

워엄 기어의 영국 표준 규격 설명서

[BS 721 : PART II , 1983]

Part II : Meteric 단위

목 차

설 명

1. 범위	3
2. 정의	3
3. 기호	3
4. 워엄 과 워엄 휘일의 齒形	5
5. 워엄 기어 요소의 정보	7
6. 세부 치수의 계산공식	9
7. 제작 정밀도	11
8. 백래쉬 (Normal Backlash)	13
9. 부하용량	14
10. 효율과 윤활	19
11. 반역전성(Self-Locking)	20
12. 도면기입 정보	20

부 록

A. 표준 워엄 휘일 단면	31
B. 계산 예제	32
C. 워엄의 축 방향 피치에 기초한 설계 방법	40

표[Tables]

1. 워엄 피치 허용 공차	11
2. 워엄 치형 허용 공차	12
3. 워엄 나사산 두께 허용 공차	12
4. 워엄 휘일의 피치 허용 공차	13
5. 백래쉬 (Normal Backlash)	13
6. 워엄 기어 zone factor [Z]	21
7. 워엄 기어의 기본 응력 factor	22
8. 적용 factor [K_A]	22

그 림

1. 기준 랙의 단면 형상 -----	5
2. 워엄 휘일 齒(이빨)의 진입 間隙 (Entry Gap) -----	6
3. 워엄의 속도에 따른 최대 효율을 위한 직경 계수 선정 [q] -----	23
4. 워엄 속도 300r/min 이하의 직경 계수 선정 [q] -----	23
5. 워엄 휘일의 전위 계수의 최대값 [$X_{2,max}$] -----	24
6. 워엄 휘일의 전위 계수의 최소값 [$X_{2,max}$] -----	24
7. 워엄 기어(마모)의 속도 계수 [X_c] -----	25
8. 워엄 기어(강도)의 속도 계수 [X_b] -----	26
9. 마모와 강도에 대한 총 등가 운전시간과 수명계수 -----	27
10. 워엄 기어의 마찰 계수 -----	28
11. 표준 워엄의 도면 -----	29
12. 표준 워엄휘일의 도면 -----	30
13. 워엄 휘일의 단면 -----	31
14. 워엄 휘일 단면의 최소 두께 -----	31
15. 워엄 휘일의 단면 : (Boss의 비표준 설계시) -----	31

1. 범 위

BS721의 이 part는 축방향 모듈(Axial Module)에 기초한 워엄 기어에서 필요한 것들에 대한 설명이다.

기능과 정밀도와 관련된 4종류의 기어가 설명된다.

이 part는 cylindrical involute helicoid 워엄과 그것에 결합된 워엄 휘일로 구성된 워엄 기어에 적용된다.

그러나 교차 헬리컬 기어와 같은 평행하지 않은 축으로 연결된 한쌍의 cylindrical gear와 같은 경우에는 적용되지 않는다.

부록 A에서는 취부(Boss와)방법과 함께 몇가지의 표준적인 워엄 휘일의 외륜 단면도가 주어진다.

부록 B에서는 기본적으로 주어진 공식들을 이용한 계산 예제가 주어진다.

부록 C에서는 지정된 축 피치(Axial Pitch)에 대하여 기존에 보유하고 있는 호브의 적용 방법이 나와 있다.

Note 1: 워엄 기어 설계에 대한 이 표준에서는 워엄 기어를 반역전성(Self-Locking)으로 간주하지는 않는다.

Note 2: 이 표준에서 언급된 출판물의 제목들은 뒷장의 안쪽에 표시되어 있다.

2. 정 의

이 영국 표준의 취지에 의한 정의는 BS2519편에서 주어 졌다. : part 1 에 적용

3. 기 호

아래의 기호들이 사용됨

Note : BS2519 ; (part2) 에서 적용된 기호와 일치함.

$h_{a,1}$ 워엄의 이끝(齒先) 높이 [Addendum]

$h_{f,1}$ 워엄의 이뿌리(齒原) 높이 [Dedendum]

c Clearance

a 중심 거리

$d_{a,1}$ 워엄의 외경

d_1 워엄의 피치원경

d_b Involute helicoid 기초원경

$d_{f,1}$ 워엄의 치저원경

d_2 워엄휘일의 피치원경

$d_{a,2}$ 워엄휘일의 외경

$d_{f,2}$ 워엄휘일의 치저원경

d_t 워엄휘일의 목지름 (Throat diameter)

b_1 워엄의 길이 (치폭)

b_e 워엄휘일의 유효치폭

$\{\bar{s}\}_{sub c}\}$ 현치 두께

$\{\bar{h}\}_{sub\ c}$	현차 높이
x_2	워엄휠일의 전위 계수
K_A	적용 인자 [Application Factor]
L	호(弧)의 길이
$l_{f,2}$	워엄휠일의 이뿌리(齒原) 길이
p_z	워엄의 리이드
L_x	워엄 축으로부터 같은 반경을 가지는 임의의 2점사이의 축간 거리
m	축 방향 모듈(축 직각 모듈) [Axial Module]
m_n	치직각 모듈 [Normal Module]
M	워엄 휠일의 허용 토크
M_{act}	워엄 휠일의 실제 토크
N	Road Wheel 회전수(rpm)
n_1	워엄의 회전수(rpm)
n_2	워엄휠일의 회전수(rpm)
p_n	치직각 피치
p_x	축방향 피치
q	직경 계수
T	Oil의 작업 온도(℃)
γ_g	워엄 휠일의 목반지름 (Throat Radius)
$\sigma_{bm,1}$	굽힘 응력 factor : 워엄
$\sigma_{bm,2}$	굽힘 응력 factor : 워엄 휠일
$\sigma_{cm,1}$	마모 응력 factor : 워엄
$\sigma_{cm,2}$	마모 응력 factor : 워엄 휠일
z_1	워엄의 줄수
H	시간당 부하 주기 (Cycle)
H_b	굽힘강도에 대한 Cycle당 등가 운전 시간(h)
H_c	마모에 대한 Cycle당 등가 운전 시간(h)
w	일정하지 않은 토크에 대한 부하 주기
$H_{b,w}$	부하주기 w 에 대한 굽힘강도에 대한 Cycle당 등가 운전 시간(h)
$H_{c,w}$	부하주기 w 에 대한 마모강도에 대한 Cycle당 등가 운전 시간(h)
H_{eb}	굽힘강도에 대한 총 등가 운전 시간(h)
H_{ec}	마모강도에 대한 총 등가 운전 시간(h)
V_s	마찰 속도
$X_{b,1}$	굽힘 강도의 속도 factor : 워엄
$X_{b,2}$	굽힘 강도의 속도 factor : 워엄 휠일
$X_{c,1}$	마모 강도의 속도 factor : 워엄
$X_{c,2}$	마모 강도의 속도 factor : 워엄 휠일
Z	Zone factor
γ	워엄의 리이드 각
γ_b	워엄의 기초원 리이드 각

α_n	압력각
ψ	마찰각
θ	워엄의 축직각 단면으로 투영된 워엄 치형 외면의 두점을 지나는 반지름으로 이루어진 두각(角)중에 작은 것.
G	기울기(gradient) factor*
M_e	최대 엔진 토크*
R_t	타이어의 회전 반경*
R_1	최소 road speed에서의 기어 박스 기어比*
R_2	Rear axle 比*
R_g	기어比*
W_1	구동축 하중*
W	차량 총 적재 중량*
μ	마찰 계수*

*표시된 항목들은 차량 트랜스 미션 기어에 사용 되는 것을 나타낸다.

Note. 기호 $n_{1,1}$ 에서 보이는 것과 같은 수학적인 수열에서 첫 번째 소문자는

워엄에 관한 설명이고 두 번째 소문자는 수열의 순서에 대한 것을 나타낸다.

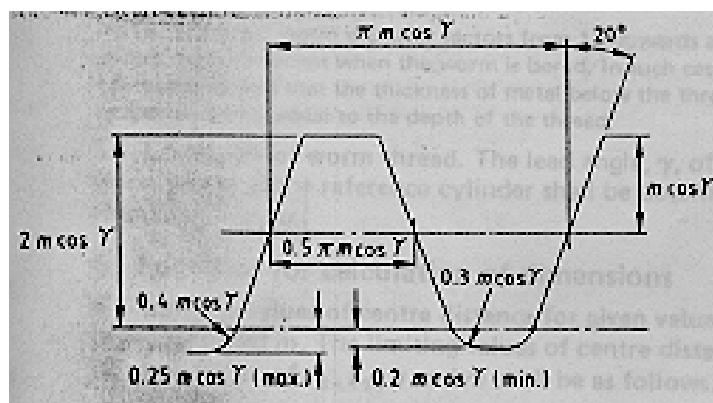
4. 워엄과 워엄 휘일의 치형

4.1 표준 워엄의 치외형

표준 워엄의 치외형은 치직각 압력각 20° 의 involute helicoid 선형이고 이때의 피치 원경은 $d_1=qm$ 이다.

4.2 기준 랙

제조방법에 따라 $0.2m\cos\gamma$ 에서 $0.25m\cos\gamma$ (그림 1 참조)까지 허용되는



Clearance의
변화를 제외하고
기준 랙의 치형은
BS 436 : Part2를
따른다.

그림 1. 기준랙 단면 (축방향 모듈에대한 치수)

-5-

워엄 이(齒)끝의 날카로운 부분은 제거하여야 한다.

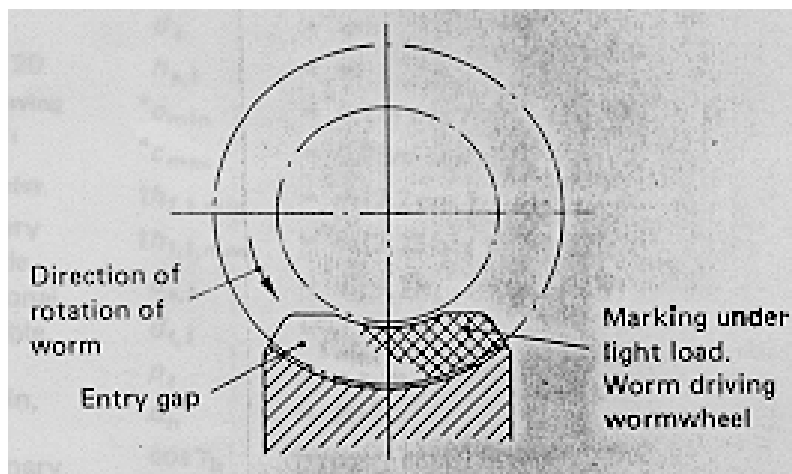
Note : 큰 리이드각을 갖는 어떤 워엄들은 치형이 수정되지 않으면 언더컷 치형이 되거나(되고) 치끝폭(치선폭)이 매우 작은 치형을 갖게 된다.
이런 경우에는 기준랙의 치저원경을 줄이고, 치두께를 증가시키고, 이뿌리높이(Dedendum)를 줄인다. 그러나 치선원경(외경)과 피치원경은 변경하지 않는다.
필요한 치수들에 대한 계산 공식은 6.3에 주어져 있다.

4.3 치(齒)두께

치 두께는 현치 두께 $\{\bar{s}_c\}$ 로부터 측정된다.

4.4 워엄 휘일 치형과 진입 여유 (Entry Gap)

워엄 휘일의 치형은 BS4519 Part1(1976)의 4.1.2.2에 정의되어 있다.



Note : 진입 여유(Entry Gap)는 [그림2]에서 허용되는 것과 비슷하게 작은 하중(경하중)과 접촉하는 것으로 주어진다.

그림 2. 워엄 휘일 치형의 진입여유 (Entry Gap)

4.5 워엄 휘일 치형의 fillet (이뿌리 Radius)

워엄 휘일의 치형 fillet은 Hob끝의 반지름에 의해 만들어 지는데 이것은 $0.25m \cos \gamma$ 또는 $0.08p_n$ 보다 크고 $0.3m \cos \gamma$ 또는 $0.095p_n$ 를 넘지 말아야 한다.

Note : 워엄 휘일 이끝의 날카로운 부분을 제거하는 것은 선택적이다.

4.6 워엄 휘일의 치폭

워엄 휘일의 유효 치폭 b_e 는 $2m\{\sqrt{q+1}\}$ 와 같거나 또는 실제 접촉폭 중에서 작은것과 같아야 한다.

-6-

5. 워엄 기어 요소의 정보

5.1 워엄 기어의 지정

한쌍의 워엄 기어는 간략히 $z_1/z_2/q/m$ 으로 쓰여지는 워엄의 잇수, 워엄 휘일의 잇수, diameter factor, 축직각 모듈의 지정에 의해 정의된다.

Note 1 : 중심거리 a 와 함께 이 정보는 이 표준서에 주어진 표들과 공식들로부터 상세한 치수들을 계산하기에 충분하다.
예를들어 3/44/8/9.8 과 중심거리 255mm는 잇수가 44개인 워엄휘일에 중심 거리 255mm로 작용하는 축직각 모듈 9.8과 diameter factor 8을 갖는 잇수 3의 워엄을 의미한다.

Note 2 : 축직각 피치에 대한 Hob를 나타내기위해 이 표준서에서는 일관되게 요구되는 방법이 쓰이는데 그 방법은 부록 C에서 주어진 것 과 같은 Hob에 적용되는 방법이다.

5.2 z_1 과 z_2 의 결정

산업용 기어에서 z_1 은 다음식의 총합산과 가장 가까운 수가 취해진다.

$$\frac{\{7+2.4\sqrt{a}\}}{R_g}$$

z_2 는 $z_1 = R_g$ 인 잇수가 1인 워엄의 경우를 제외하고는 $R_g z_1$ 식의 값으로 구해진다.
 z_2 의 값은 17이하가 되서는 안된다.

차량의 축 트랜스미션 기어의 경우에는 z_1 은 다음식의 총합산과 가장 가까운 수가 취해진다.

$$\frac{\{7+1.6\sqrt{a}\}}{R_g}$$

5.3 Diameter factor [q]

5.3.1 워엄 직경의 선정

워엄 직경의 선정은 강도와 효율의 고려에 의해 제한된다.

워엄의 직경이 작을수록 기어의 효율이 증가하기 때문에 워엄의 직경은 워엄의 root section이 적당한 강도를 유지할 수 있는 한도에서 가능한 작아져야 한다. 워엄의 피치원 직경 d_1 은 축모듈 m 과 diameter q 에 의해 정해진다.

즉 $d_1=qm$

여기서 q 는 주어진 값(5.3.2에 주어진 범위에서 선택)이다.

Note : 워엄의 피치원경 d_1 은 qm 과 같고 또한 같은 치수와 모듈을 갖는 스퍼어 기어의 피치원경과 비슷하다.
비슷하게 한 쌍의 워엄 기어의 중심거리는 (신장되거나 좁혀져 있지 않다면) q 와 z_2 개의 톱니를 갖는 한 쌍의 스퍼어 기어의 중심거리와 같다.
즉 $a=0.5m(q+z_2)$ 이다.
워엄의 외경 계산 $d_{a,1}$ 또한 q 개의 톱니와 m 모듈을 갖는 스퍼어기어와 유사하고 $d_{a,1}=m(q+2)$ 로 표현 된다.

-7-

5.3.2 Diameter factor q 의 선정

q 의 값은 다음 값들의 범위 내에서 취해져야 한다.

6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5, 10, 11, 12, 13, 14, 17, 20

Note : 이것들은 같은 값의 z_1 과 q 를 갖는 모든 워엄의 기하학적인 유사성을 확보한다. 임의의 주어진 z_1 과 q 의 조합으로부터 워엄의 모든 angular dimension(각도)이 계산될 수 있고 모든 linear dimension(수치)이 선택된 모듈에 비례하게 된다.

5.3.3 Diameter factor q 의 결정

앞서 선택한 Diameter factor q 의 값은 워엄의 회전속도별 Diameter factor의 값을 나타낸 [그림 3]으로부터 취해져야 한다.

선택된 q 의 값은 낮은 역회전 효율이 요구될때를[11절 참조] 제외하고는 가능한 작아야 한다.

워엄의 회전속도가 300rpm 이하일때는 워엄의 굽힘강도를 증가시키기 위해 효율의 감소가 용납되고 이때는 앞서 선택한 q 의 값을 [그림 4]로부터 취해져야 한다.

q 의 값을 선정하는 이 방법들은 워엄의 굽힘 응력 허용을 확인하고 필요하다면 워엄의 굽힘 응력을 특정 범위내에서 유지 시키거나 베어링의 총수명을 고려해서 다른값의 q 를 선택하는 예비 설계의 준비를 가능하게 한다.

자동차의 축 미션 기어에서의 q 의 값은 [그림 3]으로부터 구해져야 한다.

Note : 워엄에 구멍이 뚫린 경우를 제외하고는 120이상의 큰 Diameter factor는 좀처럼 요구되지 않는다.

이러한 경우에는 워엄 나사산 아래의 금속두께(치저부와 구멍 사이의 두께)를 나사산의 깊이와 거의 같게 만드는 방법이 추천된다.

5.4 워엄 나사산의 리이드각

피치 원주상의 워엄 나사의 리이드각 γ 는 다음으로부터 결정된다.

$$\tan \gamma = z_1/q$$

6. 계산 공식

6.1 z_1, z_2, q, m 이 주어졌을 때의 중심거리의 제한값

z_1, z_2, q, m 이 주어졌을 때의 중심거리의 제한값은 다음과 같다.

$$a_{\max} = 0.5m(z_2 + q + x_{2,\max}) \quad x_{2,\max} \text{는 [그림5]에서 주어진다.}$$

$$a_{\min} = 0.5m(z_2 + q - x_{2,\min}) \quad x_{2,\min} \text{은 [그림6]에서 주어진다.}$$

6.2 a, z_1, z_2, q 가 주어졌을 때의 축직각 모듈의 제한값

a, z_1, z_2, q 가 주어졌을 때의 축모듈의 제한값은 다음과 같다.

$$m_{\max} = \{2a\} \over {z_{\{2\}} + q - 2x_{\{2,\min\}}}$$

$$m_{\min} = \{2a\} \over {z_{\{2\}} + q + 2x_{\{2,\max\}}}$$

6.3 워엄 과 워엄 휘일의 세부공식

6.3.1 워엄은 다음 공식으로 계산되어진다.

$$\tan \gamma = z_1/q$$

$$d_1 = qm$$

$$h_{a,1} = m$$

$$^*c_{\min} = 0.2m \cos \gamma$$

$$^*c_{\max} = 0.25m \cos \gamma$$

$$^+h_{f,1,\min} = m(2.2 \cos \gamma - 1)$$

$$^+h_{f,1,\max} = m(2.25 \cos \gamma - 1)$$

$$d_{a,1} = d_1 + 2h_{a,1} = m(q+2)$$

$$d_{f,1} = d_1 - 2h_{f,1}$$

$$p_z = \pi z_1 m$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\cos \gamma_b = \cos \gamma \cos \alpha_n$$

$$d_b = \{p_z\} \over {\pi \tan \{ \gamma_b \}}$$

$$b_1 = 14m \cos \gamma$$

$$^{+}\overline{c} = m(0.7444 \cos \gamma + 0.6428)$$

$$\{\bar{h}\}_{\sub c} = m - \{ \{ \overline{c} \} \over 2 \} \tan \{ \alpha_n \}$$

6.3.2 워엄 휘일의 세부공식은 다음 공식으로 계산되어진다.

$$d_2 = 2a - d_1$$

$$d_t = 2a - (d_{f,1} + 2c)$$

$$d_{f,2} = 2a - (d_{a,1} + 2c)$$

$$d_{a,2,min} = d_t + 0.4m$$

$$d_{a,2,max} = d_t + m$$

$$y_g = 0.5(d_{f,1} + 2c)$$

-9-

$$*c_{min} = 0.2m \cos y$$

$$*c_{max} = 0.25m \cos y$$

$$b_e'' = 2m \sqrt{q+1}$$

$$m'' = \frac{p_x}{\pi}$$

$$m_n = m \cos y$$

$$p_x = \pi m$$

$$p_n = p_x \cos y$$

$$l_{f,2}'' = (d_{a,1} + 2c) \sin^{-1} \left[\frac{b_e}{d_{a,1} + 2c} \right] \quad \bullet \text{각은 라디안 값으로 한다.}$$

Note : 몇 개의 표준적인 워엄 휘일의 외륜 단면과 허브에 외륜의 부착방법이 부록 A 에 나와 있다.

*Clearance :

Clearance는 최대와 최소값으로 주어진다.

모듈 방식에 기초한 새로운 설계에 있어서 clearance는 최소로 하여야 한다.

만약 워엄 나사산을 가공 하기위해 BS436 [part2]에서 주어진 값으로 만들어진

공구를 사용하기를 바란다면 마지막 가공 공정때 최대 clearance가 채택된다.

그러나 워엄의 가공이 연마가공 전이라면 clearance는 정해진 최소값 보다는

작지않게

감소된다.

+깊이 감소 :

위의 공식으로부터, 워엄의 기초원 안에 워엄 휘일의 throat 부위가 놓인 경우의

워엄

은 깊이 감소가 필요하다.

표준 q값을 가지는 이 워엄들의 주어진 잇수가 아래에 주어진 수치보다 작거나 같다

면 깊이 감소가 필요하다.

$$z_1 = 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7$$

$$q = 6.5 \quad 7 \quad 7.5 \quad 8 \quad 8$$

이런 깊이 감소의 경우에는 +표시된 공식들은 다음과 같이 된다.

$$h_{f,1} = 0.5(d_1 - d_b) + c$$

$$\{bars\}_{sub \ c}} = 2.0298m \cos y - 0.3214(d_1 - d_b)$$

7. 제작 정밀도

7.1 워엄에 적용되는 공차

등급	피치 공차 mm
A	$0.0016\{\sqrt{L_x}\} + 0.00008\{\sqrt{(\Theta d_1)}\} + 0.005$
B	$0.0025\{\sqrt{L_x}\} + 0.000126\{\sqrt{(\Theta d_1)}\} + 0.008$
C	$0.004\{\sqrt{L_x}\} + 0.0002\{\sqrt{(\Theta d_1)}\} + 0.013$
D	$0.006\{\sqrt{L_x}\} + 0.00032\{\sqrt{(\Theta d_1)}\} + 0.020$

7.1.1 데이텀에 대한 워엄의 외경의 Run out

이값은 BS4500 ; Part1의 1T7등급의 근사값을 넘어서는 안된다.

7.1.2 워엄 피치공차

피치 정도의 공차는 표1의 값을 넘어서는 안된다.

표1 워엄의 피치 공차

Note 1

d_1 : 워엄의 피치원경 (mm)

L_x : 워엄축상의 같은 반경을 가지는 두점사이의 축간 거리 (mm)

Θ : 워엄의 횡단면으로 투영된 워엄 치형 외면의 두점을 지나는 반지름으로 이루어진 두각(角)중에 작은 것.

Note 2

이공차는 워엄의 비틀림(helix) 오차, 피치 오차 [예를 들어 축직각 피치 공차, 축 방향

피치 공차, 파동{undulation}등으로 알려진]모든 종류의 오차에 모두 적용된다.

축직각 피치 공차에 있어서는 첫 번째 항목은 0이된다.

축 방향 피치 공차에 대해서는 두 번째 항목이 0이 된다.

치직각 피치의 편차나 파동의 높이를 확인하기 위해서는 모든 세가지 항이 요구된다.

Note 3

호빙머신 Table用 기어에 대한 관련 사항은 BS1498 과 BS4656 ; Part19 에 나와있다.

등급	공차 mm
A	$0.00025m + 0.003$
B	$0.0004m + 0.004$
C	$0.0010m + 0.006$
D	$0.0025m + 0.015$

-11-

7.1.3 치형 공차

치각각 방향에서 측정된 치형의 외형편차는 표2의 값을 넘어서는 안된다.

표2 워엄의 치형 공차

등급	공차 mm
A	+0.000 $-(0.0025m + 0.020)$
B	+0.000 $-(0.0035m + 0.033)$
C	+0.000 $-(0.0063m + 0.051)$
D	+0.000 $-(0.010m + 0.081)$

편차는 접선 방향으로 생선된 직선으로부터 출발하여 mid-working depth 에서의 실제 치형과 일치하는 기초 원통까지 측정된다.

7.1.4 워엄의 이두께 공차

워엄의 이두께 공차는 표 3에 주어진다.

표3 워엄의 이두께 공차

등급	공차 mm
A	$0.0010\sqrt{L} + 0.0025$
B	$0.0025\sqrt{L} + 0.0064$
C	$0.0066\sqrt{L} + 0.0160$
D	$0.0161\sqrt{L} + 0.0406$

-12-

7.2 워엄 휘일의 피치 공차

인접 피치 오차와 누적 피치 오차는 각 flank set에 독립적으로 기어축에 대하여 치직각 방향으로 측정 되어야 하고 이 값은 [표4]의 값을 넘어서는 안된다.

표4 워엄 휘일의 피치 공차

Note : L 은 한 피치의 호를 포함하는 호의 길이이다.

그러나 L은 $\pi d_2/2$ 를 넘지 말아야 한다.

등급	최소 mm	최대 mm
1	$0.00025m(z_2 + 7) + 0.013$	$0.00025m(z_2 + 20) + 0.05$
2	$0.00025m(z_2 + 7) + 0.013$	$0.00025m(z_2 + 40) + 0.05$
3	$0.00025m(z_2 + 15) + 0.025$	$0.00025m(z_2 + 50) + 0.06$
4	$0.00025m(z_2 + 15) + 0.038$	$0.00025m(z_2 + 65) + 0.10$
5	$0.00025m(z_2 + 15) + 0.038$	$0.00025m(z_2 + 80) + 0.15$

8. 치직각 백래쉬[Normal Backlash]

작업온도에서는 워엄 휘일이 팽창을 하기 때문에 작업장의 온도에서 백래쉬가 존재 하여야 한다.

백래쉬 값은 20℃의 온도에 기초하고 표5에서 주어진 범위내에 들어야 한다.

이 값들은 워엄 휘일의 이두께를 조정함으로써 얻어질수 있다.

표5 치직각 백래쉬[Normal Backlash]

- Note 1. 어떤 등급의 백래쉬도 설계자의 방향에 따른 기어 등급과 연관된다. 예를 들어
- 등급 1은 타이밍 기어나 제어기구와 같이 백래쉬 공차가 엄밀하게 요구되는곳에 적당하고,
 - 등급 2는 기계 공구의 정밀 작동에 적합하고,
 - 등급 3,4,5는 산업용기계에 적합하고,
 - 등급5는 120℃의 작업 온도에서 적절한 백래쉬를 제공한다.
 - 축 트랜스미션 기어는 보통 4,5등급을 채택한다.

-13-

- Note 2. 주철 또는 강으로된 case에서 워엄이 동으로된 워엄 휘일과 작동할 때 워엄과 워엄 휘일 사이의 백래쉬는 대략 아래와 같이 감소된다.

$$\{3.42m(\{z_2\}+7)(T-20)\}\over{10^6}$$

동, 또는 알루미늄 case가 사용될때에는 백래쉬의 감소량이 위보다 작다.

9. 부하용량

9.1 부하량의 결정

한쌍의 워엄 기어의 허용 토크는 워엄 나사와 워엄 휘일의 표면 응력(편의상 마모강도로 간주)과 굽힘 응력(굽힘 강도로 간주)의 고려에 의해 제한된다. 따라서, 한쌍의 기어의 부하량은 워엄과 워엄 휘일에 마모와 굽힘 강도에 관계된 4가지 계산식을 사용하여 결정된다.(9.2.1, 9.2.2 참조)
워엄 휘일의 허용 토크는 4가지 값중에서 가장 작은 값이다.

9.2 안정적인 부하 상태

9.2.1 허용 마모 부하 [마모에 대한 허용 하중]

일반적인 등급에서 워엄 휘일의 허용 토크 $M[N \cdot m]$ 은 마모에 의해 아래의 값보다 작은 값으로 제한 받는다.

$$(a) \quad 0.00191\{X_{c,1}\}\{\sigma_{cm,1}\}Z\{d_2\}^{1.8}m$$

$$(b) \quad 0.00191\{X_{c,2}\}\{\sigma_{cm,2}\}Z\{d_2\}^{1.8}m$$

d_2 : 워엄 휘일의 피치원경 [mm]

m : 축 방향 모듈 [mm]

$X_{c,1}, X_{c,2}$: 워엄과 워엄 휘일 각각의 마모 속도 factor.

$\sigma_{cm,1}, \sigma_{cm,2}$: 워엄과 워엄 휘일 각각의 표면 응력 factor.

Z : 표6에서 주어지는 zone factor

- Note 1. 마모 속도 factor X_c 는 회전 속도와 미끄럼속도의 조합과 일치하고 [표7]에 주어진다.

미끄럼 속도 $v_s[m/s]$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\{v_s\}=0.0000524\{d_1\}\{n_1\}\sec \gamma \quad \text{그리고}$$

$$\{v_s\}=0.0000524m\{n_1\}\sqrt{\{(\{z_1\}^2)+\{q^2\}\}}$$

d_1 : 워엄의 피치원경 [mm]

m : 축 방향 모듈[mm]

γ : 워엄 나사산의 리이드각

n_1 : 워엄의 회전속도[rpm]

z_1 : 워엄의 잇수
 q : 직경 계수

Note 2. 표면 응력 factor σ_{cm} 은 쓰인 재료의 조합에 의하여 [표7]에 주어진다.

-14-

9.2.2 굽힘강도에 대한 허용 부하

일반적인 등급에서 워엄 회일의 허용 토크 $M[N \cdot m]$ 은 굽힘강도에 의해 아래의 값보다 작은 값으로 제한 받는다.

- (a) $0.0018 \{X_{b,1}\} \{ \sigma_{bm,1} \}^m \{l_{f,2}\} \{d_2\} \cos \gamma$
 (b) $0.0018 \{X_{b,2}\} \{ \sigma_{bm,2} \}^m \{l_{f,2}\} \{d_2\} \cos \gamma$

$X_{b,1}, X_{b,2}$: 워엄과 워엄 회일 각각의 굽힘강도 속도 factor.
 $\sigma_{bm,1}, \sigma_{bm,2}$: 워엄과 워엄 회일 각각의 굽힘 응력 factor.
 $l_{f,2}$: 워엄 회일의 이뿌리 길이 [mm]
 d_2 : 워엄 회일의 피치원경 [mm]
 m : 축 방향 모듈[mm]
 γ : 워엄 나사산의 리이드각

Note 1. Speed factor X_b 는 단지 회전 속도와 일치하고 [그림 8]에 주어진다.

Note 2. 굽힘 응력 factor σ_{bm} 은 사용 재질에 부합하고 [표 7]에 주어진다.

Note 3. 워엄 기어를 공기중에서 계속 작동시킬때는 굽힘 응력과 표면 응력의 저항 보다는 온도 증가에 대한 영향으로 제한 받는다.
 작업 온도가 95℃가 넘는 곳이라면 워엄 회일의 최대 허용토크는 9.2.1과 9.2.2에서 지시하는 것보다 작다.

9.2.3 동력

10항에 대한 준비를 가정하면 워엄 회일의 정격 동력은 다음과 같이 주어진다.

$$\{Mn_2\}^{over 9550}$$

M : 9.2.1과 9.2.2에 따라 얻어지는 4개의 값중 최소값.

9.2.4 기대 수명

9.2.1, 9.2.2, 9.2.3에 따라 얻어진 워엄회일의 허용 토크 또는 하중은 26,000h의 총 요구 운전 시간에 적용 된다.

워엄 기어가 다른 어떤 작동 시간의 기초아래 설계 되었더라도 워엄 회일의 허용 토크 또는 동력은 다음 식으로 표현 된다.

- (a) 마모 강도
 $\left(\frac{27000}{1000 + \{H_{ec}\}} \right)^{1/3}$
 (a) 굽힘 강도
 $\left(\frac{26200}{200 + \{H_{eb}\}} \right)^{1/7}$

H_{ec}, H_{eb} : 마모강도와 굽힘강도 각각에 대한 총 등가 운전 시간으로 요구 수명과 일치 한다 (그림9참조)
 다른 설명이 없는한 정격(예를 들어 모터의 연속 부하량)은 총 요구 운전 시간에 계속 해서 적용되어야 한다.

9.2.5 안전 계수

안전 계수는 워엄 또는 워엄 휘일 재질의 인장강도로 주어 진다.

$$\frac{\{(\text{워엄} \text{ " 또는 " } \text{워엄} \text{ " 휘일} \text{ " 소재의} \text{ " 인장} \text{ " 강도중} \text{ " 작은값})\}}{\{\text{작용} \text{ " 응력}\}}$$

작용 응력 $[MN/m^2]$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\{M_{act}\}}{\{0.0018 \text{ " m" } \{l_{f,2}\} \{d_2\} \cos \gamma \}}$$

9.3 정 하중이 아닌 부하 조건에서의 등가 운전 시간의 결정

9.3.1 각기 다른 속도에서의 각기 다른 부하 Cycle

만일 워엄 휘일의 부하 Cycle이 최대 토크 M_1 , 평균 속도 $n_{2,1}$ 에서의 작동 주기 H_1 과 작은 토크 M_2, M_3 , 등과 작동주기 H_2, H_3 , 등과 평균 속도 $n_{2,2}, n_{2,3}$ 등등 으로 이루어져 있다면,
토크 M_1 과 속도 $n_{2,1}$ 에서의 마모강도에 대한 cycle당 등가 운전 시간은 다음 식으로 주어진다.

$$\{H_c\} = \{H_1\} + \{H_2\} \left(\frac{\{n_{2,2}\}}{\{n_{2,1}\}} \right) \left(\frac{\{M_2\}^3}{\{M_1\}} \right) + \{H_3\} \left(\frac{\{n_{2,3}\}}{\{n_{2,1}\}} \right) \left(\frac{\{M_3\}^3}{\{M_1\}} \right) + \dots \text{etc.}$$

여기서 각 항은 Cycle에서 대응하는 부분의 등가 운전시간을 나타낸다.
따라서 토크 M_1 과 워엄 휘일의 회전 속도 $n_{2,1}$ 에서의 마모강도에 대한 총 등가 운전 시간은 다음과 같이 주어진다.

$$\{H_{ec}\} = \{H_c\} \times \text{기어의 " 기대 수명 시간 " 동안 " 완료되는 " Cycle의 " 수}$$

토크 M_1 과 워엄 휘일의 회전 속도 $n_{2,1}$ 에서의 굽힘 강도에 대한 cycle당 등가 운전 시간은 다음 식으로 주어진다.

$$\{H_b\} = \{H_1\} + \{H_2\} \left(\frac{\{n_{2,2}\}}{\{n_{2,1}\}} \right) \left(\frac{\{M_2\}}{\{M_1\}} \right)^7 + \{H_3\} \left(\frac{\{n_{2,3}\}}{\{n_{2,1}\}} \right) \left(\frac{\{M_3\}}{\{M_1\}} \right)^7 + \dots \text{etc.}$$

여기서 각 항은 Cycle에서 대응하는 부분의 등가 운동시간을 나타낸다.

따라서 토크 M_1 과 워엄 휘일의 회전 속도 $n_{2,1}$ 에서의 굽힘강도에 대한 총 등가 운전 시간은 다음과 같이 주어진다.

$$\{H_{ec}\} = \{H_c\} \times \text{기어의 " 기대 수명 시간 " 동안 " 완료되는 " Cycle의 " 수}$$

9.3.2 부하의 불규칙한 변화 (가변 속도)

9.3.1에서 설명한 주기에 대한 부하 cycle의 등가 운전시간은 부하와 속도가 균일하다기 보다는 가변적이다.

따라서 $\{M_1\} / 4$ 이상으로 토크의 변화주기를 세분하여 결정하여야 한다.

주기 동안의 평균 속도와 평균 부하에 기초한 각 주기에 대응하는 마모와 굽힘강도에 대한 등가 운전 시간은 9.3.1에 따라서 계산 되어져야 한다.

9.3.3 부하의 균일 변화 (가변 속도)

만약 9.3.1에서 설명된 어떠한 부하 cycle 주기 w 에서 토크가 $\{M_{rmw},1\}$ 에서 $\{M_{rmw},2\}$ 로 평균 속도 $\{n_2,w\}$ 에서 균일하게 변화했다면 토크 $\{M_1\}$ 과 스피드 $\{n_2,1\}$ 에서 마모의 주기에대한 등가 운동 시간은 다음과 같이 표현된다.

$$\{H_c,w\} = \{H_w\} \over 4 \left(\{n_2,w\} \over \{n_2,1\} \right) \left(\{M_w,1\} \over \{M_1\} + \{M_w,2\} \over \{M_1\} \right) \times \left[\left(\{M_w,1\} \over \{M_1\} \right)^2 + \left(\{M_w,2\} \over \{M_1\} \right)^2 \right]$$

토크 M_1 과 $n_{2,1}$ 에서의 굽힘 강도에 대한 등가 운동 시간은 다음 식으로 주어진다.

$$\{H_b,w\} = \{H_w\} \over 8 \left(\{n_2,w\} \over \{n_2,1\} \right) \left(\{M_w,1\} \over \{M_1\} + \{M_w,2\} \over \{M_1\} \right) \times \left[\left(\{M_w,1\} \over \{M_1\} \right)^2 + \left(\{M_w,2\} \over \{M_1\} \right)^2 \right] \times \left[\left(\{M_w,1\} \over \{M_1\} \right)^4 + \left(\{M_w,2\} \over \{M_1\} \right)^4 \right]$$

Note. 9.3.1, 9.3.2, 9.3.3의 조건들은 속도가 균일하다면 또한 적용할수 있다.

이 경우에는 $\{n_2,2\} \over \{n_2,1\}$, 또는 $\{n_2,w\} \over \{n_2,1\}$, 등등이 통합된다.

9.3.4 워엄 휘일 1회전당 반복되는 cycle에서의 부하 변화 총횟수

만약 워엄 휘일 1회전으로 모든 부하 cycle이 정확히 완료 되었다면 기어의 기대 수명과 같은 등가 시간 동안 최대 토크를 계속해서 전동할수 있도록 설계되어야 한다.

9.4 순간적인 과부하 용량

순간적인 과부하는 너무 순간적이라 확실하게 정의 할 수는 없지만 지속적인 것으로 간주 하여야 한다.

그러나 15초를 넘지는 말아야 한다.

워엄 기어는 이따금씩의 순간적인 과부하 $[N \cdot m]$ 를 전동할수 있어야 하며, 그 한계 값은 다음식에서 구할수 있다.

(a) 마모 강도 : $0.00382 \{ \sigma_{cm,2} \{d_2\}^{1.8} \}$

(b) 굽힘 강도 : $0.004 \{ \sigma_{bm,2} \{l_f,2\} \{d_2\} m \cos \gamma \}$

9.5 차량의 축 트랜스미션 기어

9.5.1 축 트랜스미션 기어에 의해 전동되는 토크 $[N \cdot m]$ 는 다음 식으로

주어진다.

$\{M_e\}_{R_1 R_2}$

$\{M_e\}$: 최대 엔진 토크 $[N \cdot m]$

$\{R_1\}$: 최소 road speed로 주어지는 기어box의 기어比

$\{R_2\}$: Rear Axle 比

9.5.2 차량의 만재(滿載) 적재시에 road wheel의 미끄러짐 또는 헛돌음 때문에 필요한 토크는 다음 식으로 표현된다.

$\{W_1\} \mu \{R_t\}$

W_1 : 차량의 최대 적재 하중시의 구동축 부하 $[kN]$

μ : 타이어와 땅사이의 마찰계수

R_t : 타이어의 회전 반경 $[mm]$

이것에 대응하는 워엄 휘일의 토크 $[N \cdot m]$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\{W_1\} \mu \{R_t\} \times \{N\} \over \{n_2\}$$

N : road Wheel의 회전수 $[rpm]$

$\{n_2\}$: 워엄 휘일의 회전수 $[rpm]$

9.5.3 축 트랜스 미션 워엄 휘일에 전동이 요구될때의 최대 토크는 9.5.1과 9.5.2에 따라 얻어진 값중 작은값으로 주어진다.

9.5.4 워엄 휘일의 허용 토크는 워엄과 워엄 휘일의 재질이 각각 표 7의 그룹 E와 A의 것이 쓰였을 때 아래의 식으로부터 얻어진 마모 강도에 대한 3가지의 값중 가장 작은값에 제한받는다.

(a)" $0.001911 \left(\{15+G\} \over \{30\{rmK_A\}\} \right) \{ \sigma_{rmcm,1} \} \{ \{d_2\}^{1.8} \} \{ rmm \} Z$

(b)" $0.001911 \left(\{15+G\} \over \{30\{rmK_A\}\} \right) \{ \sigma_{rmcm,2} \} \{ \{d_2\}^{1.8} \} Z$

(c)" $0.0395 \{ \{d_2\}^{1.8} \} \{ rmm \} Z$

$G = \{100\} \over \{W\{R_t\}\} \times$ 9.5.3절에 따라 얻어진 최대 워엄 휘일 토크에 상응하는 road wheel 토크 $[N \cdot m]$

$\{ \sigma_{rmcm,1} \}$, " $\{ \sigma_{rmcm,2} \}$: 워엄과 워엄 휘일에 각각 작용하는 표면 응력 factor

-18-

d_2 : 워엄 휘일의 피치원경 $[mm]$

m : 축 방향 모듈 $[mm]$

Z : 표 6에서 주어진 zone factor

rmK_A : 표 8에 주어지는 , 차량의 종류에 따른 적용 factor

W : 트레일러를 포함하는 차량의 총 적재 중량 $[kN]$

R_t : 타이어의 회전 반경 $[mm]$

Note . 식 (a),(b)는 다음과 같이 표현 될수도 있다. [N · M]

$$(a) \quad \frac{15+G}{15710 \text{ (rmK}_A)} \{ \sigma_{\text{rmcm},1} \} \{ d_2 \}^{1.8} \text{ (rmm)} Z$$

$$(b) \quad \frac{15+G}{15710 \text{ (rmK}_A)} \{ \sigma_{\text{rmcm},2} \} \{ d_2 \}^{1.8} \text{ (rmm)} Z$$

9.5.5 워엄 휘일의 허용 토크는 아래의 식으로부터 얻어진 굽힘 강도에 대한 2가지 의 값중 작은값에 제한 받는다.

$$\frac{15+G}{16670 \text{ (rmK}_A)} \{ \sigma_{\text{rmbm},1} \} m_{1_f,2} \{ d_2 \} \cos \gamma$$

$$\frac{15+G}{16670 \text{ (rmK}_A)} \{ \sigma_{\text{rmbm},2} \} m_{1_f,2} \{ d_2 \} \cos \gamma$$

$\{ \sigma_{\text{rmbm},1} \}$, " , $\{ \sigma_{\text{rmbm},2} \}$: 워엄과 워엄 휘일에 각각 작용하는 굽힘 응력 factor

$\{ m_{1_f,2} \}$: 워엄 휘일의 이뿌리부 길이 [mm]

γ : 워엄의 리이드각

다른 모든 변수는 9.5.4에 주어진다.

10. 효율과 윤활

기어의 효율은 다음 식으로 주어진다.(베어링과 오일에 의한 손실은 제외)

(a)워엄 구동

$$\frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma + \phi)}$$

(b)워엄 휘일의 구동

$$\frac{\tan(\gamma - \phi)}{\tan \gamma}$$

$\tan \phi$: 미끄럼 속도에 대응하는 워엄과 워엄 휘일사이의 마찰 계수
(그림10참조)

Note. [그림 10] 에 주어진 마찰 계수의 값은 60℃(250초와 500초 Redwood 140 ° F)에서 60m²/s와 130m²/s[60cSt 와 130cSt]로 윤활되는 인청동 워엄 휘일과 침탄처리된 강 의 치연마된 워엄을 사용하는 것을 기초로 한다.

-19-

11. 반역전성 (Self-Locking)

반역전효과를 기대 한다면 몇가지 형태의 브레이크가 제공되어야 한다.

Note. 워엄 기어의 역전 효율이 “0”이거나 “-”일 때 반역전성이라고 말한다.

즉 리이드 각이 마찰각보다 작거나 같을 때를 말한다.

정적 마찰각과 마찰 속도를 가지는 마찰각은 빠르게 변화하기 때문에 외부변화에 의해 감소하게 된다.

이것은 대개 안전성을 가지는 반역전성 워엄 기어의 설계를 실행할수 없게 한다.

12. 도면 기입 정보

워엄 기어의 도면 요소는 BS308을 따른다.

다음은 도면에 기입하여야할 정보 들이다.

- (a) 나사줄수 또는 잇수
- (b) 피치원경 또는 diameter factor(직경 계수)
- (c) 축 방향 모듈*
- (d) 등급(정도 등급)
- (e) 비틀림 방향
- (f) 치면 마무리 작업 즉 기계 가공,그라인딩,연마
- (h) 백래쉬 (워엄 휘일 도면에만 기입)
- (i) 상대 기어의 도번

제작 치수 또는 공차, 재질등은 BS308에 따라 작성 한다.

*만약 설계가 축방향 피치 또는 치직각 또는 diametral 피치가 기준이 되었다면, 모든 상세사항(Detail)이 주어져야 한다.

표 7. 워엄 기어의 기본 응력 factor

Group	Material	영국 표준 지정	굽힘응력 factor $\sigma_{f_{rmbm}}$	표면 응력 factor $\sigma_{\{rmcm\}}$				
				A	B	C	D	E
A	Phosphor bronze centrifugally cast	BS1400-PB2	69	-	8.3*	8.3	9.0	15.2
	Phosphor bronze send cast , chilled	BS1400-PB2	63	-	6.2*	6.2	6.9	12.4
	Phosphor bronze send cast	BS1400-PB2	49	-	4.6*	4.6	5.3	10.3
B	Gray cast iron (회주철)	BS1452 grade 180	40.0	6.2*	4.1*	4.1+	4.1+	5.2+
C	0.40% carbon steel normalized	BS970:part 1; Section 2.1 080M40	138	10.7	6.9	-	-	-
D	0.55% carbon steel normalized	BS970:part 1; Section 2.1 070M55	173	15.2	8.3+	-	-	-
E	Carbon case-hardening steel (침탄재)	BS970:part 1; Section 4 080A15≠	276	48.3	30.3+	-	-	15.2+
	Nickel and nickel-molybdenum case-hardening steel (SNM)	BS970:part 1; Section 4 665M17 § 805M20	325	53.1	30.3+	-	-	15.2+
	Nickel-chromium and nickel-chromium-molybdenum case-hardening steels (SNCM)	BS970:part 1; Section 4 665M13 835M15	345	60.7	30.3+	-	-	15.2+

*최대 허용 운전 속도 = 2.54m/s

+수동 작동만 가능.

≠EN 32와 거의 같음.

§ 강이 허용하는 등급과 상응함.

차량의 종류	적용 factor
Long distance goods vehicle that run for long period in top gear	0.9
Goods vehicles	1.0
Goods vehicles with trailer	1.1
Long distance passenger coaches	0.9
Urban passenger transport buses	1.15
private motor cars	1.25
Trolley buses	1.25
Dumpers	2.0

표.8 적용 factor $\{K_{\{rmA\}}\}$

Note. 축 기어 케이싱이 강제로 만들어 졌다고 가정하면 베어링 커버가 케이싱의 입구를 막는 것이 가능하다.

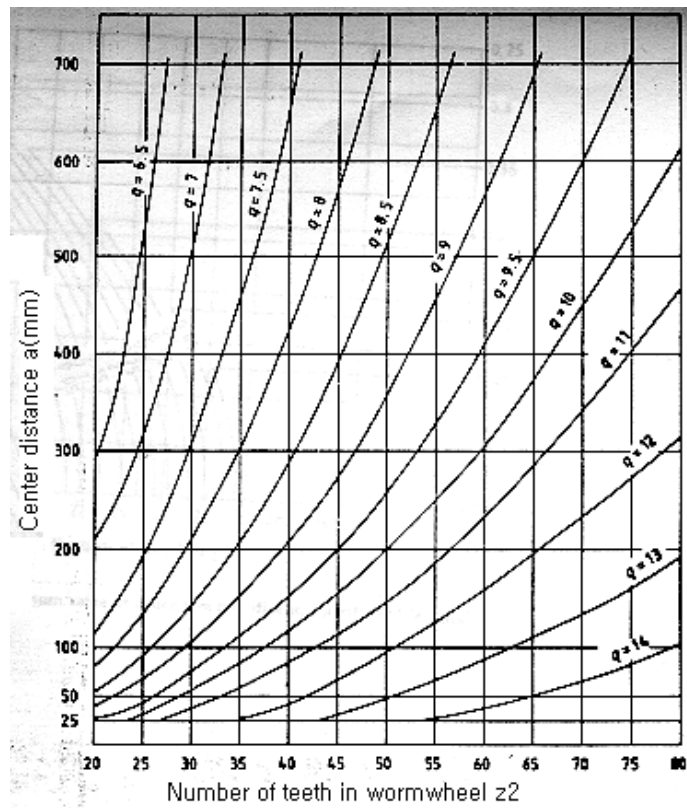
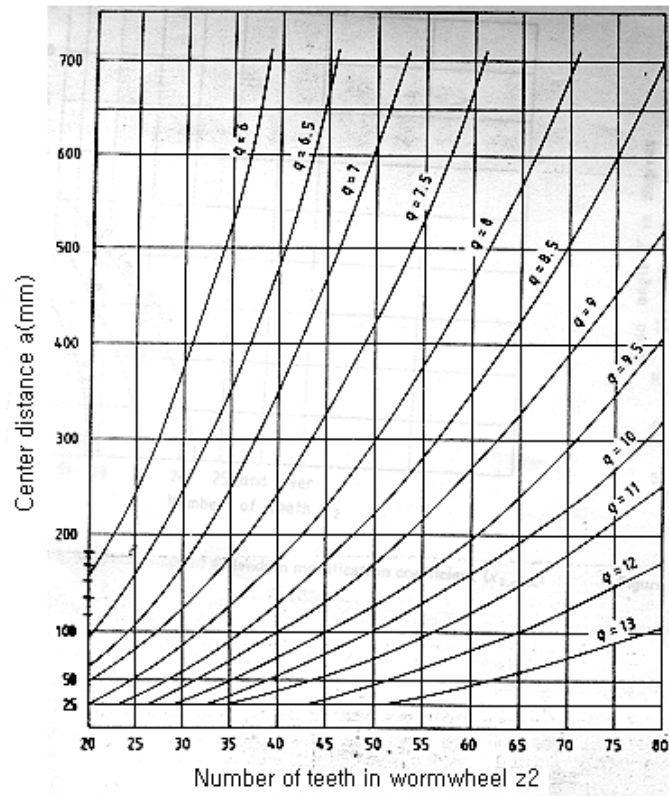


그림 3. 임의의
위임 속도에
대한 최대
효율을 위한 q 의
결정[q]

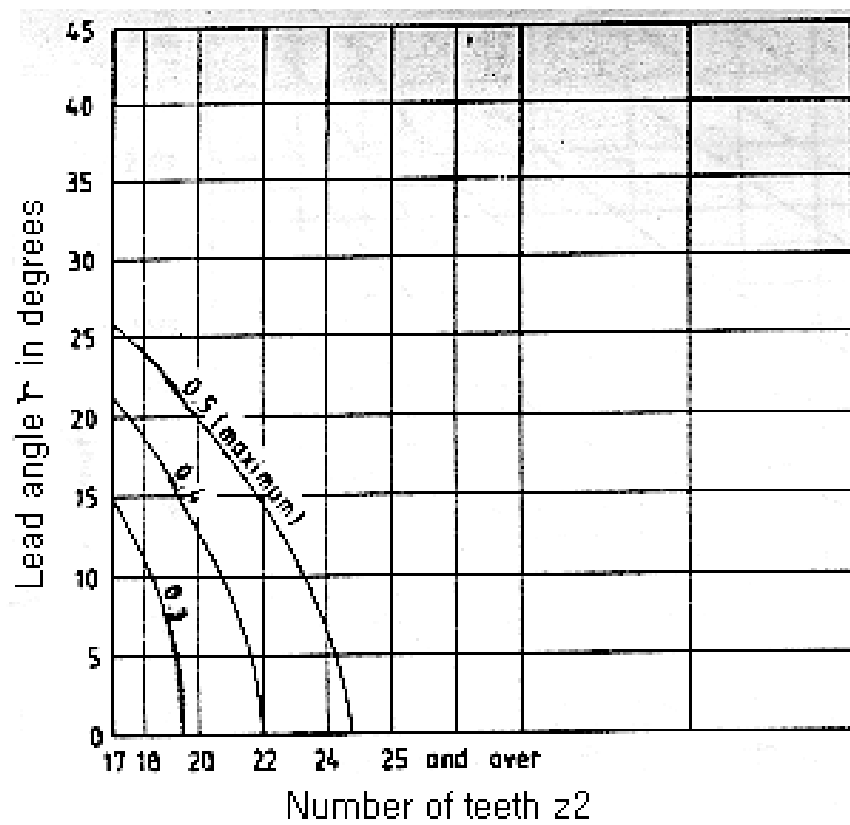


그림 4. 300rpm 까지의 워엄 속도에 대한 q 의 결정[q]

그림 5. 전위 계수의 최대값 [$\{X_{2,max}\}$]

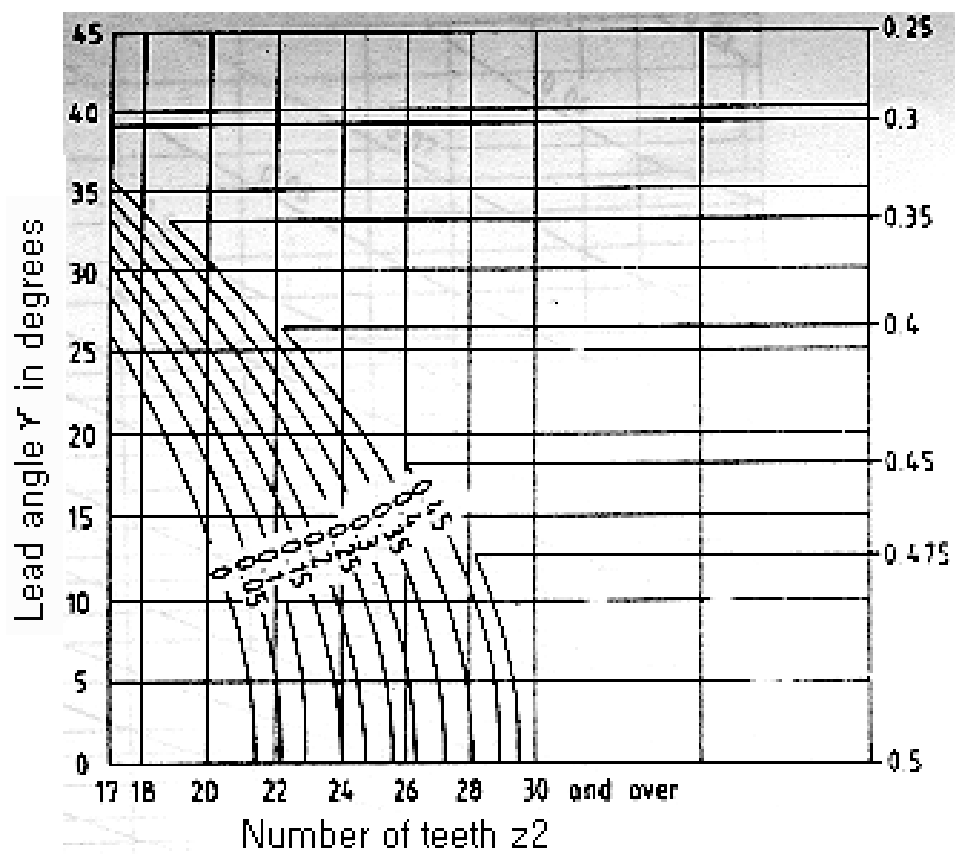


그림 6. 전위 계수의 최소값[$\{X_{2,min}\}$]

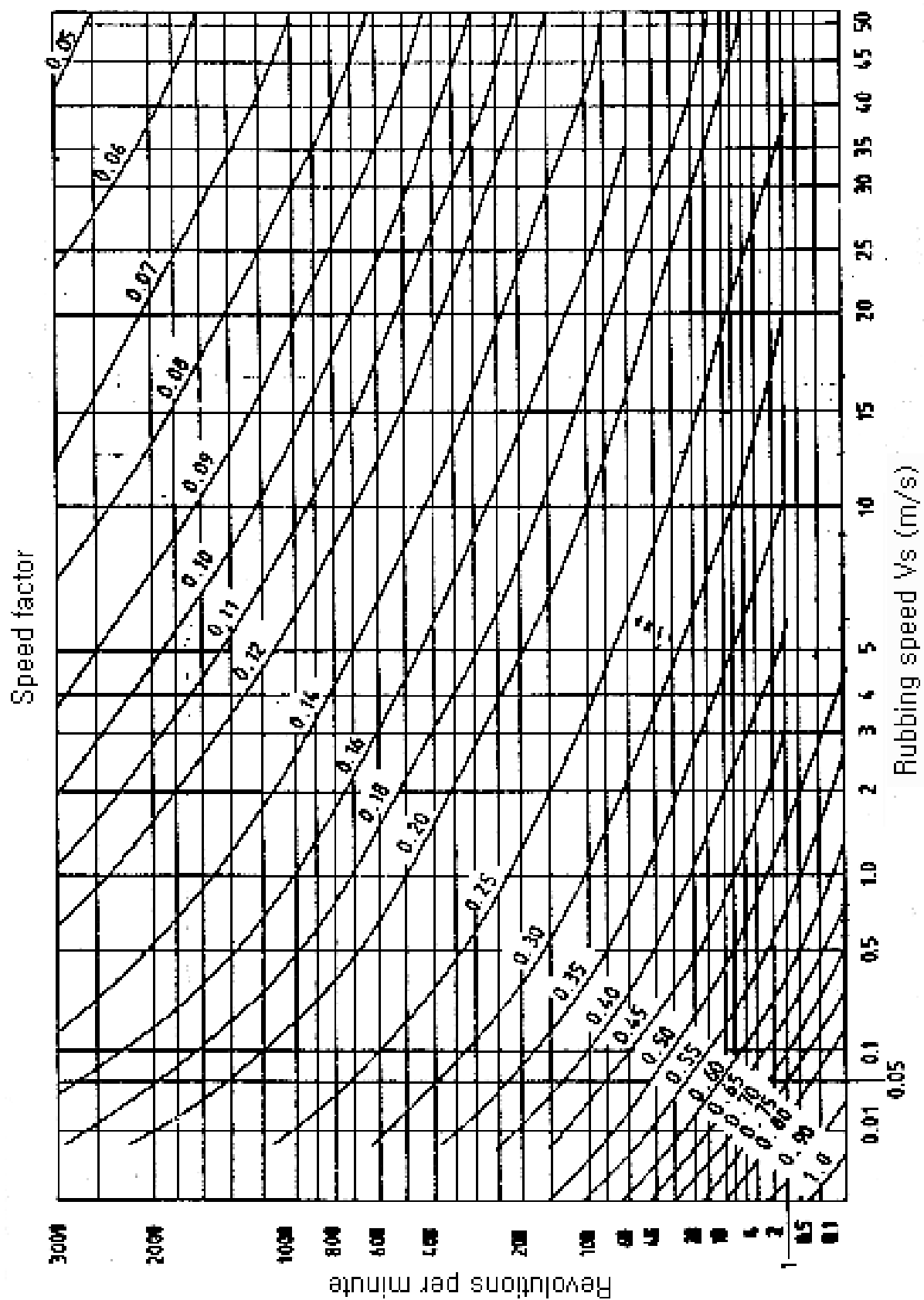


그림 7. 워엄 기어의 speed factor (마모) [$\{X_c\}$]

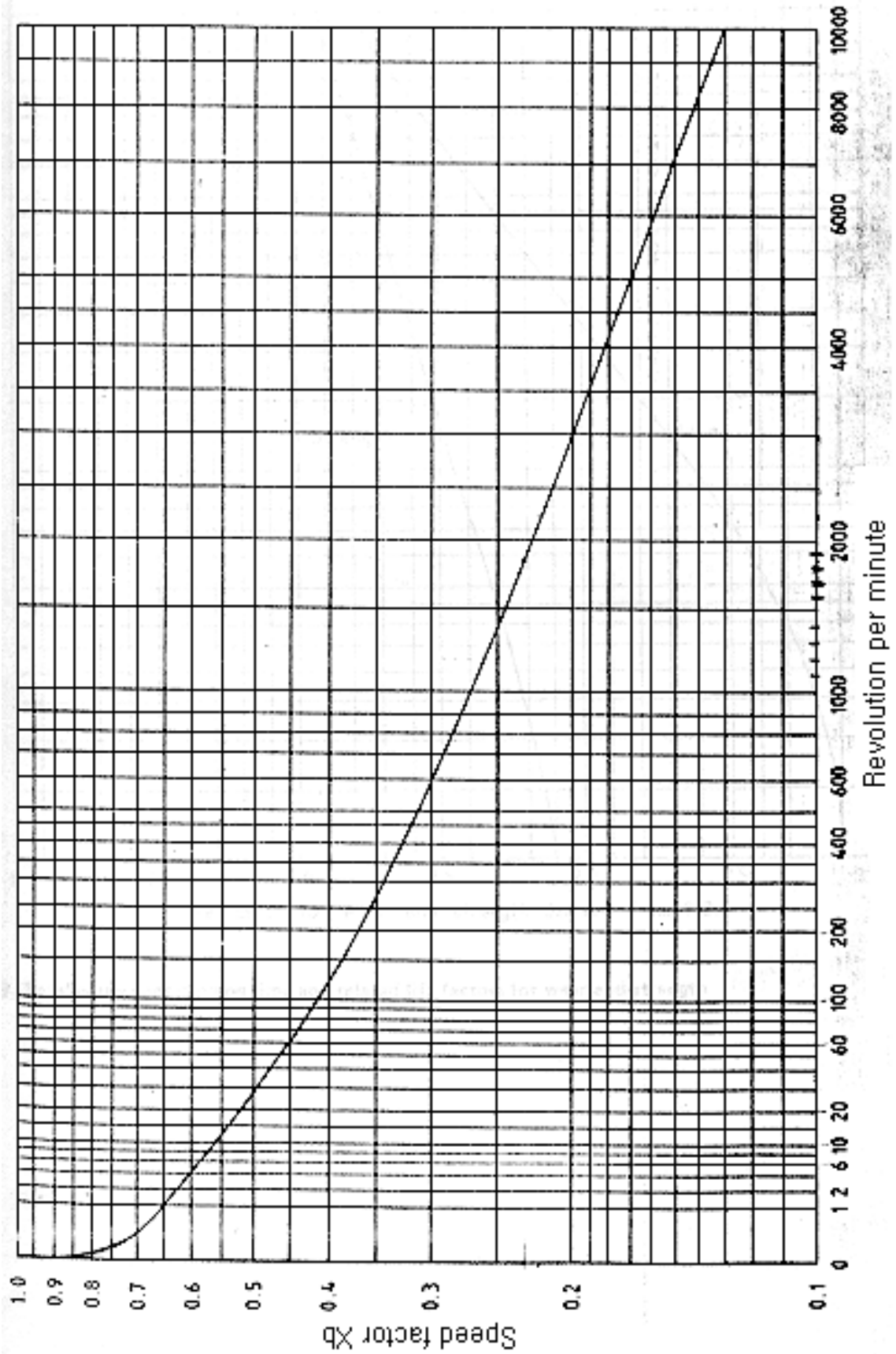


그림 8. 워엄 기어의 speed factor (굽힘 강도) $[X_b]$

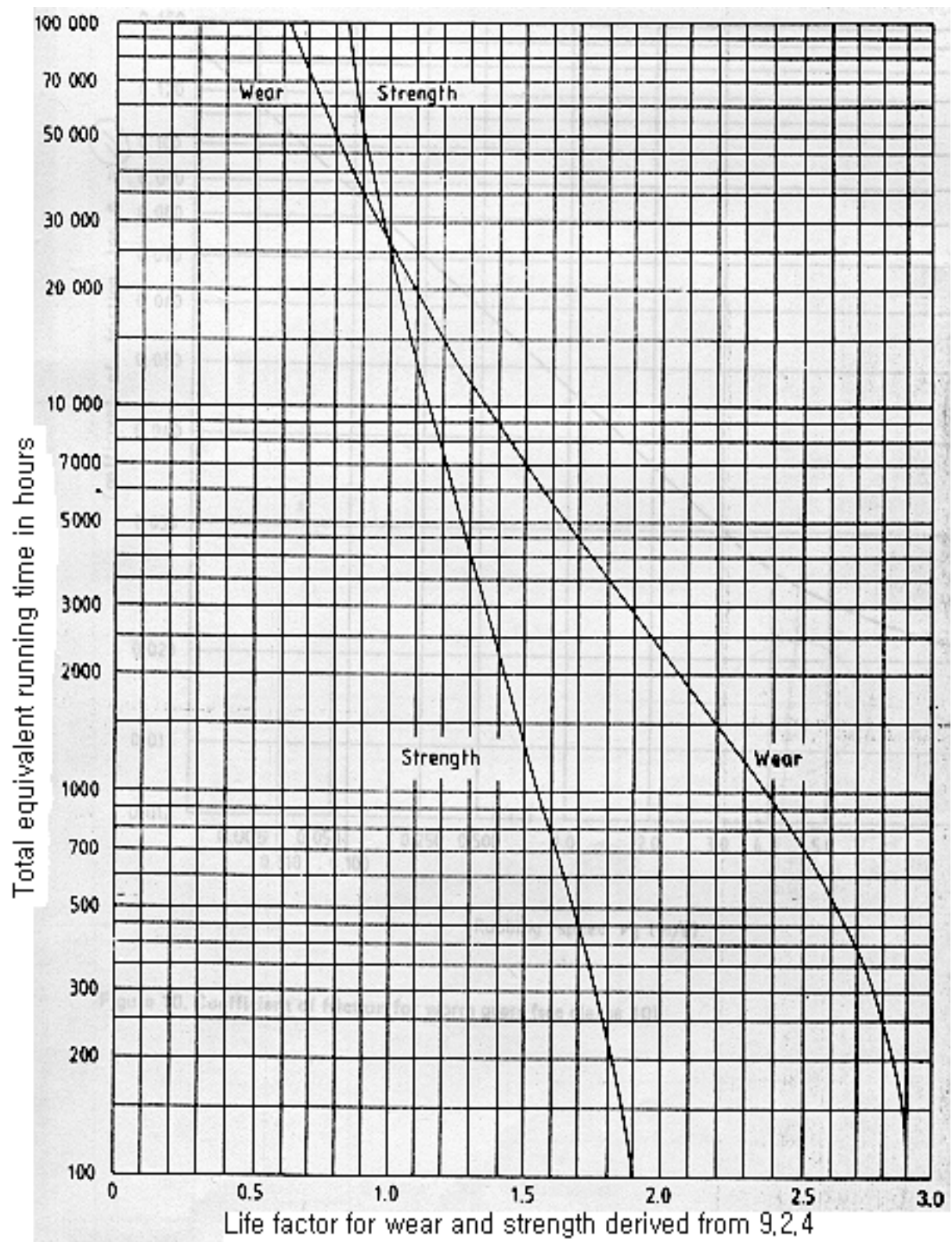


그림 9. 마모와 굽힘강도에 대한 총 등가 운전 시간과 Life factor의 관계

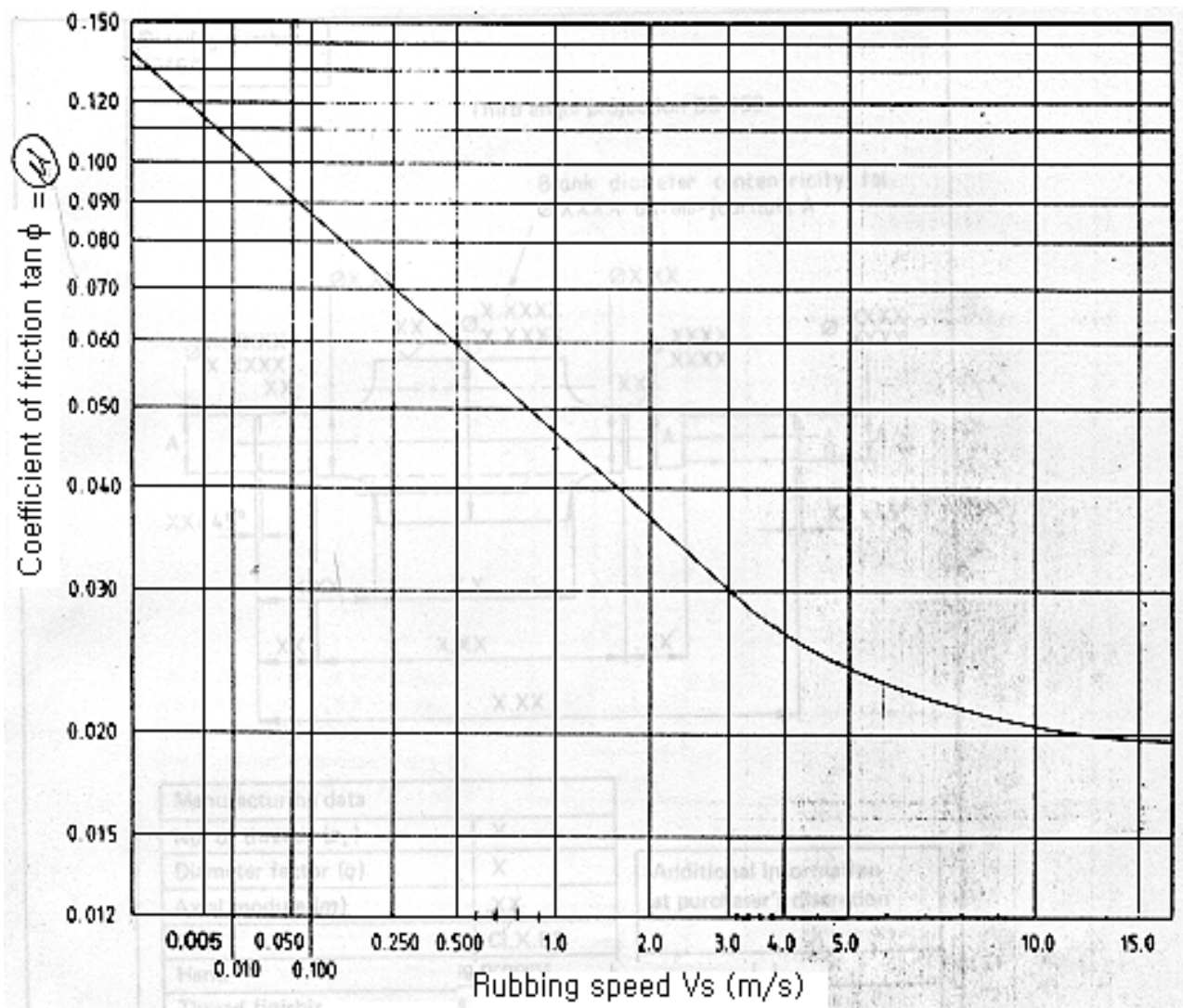


그림 10. 워엄 기어의 마찰 계수 (10절 참조)

Drawing number 7345/2		Third angle projection BS 308																							
Blank diameter concentricity tol. Ø.XXXX datum-journals A																									
Manufacturing data <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>No. of threads (x_1)</td><td>X</td></tr> <tr><td>Diameter factor (q)</td><td>X</td></tr> <tr><td>Axial module (m)</td><td>.XX</td></tr> <tr><td>Class</td><td>CI.X.BS</td></tr> <tr><td>Hand</td><td>R.h. or L.h.</td></tr> <tr><td>Thread finishing process</td><td></td></tr> <tr><td>Centre distance with mating gear</td><td>X.XXXX X.XXXX</td></tr> <tr><td>Mating gear drawing no.</td><td></td></tr> </table>		No. of threads (x_1)	X	Diameter factor (q)	X	Axial module (m)	.XX	Class	CI.X.BS	Hand	R.h. or L.h.	Thread finishing process		Centre distance with mating gear	X.XXXX X.XXXX	Mating gear drawing no.		Additional information at purchaser's discretion <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td></tr> <tr><td style="height: 20px;"></td></tr> </table>							
No. of threads (x_1)	X																								
Diameter factor (q)	X																								
Axial module (m)	.XX																								
Class	CI.X.BS																								
Hand	R.h. or L.h.																								
Thread finishing process																									
Centre distance with mating gear	X.XXXX X.XXXX																								
Mating gear drawing no.																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 30%;">Material</th> <th style="width: 20%;">Protective finish</th> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 20%;"></th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Material	Protective finish															<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Certd.</th> <th style="width: 25%;">Issue</th> <th style="width: 25%;">Date</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Certd.	Issue	Date			
Material	Protective finish																								
Certd.	Issue	Date																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 30%;">Dims. in</th> <th style="width: 20%;">Surface texture</th> <th style="width: 50%;">Tolerances</th> </tr> <tr> <td>Scale</td> <td>XX ✓</td> <td>mm dims.</td> </tr> </table>		Dims. in	Surface texture	Tolerances	Scale	XX ✓	mm dims.																		
Dims. in	Surface texture	Tolerances																							
Scale	XX ✓	mm dims.																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Contractor</th> <th style="width: 50%;">Checked</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Contractor	Checked																						
Contractor	Checked																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Traced</th> <th style="width: 50%;">Contractor's drg. ref.</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Traced	Contractor's drg. ref.																						
Traced	Contractor's drg. ref.																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Drawn</th> <th style="width: 50%;">Title</th> </tr> <tr> <td></td> <td><u>Worm</u></td> </tr> </table>		Drawn	Title		<u>Worm</u>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 50%;">Drawing number</th> <th style="width: 50%;">7345/2</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Drawing number	7345/2																
Drawn	Title																								
	<u>Worm</u>																								
Drawing number	7345/2																								

Drawing number 7345/1		Third angle projection BS 308																															
		Locating face to be identified. Squareness tol. .XXXX wide. Datum $\phi X.XXX$ bore. Blank diameter concentricity to $\phi X.XXX$ datum $\phi X.XXX$ bore																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">Manufacturing data</th> </tr> <tr> <td>No. of teeth (z_2)</td> <td>XX</td> </tr> <tr> <td>Diameter factor (q)</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Axial module (m)</td> <td>.XX</td> </tr> <tr> <td>Class</td> <td>Cl.X.BS</td> </tr> <tr> <td>Hand</td> <td>R.h. or l.h.</td> </tr> <tr> <td>Backlash</td> <td>Grade X</td> </tr> <tr> <td>Centre distance with mating gear</td> <td>X.XXXX X.XXXX</td> </tr> <tr> <td>Mating gear drawing no.</td> <td></td> </tr> </table>		Manufacturing data		No. of teeth (z_2)	XX	Diameter factor (q)	X	Axial module (m)	.XX	Class	Cl.X.BS	Hand	R.h. or l.h.	Backlash	Grade X	Centre distance with mating gear	X.XXXX X.XXXX	Mating gear drawing no.		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Additional information at purchaser's discretion</th> </tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>			Additional information at purchaser's discretion										
Manufacturing data																																	
No. of teeth (z_2)	XX																																
Diameter factor (q)	X																																
Axial module (m)	.XX																																
Class	Cl.X.BS																																
Hand	R.h. or l.h.																																
Backlash	Grade X																																
Centre distance with mating gear	X.XXXX X.XXXX																																
Mating gear drawing no.																																	
Additional information at purchaser's discretion																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Material</th> <th>Protective finish</th> <th colspan="2"> </th> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td colspan="2"> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td colspan="2"> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td colspan="2"> </td></tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td>Issue</td> <td>Date</td> </tr> </table>		Material	Protective finish																	Issue	Date	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>											
Material	Protective finish																																
		Issue	Date																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Dim. in</td> <td rowspan="2">Surface texture XX ✓</td> <td rowspan="2">Tolerances mm dims.</td> </tr> <tr> <td>Scale</td> </tr> </table>		Dim. in	Surface texture XX ✓	Tolerances mm dims.	Scale	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Checked</td> <td>Contractor</td> </tr> <tr> <td>Traced</td> <td>Contractor's drg. ref.</td> </tr> <tr> <td>Drawn</td> <td> Title <u>Wormwheel</u> Drawing number <u>7345/1</u> </td> </tr> </table>			Checked	Contractor	Traced	Contractor's drg. ref.	Drawn	Title <u>Wormwheel</u> Drawing number <u>7345/1</u>																			
Dim. in	Surface texture XX ✓	Tolerances mm dims.																															
Scale																																	
Checked	Contractor																																
Traced	Contractor's drg. ref.																																
Drawn	Title <u>Wormwheel</u> Drawing number <u>7345/1</u>																																

[
그림 12] 워엄 휘일의 표준도면

부 록 A

표준 워엄 휘일의 외륜 단면

몇몇 표준적인 워엄 휘일의 단면과 취부방법이 그림 13에서 15까지 나와 있다.
(모서리의 반경이 0.5m과 같고 라운드가 최소한 워엄 휘일의 이뿌리까지 확장된 워엄 휘일의 외륜이 chamfer된 상태의 그림)

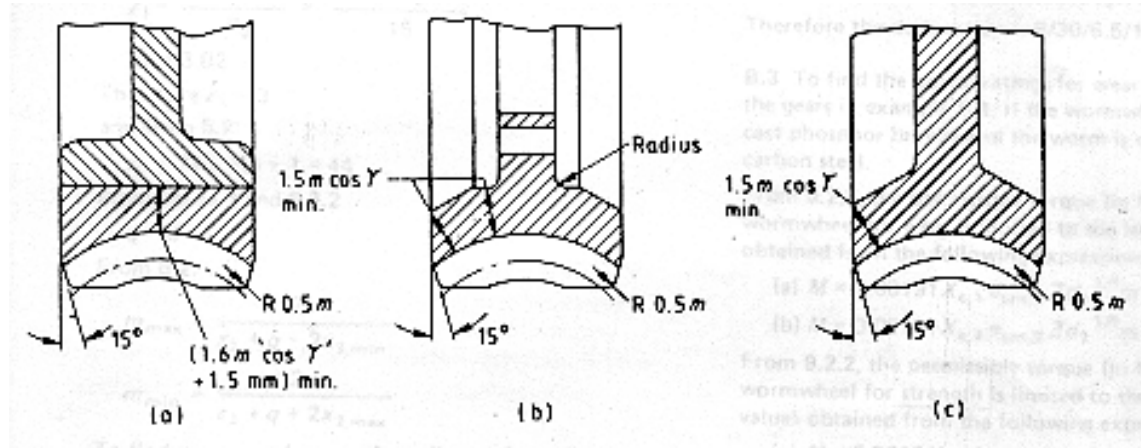
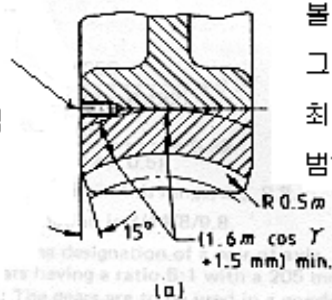


그림 13. 워엄 휘일의 외륜 단면

외륜을 줄이고 중심에
볼트를 잠글때 볼트는
그림과 같이 외륜의
최소두께가 안으로 침
범하지 않도록 한다.



외륜을 줄이고 중심에
볼트를 잠글때 볼트는
그림과 같이 외륜의
최소두께가 안으로 침
범하지 않도록 한다.

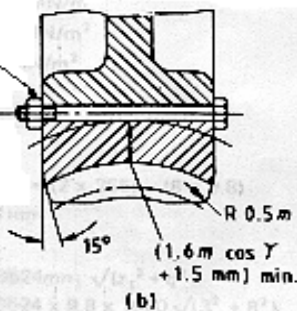


그림 14. 워엄 휘일 외륜 단면의 최소 두께

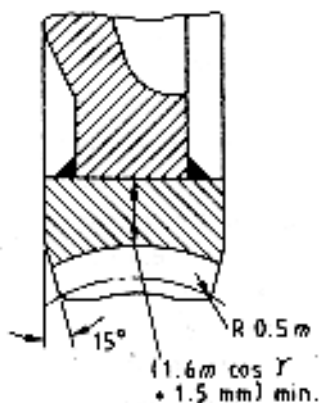


그림 15. 워엄 휘일의 단면 : (Boss의 비표준 설계시)

부 록 B

계산 예제

B.1 워엄의 회전속도가 1000rpm, 중심거리가 255mm 기어비가 15:1인 한쌍의 워엄기어의 제원을 계산하라.

5.2로부터

$$\{z_1\} = \{7 + 2.4\sqrt{a}\over{R_g}\} = \{7 + 2.4\sqrt{255}\over{15}\}$$

$$\{z_1\} = 3.02$$

따라서 $z_1 = 3$

그리고 5.2로부터

$$\{z_2\} = (3 \times 15) - 1 = 44$$

그림3과 5.3.2로부터

$$q = 8$$

6.2로부터

$$\{r_{mm}\{r_{max}\}\} = \{2a\over{\{z_2\} + q - 2\{x_{\{2,min\}}\}}\}$$

$$\{r_{mm}\{r_{min}\}\} = \{2a\over{\{z_2\} + q + 2\{x_{\{2,r_{max}\}}\}}\}$$

그림 5,6으로부터 $\{x_{\{ \{x_{\{2,r_{max}\}}\}}\}$ ", " $\{x_{\{2,r_{min}\}}\}$ 을 찾기 위해선 γ 가 필요하다.

$$\tan \gamma = \{z_1\over{q}\} = \{3\over{8}\} \quad (6.3.1참조)$$

따라서 $\gamma = 20.55^\circ$

$$\{x_{\{ \{x_{\{2,r_{max}\}}\}}\} = 0.5$$

$$\{x_{\{ \{x_{\{2,r_{min}\}}\}}\} = 0.432$$

따라서

$$\{r_{mm}\{r_{max}\}\} = \{2 \times 255\over{44 + 8 - (2 \times 0.432)}\} = 9.97$$

$$\{r_{mm}\{r_{min}\}\} = \{2 \times 255\over{44 + 8 + (2 \times 0.5)}\} = 9.62$$

m의 값을 이범위 내에서 구하면 9.8

따라서 호칭은 3/44/8/9.8

B.2

기어비가 5:1이고 205mm의 중심거리를 갖는 한쌍의 축 트랜스미션 기어의 호칭을 계산하라.

기어가 사용되는 화물차량의 총 적재중량은 120kN이고, 구동축의 최대 하중은 80kN, 최대 엔진 토크는 475N · m, 타이어 회전 반경은 480mm, 마찰계수 μ 는 0.8이다.

5.2로부터

$$\{z_1\} = \{7 + 1.6\sqrt{a}\} / \{R_g\} = \{7 + 1.6\sqrt{205}\} / \{5\}$$
$$\{z_1\} = 5.98$$

따라서 $\{z_1\} = 6$, $\{z_2\} = 30$

그림3과 5.3절로부터

$$q = 6.5$$

$$\tan \gamma = \{z_1\} / \{q\} = \{6\} / \{6.5\}$$

$$\gamma = 42.71^\circ$$

그림 5,6으로부터

$$\{x_{\{x_2, rmax\}}\} = 0.5$$

$$\{x_{\{x_2, rmin\}}\} = 0.27$$

따라서

$$\{rmm_{\{rmax\}}\} = \{2a\} / \{\{z_2\} + q - 2\{x_{\{x_2, min\}}\}\} = \{2 \times 205\} / \{30 + 6.5 - (2 \times 0.27)\} = 11.40$$

$$\{rmm_{\{rmin\}}\} = \{2a\} / \{\{z_2\} + q + 2\{x_{\{x_2, rmax\}}\}\} = \{2 \times 205\} / \{30 + 6.5 + (2 \times 0.5)\} = 10.93$$

이 범위 내에서 m의값을 구하면 m=11

따라서 호칭은 6/30/6.5/11.0

B.3

만약 예제 B1에서의 워엄휠일이 원심 주조 인철동 재질이고 워엄이 침탄 탄소강 이라면 마모와 굽힘강도에 대한 정격 동력을 찾아라.

9.2.1로부터 마모에 대한 워엄 휠일의 허용 토크 $[N \cdot m]$ 는 다음식에서 얻어지는 값보다 작은값으로 제한받는다.

$$(a) \text{ "M" "=" } "0.00191\{X_c, 1\}\{\sigma_{\{rmcm, 1\}}\}Z\{\{d_2\}^{1.8}\}\{rmm\}$$

$$(b) \text{ "M" "=" } "0.00191\{X_c, 2\}\{\sigma_{\{rmcm, 2\}}\}Z\{\{d_2\}^{1.8}\}\{rmm\}$$

-33-

9.2.2로부터 굽힘 강도에 대한 워엄 휠일의 허용 토크 $[N \cdot m]$ 는 다음식에서 얻어지는 값보다 작은값으로 제한받는다.

$$(c) \text{ "0.0018}\{X_b, 1\}\{\sigma_{\{rmbm, 1\}}\} \text{ "}\{rmm\} \text{ "}\{l_f, 2\} \text{ "}\{d_2\} \cos \gamma$$

$$(d) \text{ "0.0018}\{X_b, 2\}\{\sigma_{\{rmbm, 2\}}\} \text{ "}\{rmm\} \text{ "}\{l_f, 2\} \text{ "}\{d_2\} \cos \gamma$$

표 7로부터

$$\{\sigma_{\{rmcm, 1\}}\} = 48.3MN/m^2$$

$$\{\sigma_{\{rmcm, 2\}}\} = 15.2MN/m^2$$

$$\{\sigma_{\{rmbm, 1\}}\} = 276MN/m^2$$

$$\{\sigma_{\{rmbm, 2\}}\} = 69MN/m^2$$

표 6으로부터

$$Z = 1.209$$

6.3 으로부터

$$\{d_2\}=2a-qm=(2\times 255)-(8\times 9.8)=431.6\text{mm}$$

9.2.1로부터

$$\begin{aligned}\{v_s\}&=0.0000524\{\text{rmm}\}\{n_1\}\sqrt{\{z_1\}^2+\{q^2\}} \\ &=0.0000524\times 9.8\times 1000\sqrt{\{3\}^2+\{8^2\}}=4.39\text{m/s}\end{aligned}$$

그림 7로부터

$$\{X_{\text{rmc},1}\}=0.13$$

$$\{X_{\text{rmc},2}\}=0.26$$

그림 8로부터

$$\{X_{\text{rmb},1}\}=0.27$$

$$\{X_{\text{rmb},2}\}=0.445$$

6.3으로부터

$$\begin{aligned}l_{\{f,2\}} &= (\{d_{\text{rma},1\} + 2c)\sin^{-1}\left[\frac{\{b_e\}}{\{d_{\text{rma},1\} + 2c}\right]} \\ \{d_{\text{rma},1}\} &= \{\text{rmm}\}(q+2)=9.8\times 10=98 \\ \{c_{\text{rmm},1}\} &= 0.2\{\text{rmm}\}\cos \gamma = 0.2\times 9.8\times \cos 20.55^\circ = 1.83 \\ \{b_{\text{rme}}\} &= 2\{\text{rmm}\}\sqrt{\{q+1\}}=2\times 9.8\times \sqrt{9}=58.8\end{aligned}$$

-34-

$$\text{따라서 } l_{\{f,2\}} = 101.66\sin^{-1}\{58.8\over 101.66\}=62.7$$

$$(a) \text{ "M" } = "0.00191\times 0.13\times 48.3\times 1.209\times \{431.6\}^{1.8}\times 9.8=7864 \{\text{rmm}\cdot \text{m}\}$$

$$(b) \text{ "M" } = "0.00191\times 0.26\times 15.2\times 1.209\times \{431.6\}^{1.8}\times 9.8=4950 \{\text{rmm}\cdot \text{m}\}$$

$$(c) \text{ "M" } = "0.0018\times 0.27\times 276\times 9.8\times 62.7\times 431.6\times \cos 20.55=33309 \{\text{rmm}\cdot \text{m}\}$$

$$(d) \text{ "M" } = "0.0018\times 0.445\times 69\times 9.8\times 62.7\times 431.6\times \cos 20.55=13724 \{\text{rmm}\cdot \text{m}\}$$

따라서 워엄 휘일의 마모에 대해 제한받는 M의 제한 값은 4950[N·m]이다.

9.2.3으로부터 정격 출력은 [kW]로

$$\frac{\{Mn_2\}}{9550}=\frac{4950\times 1000\times 3}{9550\times 44}=35.3\{\text{rmmkW}\}$$

따라서 기어의 정격 동력은 35.3[kW]

B.4

만일 최대 기어 box 감속比가 15:10이라면 B.2에서의 원심 주조 인청동 워엄 휘일과 침탄 탄소강 워엄의 적합성을 확인하라.

9.5.2로부터 워엄 휘일이 회전하며 발생하는 워엄 휘일의 토크는

$$\{W_1\} \mu \{R_t\} = 80 \times 0.8 \times 480 = 30720 \{ \text{rmN} \cdot \text{m} \}$$

최대 엔진 토크 $475 \text{N} \cdot \text{m}$ 는 워엄 휘일 토크에 제공되어

$$\{M_{\text{rme}}\} \{R_1\} \{R_2\} = 475 \times 15 \times 5 = 35625 \{ \text{rmN} \cdot \text{m} \}$$

따라서 최대 워엄 휘일 토크는 휘일 회전에 따른 $30720 [\text{N} \cdot \text{m}]$ 에 제한 받는다.
9.5.4로부터 마모에 대한 워엄 휘일의 최대 허용 토크는 다음 식에서 얻어지는
값중 최소값으로 제한 받는다.

$$(a) \quad "M" = " \{15+G\} \over {15710 \{ \text{rmK}_A \}} \{ \sigma_{\text{rmcm},1} \} \{ \{d_2\}^{1.8} \} \{ \text{rmm} \} Z$$

$$(b) \quad "M" = " \{15+G\} \over {15710 \{ \text{rmK}_A \}} \{ \sigma_{\text{rmcm},2} \} \{ \{d_2\}^{1.8} \} \{ \text{rmm} \} Z$$

$$(c) \quad "M" = " 0.0395 \{ \{d_2\}^{1.8} \} \{ \text{rmm} \} Z$$

9.5.5로부터 굽힘강도에 대한 워엄 휘일의 최대 허용 토크는 다음 식에서 얻어지는
값중 최소값으로 제한 받는다.

$$(e) \quad "M" = " \{15+G\} \over {16670 \{ \text{rmK}_A \}} \{ \sigma_{\text{rmbm},1} \} \{ \text{rmm} \} \{ l_{f,2} \} \{ d_2 \} \cos \gamma$$

$$(f) \quad "M" = " \{15+G\} \over {16670 \{ \text{rmK}_A \}} \{ \sigma_{\text{rmbm},2} \} \{ \text{rmm} \} \{ l_{f,2} \} \{ d_2 \} \cos \gamma$$

-35-

표 7로부터

$$\{ \sigma_{\text{rmcm},1} \} = 48.3 \text{MN/m}^2$$

$$\{ \sigma_{\text{rmcm},2} \} = 15.2 \text{MN/m}^2$$

$$\{ \sigma_{\text{rmbm},1} \} = 276 \text{MN/m}^2$$

$$\{ \sigma_{\text{rmbm},2} \} = 69 \text{MN/m}^2$$

표 6으로부터

$$Z = 1.145$$

표 8로부터

$$\{K_{\text{rma}}\} = 1$$

6.3으로부터

$$\{d_2\} = 2a - q_m = (2 \times 205) - (6.5 \times 11.0) = 338.5 \text{mm}$$

9.5.4로부터

$$G = \{100\} \over {W \{R_t\}} \times \text{roadwheel 토크} = \{100 \times 30720\} \over \{120 \times 480\} = 53.3$$

6.3으로부터

$$l_{\{f,2\}} = (\{d_{\text{rma},1}\} + 2c) \sin^{-1} \left[\{ \{b_e\} \over \{d_{\text{rma},1}\} + 2c \} \right]$$

$$\{d_{\text{rma},1}\} = \{ \text{rmm} \} (q+2) = 93.5$$

$$\{c_{\text{rmin}}\} = 0.2 \{ \text{rmm} \} \cos \gamma = 1.62$$

$$\{b_{\text{rme}}\} = 2 \{ \text{rmm} \} \sqrt{(q+1)} = 60.25$$

$$\text{따라서 } l_{\{f,2\}} = (93.5 + 3.24) \sin^{-1} \left[\{60.25\} \over \{96.74\} \right] = 65.04$$

$$(a) \quad "M" = " \{15+53.3\} \over {15710} \times 48.3 \times \{ \{338.5\}^{1.8} \} \times 11 \times 1.145 = 94535 \{ \text{rmN} \cdot \text{m} \}$$

- (b)" "M" "=" " $\frac{15+53.3}{15710} \times 15.2 \times \{338.5\}^{1.8} \times 11 \times 1.145 = 29755 \text{ {rmN} \cdot m}$
- (c)" "M" "=" " $0.0395 \times \{338.5\}^{1.8} \times 11 \times 1.145 = 17783 \text{ {rmN} \cdot m}$
- (d)" "M" "=" " $\frac{68.3}{16670} \times 276 \times 11 \times 65.04 \times 338.5 \times \cos 42.71 = 201230 \text{ {rmN} \cdot m}$
- (e)" "M" "=" " $\frac{68.3}{16670} \times 69 \times 11 \times 65.04 \times 338.5 \times \cos 42.71 = 50308 \text{ {rmN} \cdot m}$

(b)와 (c)의 값이 요구되는 워엄 휘일 토크 30720 N · m의 아래이다
따라서 205mm의 중심거리 선택은 적절하지 않고 요구되는 양만큼 증가되어야 한다.

-36-

토크는 $30720/17738=1.73$ 의 factor만큼 증가 해야만 하고 대략 $a^{2.8}$ 정도 비례한다.
따라서 중심거리는 factor 1.22에 의해 예를들어 250mm 정도 늘어나야 한다.
250mm의 중심거리 , $q=6.5$

$$\{rmm_{\{rmm_{max}\}}\} = \{2a\} \over \{\{z_2\} + q - 2\{x_{\{2,min\}}\}\} = \{2 \times 250\} \over \{30 + 6.5 - (2 \times 0.27)\} = 13.9$$

$$\{rmm_{\{rmm_{min}\}}\} = \{2a\} \over \{\{z_2\} + q + 2\{x_{\{2,rmm_{max}\}}\}\} = \{2 \times 250\} \over \{30 + 6.5 + (2 \times 0.5)\} = 13.3$$

$m=13.5$ 로 놓으면

새로운 호칭 6/30/6.5/13.5 이고

$$\{d_2\} = (2 \times 250) - (6.5 \times 13.5) = 412.25$$

따라서

$$(c)" "M" "=" "0.0395 \times \{\{412.25\}^{1.8}\} \times 13.5 \times 1.145 = 31117 \text{ {rmN} \cdot m}$$

$$(b)" "M" "=" "\frac{68.3}{15710} \times 15.2 \times \{\{412.25\}^{1.8}\} \times 13.5 \times 1.145 = 52058 \text{ {rmN} \cdot m}$$

이제 기어는 요구되는 토크를 전달한다.

B.5

B.1의 호칭 3/44/8/9.8의 워엄과 워엄 휘일의 dimension을 구하라.

6.3으로부터

Worm dimension

$$\tan \gamma = z_1/q = 0.375 \quad \gamma = 20^\circ 33'$$

$$d_1 = qm = 8 \times 9.8 = 78.4 \text{ mm}$$

$$h_{a,1} = m = 9.8 \text{ mm}$$

$$h_{f,1,min} = m(2.2 \cos \gamma - 1) = 1.06m = 10.388 \text{ mm}$$

$$h_{f,1,max} = m(2.25 \cos \gamma - 1) = 1.11m = 10.878 \text{ mm}$$

$$c_{min} = 0.2m \cos \gamma = 1.835 \text{ mm}$$

$$c_{max} = 0.25m \cos \gamma = 2.294 \text{ mm}$$

$$d_{a,1} = d_1 + 2h_{a,1} = m(q+2) = 98 \text{ mm}$$

$$d_{f,1} = d_1 - 2h_{f,1} = 78.4 - (2 \times 10.388) = 57.624 \text{ mm}$$

$$p_z = \pi z_1 m = 92.3 \text{ mm}$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

$$\cos \gamma_b = \cos \gamma \cos \alpha_n = 0.880$$

$$\gamma_b = \cos^{-1} 0.88 = 28^\circ 22'$$

$$d_b = \{p_z\} \over \{\pi \tan \{ \gamma_b \} \} = "54.41" \text{ mm}$$

$$b_1 = 14m \cos \gamma = 128.469 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \{\text{bars}\}_{\text{sub } c}\} &= m(0.7444\cos \gamma + 0.6428) = 13.13 \text{ mm} \\ \{\text{barh}\}_{\text{sub } c}\} &= m - \{\{\{\text{bars}\}_{\text{sub } c}\} \over 2\} \tan 20^\circ = 7.410 \text{ mm} \end{aligned}$$

-37-

Wormwheel dimension

$$\begin{aligned} d_t &= 2a - (d_{f,1} + 2c) = 448.706 \text{ mm} \\ d_{f,2} &= 2a - (d_{a,1} + 2c) = 408.330 \text{ mm} \\ d_{a,2,\min} &= d_t + 0.4m = 452.626 \text{ mm} \\ d_{a,2,\max} &= d_t + m = 458.506 \text{ mm} \\ \gamma_g &= 0.5(d_{f,1} + 2c) = 30.647 \text{ mm} \\ b_e &= 2m\{\text{root}\{(q+1)\}\} = "58.8" \text{ "rmmm} \\ l_{\{f,2\}} &= (d_{\{a,1\}} + 2c)\sin^{-1}\left[\frac{b_e}{d_{\{a,1\}} + 2c}\right] = "62.70" \text{ " rmmm} \end{aligned}$$

B.6

B.1의 효율을 구하라

10항으로부터

$$\begin{aligned} \text{worm 구동의 효율} &= \frac{\tan \gamma}{\tan(\gamma +)} \\ \text{worm 휠의 구동의 효율} &= \frac{\tan(\gamma -)}{\tan \gamma} \end{aligned}$$

그림 10으로부터

$$\begin{aligned} \mu &= 0.0233 = \tan \\ \tan \gamma &= 0.375 \\ \tan(\gamma +) &= \frac{\tan \gamma + \tan }{1 - \tan \gamma \tan } = \frac{0.401}{1 - 0.00975} = \frac{0.401}{0.990} \\ \tan(\gamma -) &= \frac{0.349}{1.010} \end{aligned}$$

따라서

$$\begin{aligned} \text{worm 구동의 효율} &= \frac{0.375 \times 0.991}{0.398} = 0.926 = 92.6\% \\ \text{worm 휠의 구동의 효율} &= \frac{0.3517}{1.0087 \times 0.375} = 0.922 = 92.2\% \end{aligned}$$

B.7

각 cycle이 아래의 주기로 이루어지고 1일당 700cycle의 변동 하중(9.3.3 참조)으로 지정된것과 대응하는 등가 균일하중을 결정하라.

주기 1 : 토크는 2000 N · m에서 1200 N · m로 균일감소

소요 시간 : 3s

평균 속도 : 16rpm

주기 2 : 토크는 800 N · m로 불변

소요 시간 : 10s

평균 속도 : 32rpm

-38-

주기 3 : 토크는 3000 N · m에서 2000 N · m로 균일감소

소요 시간 : 2s

평균 속도 : 16rpm

여기서 $M_1 = 3000 \text{ N} \cdot \text{m}$

H의 합은 $H=3+10+2=15\text{s}$

$\{n_2\}=16\text{rpm}$

주기 1.

주기 1. 에서의 마모에 대한 등가 운전 시간은

$$=\frac{3}{4}\left(\frac{16}{16}\right)\times\left(\frac{2000}{3000}+\frac{1200}{3000}\right)\times\sqrt{\left(\frac{2000}{3000}\right)^2+\left(\frac{1200}{3000}\right)^2}=0.484\text{s}$$

주기 2.

주기 2. 에서의 마모에 대한 등가 운전 시간은

$$=\frac{10}{4}\left(\frac{32}{16}\right)\left(\frac{800}{3000}\right)^3=0.378\text{s}$$

주기 3.

주기 3. 에서의 마모에 대한 등가 운동 시간은

$$=\frac{2}{4}\left(\frac{16}{16}\right)\left(\frac{3000}{3000}+\frac{2000}{3000}\right)\times\sqrt{\left(\frac{3000}{3000}\right)^2+\left(\frac{2000}{3000}\right)^2}=1.204\text{s}$$

1일당 총 등가 운전 시간은

$$=700\left\{\left(0.484+0.378+1.204\right)\right\}\over{3600}=0.4\text{rmh}$$

$$\text{life}=\frac{26000}{12}\times 0.4=866\text{rmh}$$

그림 9로부터 마모에 대한 life factor는 $=2.42$

따라서 기어는 다음의 마모에 대한 정격 하중으로 설계 되어야 한다.

$$=3000/2.42$$

$$=1240 \text{ N} \cdot \text{m} < 16\text{rpm에서의 워엄 휘일 토크}>$$

또는 2.08Kw

부 록 C

워엄의 축 방향 피치에 기초한 설계 진행

이 방법은 중심거리와 기어비의 주어진 조건으로 지정된 축방향 피치에 대한 보유하고 있는 hob를 사용 할수 있는 워엄 기어를 설계하는데 도움을 주기위해 의도된 방법이다.

5.2에서 이미 설명된 임시의 값 z_1, z_2 를 결정한다.

그림3과 그림4에서 q값을 결정한다.

다음 식에서 d_1 의 근사값을 구한다.

$$\{d_1\}=2\{rma\}\left(\{q\}\over{\{q+\{z_2\}\}}\right)$$

다음 식으로부터 축 방향 피치의 첫 번째 근사값을 구하면

$$\{p_x, "approx"\}=\{\pi(2a-\{d_1\})\}\over{\{z_2\}}$$

z_1 의 나사줄수를 가진 Hob가 근사값인 축방향 피치 p_x 와 피치원경 d_1 에서 적용할수 있다고 가정하면 이 hob를 사용했을때의 중심거리는 다음에서 찾을수 있다.

$$\{rma_{max}\}=0.5\left[\{((\{z_2\}+2\{x_{2,max}\})\{p_x\})\over{\pi}+\{d_1\}\right]$$

$$\{rma_{min}\}=0.5\left[\{((\{z_2\}-2\{x_{2,min}\})\{p_x\})\over{\pi}+\{d_1\}\right]$$

만약 구하고자 하는 중심거리가 이 범위에 들지 않는 다면 범위에 들때까지 z_1 를 변경한다.(적용이 가능하다면)

만약 만족할만한 답이 나오지 않는다면 z_1 의값을 변경하여 다른 가능한 대략적으로 같은 lead를 갖는 hob를 찾을수 있을 것이다.

이런 목적으로 대략 $\pi(2a-d_1)/z_2$ 의 lead를 갖는 hob를 위와 같은 방법으로 시험해본다.

예제

대략 7.5:1의 기어비를 갖고 150mm의 중심거리가 요구되는 워엄 기어.

위의 임시값들은 6항과 관계되어 결정된다.

$$z_1=5 ; z_2=37 ; q=8 ; d_1=53mm$$

첫 번째로 축피치의 근사값[mm]은 다음으로 주어진다.

$$\{\pi\}\{((2\times 150)-53)\}\over{37}=20.97$$

-40-

잇수가 5이고 21.5mm의 축 피치와 55mm의 피치원경인 hob를 가정하면 다음 식에서 값이 얻어진다.

$$\{rma_{max}\}=0.5\left[\{((37+1)21.5)\over{\pi}+\{55\}\right]=157.5rmmm$$

$$\{rma_{min}\}=0.5\left[\{((37-1)21.5)\over{\pi}+\{55\}\right]=150.7rmmm$$

만약 이범위의 중심거리가 적합하지 않다면 $z_2=36$ 으로 놓고 계산하면

$$\{rma_{max}\}=154.1rmmm , \{rma_{min}\}=147.3rmmm \text{ 이 된다.}$$

이것은 다음 답이 가능하게 한다.

$$z_1=5 ; z_2=36 ; d_1=55 ; a=150 ; p_x=21.5$$

만약 주어진 답과 일치하는 잇수가 5인 hob가 없다면 z_1 값의 변화가능성을

실험하여 보고, 다른 축피치 값을 얻는다.

$z_1 = 6$, $z_2 = 44$, $d_1 = 45$ 로 놓으면

대략적인 축 피치 $= \frac{\pi(300-45)}{44} = 18.2$

이것은 잇수가 6이고 18mm~19mm의 피치를 갖는 hob의 가능성을 제안한다.

hob의 피치가 18mm 이고 잇수가 6이고 $d_1 = 45$ 로 가정하면 앞서의

$\{r_{ma_max}\}$, $\{r_{ma_min}\}$ 가 151.4~145.7가 되어 150mm의 중심거리의 답을 제공한다.

반면에 hob의 피치가 19mm 이고 잇수가 6이고 $d_1 = 40$ 로 가정하고 앞서의

계산을 진행하면 $z_2 = 430$ 이 되고 $\{r_{ma_max}\}$, $\{r_{ma_min}\}$ 가 153.1~147.00이 되어

이것 또한 150mm의 중심거리의 답을 제공한다.

Publications referred to

BS 308	Engineering drawing practice
BS 436	Spur and helical gears Part 2 Basic rack form, modules and accuracy (1 to 50 metric modules)
BS 721*	Specification for worm gearing Part 1 Imperial units
BS 970	Wrought steels in the form of blooms, billets, bars and forgings

	Part 1 Carbon and carbon manganese steels including free cutting steels
	Part 3 Steels for case hardening
BS 1400	Copper alloy ingot and copper and copper alloy castings
BS 1452	Specification for grey iron castings
BS 1498	Gear hobbing machine for turbines and similar drives
BS 2519	Glossary for gears
	Part 1 Geometrical definition
	Part 2 Notation
BS 4500	ISO limits and fits
	Part 1 General, tolerances and deviations
BS 4656	Specifications for the accuracy of machine tools and method of test
	Part 19 Gear hobbing machines