랭크핀의 회전운동과 연동하여 피스톤, 피스톤봉, 크로스헤드 및 연결봉이 왕복운동하는 과정에서 아래의 수식을 만족하며,

$$W_{cw} = \frac{1}{4l_{cw}} \sqrt{\left[\sqrt{3}(l_1 - l_2 - 2l_3) W_r + \frac{\sqrt{3}}{2}(l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3(W_3 + W_4)) \right]^2 + \left[l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r \right]^2}$$

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \sin^{-1} \left(\frac{l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r}{\sqrt{\left[\sqrt{3}(l_1 - l_2 - 2l_3) W_r + \frac{\sqrt{3}}{2}(l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3(W_3 + W_4)) \right]^2 + \left[l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r \right]^2}} \right)$$

여기서, ℓ_1 은 크랭크축 센터로부터 바깥쪽 크랭크핀까지의 거리이고, ℓ_2 는 크랭크축 센터로부터 안쪽 크랭크핀까지의 거리이며, ℓ_{cw} 는 샤프트 중심에서 균형추 중심까지의 거리이고, W_r 은 각각의 크랭크핀에 걸리는 회전 운동하는 부재들의 원심력이며, W_{cw} 는 각각의 균형추의 원심력이고, α 는 균형추의 위상각인 것을 특징으로 하는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어지는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 대형 왕복동 압축기는 산업용, 선박용, 공조냉동용 등으로 널리 사용되고 있다. 그러나 크랭크축의 회전운동을 왕복운동으로 전환해주는 메커니즘을 적용하기 때문에 이로 인한 불균형력과 불균형 모멘트가 압축기 본체에 작용하여 진동이 심각해지는 문제가 있다.

[0003] 불균형력 및 불균형 모멘트 감소를 이룰 수 있도록 왕복동 압축기 크랭크축에 부착하는 균형추 설계를 개선하거나 크랭크축 형상변경 등을 통해 진동을 줄이려는 연구가 진행되어왔다. 또한, 대향형(opposite type), In-line 형, V형 등 압축기의 구조에 따라 균형추를 설계하는 방식이 달라지기 때문에 각 구조의 특징과 형상을 고려한 연구도 있다.

[0004] 따라서 본 발명의 출원인은 왕복동 압축기 중 대형 다기통 대향형 구조에서 발생하는 불균형력 및 모멘트를 최소화하고 크랭크 샤프트 및 균형추를 경량화할 수 있는 설계에 대한 해석적 방안을 연구하였다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0005] (비특허문헌 0001) (0001) B. S. Ko, W. G. Hwang, K. W. Ahn, S. W. Park and S. M. Hee, 2003, "A Study on Dynamic Characteristics of Reciprocating Compressors", Journal of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 478-485.

(비특허문헌 0002) (0002) S. G. Prak, H. J. Lee, A. Abu, J. Y. Lee and J. E. Oh, 2005, "Comparison of Vibration and Noise Characteristics for Reciprocating Air Compressor through the Change of Crankshaft Parameters", Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 530-533.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어지는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 상기 목적은, 본 발명에 따라, 360/N도의 위상차를 형성하는 N개의 크랭크핀; 상기 크랭크핀과 메인저널을 연결하는 복수의 웹; 및 상기 크랭크핀과 이격되어 상기 메인저널의 양단부에 각각 결합되고, 서로 180도의 위상차를 갖는 한 쌍의 균형추를 포함하는 것을 특징으로 하는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 의하여 달성된다.

[0008] 상기 N은 4이고, 상기 크랭크핀의 회전운동과 연동하여 피스톤, 피스톤봉, 크로스헤드 및 연결봉이 왕복운동하는 과정에서 아래의 수식을 만족하며,

$$W_{cw} = \frac{1}{4l_{cw}} \sqrt{[l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2 + [l_1 W_1 - l_2 W_2 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2}$$

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \sin^{-1} \left(\frac{l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r}{[l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2 + [l_1 W_1 - l_2 W_2 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2} \right)$$

여기서, l_1 은 크랭크축 센터로부터 바깥쪽 크랭크핀까지의 거리이고, l_2 는 크랭크축 센터로부터 안쪽 크랭크핀까지의 거리이며, l_{cw} 는 샤프트 중심에서 균형추 중심까지의 거리이고, W_r 은 각각의 크랭크핀에 걸리는 회전 운동하는 부재들의 원심력이며, W_{cw} 는 각각의 균형추의 원심력이고, α 는 균형추의 위상각일 수 있다.

상기 N은 6이고, 상기 크랭크핀의 회전운동과 연동하여 피스톤, 피스톤봉, 크로스헤드 및 연결봉이 왕복운동하는 과정에서 아래의 수식을 만족하며,

$$W_{cw} = \frac{1}{4l_{cw}} \sqrt{\left[\sqrt{3}(l_1 - l_2 - 2l_3) W_r + \frac{\sqrt{3}}{2}(l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3(W_3 + W_4)) \right]^2 + \left[l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r \right]^2}$$

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \sin^{-1} \left(\frac{l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r}{\sqrt{\left[\sqrt{3}(l_1 - l_2 - 2l_3) W_r + \frac{\sqrt{3}}{2}(l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3(W_3 + W_4)) \right]^2 + \left[l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r \right]^2}} \right)$$

여기서, l_1 은 크랭크축 센터로부터 바깥쪽 크랭크핀까지의 거리이고, l_2 는 크랭크축 센터로부터 안쪽 크랭크핀까지의 거리이며, l_{cw} 는 샤프트 중심에서 균형추 중심까지의 거리이고, W_r 은 각각의 크랭크핀에 걸리는 회전 운동하는 부재들의 원심력이며, W_{cw} 는 각각의 균형추의 원심력이고, α 는 균형추의 위상각일 수 있다.

발명의 효과

본 발명에 의하면, 서로 180도의 위상차를 갖는 한 쌍의 균형추가 크랭크핀과 이격되어 메인저널의 양단부에 각각 결합됨으로써, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어지는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축을 제공할 수 있게 된다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축의 사시도.

도 2 및 도 3은 도 1의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 작용하는 힘과 모멘트를 나타내는 그림.

도 4 및 도 5는 도 1의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축과 크랭크 각도에 따른 균형추가 없는 종래 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축의 모멘트를 나타내는 그림.

도 6 및 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 작용하는 힘과 모멘트를 나타내는 그림.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세하게 설명하면 다음과 같다. 다만, 본 발명을 설명함에 있어서, 이미 공지된 기능 혹은 구성에 대한 설명은, 본 발명의 요지를 명료하게 하기 위하여 생략하기로 한다.

본 발명의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축은, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시

키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어진다.

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축의 사시도이고, 도 2 및 도 3은 도 1의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 작용하는 힘과 모멘트를 나타내는 그림이고, 도 4 및 도 5는 도 1의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축과 크랭크 각도에 따른 균형추가 없는 종래 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축의 모멘트를 나타내는 그림이고, 도 6 및 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축에 작용하는 힘과 모멘트를 나타내는 그림이다.
- [0022] 도 1을 참조하면, 본 발명의 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축(10)은, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어지고, 크랭크핀(100), 메인저널(200), 웨브(300) 및 균형추(400)를 포함하여 구성된다.
- [0023] 크랭크핀(100)은 N개로 구비되어 360/N도의 위상차를 형성한다. 본 발명의 일 실시예는 크랭크핀(100)이 4개 구비되어 90도의 위상차를 형성하는 경우 즉, 대향형 4기통 왕복동 압축기의 크랭크축(10)을 나타내고, (도 2 참조) 본 발명의 다른 실시예는 크랭크핀(100)이 6개 구비되어 60도의 위상차를 형성하는 경우 즉, 대향형 6기통 왕복동 압축기의 크랭크축(10)을 나타낸다. (도 6 참조)
- [0024] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에서 크랭크핀(100)은 4개 구비되어 90도의 위상차를 형성한다. 복수의 웨브(300)는 크랭크핀(100)과 메인저널(200)을 연결한다. 균형추(400)는 크랭크핀(100)과 이격되어 메인저널(200)의 양단부에 각각 결합된다. 균형추(400)는 서로 180도의 위상차를 갖는다.
- [0025] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 대향형 4기통 왕복동 압축기의 크랭크축(10)은 균형추(400)가 축 양단에 일정한 위상각을 갖고 위치하도록 되어 있다.
- [0026] 각 실린더의 피스톤이 장착되는 4개의 크랭크핀(100)이 90도의 위상차를 갖도록 되어있는 이유는 각 실린더 내에서 발생하는 가스력으로 인한 토크 변동폭이 최소화되도록 하기 위한 것이다.
- [0027] 크랭크축(10) 기본 구조가 대향형이므로 각 크랭크핀(100)에 연결되어 왕복운동하는 질량들의 총합, 즉 피스톤 및 피스톤봉, 크로스헤드, 그리고 연결봉의 질량들의 합이 동일할 경우 불균형력은 발생하지 않는다. 그러나 시스템 중심을 기준으로 하여 각 힘들의 작용점까지의 거리에 차이가 있으므로 모멘트의 불균형은 발생하게 된다.
- [0028] 도 2는 균형추(400)가 축 양단에 위상각을 가지고 설치되는 새로운 균형추 설계 방식에 따른 균형추(400)를 장착한 크랭크축(10)에 작용하는 힘과 모멘트를 보여준다. 도 3은 도 2의 View 'A' 방향에서 바라본 샤프트(메인저널(200))에 작용하는 각종 힘들을 도식화한 그림이다.
- [0029] F_x , F_y 는 각각 x 방향, y 방향으로의 분력을 나타낸다. M_1 , M_2 , M_3 , M_4 는 각각의 크랭크핀(100)에 연결된 왕복 운동하는 질량들을 나타내며, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 는 각각의 크랭크 핀에 걸리는 왕복 운동하는 질량들의 가속도를 나타낸다. 여기서 하첨자는 크랭크핀의 번호를 의미한다. 왕복 운동하는 부재들로는 피스톤, 피스톤 로드, 커넥팅로드의 일부분, 크로스 헤드 등을 포함한다.
- [0030] W_r 은 각각의 크랭크 핀에 걸리는 회전 운동하는 부재들의 원심력이다. 회전 운동하는 부재들에는 크랭크핀(100)과 커넥팅로드의 일부분 등이 포함된다.
- [0031] 그림 3에서 F_{x1} 과 F_{y1} 은 각각 1번 크랭크핀(100)에 작용하는 x방향, y방향으로의 분력이고, M_1a_1 은 1번 크랭크핀(100)에 걸리는 왕복 운동하는 부재들의 관성력으로서 아래 [수학식 1]과 같다.

수학식 1

[0033]
$$M_1a_1 = W_1(\cos\theta - \lambda\cos2\theta)$$

[0035] 여기서, $W_1=M_1r\omega^2$ 이다.

[0036] 1번 크랭크핀(100)에 작용하는 힘들 M_1a_1 과 W_r 의 합력을 각 x 및 y 방향으로의 분력으로 나타내면 각각 [수학식 2]와 [수학식 3]과 같다.

수학식 2

[0038]
$$F_{x1} = W_1(\cos\theta - \lambda\cos 2\theta) + W_r\cos\theta$$

수학식 3

[0039]
$$F_{y1} = W_r\sin\theta$$

[0041] 나머지 3개의 크랭크핀(100)에 작용하는 힘들은 1번 크랭크핀(100)과 마찬가지로 [수학식 4] 내지 [수학식 9]로 나타낼 수 있다.

수학식 4

[0043]
$$F_{x2} = -W_2(\cos\theta - \lambda\cos 2\theta) - W_r\cos\theta$$

수학식 5

[0044]
$$F_{y2} = -W_r\sin\theta$$

수학식 6

[0045]
$$F_{x3} = W_3(\sin\theta + \lambda\cos 2\theta) + W_r\sin\theta$$

수학식 7

[0046]
$$F_{y3} = -W_r\cos\theta$$

수학식 8

[0047]
$$F_{x4} = -W_4(\sin\theta + \lambda\cos 2\theta) - W_r\sin\theta$$

수학식 9

[0048]
$$F_{y4} = W_r\cos\theta$$

[0050] 여기서 $W_2=M_2r\omega^2$, $W_3=M_3r\omega^2$, $W_4=M_4r\omega^2$ 이다.

[0051] 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 크랭크축(10)의 균형추(400) 설계에서, 1번 균형추(400)는 1번 크랭크핀(100)의 위상각과 α 만큼의 위상차를 가지고 설치하고, 2번 균형추(400)는 1번 균형추(400)와 180도의 위상차를 갖도록 설치하면, 이들 균형추들(400)로 인한 힘들은 [수학식 10] 내지 [수학식 13]과 같이

나타낼 수 있다.

수학식 10

[0053]
$$F_{cw1x} = -W_{cw} \cos(\theta + \alpha)$$

수학식 11

[0054]
$$F_{cw1y} = -W_{cw} \sin(\theta + \alpha)$$

수학식 12

[0055]
$$F_{cw2x} = W_{cw} \cos(\theta + \alpha)$$

수학식 13

[0056]
$$F_{cw2y} = W_{cw} \sin(\theta + \alpha)$$

[0058] 여기서 W_{cw} 는 각 균형추(400)의 원심력이다.

[0059] 크랭크축 시스템의 중심점을 기준하여 크랭크축(10)에 작용하는 모멘트의 x방향 및 y방향의 모멘트 성분을 구하면 각각 [수학식 14] 및 [수학식 15]와 같다.

수학식 14

[0061]
$$M_y = l_1(F_{x1} - F_{x4}) + l_2(F_{x2} - F_{x3}) + l_{cw}(F_{cw1x} - F_{cw2x})$$

수학식 15

[0062]
$$M_x = l_1(F_{y1} - F_{y4}) + l_2(F_{y2} - F_{y3}) + l_{cw}(F_{cw2y} - F_{cw1y})$$

[0064] 여기서, 도 2에 도시된 바와 같이, l_1 은 샤프트 중심에서 1번과 4번 크랭크핀(100) 중심까지의 거리, l_2 는 샤프트 중심에서 2번과 3번 크랭크핀(100) 중심까지의 거리, l_{cw} 는 샤프트 중심에서 균형추(400) 중심까지의 거리를 나타낸다.

[0065] x방향과 y방향의 모멘트의 합은 [수학식 16]으로 구할 수 있고, 시간에 대한 평균값은 [수학식 17]과 같이 정리된다.

수학식 16

[0067]
$$M^2 = M_x^2 + M_y^2$$

수학식 17

$$\begin{aligned}\overline{M^2} &= \frac{1}{2}[(b+d)^2 + (c+d)^2 + \lambda^2(c-b)^2 + 2d^2 + f^2 + f[\sin\alpha(c+2d) - \cos\alpha(b+2d)]] \\ &= \frac{1}{2}[(b+d)^2 + (c+d)^2 + \lambda^2(c-b)^2 + 2d^2] + f^2 + f\sqrt{(c+2d)^2 + (b+2d)^2} \sin(\alpha + \beta)\end{aligned}$$

여기서, b, c, d, f, β는 아래 [수학식 18]과 같다.

수학식 18

$$\begin{aligned}b &= l_1 W_1 - l_2 W_2 \\ c &= l_1 W_4 - l_2 W_3 \\ d &= (l_1 - l_2) W_r \\ f &= 2l_{cw} W_{cw} \\ \beta &= \sin^{-1}\left(\frac{b+2d}{\sqrt{(c+2d)^2 + (b+2d)^2}}\right)\end{aligned}$$

[수학식 17]에서 마지막 항을 제외한 다른 모든 항이 양수이기 때문에 마지막 항이 최소이면 모멘트의 평균값은 최소가 된다. [수학식 17]의 마지막 항이 최소가 되기 위해서는 $\alpha + \beta = 1.5\pi$ 가 되어야 하고, 그럴 경우 전체 모멘트 평균은 [수학식 20]과 같이 정리된다.

수학식 19

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \beta$$

수학식 20

$$\overline{M^2} = \frac{1}{2}[(b+d)^2 + (c+d)^2 + \lambda^2(c-b)^2 + 2d^2] + f^2 - f\sqrt{(c+2d)^2 + (b+2d)^2}$$

모멘트가 최소가 되는 f값은 아래와 같으며,

$$\frac{\partial \overline{M^2}}{\partial f} = 0$$

이를 만족하는 f값은 [수학식 21]과 같다.

수학식 21

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{(c+2d)^2 + (b+2d)^2}$$

위의 [수학식 18]에서 $f = 2l_{cw} W_{cw}$ 이므로, W_{cw} 는 결국 [수학식 22]와 같이 정리된다.

수학식 22

$$W_{cw} = \frac{1}{4l_{cw}} \sqrt{[l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2 + [l_1 W_1 - l_2 W_2 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2}$$

또한, 균형추의 위상각 α 는 [수학식 19]로부터 아래의 [수학식 23]으로 정리된다.

수학식 23

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \sin^{-1}\left(\frac{l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r}{[l_1 W_4 - l_2 W_3 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2 + [l_1 W_1 - l_2 W_2 + 2(l_1 - l_2) W_r]^2}\right)$$

결론적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른 대향형 4기통 압축기의 크랭크축(10)의 균형추(400) 설계에서 불균형 모멘트를 최소화하는 새로운 균형추(400) 설계 수단은 [수학식 22]로 표현되는 균형추 원심력과 [수학식 23]으로 표현되는 균형추 위상각을 갖는 균형추(400) 설계로 나타낼 수 있다.

아래의 case #1 및 case #2는 위 [수학식 22] 및 [수학식 23]의 각 변수에 로 수치를 대입하여 W_{cw} 와 α 를 계산해 본 결과를 나타낸다. [표 1]에는 case #1 및 case #2에 사용된 각 변수의 공통값(Geometric data and related mass values)들을 나타냈고, [표 2]에는 case #1 및 case #2에 따른 값(Piston mass of each case)들을 나타낸다.

표 1

Notation	Description	Value	Unit
m_{pr}	Piston rod mass	3.9	kg
m_{cr}	Connecting rod mass	12.1	kg
m_{ch}	Cross head mass	15.2	kg
m_{cp}	Crank pin mass	4.0	kg
r	Crank arm	37.5	mm
L_c	Connecting rod length	220	mm
ℓ_{c1}	Length from con rod center to crank pin center	82.77	mm
ℓ_{c2}	Length from con rod center to cross head pin	137.23	mm
ℓ_1	Distance from shaft center to Crank pin 1,4	387.5	mm
ℓ_2	Distance from shaft center to Crank pin 2,3	257.5	mm
ℓ_{cw}	Distance from shaft center to Counterweight 1,2	593.25	mm
ω	Rotating speed	600	RPM

표 2

Notation	Description	case #1	case #2	Unit
m_{p1}	1st Piston mass	21.1	21.1	kg
m_{p2}	2nd Piston mass	10.1	10.1	kg
m_{p3}	3rd Piston mass	21.1	21.1	kg
m_{p4}	4th Piston mass	8.1	10.1	kg

- [0100] **case #1**
- [0101] case #1은 1번 피스톤과 3번 피스톤의 무게가 같고, 2번 피스톤과 4번의 피스톤은 각각 다른 무게를 갖는 경우이다. 모멘트가 최소가 되도록 하는 균형추(400)의 원심력 $W_{c\omega}$ 는 [수학식 22]로부터 $W_{c\omega}=764.1[N]$, 균형추(400)의 위상각 α 는 [수학식 23]으로부터 $\alpha=342^\circ$ 로 계산된다.
- [0103] 도 4는 크랭크 각도에 따른 균형추가 없는 경우의 모멘트(M_0)와 case #1의 모멘트(M_{new})의 비교를 나타낸 그림이다. 각각의 평균은 $M_0=1030.5[N.m]$, $M_{new}=650.4[N.m]$ 로 case #1이 가장 작다. 변동폭은 균형추가 없는 경우는 $-76.7\sim+68.5\%$ 이고, 본 발명의 일 실시예의 case #1으로 설계된 균형추(400)가 있는 경우는 $-31.6\sim+29.3\%$ 이다.
- [0105] **case #2**
- [0106] case #2는 1번 피스톤과 3번 피스톤의 무게가 같고, 2번 피스톤과 4번의 피스톤의 무게가 같은 경우이다. 모멘트가 최소가 되도록 하는 균형추(400)의 원심력 $W_{c\omega}$ 는 [수학식 22]로부터 $W_{c\omega}=780.4[N]$, 균형추(400)의 위상각 α 는 [수학식 23]으로부터 $\alpha=338.6^\circ$ 로 계산된다.
- [0108] 도 5는 크랭크 각도에 따른 균형추가 없는 경우의 모멘트(M_0)와 case #2의 모멘트(M_{new})의 비교를 나타낸 그림이다. 각각의 평균은 $M_0=1048.3[N.m]$, $M_{new}=656.6[N.m]$ 로 case #2가 가장 작다. 변동폭은 균형추가 없는 경우는 $-75.4\sim+65.6\%$ 이고, 본 발명의 일 실시예의 case #1으로 설계된 균형추(400)가 있는 경우는 $-27.8\sim+26.0\%$ 이다.
- [0110] 도 6 및 도 7을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에서 크랭크핀(100)은 6개 구비되어 60도의 위상차를 형성한다. 복수의 웨브(300)는 크랭크핀(100)과 메인저널(200)을 연결한다. 균형추(400)는 크랭크핀(100)과 이격되어 메인저널(200)의 양단부에 각각 결합된다. 균형추(400)는 서로 180도의 위상차를 갖는다.
- [0111] 도 6을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 대향형 6기통 왕복동 압축기의 크랭크축(10)은 균형추(400)가 축 양단에 일정한 위상각을 갖고 위치하도록 되어 있다.
- [0112] F_x , F_y 는 각각 x 방향, y 방향으로의 분력을 나타낸다. M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 , M_6 는 각각의 크랭크핀(100)에 연결된 왕복 운동하는 질량들을 나타내며, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 는 각각의 크랭크 핀에 걸리는 왕복 운동하는 질량들의 가속도를 나타낸다. 여기서 하첨자는 크랭크핀의 번호를 의미한다. 왕복 운동하는 부재들로는 피스톤, 피스톤 로드, 커넥팅 로드, 커넥팅 로드 일부, 크로스 헤드 등을 포함한다.
- [0113] W_r 은 각각의 크랭크 핀에 걸리는 회전 운동하는 부재들의 원심력이다. 회전 운동하는 부재들에는 크랭크핀(100)과 커넥팅 로드 일부 등이 포함된다.
- [0114] 그림 7에서 F_{x1} 과 F_{y1} 은 각각 1번 크랭크핀(100)에 작용하는 x방향, y방향으로의 분력이고, M_1a_1 은 1번 크랭크핀(100)에 걸리는 왕복 운동하는 부재들의 관성력으로서 아래 [수학식 24]와 같다.

수학식 24

[0116]
$$M_1a_1 = W_1(\cos\theta - \lambda\cos 2\theta)$$

[0118] 여기서, $W_1=M_1r\omega^2$ 이다.

[0119] 1번 크랭크핀(100)에 작용하는 힘들 M_1a_1 과 W_r 의 합력을 각 x 및 y 방향으로의 분력으로 나타내면 각각 [수학식 25]와 [수학식 26]과 같다.

수학식 25

[0121]
$$F_{x1} = W_1(\cos\theta - \lambda\cos 2\theta) + W_r\cos\theta$$

수학식 26

[0122] $F_{y1} = W_r \sin \theta$

[0124] 나머지 5개의 크랭크핀(100)에 작용하는 힘들은 [수학식 27] 내지 [수학식 36]으로 나타낼 수 있다.

수학식 27

[0126] $F_{x2} = -W_2(\cos \theta - \lambda \cos 2\theta) - W_r \cos \theta$

수학식 28

[0127] $F_{y2} = -W_r \sin \theta$

수학식 29

[0128] $F_{x3} = -W_3 \left[\cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) + \lambda \cos 2 \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) \right] - W_r \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$

수학식 30

[0129] $F_{y3} = -W_r \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$

수학식 31

[0130] $F_{x4} = W_4 \left[\cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) + \lambda \cos 2 \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right) \right] + W_r \cos \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$

수학식 32

[0131] $F_{y4} = W_r \sin \left(\theta + \frac{\pi}{3} \right)$

수학식 33

[0132] $F_{x5} = -W_5 \left[\sin \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right) - \lambda \cos 2 \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right) \right] - W_r \sin \left(\theta + \frac{\pi}{6} \right)$

수학식 34

$$F_{y6} = W_r \cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)$$

수학식 35

$$F_{x6} = W_6 \left[\sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) - \lambda \cos 2\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \right] + W_r \sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)$$

수학식 36

$$F_{y6} = -W_r \cos\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right)$$

여기서 $W_2 = M_2 r \omega^2$, $W_3 = M_3 r \omega^2$, $W_4 = M_4 r \omega^2$, $W_5 = M_5 r \omega^2$, $W_6 = M_6 r \omega^2$ 이다.

도 6에 도시된 바와 같이, 본 발명의 다른 실시예에 따른 크랭크축(10)의 균형추(400) 설계에서, 1번 균형추(400)는 1번 크랭크핀(100)의 위상각과 α 만큼의 위상차를 가지고 설치하고, 2번 균형추(400)는 1번 균형추(400)와 180도의 위상차를 갖도록 설치하면, 이들 균형추들(400)로 인한 힘들은 [수학식 37] 내지 [수학식 40]과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 37

$$F_{cw1x} = -W_{cw} \cos(\theta + \alpha)$$

수학식 38

$$F_{cw1y} = -W_{cw} \sin(\theta + \alpha)$$

수학식 39

$$F_{cw2x} = W_{cw} \cos(\theta + \alpha)$$

수학식 40

$$F_{cw2y} = W_{cw} \sin(\theta + \alpha)$$

수학식 41

$$\begin{aligned} W_i &= m_{rec,i} r \omega^2 \\ W_r &= m_r r \omega^2 \\ W_{cw} &= m_{cw} r_{cw} \omega^2 \\ m_{rec} &= m_p + m_{pr} + \frac{l_{c1}}{L_c} m_{cr} + m_{ch} \\ m_{rot} &= m_{cp} + \frac{l_{c2}}{L_c} m_{cr} \\ \lambda &= \frac{r}{L_c} \end{aligned}$$

[0144]

수학식 42

$$\begin{aligned} \sum F_x &= F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + F_{x4} + F_{x5} + F_{x6} + F_{cw1x} + F_{cw2x} \\ &= (W_1 - W_2)(\cos\theta - \lambda \cos 2\theta) + (-W_3 + W_4) \left[\cos\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) + \lambda \cos 2\left(\theta + \frac{\pi}{3}\right) \right] \\ &\quad + (-W_5 + W_6) \left[\sin\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) - \lambda \cos 2\left(\theta + \frac{\pi}{6}\right) \right] \end{aligned}$$

[0145]

$$\sum F_y = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} + F_{y4} + F_{y5} + F_{y6} + F_{cw1y} + F_{cw2y} = 0$$

[0147]

여기서 W_{cw} 는 각 균형추(400)의 원심력이다.

[0148]

크랭크축 시스템의 중심점을 기준하여 크랭크축(10)에 작용하는 모멘트의 x방향 및 y방향의 모멘트 성분을 구하면 [수학식 43] 내지 [수학식 46]과 같다.

수학식 43

[0150]

$$\sum M_y = l_1(F_{x1} - F_{x6}) + l_2(F_{x2} - F_{x5}) + l_3(F_{x3} - F_{x4}) + l_{cw}(F_{cw1x} - F_{cw2x})$$

수학식 44

[0151]

$$\sum M_x = l_1(F_{y6} - F_{y1}) + l_2(F_{y5} - F_{y2}) + l_3(F_{y4} - F_{y3}) + l_{cw}(F_{cw2y} - F_{cw1y})$$

수학식 45

[0152]

$$\begin{aligned} \sum M_y &= \cos\theta \left[l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2} (W_3 + W_4) + \frac{1}{2} (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r - 2l_{cw} W_{cw} \cos\alpha \right] \\ &\quad + \sin\theta \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} (l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3 (W_3 + W_4)) - \frac{\sqrt{3}}{2} (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r + 2l_{cw} W_{cw} \sin\alpha \right] \\ &\quad + \lambda \cos 2\theta \left[-l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) + l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) - \frac{l_3}{2} (W_3 + W_4) \right] \\ &\quad + \lambda \sin 2\theta \left[-\frac{\sqrt{3}}{2} (l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3 (W_3 + W_4)) \right] \end{aligned}$$

수학식 46

$$\sum M_x = \cos\theta \left[-\frac{\sqrt{3}}{2}(l_1 - l_2 - 2l_3)W_r + 2l_{cw}W_{cw}\sin\alpha \right] \\ + \sin\theta \left[-\frac{1}{2}(l_1 - l_2 - 2l_3)W_r + 2l_{cw}W_{cw}\cos\alpha \right]$$

[0153]

[0155] 여기서, 도 6에 도시된 바와 같이, l_1 은 샤프트 중심에서 1번과 6번 크랭크핀(100) 중심까지의 거리, l_2 는 샤프트 중심에서 2번과 5번 크랭크핀(100) 중심까지의 거리, l_3 는 샤프트 중심에서 3번과 4번 크랭크핀(100) 중심까지의 거리, l_{cw} 는 샤프트 중심에서 균형추(400) 중심까지의 거리를 나타낸다.

[0156] x방향과 y방향의 모멘트의 시간에 대한 평균값은 [수학식 47]과 같이 정리된다.

수학식 47

$$\overline{M^2} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} M^2 d\theta \\ = c^2 + c[(2\sqrt{3}b - d)\sin\alpha - (a - e + 2b)\cos\alpha] \\ + (a - e + b)^2 + (d - \sqrt{3}b)^2 + 4b^2 + \lambda^2((a + e)^2 + d^2)$$

[0158]

[0160] 여기서, a, b, c, d, e는 아래 [수학식 48]과 같다.

수학식 48

$$a = l_1 \left(W_1 - \frac{1}{2} W_6 \right) - l_2 \left(W_2 - \frac{1}{2} W_5 \right) \\ b = \frac{1}{2} (l_1 - l_2 - 2l_3) W_r \\ c = 2l_{cw} W_{cw} \\ d = -\frac{\sqrt{3}}{2} (l_1 W_6 - l_2 W_5 - l_3 (W_3 + W_4)) \\ e = \frac{l_3}{2} (W_3 + W_4)$$

[0162]

수학식 49

$$(2\sqrt{3}b - d)\sin\alpha - (a - e + 2b)\cos\alpha \\ = \sqrt{(2\sqrt{3}b - d)^2 + (a - e + 2b)^2} \sin(\alpha + \beta) \\ \text{where, } \beta = \sin^{-1} \left(\frac{a - e + 2b}{\sqrt{(2\sqrt{3}b - d)^2 + (a - e + 2b)^2}} \right)$$

[0163]

[0165] [수학식 47]에서 마지막 항을 제외한 다른 모든 항이 양수이기 때문에 마지막 항이 최소이면 모멘트의 평균값은 최소가 된다. [수학식 47]의 마지막 항이 최소가 되기 위해서는 $\alpha + \beta = 1.5\pi$ 가 되어야 한다.

수학식 50

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \beta$$

[0167]

[0169] 모멘트가 최소가 되는 c값은 아래와 같으며,

$$\frac{\partial \overline{M^2}}{\partial c} = 0$$

[0170]

[0171] 이를 만족하는 c값은 [수학식 51]과 같다.

수학식 51

$$c = \frac{1}{2} \sqrt{(2\sqrt{3}b - d)^2 + (a - e + 2b)^2}$$

[0173]

[0175] 위의 [수학식 48]에서 $c = 2 \ell_{c0} W_{c0}$ 이므로, W_{c0} 는 결국 [수학식 52]와 같이 정리된다.

수학식 52

$$W_{cw} = \frac{1}{4l_{cw}} \sqrt{\left[\sqrt{3}(l_1 - l_2 - 2l_3)W_r + \frac{\sqrt{3}}{2}(l_1W_6 - l_2W_5 - l_3(W_3 + W_4)) \right]^2 + \left[l_1\left(W_1 - \frac{1}{2}W_6\right) - l_2\left(W_2 - \frac{1}{2}W_5\right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3)W_r \right]^2}$$

[0177]

[0179] 또한, 균형추의 위상각 α 는 [수학식 50]으로부터 아래의 [수학식 53]으로 정리된다.

수학식 53

$$\alpha = \frac{3}{2}\pi - \sin^{-1} \left(\frac{l_1\left(W_1 - \frac{1}{2}W_6\right) - l_2\left(W_2 - \frac{1}{2}W_5\right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3)W_r}{\sqrt{\left[\sqrt{3}(l_1 - l_2 - 2l_3)W_r + \frac{\sqrt{3}}{2}(l_1W_6 - l_2W_5 - l_3(W_3 + W_4)) \right]^2 + \left[l_1\left(W_1 - \frac{1}{2}W_6\right) - l_2\left(W_2 - \frac{1}{2}W_5\right) - \frac{l_3}{2}(W_3 + W_4) + (l_1 - l_2 - 2l_3)W_r \right]^2}} \right)$$

[0181]

[0183] 결론적으로, 본 발명의 다른 실시예에 따른 대향형 6기통 압축기의 크랭크축(10)의 균형추(400) 설계에서 불균형 모멘트를 최소화하는 새로운 균형추(400) 설계 수단은 [수학식 52]로 표현되는 균형추 원심력과 [수학식 53]으로 표현되는 균형추 위상각을 갖는 균형추(400) 설계로 나타낼 수 있다.

[0185] 본 발명에 의하면, 서로 180도의 위상차를 갖는 한 쌍의 균형추가 크랭크핀과 이격되어 메인저널의 양단부에 각각 결합됨으로써, 대향형 왕복동 압축기에 걸리는 불균형 모멘트를 감소시키고, 균형추의 수와 크기를 감소시키도록 이루어지는 대향형 다기통 왕복동 압축기의 크랭크축을 제공할 수 있게 된다.

[0187] 앞에서, 본 발명의 특정한 실시예가 설명되고 도시되었지만 본 발명은 기재된 실시예에 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 사상 및 범위를 벗어나지 않고 다양하게 수정 및 변형할 수 있음은 이 기술의 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 일이다. 따라서, 그러한 수정예 또는 변형예들은 본 발명의 기술적 사상이나 관점으로부터

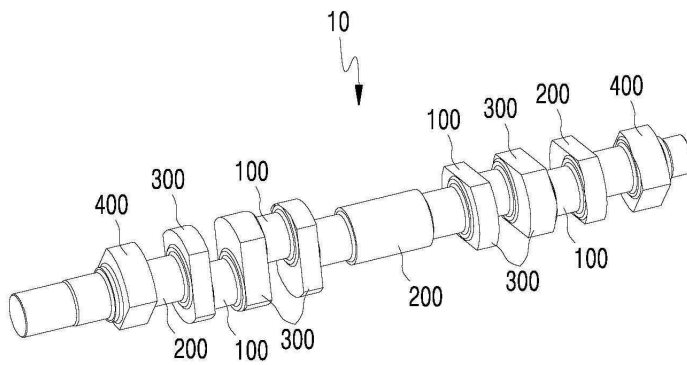
터 개별적으로 이해되어서는 안되며, 변형된 실시예들은 본 발명의 특허청구범위에 속한다 하여야 할 것이다.

부호의 설명

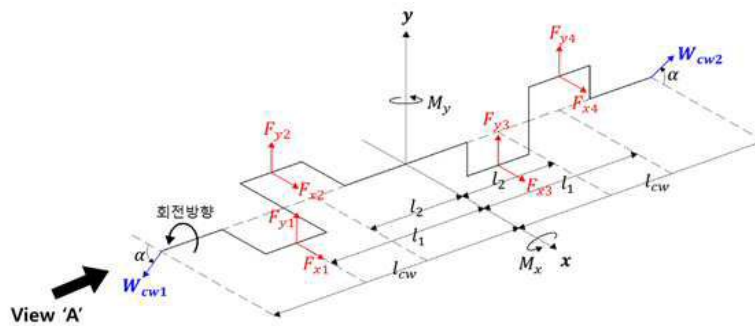
- [0188]
- 10 : 크랭크축
 - 100 : 크랭크핀
 - 200 : 메인저널
 - 300 : 웨브
 - 400 : 균형추

도면

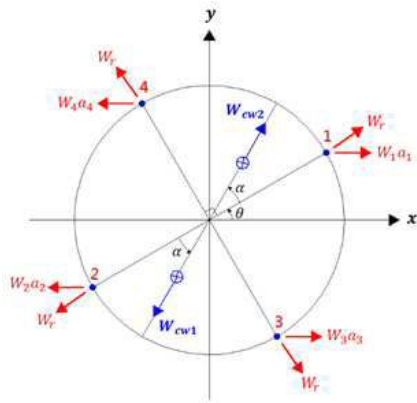
도면1



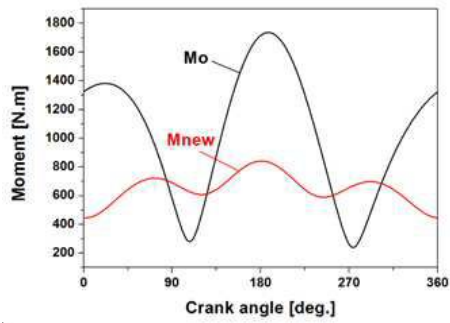
도면2



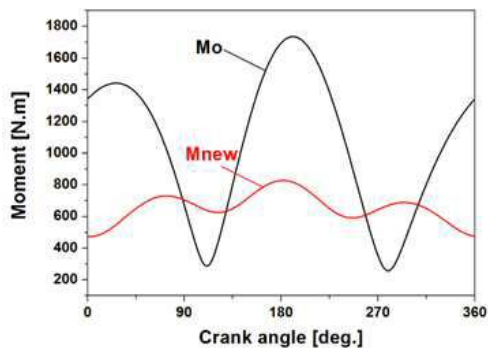
도면3



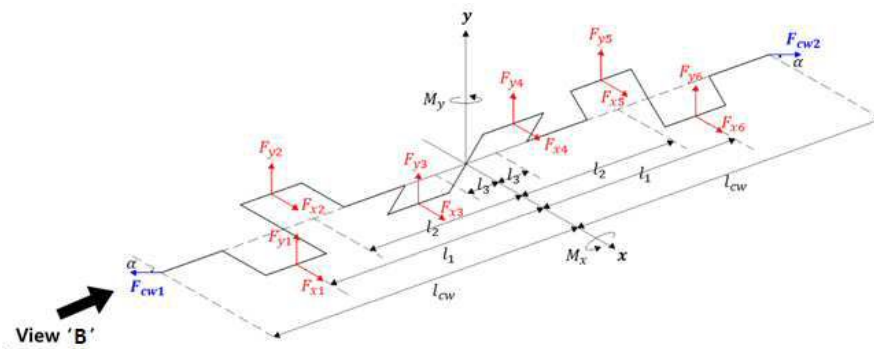
도면4



도면5



도면6



도면7

