

5장 나사

5장 나사 5-1

나사 - 결합용 또는 운동용 기계요소

- 호환성 고려 → 국내 : KS규격
국제 : ISO규격
- 삼각나사 - 체결용(결합용) 기계요소
- 사각나사 - 회전운동 → 직선운동 변환
- 나선곡선 - 가상 원통 위의 한 점이 축방향의 직선운동과
접선방향의 회전운동을 일정한 비율로
동시에 하였을 경우 원통에 그려지는 궤적

5장 나사 5-2

λ: 리드(나선각)
γ: 비틀림각
l: 리드
d₂: 유효지름

<나선곡선>

5장 나사 5-3

◆ 나사의 구분

<나사산이 있는 위치에 따른 분류>

- 수나사 - 원통의 외면에 나사산이 있는 경우
- 암나사 - 원통의 내면에 나사산이 있는 경우(너트)

<나사의 회전방향에 따른 분류>

- 오른나사 - 회전방향이 오른손 법칙에 따름
- 왼나사 - 회전방향이 왼손 법칙에 따름

<나사산의 모양에 따른 분류>

- 삼각 나사, 사각 나사, 사다리꼴 나사 등

5장 나사 5-4

<나사산의 모양에 따른 나사의 종류>

5장 나사 5-5

◆ 나사의 구조와 명칭

1. 피치와 리드 (pitch and lead)

- 나사산 - 수나사에서 지름이 가장 큰 부분
- 골 - 수나사에서 지름이 가장 작은 부분
- 피치(p) - 서로 인접한 나사산 사이의 축방향 거리
- 리드(l) - 나사가 1회전할 때 축방향으로 이동한 거리

$$l = np$$

n은 나사의 줄 수

5장 나사 5-6

2. 구조 및 명칭

(a) 수나사 (b) 암나사

<나사의 명칭>

	최 대	최 소
수나사	바깥지름	공지름
암나사	공지름	안지름

5장 나사 5-7

(1) 바깥지름 (d)

- 수나사의 바깥지름
- 나사의 크기를 나타내는 호칭
- 같은 크기의 암나사 지름 → 암나사의 공지름(D)

(2) 안지름 (D_i)

- 암나사의 안지름
- 같은 크기의 수나사의 공지름(d_i)

5장 나사 5-8

(3) 유효지름 (d₂, d_e)

- 나사축에 평행한 방향으로 나사산의 길이와 나사홈의 길이가 같아지는 곳의 가상 원통 지름 (수나사)
- 암나사의 유효지름과 크기가 같다

$$d_2 \approx \frac{d+d_1}{2} \text{ (삼각나사)}$$

$$d_2 = \frac{d+d_1}{2} \text{ (사각나사)}$$

5장 나사 5-9

(4) 리드각(lead angle)

- 나선각 이라고도 함. λ 또는 α로 표기
- 나선곡선이 축선에 직각인 방향과 이루는 각

<리드각>

5장 나사 5-10

$$\tan \lambda = \frac{l}{\pi d_2}$$

▶ 한 줄 나사의 경우
l = p 가 되어

$$p = \pi d_2 \tan \alpha$$

5장 나사 5-11

(5) 비틀림각 (γ)

- 나선곡선이 축선 방향과 이루는 각
- 리드각과의 관계

$$\alpha + \gamma = 90^\circ$$

(6) 나사산각 (2β)

- 수나사의 나사산이 이루는 각도

5장 나사 5-12

(7) 플랭크각(flank angle)

- 플랭크 - 나사의 봉우리와 골을 연결하는 나사산의 경사면
- 플랭크각 - 플랭크가 축중심선에 직각인 단면과 이루는 각도. β로 표기
- 보통, 나사산각의 1/2이 플랭크 각
- 나선각과 플랭크각은 다르다

5장 나사 5-13

(8) 나사산의 높이(h)

- 나사산을 반경방향으로 측정한 높이

$$h = \frac{d - d_1}{2} \quad (d \text{는 바깥지름, } d_1 \text{은 안지름})$$

- ▶ 사각나사에서

$$d = d_2 + h, \quad d_2 = d_1 + h \quad (d_2 \text{는 유효지름})$$

- ▶ 사각나사에서 높이가 주어지지 않는 경우

$$h \approx \frac{p}{2} \quad (p \text{는 피치})$$

5장 나사 5-14

◆ 나사의 표시방법

1. 나사의 표기순서

나사산의 감김방향
 나사산의 줄의 수
 나사의 호칭
 |
 나사의 등급

5장 나사 5-15

(1) 나사산의 감김방향

- 원나사의 경우 - '좌' 또는 'L'로 표시
- 오른나사의 경우 - 표시하지 않음

(2) 나사산의 줄의 수

- 두 줄 나사의 경우 '2줄' 또는 '2N'
- 세 줄 나사의 경우 '3줄' 또는 '3N'
- 한 줄 나사는 표시하지 않음

5장 나사 5-16

(3) 나사의 호칭

- 나사의 종류에 따른 호칭법을 따름

(4) 나사의 등급

- 공차의 위치 및 IT등급을 말함

예) 6H : 암나사, 정밀도 6등급, 공차위치가 H
 2A : 2A급 나사

5장 나사 5-17

<나사의 종류와 규격>

구분	나사의 종류	나사의 종류를 표시하는 기호	나사호칭의 예	관련규격	비고
ISO	미터 보통 나사	M	M 8	KS B 0201	가장 많이 사용
	미터 가는 나사	M	M 8×1	KS B 0204	볼트 품질평자에 비해, 보통 나사보다 피치가 작음
	메니큐어 나사	S	S 0.5	KS B 0228	지름 [mm] 이하의 나사에 이용
원판용	윤니피어 보통 나사	UNC	3/8-16 UNC	KS B 0203	인기계열의 살라나사이다
	윤니피어 가는 나사	UNF	No.8-36 UNF	KS B 0206	
	미터 사다리꼴 나사	Tr	Tr 10×2	KS B 0229	운동용 나사
	관용 테이퍼 수나사	R	R 3/4	KS B 0222	수도, 가스 등 기밀을 요하는 부분에 쓰임, 완전한 기밀을 위하여 실링메이크가 쓰임
ISO 규격에 없는 것	관용 테이퍼 암나사	Rc	Rc 3/4	KS B 0222	
	관용 평형 암나사(1)	Rp	Rp 3/4	KS B 0222	
	관용 평형 나사	G	G 1/2	KS B 0221	기계적 결합에 이용됨.
	30도 사다리꼴나사	TM	TM 18	KS B 0227 (ISO 12.31 제1차)	운동용 나사
ISO 규격에 없는 것	28도 사다리꼴나사	TW	TW 20	KS B 0226	운동용 나사
	관용 테이퍼 나사	PT	PT 8	KS B 0222 부속서	ISO와 같이 사용
	관용 평형 암나사(2)	FS	FS 7	KS B 0222 부속서	ISO와 같이 사용
	관용 평형 나사	FP	FP 7	KS B 0221 부속서	ISO와 같이 사용

5장 나사 5-18

◆ 나사의 종류

<나사의 종류>

산의 모양	삼각, 사다리꼴, 사각, 둥근 나사
피치와 나사지름	보통, 가는 나사
사용단위계	미터계, 인치계 나사
접촉상태	미끄럼, 구름 나사
사용목적	결합용, 운동용 나사
사용되는 장치	일반, 태핑, 작은, 관용 나사
용도	체결용, 운동용, 위치조정용 나사

5장 나사 5-19

1. 결합용 나사

(1) 미터 나사(metric thread)

- 나사산각이 60°인 미터계 삼각 나사
- 표준적으로 가장 많이 사용
- 미터 보통 나사 - [M 호칭지름] 표기
- 미터 가는 나사 - [M 호칭지름 X 피치] 표기
- 수나사의 골지름 부위 틈새

미터 보통나사	$\frac{h}{12} = \frac{1}{6\sqrt{3}} P$
미터 가는나사	$\frac{h}{16} = \frac{1}{8\sqrt{3}} P$

5장 나사 5-20

<미터 나사의 형상>

2θ = 60°
 $p = \frac{2}{\sqrt{3}} h$

$D = d + 2\left(\frac{h}{2} - \frac{h}{8}\right) = d + \frac{3\sqrt{3}}{8} p$
 $D_1 = d_1 + 2\left(-\frac{h}{2} + \frac{h}{4}\right) = d_2 - \frac{\sqrt{3}}{4} p$
 $D_2 = d_2$
 $h_1 = \frac{d - d_1}{2} \cdot \frac{5}{8} h = \frac{5\sqrt{3}}{16} p$

5장 나사 5-21

2. 운동용 나사

(1) 사각 나사 (square thread)

- 운동용 나사
- 나사잭, 나사 프레스, 선반의 이송 나사로 사용
- 나사효율이 높으나 공작이 어렵다
- 유효지름(d₂, d_e)은 평균지름(d_m)으로 어렵다

$d_e \approx d_m = \frac{d + d_1}{2}$

- d는 바깥지름
- d1은 안지름

• 사각 나사의 높이

$h = \frac{d - d_1}{2}$

5장 나사 5-22

<사각 나사>

사각 나사의 종류	나사높이(h)	특징
아르멘고드 나사	p/2	사각단면 p = 0.09d+2[mm]
연원 나사	19p/40	모서리를 둥글게 개선
셀러 나사	7p/16	

5장 나사 5-23

(2) 사다리꼴 나사 (trapezoidal screw thread)

- 자동조심 작용 가능
- 강도가 높고, 큰 힘에 견딜 수 있다
- 공작기계의 이송나사로 널리 사용
- 인치계 사다리꼴 나사(TW)
 - 나사산각(2β)이 29°
- 미터계 사다리꼴 나사(Tr)
 - 나사산각이 30°

5장 나사 5-24

$p = \frac{25.4}{n}$ (n 은 25.4 [mm]당 산수)
 $2\beta = 29^\circ$
 $H = p \cos(14.5^\circ)$
 $D_2 = d_2 = d - 2c, D_2 = d_2$
 $D_1 = d_1 = d - 2h_1, D_1 = d_1 + 2b$
 $c = 0.25p$
 $h_1 = 2c + a$
 $H_2 = 2c + a - b$
 $H = 2c + 2a - b$
 $H_3 = 2c + 2a - b$

(굵은 실선은 기본 선모양을 표시한다)

<29° 사다리꼴 나사의 형상 (KS B 0226)>

5장 나사 5-25

$2\beta = 30^\circ$
 $H = \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)p$
 $d_2 = d - 2c, D_2 = d_2$
 $d_1 = d - 2h_1, D_1 = d_1 + 2b$
 $c = 0.25p, D = d + 2a$
 $h_1 = 2c + a$
 $H_2 = 2c + a - b$
 $H_3 = 2c + 2a - b$

(굵은 실선은 기본 선모양을 표시한다)

<30° 사다리꼴 나사의 형상>
(구 KS B 0226, 1992. 12. 31 폐지)

5장 나사 5-26

$2\beta = 30^\circ$
 $H = \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)p$
 $H_1 = 0.5p$
 $d_2 = d - 0.5p$
 $d_1 = d - p$
 $D_2 = d_2$
 $D_1 = d_1$
 $D = d$

(굵은 실선은 기본 선모양을 표시한다)

<미터 사다리꼴 나사의 형상 (KS B 0229)>

5장 나사 5-27

◆ 나사역학

<사각 나사>

- 회전운동을 직선운동으로 변환
- 나사면의 마찰만을 고려

<삼각 나사>

- 물체를 결합시켜 부품을 고정
- 나사면의 마찰 고려
- 나사를 조이는데 필요한 너트와 와셔간의 마찰 고려

5장 나사 5-28

◎ 나사의 회전력과 토크

1. 사각나사

<사각 나사와 경사면>

5장 나사 5-29

(1) 나사를 절때

① 회전력(P)

<나사의 역학>

5장 나사 5-30

나사면에 수직인 힘 : $P \sin \alpha + Q \cos \alpha$
 나사면에 평행한 힘 : $P \cos \alpha - Q \sin \alpha$

- 운동이 시작되는 순간
 $P \cos \alpha - Q \sin \alpha = \mu(P \sin \alpha + Q \cos \alpha)$
 μ 는 마찰계수

마찰각을 ρ 라 하면
 $\tan \rho = \mu$

5장 나사 5-31

정리하면,
 $P = Q \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} = Q \tan(\rho + \alpha)$
 α 는 리드각(나선각)

$\tan \alpha = \frac{p}{\pi d_2}$ 이용하면
 $P = Q \frac{\mu \pi d_2 + p}{\pi d_2 - \mu p}$

5장 나사 5-32

② 회전토크 (T)

나사를 조일 때 회전토크는

$$T = \frac{d_2}{2} \cdot P = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \tan(\rho + \alpha)$$

또는

$$T = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \frac{\mu \pi d_2 + p}{\pi d_2 - \mu p}$$

5장 나사 5-33

(2) 나사를 풀 때

① 회전력 (P')

P'의 방향은 조일 때의 접선력 P와 반대방향

$$P' = Q \tan(\rho - \alpha)$$

또는

$$P' = Q \frac{\mu \pi d_2 - p}{\pi d_2 + \mu p}$$

여기서 $\left\{ \begin{array}{l} \tan \alpha = \frac{p}{\pi d_2} \\ \tan \rho = \mu \end{array} \right.$

5장 나사 5-34

② 회전토크 (T')

나사를 풀 때 회전토크는

$$T' = \frac{d_2}{2} \cdot P' = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \tan(\rho - \alpha)$$

또는

$$T' = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \frac{\mu \pi d_2 - p}{\pi d_2 + \mu p}$$

5장 나사 5-35

(3) 나사의 자립조건 (self locking condition)

나사를 풀 때 회전력 P' ← 자립조건 판단기준

- ① P' > 0 이면, 나사를 풀 때 힘이 소요. $\rho > \alpha$
- ② P' < 0 이면, 저절로 풀린다. $\rho < \alpha$
- ③ P' = 0 이면, 저절로 풀리다 임의 지점에서 정지.
 $\rho = \alpha$

5장 나사 5-36

나사의 자립조건 → 스스로 풀리지 않을 조건

$$P' \geq 0$$

각도 관계로 표시하면

$$\rho \geq \alpha$$

마찰각과 리드각을 대입

$$\mu \geq \frac{p}{\pi d_2}$$

5장 나사 5-37

2. 삼각 나사

(1) 삼각 나사의 상당 마찰계수

나사면을 누르는 힘 R에 의해 마찰저항의 크기 결정

R : 나사면을 수직으로 누르는 힘
Q : 축방향으로 미는 힘

- 두 힘의 관계

$$R = \frac{Q}{\cos \beta}$$

5장 나사 5-38

R에 의한 마찰저항은

$$\mu R = \mu \frac{Q}{\cos \beta} = \frac{\mu}{\cos \beta} Q = \mu' Q$$

β 는 플랭크각 (나사산각의 절반)

축방향 하중에 대한 상당 마찰계수 μ'

$$\mu' = \frac{\mu}{\cos \beta} = \tan \rho'$$

ρ' 는 상당마찰각
 μ 는 나사면의 마찰계수

5장 나사 5-39

(a) 사각 나사 (b) 삼각 나사

<사각 나사와 삼각 나사의 수직력>

5장 나사 5-40

(2) 삼각 나사의 회전력

① 나사를 풀 때 회전력(P)

$$P = Q \frac{\mu' \pi d_2 + p}{1 - \mu' \tan \alpha} = Q \cdot \tan(\rho' + \alpha)$$

또는

$$P = Q \frac{\mu' \pi d_2 + p}{\pi d_2 - \mu' p}$$

5장 나사 5-41

② 나사를 풀 때 회전력(P')

$$P' = Q \cdot \tan(\rho' - \alpha)$$

또는

$$P' = Q \cdot \frac{\mu' \pi d_2 - p}{\pi d_2 + \mu' p}$$

여기서 $\tan \alpha = \frac{p}{\pi d_2}$
 $\tan \rho' = \mu'$

5장 나사 5-42

(3) 삼각나사의 회전토크

① 나사를 쥘 때 필요한 회전토크(T)

- 사각 나사의 식을 상당마찰계수로 수정

$$T = \frac{d_2}{2} P = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \tan(\rho' + \alpha)$$

또는

$$T = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \frac{\mu' \pi d_2 + p}{\pi d_2 - \mu' p}$$

5장 나사 5-43

<스퍼너에 의한 체결>

- 나사면의 마찰 및 너트와 와셔간의 마찰도 고려

5장 나사 5-44

- 너트와 와셔 사이에 발생하는 마찰로 인한 토크저항

$$T_1 = r_n \cdot \mu_n Q$$

- 나사면의 마찰과 와셔의 마찰을 고려한 체결 토크

$$T_2 = T + T_1 = Q(\mu_n r_n + \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\rho' + \alpha))$$

μ_n 는 너트 또는 와셔의 자리면의 마찰계수
 r_n 는 너트 또는 와셔의 평균 반지름
 ρ' 는 삼각 나사의 상당 마찰계수에 대한 상당의 마찰각

5장 나사 5-45

(a) 너트 자리면 반지름 (b) 와셔 자리면 반지름

<접촉면의 평균 반지름>

5장 나사 5-46

- 너트 자리면의 평균 반지름

$$r_n = 0.74D$$

D는 양나사의 골지름

- 와셔 자리면의 평균 반지름

$$r_n = 0.35\sqrt{D^2 + d^2}$$

D는 와셔 바깥지름
 d는 와셔 안지름

5장 나사 5-47

② 나사를 풀 때 필요한 회전토크(T')

나사면의 마찰만을 고려

$$T' = \frac{d_2}{2} P' = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \tan(\rho' - \alpha)$$

또는

$$T' = \frac{d_2}{2} \cdot Q \cdot \frac{\mu' \pi d_2 - p}{\pi d_2 + \mu' p}$$

5장 나사 5-48

◎ 나사의 효율

입력한 일에 대한 출력된 일의 비

- 입력한 일 : 외력 P가 나사를 회전시키는데 한 일
- 출력된 일 : 축방향 하중을 축방향으로 이동시키는데 사용한 일

$$\eta = \frac{\text{축방향 이동에 쓰인 일량(유효한 일량)}}{\text{나사를 회전시키는데 소요된 일량(실제로 행한 일량)}}$$

5장 나사 5-49

1. 사각 나사의 효율

① 입력한 일 : 나사를 회전시키는데 필요한 일

입력토크 $\frac{d_2}{2}P$ 의 작용 \rightarrow 나사 1회전 (회전각 2π)

② 출력된 일 : 나사를 축방향으로 이동시키는데 필요한 일

축방향 하중 Q \rightarrow 나사 1회전 축방향으로 p(피치)만큼 이동

5장 나사 5-50

③ 효율 : 너트와 와셔 사이의 마찰 무시
나사면의 마찰만을 고려

$$\eta = \frac{Q \cdot p}{P \cdot \pi d_2} = \frac{Q \pi d_2 \tan(\alpha)}{Q \tan(\rho + \alpha) \pi d_2} = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\rho + \alpha)}$$

나사의 효율 \rightarrow 리드각 α 의 함수

5장 나사 5-51

※ 나사의 효율이 최대일 때

$\alpha = 45^\circ - \frac{\rho}{2}$ 일 때

$$\eta_{\max} = \frac{\tan(45^\circ - \frac{\rho}{2})}{\tan(45^\circ + \frac{\rho}{2})} = \tan^2(45^\circ - \frac{\rho}{2})$$

ρ 는 마찰각

5장 나사 5-52

<나사의 효율과 리드각과의 관계>

※ 자립상태의 나사효율

$$\eta = \frac{\tan \rho}{\tan(2\rho)} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \tan^2 \rho < 0.5$$

5장 나사 5-53

2. 삼각 나사의 효율

• 나사면의 마찰 및 너트와 와셔 사이의 마찰도 고려

① 입력한 일 : 나사의 회전에 필요한 입력토크

$$T_2 = Q \frac{d_2}{2} \tan(\rho' + \alpha) + \mu_n r_n Q$$

μ_n 는 너트와 와셔의 자리면의 마찰계수
 r_n 는 접촉하는 너트면의 평균반지름
 d_2 는 나사의 유효지름

1회전시 2π 회전 \rightarrow 입력일은 $2\pi T_2$

5장 나사 5-54

② 출력된 일 : 나사를 축방향으로 이동시키는데 사용된 일

나사 1회전시 축방향으로 p만큼 이동 → 출력일은 Q·p

5장 나사 5-55

③ 효율

- 나사면의 마찰만을 고려

$$\eta' = \frac{Q \cdot p}{P \cdot \pi d_2} = \frac{Q \pi d_2 \tan(\alpha)}{Q \tan(\rho' + \alpha) \pi d_2} = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\rho' + \alpha)}$$
- 너트와 와셔 사이의 마찰도 고려

$$\eta' = \frac{Q \cdot p}{2\pi \cdot T_2} = \frac{Q \pi d_2 \tan(\alpha)}{2\pi [Q \frac{d_2}{2} \tan(\rho' + \alpha) + \mu_n Q r_n]} = \frac{d_2 \tan(\alpha)}{d_2 \tan(\rho' + \alpha) + 2\mu_n r_n}$$

$Q \cdot p$ 는 유효한 열량
 $2\pi T_2$ 는 실제로 행한 열량

5장 나사 5-56

◆ 나사설계

1. 축방향으로 인장하중만 작용할 때

축방향 하중에 의해 수나사의 골지름 단면에서 파괴된다고 가정할 때 볼트가 받는 인장응력

$$\sigma_a = \frac{Q}{\frac{1}{4} \pi d_1^2}$$

d_1 은 수나사의 골지름
 Q 는 축방향하중

골지름은

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \sigma_a}}$$

σ_a 는 볼트의 허용인장응력

5장 나사 5-57

(a) 축 (b) 고리 너트

Q : 나사부에 작용하는 축방향의 하중[kgf]
 σ_a : 나사부 재료의 허용인장응력[kgf/mm²]
 d_1 : 나사의 골지름[mm]
 d_2 : 나사의 바깥지름[mm]

<나사가 인장하중만을 받을 때>

5장 나사 5-58

2. 인장응력과 전단응력이 동시에 작용할 때

① 구체적 자료가 없는 경우
 → 적절한 가정하에 유도된 식 사용

- 수나사의 바깥 지름

$$d = \sqrt{\frac{8Q}{3\sigma_a}}$$

5장 나사 5-59

② 구체적 자료가 있는 경우
 → 절차에 따라 수나사의 바깥지름을 구한다

- Q에 의한 인장응력

$$\sigma_a = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d_1^2}$$

d_1 은 수나사의 안지름
- 비틀림 모멘트(T)에 의한 전단응력

$$\tau = \frac{T \cdot r_{max}}{I_p} = \frac{T}{\frac{\pi}{16} d_1^3}$$

5장 나사 5-60

• 직접전단하중(F)에 의한 전단응력

$$\tau = \frac{F}{\pi \frac{d^2}{4}}$$

→ 앞의 식들을 사용

→ 인장응력과 전단응력을 구한다

→ 파괴이론에 적용

5장 나사 5-61

• Rankine의 최대 주응력설 : $\sigma_{max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$

• Guest의 최대 전단력설 : $\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}$

→ 위 식에서 최대 주응력, 최대 전단응력을 구한다

→ 재료의 허용 전단응력, 허용 인장응력을 비교

→ 수나사의 골지름 d_1 을 구한다

5장 나사 5-62

◆ 죄어진 볼트에 외력이 작용할 때

1. 정적인 외력이 작용하는 경우

<압력 용기의 볼트>

5장 나사 5-63

→ 중간재의 압축력과 볼트의 인장력은 힘의 평형을 이룸

→ 압력용기에 압력이 가해지면 볼트에 추가적인 인장

→ 볼트의 인장에 따른 가스누출, 볼트의 인장파괴 우려

→ 압력용기의 초기 침상태를 검토해야 함

5장 나사 5-64

※ 볼트에 인장하중 P가 추가되면

$$Q_b = Q_p + P$$

Q_b 는 볼트에 작용하는 인장하중의 크기
 Q_b 는 중간재에 작용하는 압축하중의 크기

→ P의 작용으로 중간재를 죄는 압축력 감소

→ 볼트의 신장된 길이는 더욱 증가
 중간재의 수축량은 감소

→ 추가로 변형된 길이 δ

5장 나사 5-65

기밀을 유지할 조건은

$$Q_p > 0 \quad (\text{즉 } \delta'_c = \delta_c - \delta > 0)$$

추가하중 P의 범위는

$$0 < P < Q_0 \frac{\delta_t + \delta_c}{\delta_t}$$

$$0 < P < Q_0 \frac{k_b + k_p}{k_p}$$

5장 나사 5-66

볼트의 스프링 상수는

$$k_b = \frac{A_b E_b}{l}$$

A_b 는 볼트의 끝지름 단면적
 l 은 볼트의 체결길이

볼트의 단면적이 변화하면서 연속적으로 이어졌을 경우

$$\frac{1}{k_{b(eq)}} = \frac{1}{k_{b1}} + \frac{1}{k_{b2}} + \frac{1}{k_{b3}} + \dots$$

k_{b} 는 상당 스프링 상수

5장 나사 5-67

하중이 부분적으로 작용하는 중간재의 스프링 상수는

$$k_p = \frac{A_p E_p}{l}$$

A_p 는 중간재 원통의 등가 단면적
 E_p 는 중간재의 탄성계수
 l 은 중간재의 길이(볼트의 체결길이와 같음)

5장 나사 5-68

◆ 너트설계

(1) 너트의 높이

$$H = Z \cdot p$$

Z 는 나사산수
 p 는 피치

<너트의 높이>

볼트의 재질	너트의 재질	너트의 높이 H
강	강	≈ d
강	주철	≈ 1.5d
강	청동	≈ 1.25d

5장 나사 5-69

(2) 나사산수

- 너트의 나사산에 축방향 하중이 균등하게 작용한다고 가정
- 필요한 나사산의 수는 축방향 하중을 한 개의 나사산이 받을 수 있는 하중으로 나눈 값
- 한 개의 나사산이 받을 수 있는 하중은 허용 면압력과 투영면적의 곱

5장 나사 5-70

$$Z = \frac{Q}{\frac{\pi}{4}(d^2 - d_1^2)q} = \frac{Q}{\pi d_2 h q}$$

q 는 허용 면압력
 d_2 는 나사의 유효지름
 h 는 나사산의 높이

5장 나사 5-71

<허용 접촉압력>

재 료		$q [kg_f / mm^2]$	
볼 트	너 트	결합용	전동용
연강	연강 또는 청동	3.0	1.0
경강	경강 또는 청동	4.0	1.3
강	주철	1.5	0.5

5장 나사 5-72