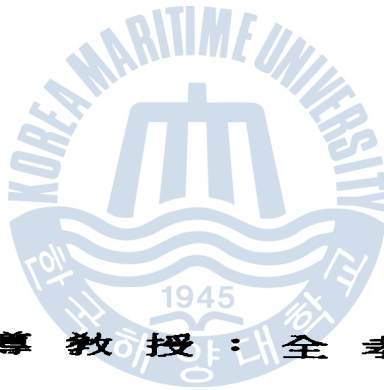


往復動 機關 運動部分 質量慣性
모멘트 計算方法에 關한 研究

A STUDY ON THE CALCULATION METHOD OF MASS POLAR
INERTIA MOMENT OF CRANKSHAFT AND RUNNING GEAR
FOR RECIPROCATING ENGINES



指導教授: 全孝重

1990년 12월 28일

선박기계공학과 4학년

경도현, 박진수, 박태환, 이해순, 송인덕

1. 머릿말

크랭크 축계 비틀림 진동의 정확한 계산을 위해서는 실제의 크랭크 축계를 단순한 진동계로 모델화 할 필요가 있다. 이경우에 복잡하고 어려운 문제중에 하나가 운동 부분의 질량관성 모멘트를 정확하게 계산하는 문제이다.

본 연구의 내용은 먼저 왕복동 내연기관의 크랭크 축계 및 운동 부분을 각 부분으로 세분하여 부분별로 질량관성 모멘트 계산방법을 고찰한 다음 이미 제작되어 있는 기관의 운동부분 질량관성 모멘트 값을 직접 계산하거나 이미 계산된 값을 입수하여 이것을 시린더 지름(D)에 대하여 $\Phi=(S/D)^2 I_{CYL}$ 로 정리하고 이 값을 이용하여 도표를 그린다.

이들 도표를 이용하여 현재 제작중인 왕복동 내연기관들의 왕복운동 및 회전부분의 질량관성 모멘트의 근사치를 추정할수 있는 방법을 고찰하여 보고자 한다.



2. 기관 운동부분의 관성 모멘트

피스톤, 연접봉, 크랭크는 축의 회전에 따라서 움직이고 있기 때문에 관성 모멘트를 가진다. 그러나 피스톤은 상하 직선운동을 하고 크랭크 핀과 크랭크 아암은 회전운동을 하고 있어서 연접봉은 상단이 상하운동, 하단은 회전운동.

중간부분은 타원운동을 하고 있다. 따라서 1기통당 가동부를 왕복질량과 회전질량으로 나누고 각각 축심에 미치는 관성 모멘트를 구해서 합계하면 된다.

2.1 : 크랭크 핀의 질량관성 모멘트

아래 그림을 이용하면

$$\text{중실축} : W = \frac{\pi}{4} D_p^2 l_p \rho \quad (\text{kg}) \quad (2.1)$$

$$k^2 = \frac{\pi D_p^2}{8} + R^2 \quad (2.2)$$

$$I_{pin} = \frac{\pi D_p^2 l_p \rho}{4g} \left(R^2 + \frac{D_p^2}{8} \right) \text{kgcms}^2 \quad (2.3)$$

$$\text{중공축} : W = \frac{\pi}{4} (D_p^2 - d_p^2) l_p \rho \quad (2.4)$$

$$k^2 = R^2 + \frac{D_p^2 + d_p^2}{8} \quad (2.5)$$

$$I_{pin} = \frac{\pi (D_p^2 - d_p^2) l_p \rho}{4g} \left(R^2 + \frac{D_p^2 + d_p^2}{8} \right) \text{kgcms}^2 \quad (2.6)$$

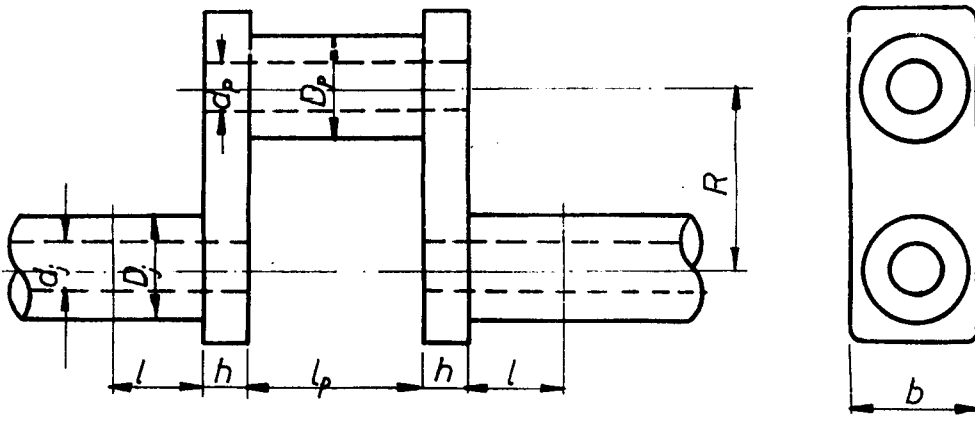


그림 2.1 크랭크.스로우 각부 치수

2.2 : 크랭크 아암의 질량관성 모멘트

크랭크 아암의 형상은 각 기종에 따라서 상당히 변화가 있는데 많이 사용되고 있는 것은 그림 2.2와 같은 형상의 것이다. 중심으로 부터 반경 R의 작은 부분 ΔR 을 취하고 이부분의 원호의 각도를 α^0 , 아암의 두께를 B라하면 XX축의 둘레의 질량관성 모멘트

$$\Delta I_{web} = \frac{2\pi R \alpha B \Delta R \rho R^2}{360g} \text{ kgcm}^2\text{s}^2 \quad (2.7)$$

크랭크 아암 전체에 대해서는

$$I_{web} = \frac{2\pi\rho}{360g} \Sigma(\alpha BR^3) \Delta R = \frac{\pi\rho}{180g} A \text{ kgcms}^2 \quad (2.8)$$

다만 A는 여러가지 반경으로 굽었을 때의 αBR^3 ($\text{cm}^4 \text{ Deg}$)의 값을 나타내는 곡선과 좌표축으로 둘러싸인 면적이다. 여기서 α 는 R<C 일때는 360° 로 되고 R이 2개소 이상에서 암의 능선을 굽을 때는, 예를 들어

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

와 같이 된다. 평형추가 붙었을 때도 마찬가지로 생각하면 된다. 또한 큰 기름구멍이 있을 때는 그 부분의 관성 모멘트를 빼주면 된다. 지금 KZ78/140C의 실물 크랭크(그림 2.3)에 관해서 이 방법에 따라 계산해 보자.

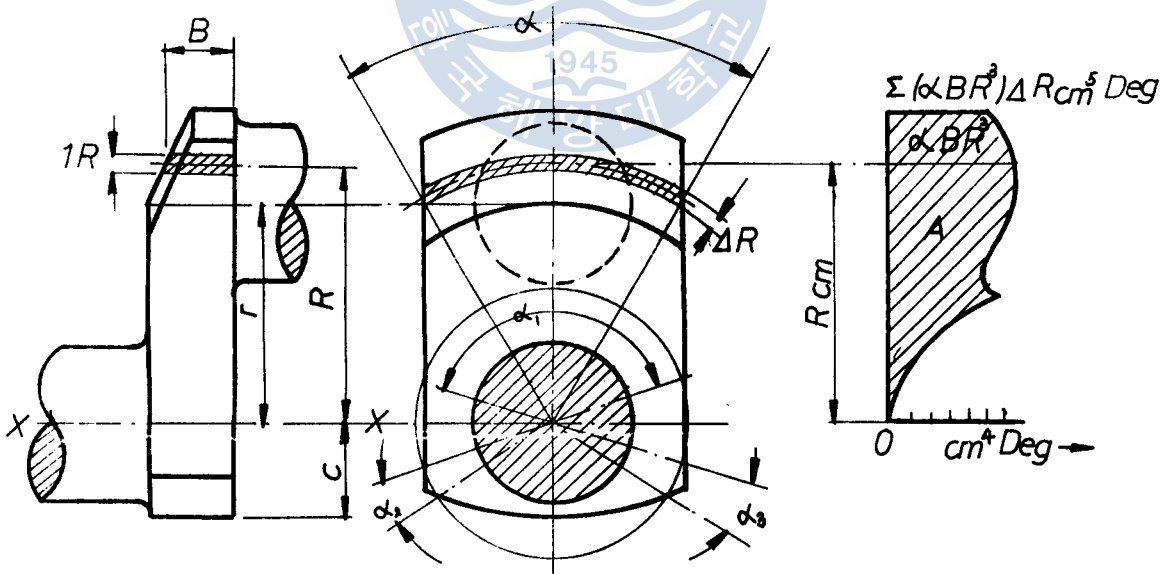


그림 2.2 크랭크 암의 관성질량 모멘트 계산

100R을 20등분해서 각 등분점의 αBR^3 을 구하면 표 2.1을 얻는다.

표 2.1 KZ78/140C의 크랭크 아암 질량관성 모멘트

	α°	B (cm)	R (cm)	R^3 (cm ³)	αBR^3 (cm ⁴ deg)
1	31	16	97.5	926859	45.97 x 10 ⁵
2	35	20	92.5	791453	55.40 x 10 ⁵
3	40	24	87.5	669922	64.31 x 10 ⁵
4	45.6	28	82.5	561516	71.69 x 10 ⁵
5	52.5	29.5	77.5	465484	72.09 x 10 ⁵
6	61.5	29.5	72.5	381078	69.14 x 10 ⁵
7	70.6	29.5	67.5	307574	64.05 x 10 ⁵
8	81	29.5	62.5	244141	58.34 x 10 ⁵
9	111	29.5	57.5	190109	62.25 x 10 ⁵
10	360	32.0	52.5	144703	166.70 x 10 ⁵
11	360	32.0	47.5	107172	123.46 x 10 ⁵
12	360	32.0	42.5	76766	88.43 x 10 ⁵
13	360	32.0	37.5	52734	60.75 x 10 ⁵
14	360	32.0	32.5	34328	39.55 x 10 ⁵
15	360	32.0	27.5	20797	23.96 x 10 ⁵
16	360	32.0	22.5	11391	13.12 x 10 ⁵
17	360	32.0	17.5	5359	6.17 x 10 ⁵
18	360	32.0	12.5	1953	2.25 x 10 ⁵
19	360	32.0	7.5	422	0.49 x 10 ⁵
20	360	32.0	2.5	16	0.02 x 10 ⁵
21	0	32.0	0	0	0

αBR^3 (cm⁴Deg)의 값을 각 반경에 대해서 기입하면 그림 2.4가 된다. 이 도형의 종축의 크기 1mm가 실물 0.4875mm이고 횡축 1mm가 10⁷ (cm⁴Deg)으로 취하고 있으므로

$$A = 10400 \times 0.4875 \times 10^7$$

$$= 507 \times 10^8 \text{ cm}^5\text{Deg}$$

기름구멍을 무시할 경우 1개의 크랭크 아암의 질량 관성 모멘트 I_{web} 는 ($\rho = 7.8 \times 10^{-3}$: 강철)

$$I_{web} = \frac{\pi \times 0.0078}{180 \times 980} \times 507 \times 10^8 = 7041.7 \text{ kgcm}^2$$

기름통로의 부분을 고려하면 $d_p=7.2\text{cm}$, $l=29.25\text{cm}$ 가 되기 때문에

$$\frac{\pi \rho D_p^2 l}{4g} \left(R^2 + \frac{D_p^2}{8} \right)$$

$$= \frac{\pi \times 0.0078 \times 7.2^2 \times 29.25}{4 \times 980} \left(70^2 + \frac{7.2^2}{8} \right)$$

$$= 46.5 \text{ kgcms}^2$$

기름 통로의 부분을 제외한 1개의 크랭크 아암의 관성 모멘트는

$$I_{web} = 7041.4 - 46.5 = 6995.2 \text{ kgcms}^2$$

1개의 크랭크에서 아암이 2개 있기 때문에

$$2I_{web} = 13,990 \text{ kgcms}^2$$

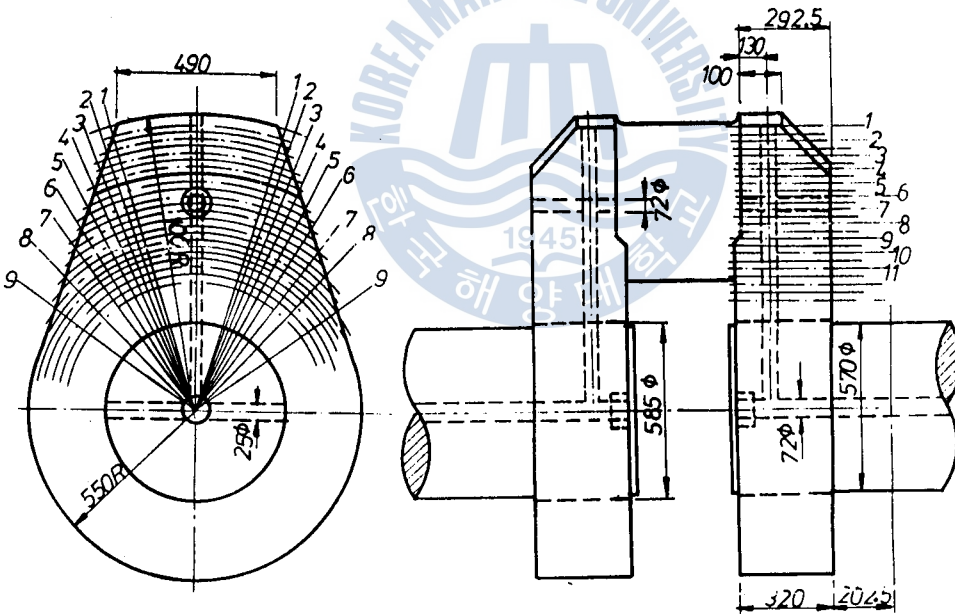


그림 2.3 KZ78/140C의 크랭크. 스토크우

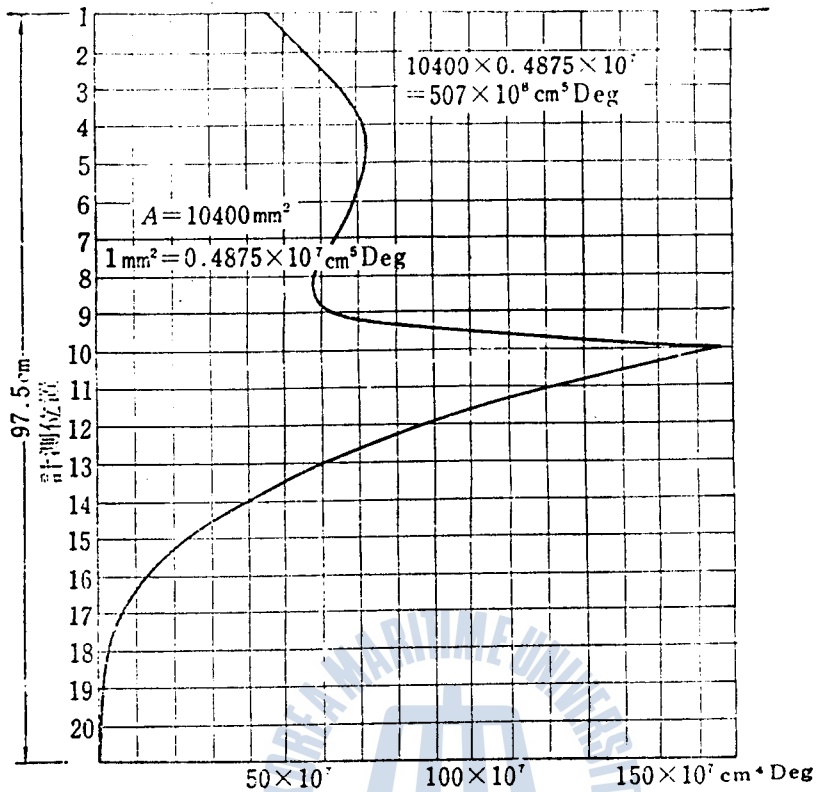


그림 2.4 KZ78/140C의 크랭크암 질량관성 모멘트 계산도표

2.3 : 크랭크 저널부의 질량관성 모멘트

크랭크 저널부는 일반적으로 무시되지만 출력이 크게됨에 따라서 축 지름이 크게되고 관성질량 모멘트도 크게 됨으로 계산에 넣는 것이 좋다. 이 계산은 보통의 축으로 간주하여 그림 2.1을 사용하고

$$I_j = \frac{\pi D_j^2 2b\rho}{4g} \frac{D_j^2}{8} = \frac{\pi b\rho D_j^4}{16g} \quad (\text{중실축}) \quad (2.9)$$

$$I_j = \frac{\pi b\rho (D_j^4 - d_j^4)}{16g} \quad (\text{중공축}) \quad (2.10)$$

2.4 : 연접봉의 질량관성 모멘트

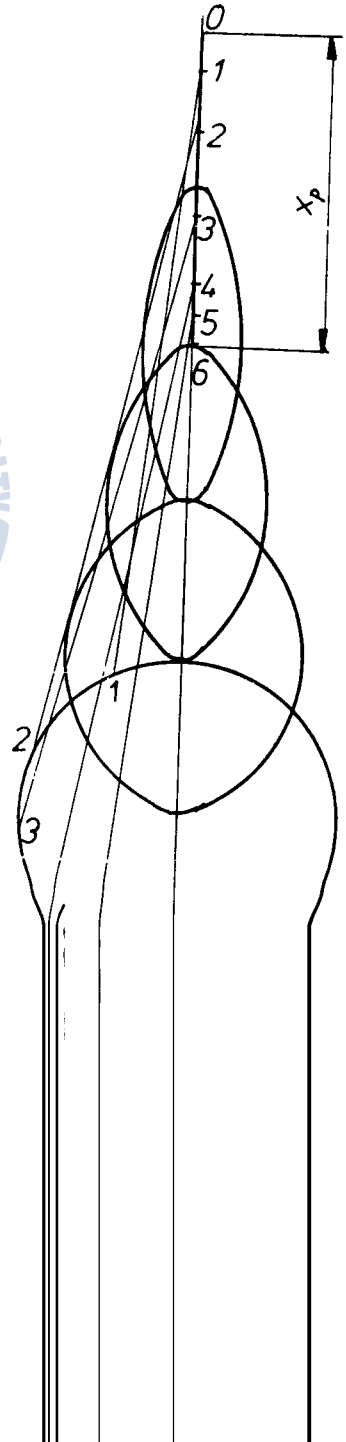
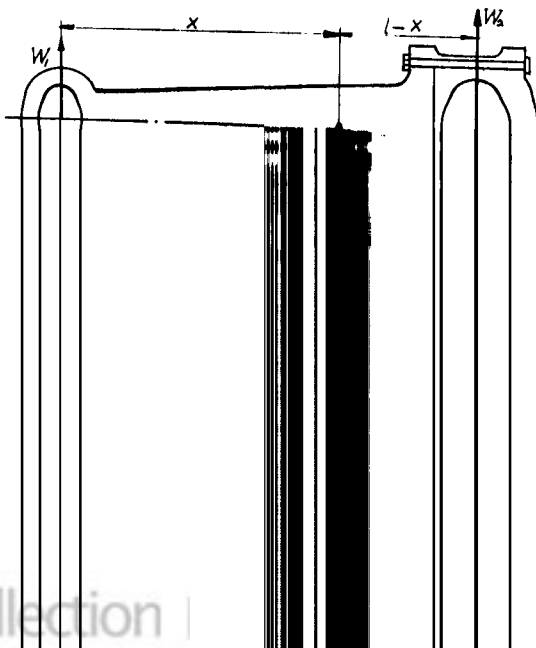
연접봉의 상단은 직선운동, 하단은 원운동, 중간은 타원운동 (그림 2.5)을 하고 있기 때문에 전체를 동시에 고려하는 것은 곤란하고 일반적으로 중심에서 2분하여 왕복운동을 하는 부분과 회전운동을 하는 부분으로 나눈다. 그럴 경우 전자는 피스톤에 부착한 질량이 되고 후자는 크랭크 핀에 붙는 질량으로 간주하더라도 실용상 지장이 없다. 이들의 실물 계측에는 특성이 같은 저울 2개를 사용해서 그림 2.6과 같이 간단하게 구할수 있다.

그림 2.6에 있어서
 W_1 ----- 왕복질량
 W_2 ----- 회전질량
 을 표시하고 이것의 전 중량 W 와
 의 관계는 다음식으로 구할수 있다.

$$\left. \begin{aligned} W_1 + W_2 &= W \\ W_1 x &= W_2(1-x) \\ W_1 &= W \left(\frac{1-x}{1} \right) \\ W_2 &= W \times \frac{x}{1} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

중심의 위치는 연접봉의 형태에 다르므로 일반적으로 말할수 없지만 박용기관에 사용되는 단면원형으로서 상부로 부터 하부로 감에 따라서 다소 굽게 되고 있는 경우에는 $x=(2/3)l$ 로 취하더라도 큰차이는 없다. 따라서 $W_1=(1/3)W$ 을 피스톤에 가산해서 계산하고 나머지 $W_2=(2/3)W$ 에 의한 질량관성 모멘트는 크랭크 핀에 합산하며 다음과 같이 된다.

$$I_{\text{connect}} = \frac{2W}{3g} R^2 \text{ kgcm}^2 \quad (2.12)$$



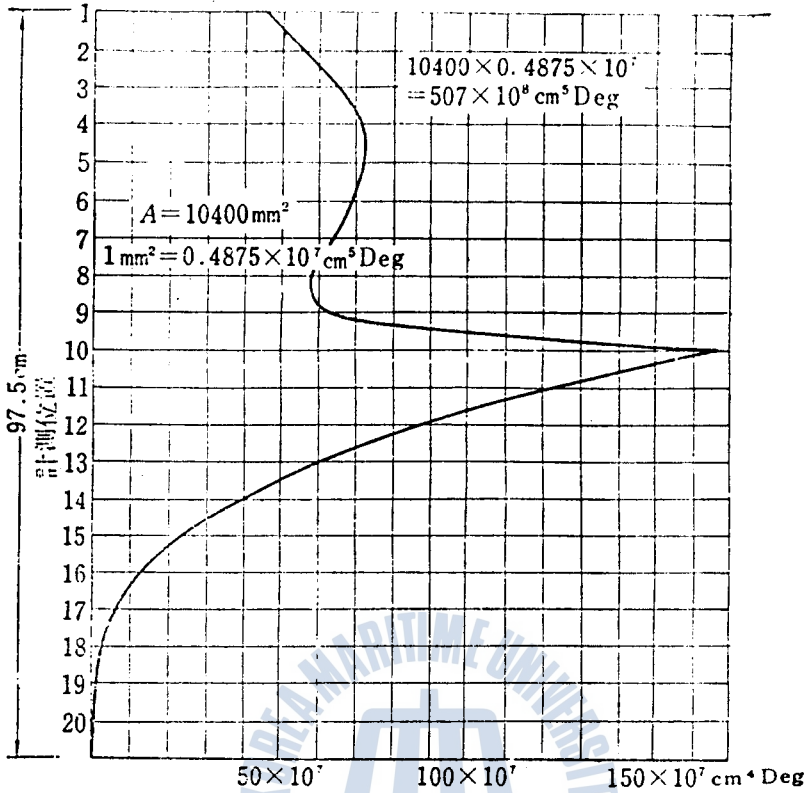


그림 2.4 KZ78/140C의 크랭크암 질량관성 모멘트 계산도표

2.3 : 크랭크 저널부의 질량관성 모멘트

크랭크 저널부는 일반적으로 무시되지만 출력이 크게됨에 따라서 축 지름이 크게되고 관성질량 모멘트도 크게 됨으로 계산에 넣는 것이 좋다. 이 계산은 보통의 축으로 간주하여 그림 2.1을 사용하고

$$I_j = \frac{\pi D_j^2 2b\rho}{4g} \frac{D_j^2}{8} = \frac{\pi b\rho D_j^4}{16g} \quad (\text{중실축}) \quad (2.9)$$

$$I_j = \frac{\pi b\rho (D_j^4 - d_j^4)}{16g} \quad (\text{중공축}) \quad (2.10)$$

2.4 : 연접봉의 질량관성 모멘트

연접봉의 상단은 직선운동, 하단은 원운동, 중간은 타원운동 (그림 2.5)을 하고 있기 때문에 전체를 동시에 고려하는 것은 곤란하고 일반적으로 중심에서 2분하여 왕복운동을 하는 부분과 회전운동을 하는 부분으로 나눈다. 그럴 경우 전자는 피스톤에 부착한 질량이 되고 후자는 크랭크 핀에 붙는 질량으로 간주하더라도 실용상 지장이 없다. 이들의 실물 계측에는 특성이 같은 저울 2개를 사용해서 그림 2.6과 같이 간단하게 구할수 있다.

그림 2.6에 있어서

W_1 ----- 왕복질량

W_2 ----- 회전질량

을 표시하고 이것의 전 중량 W 와
의 관계는 다음식으로 구할수 있다.

$$\left. \begin{aligned} W_1 + W_2 &= W \\ W_1 x &= W_2 (l-x) \\ W_1 &= W \left(\frac{l-x}{l} \right) \\ W_2 &= W \times \frac{x}{l} \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

중심의 위치는 연접봉의 형태에
따르므로 일반적으로 말할수 없지만
박용기관에 사용되는 단면원형으로서
상부로 부터 하부로 감에 따라서 다소
굵게 되고 있는 경우에는 $x = (2/3)l$ 로
취하더라도 큰차이는 없다. 따라서 $W_1 = (1/3)W$
을 피스톤에 가산해서 계산하고 나머지 $W_2 = (2/3)W$
에 의한 질량관성 모멘트는 크랭크 핀에
합산하며 다음과 같이 된다.

$$I_{connect} = \frac{2W}{3g} R^2 \text{ kgcm}^2 \quad (2.12)$$

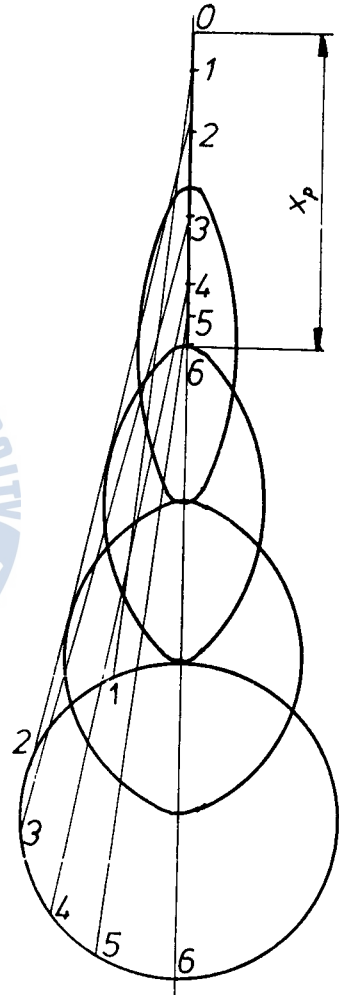
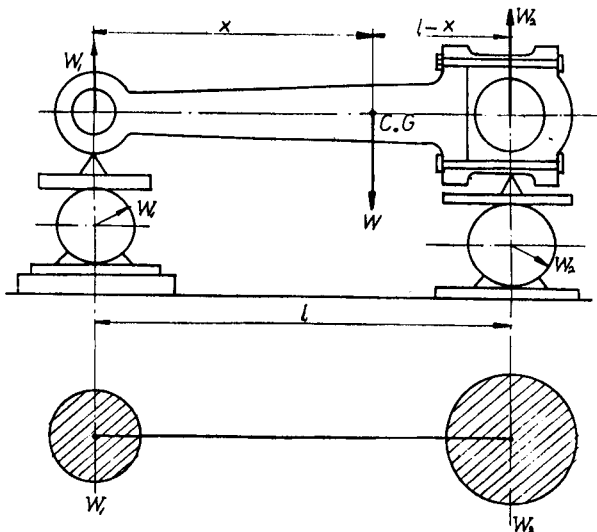


그림 2.5 연접봉의 운동궤적

그림 2.6
연접봉의 중량계측

2.5 : 피스톤의 질량관성 모멘트

피스톤, 피스톤 핀, 냉각수, 피스톤 봉, 가이드 슬립바 및 연접봉의 왕복질량부분 등, 상하운동을 하는 총 질량(W_{rec})을 크랭크 반경 R 에 붙어있는 상당질량(W)로 바꾸어 놓은 관성 모멘트를 구한다. ω 를 크랭크의 평균 회전 각속도라 하면 피스톤, 크랭크 기구에 있어서 피스톤의 상사점으로부터 t 초후의 크랭크는 ωt 각도 회전하고 피스톤은 X_p 변위한다.

l : 연접봉의 길이

θ : 실린더 상사점으로 부터의 크랭크 각도

Φ : 연접봉 각도

λ : R/l

$$x = (l+R) - (l\cos\Phi + r\cos\theta)$$

$$= R(1-\cos\theta) + R(1-\cos\Phi) \quad (2.13)$$

윗 식의 Φ 를 크랭크 각도 θ 로 나타내기 위해서

$$R\sin\theta = l\sin\Phi$$

$$\sin\Phi = \frac{R}{l}\sin\theta = \lambda\sin\theta$$

$$\begin{aligned} \text{따라서, } \cos\Phi &= \sqrt{1-\sin^2\Phi} \\ &= \sqrt{1-\lambda^2\sin^2\theta} \end{aligned}$$

를 대입하면

$$x = R(1-\cos\Phi) + \frac{R}{\lambda}(1-\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\theta}) \quad (2.14)$$

상식의 근을 전개하면

$$\sqrt{1-\lambda^2\sin^2\theta} = 1 - \frac{\lambda^2\sin^2\theta}{2} - \frac{\lambda^4\sin^4\theta}{8} - \frac{\lambda^6\sin^6\theta}{16} \dots \quad (2.15)$$

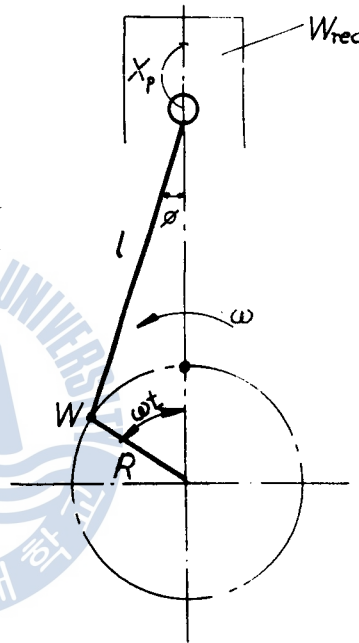


그림 2.7

그런데, $\sin^2 \theta = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\theta$

$\sin^4 \theta = \frac{3}{8} - \frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{1}{8} \cos 4\theta$ 이므로

$$X_p = R\left\{1 + \frac{\lambda}{4} + \frac{3\lambda^3}{64} + \dots\right\} - R\cos\theta + R\left\{-\frac{\lambda}{4} - \frac{\lambda^3}{16} \dots\right\}\cos 2\theta$$

$$+ R\left\{\frac{\lambda^3}{64} + \frac{3\lambda^5}{256} + \dots\right\}\cos 4\theta - R\left\{\frac{1}{512\lambda^5} + \dots\right\}\cos 6\theta + \dots$$

(2.16)

상 식중 λ^3 이상의 고차계수를 포함하는 항은 $\lambda = \frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 로 매우 작은 값이 되므로 생략하면

$$X_p = R + \frac{R\lambda}{4} - R\cos\theta - \frac{R\lambda}{4}\cos 2\theta$$

$$= R(1 - \cos\theta) + \frac{R\lambda}{4}(1 - \cos 2\theta)$$

(2.17)

윗 식을 t에 관해서 미분하면 속도가 구해진다. 따라서

$$\frac{dX_p}{dt} = \omega R(\sin\omega t + \frac{\lambda \sin 2\omega t}{2})$$

(2.18)

또한 식(2.18)을 t에 관하여 다시한번 미분하면 가속도가 구하여지며 다음과 같다

$$\frac{d^2X_p}{dt^2} = \omega^2 R(\cos\omega t + \lambda \cos 2\omega t)$$

그런데 왕복기관의 운동부 질량은 왕복질량 M_A 와 회전질량 M_B 의 2부분으로 나눌 수 있다고 하였다. 지금 M_A 의 등가질량을 M_A' 라 하고 이 M_A' 는 크랭크 핀의 위치에 있는 것이라 하면 M_A 의 운동에너지와 M_A' 의 운동에너지는 같아야 한다. 즉, M_A 의 속도를 V 라 하면

$$\frac{1}{2} M_A' (\omega R)^2 = \frac{1}{2} M_A V^2$$

(2.19)

상 식의 V에 (2.18)식의 값을 대입하면

$$M_A' = M_A \left(\sin\theta + \frac{\lambda}{2} \sin 2\theta\right)^2$$

$$= M_A \left(\sin^2\theta + \frac{\lambda^2}{4} (\sin 2\theta)^2 + \lambda \sin\theta \sin 2\theta\right)$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2\sin^2 \theta$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta) = -2\sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \{\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)\}$$

$$M_A' = M_A \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{\lambda^2}{4} \sin 2\theta + \lambda \sin \theta \sin 2\theta \right\}$$

$$= M_A \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2\theta + \frac{\lambda^2}{8} - \frac{\lambda^2}{8} \cos 4\theta - \frac{\lambda}{2} (\cos 3\theta - \cos \theta) \right\}$$

$$= M_A \left\{ \frac{1}{2} + \frac{\lambda^2}{8} + \frac{\lambda}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \cos 2\theta - \frac{\lambda}{2} \cos 3\theta - \frac{\lambda^2}{8} \cos 4\theta \right\}$$

(2.20)

윗 식을 보면 등가질량은 크랭크 각도에 따라 변함을 알수있다. 이 불편함을 제거하기 위하여 크랭크 1회전에 대한 평균치

$$\left(\frac{1}{2\pi}\right)\int_0^{2\pi} M_A' d(\omega t) \text{를 취하고}$$

이것을 등가질량이라 하면

$$M_A' = \frac{M_A}{2} \left(1 + \frac{\lambda^2}{4}\right) \quad (2.21)$$

이 식에서 $\lambda^2/4$ 은 λ 가 1/4로 매우 작으므로 무시하면

$$M_A' = \frac{M_A}{2} \quad (2.22)$$

또는 (2.18)식의 제 2항은 연결봉의 경사에 의한 영향으로서 이것을 무시하면 단순한 정현파형으로 되고 W_{rec} 에 의한 순간의 운동에너지는

$$\frac{W_{rec}}{2g} \omega^2 R^2 \sin^2(\omega t) \text{로 된다.}$$

1회전에 있어서 평균의 운동에너지는

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{W_{rec}}{2g} \omega^2 R^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) &= \frac{W_{rec} \omega^2 R^2}{4\pi g} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) d(\omega t) \\ &= \frac{W_{rec} \omega^2 R^2}{4g} \end{aligned} \quad (2.23)$$

다음에 W_{rec} 를 $\theta = \omega t$ 각도에 있어서의 상당질량에 관한 운동에너지는 $\frac{W \omega^2 R^2}{2g}$ 이다.

$$\text{두식을 같다고 놓고 } W = \frac{1}{2} W_{rec} \quad (2.24)$$

의 관계를 얻을수 있고 이는 (2.22)식과 같은 결과이다. 환언하면 에너지적으로는 대략 왕복중량의 1/2이 크랭크 반경에서 회전하는 회전중량과 같은 값이 된다. 따라서 1실린더의 왕복중량에 의한 관성질량 모멘트는

$$I_{piston} = \frac{W_{rec}}{2g} R^2 \text{ kgcms}^2 \quad (2.25)$$

이상의 계산에 의해서 1기통의 운동부 전 관성모멘트는

$$I_{oyl} = I_{pin} + 2I_{web} + I_j + I_{connect} + I_{piston}$$

으로 집계된다.

3. 실제기관의 질량관성 모멘트

3.1 각종 기관의 질량관성 모멘트의 값

표 3.1 기존 대형디젤 엔진의 운동부분 질량관성 모멘트

직경(D)	행정(S)	(D/S) ²	I	$\Phi = I \times (D/S)^2$
350	1050	0.11	338.4	37.6
420	1360	0.09	1407	134.2
500	1620	0.09	1337	127.5
600	1944	0.09	3308	315.1
700	2268	0.09	3165	301.5
800	2592	0.09	8286	789.3
900	2916	0.09	7936	756
			17891	1704.3
			17127	1631.5
			34426	3279.4
			31971	3045.5
			49325	4698.7
260	980	0.07	188	13.2
500	1910	0.07	4580	313.9
600	2292	0.07	4341	297.5
700	2674	0.07	11503	788.3
800	3056	0.07	10227	700.8
900	3548	0.07	24831	1701.6
			23548	1613.7
			48144	3299.2
			45235	3099.9
	2300	0.15	31446	4815
	2550	0.12	42726	5322.3
	2300	0.12	25127	3040
			25006	3025.3
380	1100	0.12	456.2	54.4
480	1400	0.12	1729.5	203.3
520	1400	0.14	3476	479.5
580	1700	0.12	4743	552.1
620	2150	0.08	8157	678.3
680	2000	0.34	10481	1211.6
720	2500	0.08	18120	1502.9
760	2200	0.12	17499	2088.3
840	2400	0.12	27775	3402.4
	2900	0.08	42213	3541.7
	2400	0.12	26474	3243.1

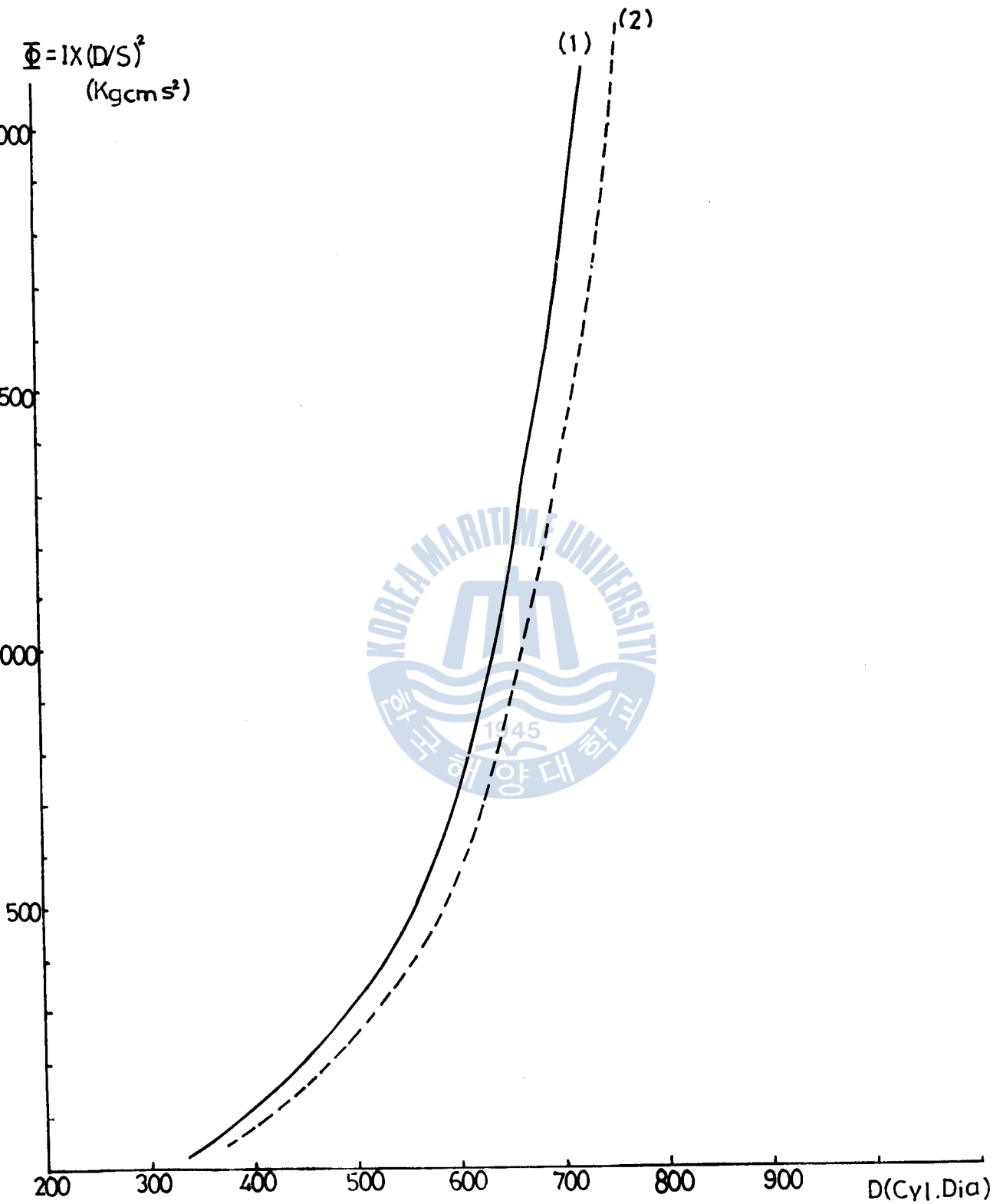


그림 3.1 $\Phi - D$ 선도 (대형박용디젤엔진의 운동부분 관성질량 모멘트 추정선도)

앞장에서 살펴본 것 처럼 왕복동 엔진의 운동부분 질량관성 모멘트를 계산하는 것은 상당히 복잡하고 많은 시간을 요한다. 따라서 계산의 정확성을 살펴 본다면 지간략하게 계산값을 점검하는 경우에는 보다 간략한 방법이 요망된다. 이 문제에 관한 전문가의 문헌에 의하면 일반적으로 왕복동엔진의 운동부분 질량관성 모멘트 I_{cyl} 는 $I_{cyl} \propto D^3 S^2$ 의 관계있음이 알려져 있다.

$$\phi = I_{cyl} X \left(\frac{D}{S}\right)^2 \text{ kgcms}^2$$

로 규정되는 함수 ϕ 를 도입하여 이 값을 시린더 지름에 대하여 도표로 표시하고 이 도표를 이용하여 왕복동 부분의 질량관성 모멘트를 구하도록 한다.

지금 각 기관 제작회사에서 제작중인 대형 박용 디젤기관의 운동부분 질량관성 모멘트를 표로 만든것이 표 3.1이다. 그림에서 실선은 표3.1에서 직경 350 mm ~ 900 mm 및 260 mm ~ 800 mm에 대한것이며 점선은 실린더 지름 380 mm ~ 840 mm에 대한것이다.

또한 이 표를 이용하여 ϕ 의 함수를 구하여 도표로 표시한 것이 그림 3.1이다. 그림 3.1에서 ϕ 곡선은 비교적 원활한 포물선을 그리며 이 곡선으로부터 ϕ 를 구했다면

$$I_{cyl} = \phi X \left(\frac{S}{D}\right)^2 \text{ kgcms}^2$$

로 I_{cyl} 를 계산 할수있다.

4. 결론

본 연구에서는 왕복동 내연기관의 운동부분 질량관성 모멘트를 계산하는 방법에 관하여 상세하게 살펴 보았으며 그 계산과정이 비교적 복잡하다는 것을 알았다. 따라서 정확한 계산이 필요 없을 경우든지 계산이 맞는가의 여부를 점검하는 경우 이와같은 정밀 계산방법은 매우 불편하다. 따라서 이러한 경우에 대비하여 현재 제작중인 대형 박용 디젤엔진의 운동부분 질량관성 모멘트를 입수하고 이 값들에서 직경대 행정비의 제곱값을 곱하여 새로운 함수를 정의한 다음 이 함수 값을 시린더 지름에 대하여 도표로 표시함으로써 용이하게 왕복동 내연기관의 운동부분 질량관성 모멘트의 개략치를 구하는 방법을 제시하였다.