

## W/V형 공기압축기의 불평형진동 저감에 관한 연구

김영주\* · 정하돈\*\* · 김형진\*\*

### Study on the Vibration Control Using Balance Weight for W/V-type Air Compressor

Y. J. Kim\* · H. D. Jung\*\* · H. J. Kim\*\*

**Key words** : W-type(W형), V-type(V형), Multi-stage(다단), Balance Weight(평형추) Reciprocating(왕복동), Crank Mechanism(크랭크기구), Balancing(평형)

#### Abstract

For the purpose of increasing compressed air pressure higher than 30bar, lightening weight and decreasing installation area of air compressor used for shipboard and industrial power plant, it is necessary to arrange its cylinders as a w-type or v-type construction, multi-stage compression process more than two stages and to increase its operation speed higher than 1,200rpm. In this reciprocating type air compressor, operated in high speed, having a crank mechanism and complicate cylinder arrangement, there is a vibration problems which can be solved by balancing its reciprocating parts with balance weight and appropriate arranging of cylinder's arrangement angles.

기호설명		(크랭크암 a <sub>2</sub> 에서, kgmm)	
$F_{z1}, F_{y1}$	: 1차 수직, 수평 합성관성력(kgf)	$\psi$	: 평형율(%)
$F_{ri}, F_{oi}, F_{Bi}$	: 왕복질량, 회전질량, 평형추로 인한 관성력(kgf)	$\phi$	: 실린더 배열각(deg)
$mR, mM, mL$	: R, M, L 실린더 왕복질량(kg)	$m_o$	: 회전질량(kg)
$m'_B, m_B$	: 평형추질량(kg)	$\omega$	: 각속도(rad/sec)
$M_{a1z}, M_{a1y}$	: Z, Y축 중심 불평형모멘트 (크랭크암 a <sub>1</sub> 에서, kgmm)	$\theta$	: 회전각(deg)
$M_{a2z}, M_{a2y}$	: Z, Y축 중심 불평형모멘트	$\theta_B$	: 평형추 설치각(deg)
		$l$	: 연결봉길이(mm)
		$\lambda$	: 연결봉비(=r/l)
		$l_i$	: 회전축에서 하중집 거리(cm)

\* 정회원, 한국기계연구원 환경설비연구부(원고접수일 99년 5월)

\*\* (주)종합해사

### 1. 개요

선박이나 산업플랜트에 이용되는 압축공기의 압력이 30기압 이상으로 증가하고 경량화와 설치면적 축소를 위해 실린더 배열을 W형이나 V형으로 하며 회전수를 1,200rpm 이상 고속화 하는 추세이다. 그 결과 크랭크기구를 갖는 왕복동 압축기는 왕복질량의 불평형력에 의한 진동문제가 발생되므로 이에대한 적절한 대책을 강구해야 한다. 이를 해결하기 위해 왕복질량이 대칭되도록 배치하고 중량을 감소토록 주철재 피스톤을 알루미늄합금으로 교체하며 적절한 평형추 설치를 검토해야 한다. 본 연구에서는 3개의 실린더가 60도 간격으로 배열된 W형 압축기와 2개의 실린더가 45도 간격으로 배열된 V형 압축기의 불평형진동 저감을 위한 대책으로 평형추 계산이론을 도출하였다. 검토된 공기압축기의 사양은 표1과 같다.

### 2. 평형추 계산이론

#### 1) 피스톤 이동거리 및 가속도

그림1에서 연결봉길이  $l$ , 회전반경  $r$ , 크랭크 회전각  $\omega t$ , 실린더 중심선과 연결봉 요동각  $\beta$ , 연결봉

비  $\lambda=r/l$ 일 때 피스톤 이동거리  $s$ , 피스톤 가속도  $d^2s/dt^2$  계산식은

$$s \approx r(1 + \lambda/4) - r[\cos \omega t + (\lambda/4) \cos 2 \omega t] \quad (1)$$

$$d^2s/dt^2 = r\omega^2(\cos \omega t + \lambda \cos 2\omega t) \quad (2)$$

#### 2) 왕복질량과 회전질량에 의한 관성력

그림2와 그림3에 보이는 바와같이 1개의 크랭크핀에 연접봉으로 연결된 공기압축기의 왕복질량 ( $m_R, m_M, m_L$ )에 의한 R축 방향, M축 방향(수직축 z), L축 방향의 관성력  $F_R, F_M, F_L$ 은 다음식으로 계산된다. 왕복질량과 회전질량 및 평형추에 의한 수직방향과 수평방향의 1차 합성관성력  $F_{z1}, F_{y1}$ 은 회전반경  $r$ , 평형을  $\psi$ , 실린더 배열각  $\phi$ , 왕복질량

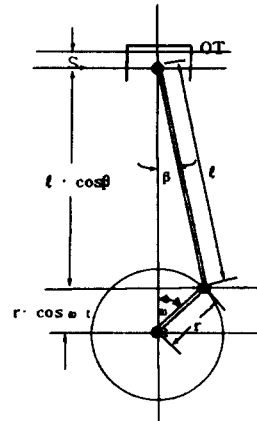


그림 1 단기통 크랭크 기구

표 1 W/V형 공기압축기의 주요사양

모델	AHW-60	AVH-30
압축/냉각 형식	3단, 공냉식	2단, 공냉식
실린더 배치각(°)	+60(1단, R), 0(3단, M) -60(2단, L)	+45(1단, R) -45(2단, L)
회전반경(cm)	4.0	4.0
연접봉비(λ)	0.198	0.222
압력(bar)	30	30
회전수(rpm)	1,200	1,200

표 2 평형추 계산자료

항 목	AHW-60	AVH-30
왕복부 질량 (kg)	3.7(R), 3.27(L), 3.51(M)	3.34(R), 3.56(L)
크랭크암 편심질량 (kg)	0.5 × 2ea	1.0 × 2ea
크랭크핀 회전질량 (kg)	2.58 (R, L, M)	2.65 (R, L)
크랭크암,연접봉거리 (cm)	3.6 (R, M, L)	1.8 (R, L)
회전반경 (cm)	4.0	4.0

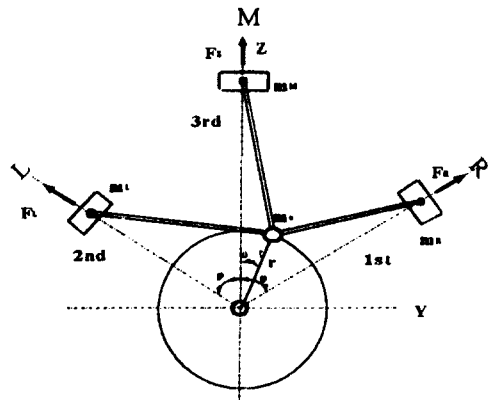


그림 2 W형 압축기 실린더 배열

$m_R, m_M, m_L$ , 회전질량  $m_o$ , 평형추질량  $m'_B$ , 각속도  $\omega$ 일때 다음과 같다.

$$F_{z1} = -r\omega^2 \Psi \{ \cos\phi(m_R + m_L) + m_M \} - m_o + m'_B \} \cos\alpha t \quad (3)$$

$$F_{y1} = -r\omega^2 \{ \Psi \sin\phi(m_R - m_L) + m_o + m'_B \} \sin\alpha t \quad (4)$$

3) 합성관성력 제거를 위한 평형추 계산

평형추에 의해 수평방향의 합성관성력을 제거한다면

$$F_{y1} = F_{z1} = 0 \quad (5)$$

$$\Psi \{ \cos\phi(m_R + m_L) + m_M \} - m_o + m'_B = 0 \quad (6)$$

$$\Psi \sin\phi(m_R - m_L) + m_o + m'_B = 0 \quad (7)$$

4행정 고속엔진의 평형추 계산을 위해 R.Clink가 제시한 이론을 W형 공기압축기에 적용한다면 왕복질량으로 인한 불평형력  $F_r$ 은 다음과 같다.

$$F_r = -(r\omega^2/2) \{ (m_R + m_M + m_L)e^{i\omega t} + (m_R e^{i2\phi} + m_M + m_L e^{-i2\phi})e^{-i\omega t} - (\lambda r\omega^2/2) \{ (m_R e^{-i\phi} + m_M + m_L e^{i\phi})e^{i2\omega t} + (m_R e^{i3\phi} + m_M + m_L e^{-i3\phi})e^{-i2\omega t} \} \}$$

$$e^{i90^\circ} = i, e^{-i90^\circ} = -i, e^{i45^\circ} = 1/\sqrt{2} + i1/\sqrt{2}, e^{-i45^\circ} = 1/\sqrt{2} - i1/\sqrt{2}$$

$$e^{i60^\circ} = 1/2 + i\sqrt{3}/2, e^{-i60^\circ} = 1/2 - i\sqrt{3}/2, e^{-i120^\circ} = -1/2 - i\sqrt{3}/2, e^{i120^\circ} = -1/2 + i\sqrt{3}/2 \quad (8)$$

상기식에서 1차 성분만을 검토하면

$$F_{r1} = (r\omega^2/2) \{ (1/2m_R + 2m_M + 1/2m_L)\cos\alpha t + i(\sqrt{3}/2)(m_R - m_L)\cos\alpha t + \sqrt{3}/2(m_R - m_L)\sin\alpha t + i(3/2)(m_R + m_L)\sin\alpha t \} \quad (9)$$

왕복질량에 의한 1차 수직방향과 수평성분 관성력  $F_{rz1}, F_{ry1}$ 를 식(9)의 실수부만 취하면

$$F_{rz1} = r\omega^2 \{ (0.25m_R + m_M + 0.25m_L)\cos\alpha t \} \quad (10a)$$

$$F_{ry1} = F_{ry1} = r\omega^2 \{ (0.433m_R - 0.433m_L)\Psi \} \sin\alpha t \quad (10b)$$

평형추계산을 위해 이것을 식(3),(4)에 대입하면

$$F_{z1} = r\omega^2 \Psi \{ 0.25(m_R + m_L) + m_M \} + m_o + m'_B \} \cos\alpha t \quad (11)$$

$$F_{y1} = r\omega^2 \{ 0.433\Psi(m_R - m_L) + m_o + m'_B \} \sin\alpha t \quad (12)$$

4) 불평형 모멘트 제거를 위한 평형추 계산

평형추와 회전질량에 관계되는 불평형 모멘트를 검토하기 위해서는 크랭크축에 설치되는 홀라이휠과 플리 및 크랭크암에서의 불평형 모멘트  $M_i$ 를 계산해야한다. 크랭크암 하단에 평형추를 설치하는데 충분한 공간이 없을때는 실린더블록 외부에 노출된 홀라이휠과 플리에 부족한 평형추를 설치하는 방법을 택하고 있다.

$$M_i = \sum_{i=1}^n (\Psi F_{ri} l_{ri} + F_{oi} l_{oi} + F_{Bi} l_{Bi}) = 0 \quad (13)$$

여기서,

$\Psi$ : 평형율(수직관성력을 수평관성력으로 전환하는 비율)

$l_{ri}, l_{oi}, l_{Bi}$ : 회전축으로부터 왕복관성력, 회전관성력, 평형추관성력 작용점까지의 거리(cm)

$F_{ri}$ : 왕복관성력(kgf)

$F_{oi}$ : 회전관성력(kgf)

$F_{Bi}$ : 평형추 관성력(kgf)

가. W형 압축기의 경우

그림3의 계산모델로부터 크랭크암 하부에 평형추를 설치한다고 가정하여 크랭크암을 중심으로한 수직축(Z축)과 수평축(Y축)의 불평형 모멘트를 제거하기 위한 평형추를 계산한다. 크랭크축에 부착된 회전질량과 왕복질량의 관성력으로 인한 모터축 크랭크암과 송풍기축 크랭크암에서의 각방향 불평형 모멘트  $M_{a1z}, M_{a1y}, M_{a2z}, M_{a2y}$ 를 계산하면

$$M_{a1z} = r\omega^2 \{ \Psi \{ -m_R \sin\phi l_{R1} + m_L \sin\phi l_{L1} \} + m_{B2y} l_{B1} \} = 0 \quad (14)$$

$$M_{a1y} = r\omega^2 \{ -\Psi \{ m_R \cos\phi l_{R1} + m_L \cos\phi l_{L1} \} + m_M l_{M1} \} - m_o \{ l_{R1} + l_{M1} + l_{L1} \} - m_{oal} a + m_{B2z} l_{B1} \} = 0 \quad (15)$$

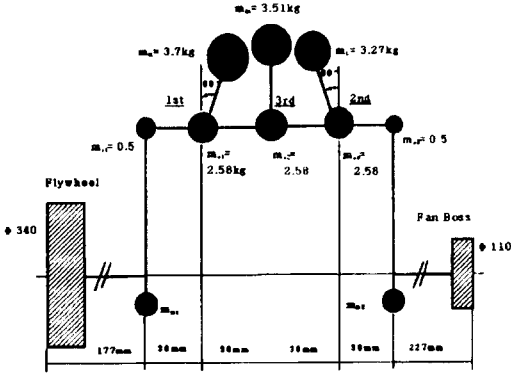


그림 3 W형 압축기의 평형추 계산모델

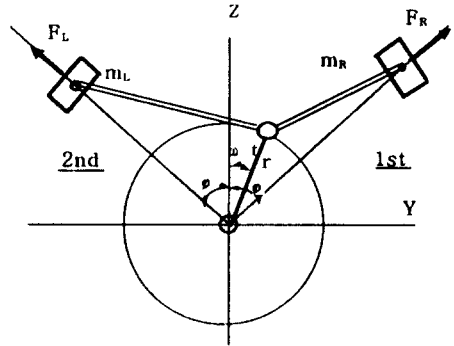


그림 4 V형 압축기 실린더 배열

$$M_{a2z} = r\omega^2 \{ \Psi(m_R \sin\phi_{R2} - m_L \sin\phi_{L2}) + m_{B1} l_{B2} \} = 0 \quad (16)$$

$$M_{a2y} = r\omega^2 \{ \Psi(m_R \cos\phi_{R2} + m_L \cos\phi_{L2} + m_M l_{M2}) + m_o(l_{R2} + l_{M2} + l_{L2}) + m_{oal} a + m_{B1z} l_{B2} \} = 0 \quad (17)$$

나. V형 압축기의 경우

같은 방법으로 V형 압축기의 평형추를 구하면 그림4와 그림5에서 불평형 모멘트 계산식은

$$M_{a1z} = r\omega^2 \{ \Psi(-m_R \sin\phi_{R1} + m_L \sin\phi_{L1}) + m_{B2} l_{B1} \} = 0 \quad (18)$$

$$M_{a1y} = r\omega^2 \{ -\Psi(m_R \cos\phi_{R1} + m_L \cos\phi_{L1}) - m_o(l_{R1} + l_{L1}) - m_{oal} a + m_{B2z} l_{B1} \} = 0 \quad (19)$$

$$M_{a2z} = r\omega^2 \{ \Psi(m_R \sin\phi_{R2} - m_L \sin\phi_{L2}) + m_{B1} l_{B2} \} = 0 \quad (20)$$

$$M_{a2y} = r\omega^2 \{ \Psi(m_R \cos\phi_{R2} + m_L \cos\phi_{L2}) + m_o(l_{R2} + l_{L2}) + m_{oal} a + m_{B1z} l_{B2} \} = 0 \quad (21)$$

3. 평형추 계산

1) 합성관성력을 이용한 평형추 계산

크랭크실의 평형추 설치면적에 여유가 있어 왕복질량에 의한 수직방향 불평형 관성력을 수평방향으로 변환시키는 평형추의 크기를 증가할 수 있는 경우에는 평형율을 크게할수 있으나 일반적으로 평형율을 50%정도 유지하므로 이를 근거로 상

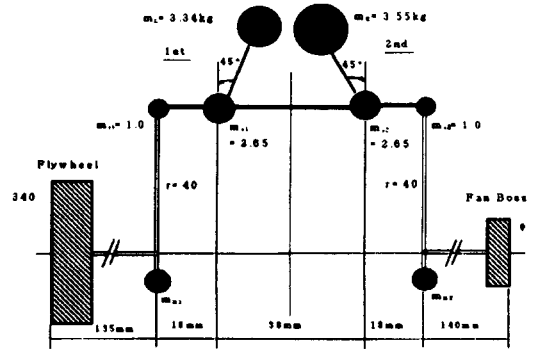


그림 5 V형 압축기의 평형추 계산모델

기 식(6),(7) 및 식(11),(12)와 표2에 보이는 평형추 계산자료를 이용하여 평형추를 계산하면 아래와 같다.

가. W형 압축기의 경우

$\phi = 60^\circ$ ,  $m_R = 5.3\text{kg}$ ,  $m_L = 3.27\text{kg}$ ,  $m_M = 3.51\text{kg}$ ,  $m_o = 8.75\text{kg}$ 이고 평형율  $\Psi = 0.5$  이므로 평형추질량  $m'_B$ 는

$$\begin{aligned} & \text{--식(6),(7)을 이용} \\ m'_{Bz} &= -0.5[\cos 60 \times (3.7 + 3.27) + 3.51 - 8.75] = -12.25\text{kg} \\ m'_{By} &= -0.5[\sin 60 \times (3.7 - 3.27) - 8.75] = -8.94\text{kg} \\ m'_B &= (12.25^2 + 8.94^2)^{1/2} = 15.16\text{kg} \\ & \text{(크랭크암 한쪽당 7.58kg)} \\ \theta'_B &= \tan^{-1}(-8.94 / -12.25) = 36^\circ \\ & \text{(크랭크암 하부에서 회전방향)} \end{aligned}$$

- 식(11),(12)를 이용

$$m''_{Bz} = -0.5 \times 10.25 \times (3.7 + 3.27) + 3.51 - 8.75 = -11.38kg$$

$$m''_{Bz} = -0.5 \times 0.433 \times (3.7 - 3.27) - 8.75 = -8.85kg$$

$$m''_B = (11.38^2 + 8.85 \cdot 1^2)^{1/2} = 14.42kg$$

(크랭크암 한쪽당 7.21kg)

$$\theta''_B = \tan^{-1}(-8.85/-11.38) = 38^\circ$$

(크랭크암 하부 회전방향)

나. V형 압축기의 경우

$\phi = 45^\circ$ ,  $m_R = 3.34kg$ ,  $m_L = 3.56kg$ ,  $m_o = 7.3kg$   
이고 평형을  $\psi = 0.5$  이므로 평형추질량  $m'_B$ 는

- 식(6),(7)을 이용

$$m'_{Bz} = -0.5 \times \cos 45 \times (3.34 + 3.56) - 7.3 = -9.74kg$$

$$m'_{By} = -0.5 \times \sin 45 \times (3.34 - 3.56) - 7.3 = -6.5kg$$

$$m'_B = (9.74^2 + 6.5^2)^{1/2} = 11.71kg$$

(크랭크암 한쪽당 5.85kg)

$$\theta'_B = \tan^{-1}(-6.5/-9.74) = 34^\circ$$

(크랭크암 하부에서 회전방향),

- 식(11),(12)를 이용

$$m''_{Bz} = -0.5 \times 0.5 \times (3.34 + 3.56) - 7.3 = -9.0kg$$

$$m''_{By} = -0.5 \times (3.34 - 3.56) - 7.3 = -7.19kg$$

$$m''_B = (9.0^2 + 7.19^2)^{1/2} = 11.52kg$$

(크랭크암 한쪽당 5.76kg)

$$\theta''_B = \tan^{-1}(-7.19/-9.0) = 39^\circ$$

(크랭크암 하부 회전방향)

2) 불평형모멘트를 이용한 평형추 계산

W/V형 압축기의 경우 대기통 실린더로 구성되어 있기 때문에 불평형력이 단일평면에 있지않고 축방향으로 거리를 갖고있어 상기와 같이 1평형면에서 관성력벡터를 합성하는 방법은 부적합하기 때문에 식(14)~식(17)을 이용하여 양단 크랭크암을 중심으로 하는 불평형모멘트로부터 각각의 크랭크암에 부착되는 평형추를 구해야 한다.

가. W형 압축기의 경우

모터측 크랭크암과 송풍기측 크랭크암에서의 수직방향과 수평방향의 불평형 모멘트  $M_{a1z}$ ,  $M_{a1y}$ ,  $M_{a2z}$ ,  $M_{a2y}$ 를 계산하면, 하중작용점 거리  $l_{R1} = l_{L2} = 3.6cm$ ,  $l_{M1} = l_{M2} = 7.2cm$ ,  $l_{L1} = l_{R2} = 10.8cm$ ,  $l_{B1} = l_{B2} = 11.4cm$ , 실린더 배치각  $\phi = 60^\circ$  이므로

$$M_{B1z} = m_{B2y}l_{B1} = 0.5 \times (3.7 \times \sin 60 \times 3.6 - 3.27 \times \sin 60 \times 10.8) = -9.52kgcm$$

$$M_{B1y} = m_{B2z}l_{B1} = 0.5 \times (3.7 \times \cos 60 \times 3.6 + 3.27 \times \cos 60 \times 10.8 + 3.51 \times 7.2) + 2.58 \times (3.6 + 7.2 + 10.8) + 0.5 \times 14.4 = 87.72kgcm$$

$$M_{B2z} = m_{B1y}l_{B2} = -0.5 \times (3.7 \times \sin 60 \times 10.8 - 3.27 \times \sin 60 \times 3.6) = -19.68kgcm$$

$$M_{B2y} = m_{B1z}l_{B2} = -0.5 \times (3.7 \times \cos 60 \times 10.8 + 3.27 \times \cos 60 \times 3.6 + 3.51 \times 7.2) - 2.58 \times (3.6 + 7.2 + 10.8) - 0.5 \times 14.4 = -88.5kgcm$$

모터측 평형추 :

$$m_{B1z} = -88.5/14.4 = -6.15kg$$

$$m_{B1y} = -19.68/14.4 = -1.4kg$$

$$m_{B1} = (6.15^2 + 1.4^2)^{1/2} = 6.31kg$$

$$\theta_{B1} = \tan^{-1}(-1.4/-6.15) = 13^\circ$$

(크랭크암 하부에서 회전방향)

송풍기측 평형추 :

$$m_{B2z} = -87.72/14.4 = -6.10kg$$

$$m_{B2y} = -9.52/14.4 = -0.66kg$$

$$m_{B2} = (6.10^2 + 0.66^2)^{1/2} = 6.14kg$$

$$\theta_{B2} = \tan^{-1}(-0.66/-6.10) = 6^\circ$$

(크랭크암 하부에서 회전방향)

이들 평형추를 크랭크암에 부착하는 것은 설치각도 유지와 설치공간 부족문제로 모터측의 경우 홀라이휠 전면(설치반경 1.7cm, 설치거리 17.7cm)에 부착하고 송풍기측의 경우에 송풍기 보스부(설치반경 5.5cm, 설치거리 22.7cm)에 부착한다면

홀라이휠 전면 평형추 :

$$m_{B1} = 6.31 \times (4/17) \times 14.4 / (14.4 + 17.7)$$

$$= 0.67kg \text{ (압하부에서 회전방향 } 13^\circ)$$

송풍기 보스부 평형추 :

$$m_{B2} = 6.14 \times (4/5.5) \times 14.4 / (14.4 + 22.7) \\ = 1.73kg \text{ (압하부에서 역회전방향 } 6^\circ)$$

나. V형 압축기의 경우,

크랭크암과 좌우 실린더 중심거리가 각각

$$l_{R1} = l_{L2} = 1.8cm, l_{L1} = l_{R2} = 5.4cm, l_{B1} = l_{B2} = 11.4cm, \text{ 실린더 배치각 } \phi = 45^\circ \text{ 이므로}$$

$$M_{B1z} = m_{B2y}l_{B1} = 0.5 \times (3.34 \times \sin 45 \times 1.8 \\ + 3.55 \times \sin 45 \times 5.4) = -4.65kgcm$$

$$M_{B1y} = m_{B2z}l_{B1} = 0.5 \times (3.34 \times \cos 45 \times 1.8 \\ + 3.55 \times \cos 45 \times 5.4) + 2.65 \times (1.8 + 5.4) \\ + 1.0 \times 7.2 = 35.18kgcm$$

$$M_{B2z} = m_{B1y}l_{B2} = -0.5 \times (3.34 \times \sin 45 \times 5.4 \\ - 3.55 \times \sin 45 \times 1.8) = -4.12kgcm$$

$$M_{B2y} = m_{B1z}l_{B2} = -0.5 \times (3.34 \times \cos 45 \times 5.4 \\ + 3.55 \times \cos 45 \times 1.8) - 2.65 \\ \times (1.8 + 5.4) - 1.0 \times 7.2 = -34.89kgcm$$

모터축 평형추 :

$$m_{B1z} = -34.89/7.2 = -4.86kg$$

$$m_{B1y} = -4.12/7.2 = -0.57kg$$

$$m_{B1} = (0.57^2 + 4.86^2)^{1/2} = 4.89kg$$

$$\theta_{B1} = \tan^{-1}(-0.57/-4.36) = 7^\circ$$

(크랭크암 하부에서 회전방향)

송풍기축 평형추 :

$$m_{B2z} = -35.18/7.2 = -4.97kg$$

$$m_{B2y} = 4.65/7.2 = 0.65kg$$

$$m_{B2} = (4.97^2 + 0.65^2)^{1/2} = 5.01kg$$

$$\theta_{B2} = \tan^{-1}(0.65/-4.97) = 7^\circ$$

(크랭크암 하부에서 역회전방향)

홀라이휠 전면 평형추 :

$$m_{B1} = 4.89 \times (4/17) \times (7.2(7.2 + 13.5)) = 0.4kg \\ \text{(압하부에서 회전방향 } 7^\circ)$$

송풍기 보스부 평형추 :

$$m_{B2} = 5.01 \times (4/5.5) \times (7.2/(7.2 + 14)) = 1.24kg \\ \text{(압하부에서역회전방향 } 7^\circ)$$

이들 계산결과를 비교하면 표3과 같다.

#### 4. 결 론

W/V형 공기압축기의 불평형진동을 저감시키기 위해 설치되는 평형추의 계산방법을 검토한바 본 연구에서 제시한 불평형모멘트를 이용한 평형추의 계산방법이 관성력을 이용한 계산결과에 비해 평형추 중량을 20% 이상 축소할수 있으며 W형 압축기에 비해 V형 압축기의 경우 평형추의 설치각이 크게 변화됨을 알 수 있었다. 검토된 2종의 압축기는 크랭크실 내부의 평형추 설치면적이 협소하여 평형추가 4kg 이내로 제한되어 크랭크실 외부의 홀라이휠이나 송풍기 보스부에 이동설치하므로써 정확한 위치에 설치가 가능케 하는 불평형모멘트의 이용방법이 보다 바람직할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. R. Clink, Balancing of High Speed Four Stroke Engines, Proc. Intern. Mech. Engrs(A.D.), N0.2, p73~108, 1958-1959
2. P.M. Heldt, An Evaluation of 90 Deg. V-Six Engine, Automotive Industries, July 15, p42~45, 1953
3. E.C. Grover, N. Lalor, A Review of Low Noise Diesel Engine Design at I.S.V.R Journal of Sound and Vibration, No.28(3), p403~431, 1973

표 3 평형추 계산결과(평형률50%)

항목	AHW-60A 압축기				AHV-30 압축기				
	설치위치	모터축	송풍기	FW축	송풍기	모터축	송풍기	FW축	송풍기
식(6),(7)이용		7.58kg + 36°	7.581kg + 36°			5.85kg + 34°	5.85kg + 34°		
식(11),(12)이용		7.21kg + 38°	7.21kg + 38°			5.76kg + 39°	5.76kg + 39°		
식(14),(17)이용		6.31kg + 13°	6.14kg + 6°	0.67kg + 13°	1.73kg + 6°	4.89kg + 7°	4.93kg - 7°	0.4kg + 7°	1.24kg - 7°

4. 日本船舶機關學會, 制振・免振・防音に関する先端技術, 日本船舶機關學會, 第24卷 第10號, p35~62, 1988. 11
5. 大道寺達, テイセル機關設計法, 工學圖書, p62~76, 1960
6. 한국기계연구원 보고서, 회전식 압축기의 진동분석 연구, BS1734-1297·D, 1989. 5
7. 한국기계연구원 보고서, 3T76K-C 엔진의 진동자감에 관한 연구, BS1090-1530·D, 1992. 5

## 저 자 소 개



**김영주(金永柱)**

1947년 7월생, 1970년 한국해양대 기관학과 졸업, 1982년 한국해양대 대학원 졸업(석사), 1989년 한국해양대 대학원 졸업(박사), 1979~현재 한국기계(연) 책임연구원, 당학회 정회원



**정하든(鄭夏敦)**

1950년 8월생, 1973년 한국해양대 기관학과 졸업, 1997년 한국해양대 대학원 졸업(석사), 현재 (주)종합해사 상무이사



**김형진(金炯進)**

1972년 12월생, 1997년 한국해양대 기계공학과 졸업, 1999년 한국해양대학 기계공학과 대학원 졸업, 1998~현재 (주)종합해사 주임연구원