

1장 서론

1장 기본사항

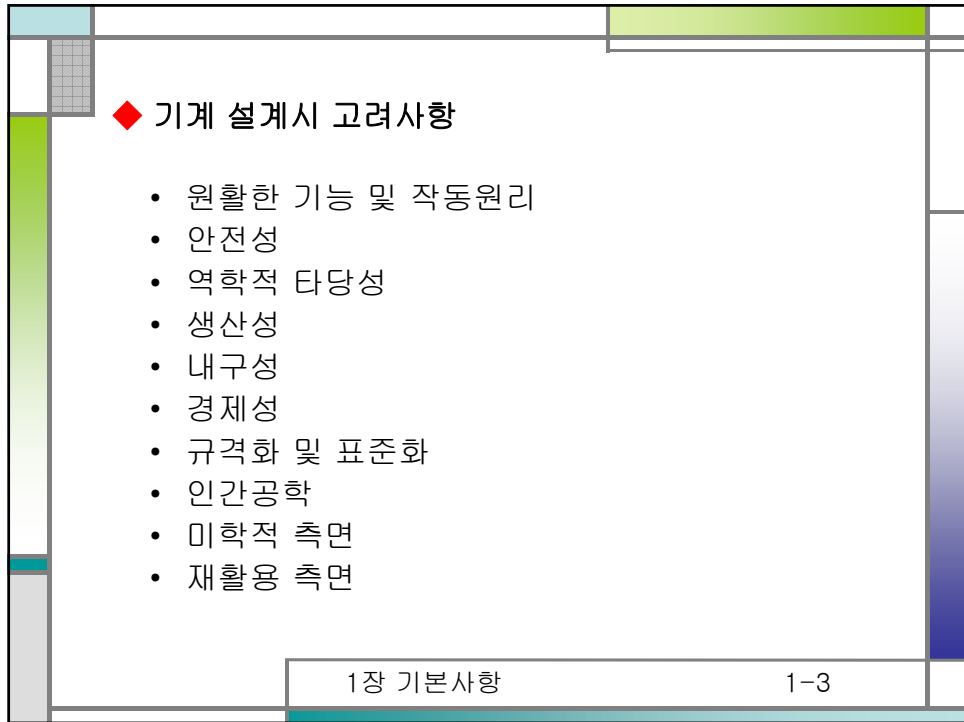
1-1

◆ 기계의 정의

- 기계란?
 - 저항력 있는 물체
 - 구속된 상대운동 (한정된 범위)
 - 유용한 일
- 새로운 기계의 정의 → 컴퓨터도 기계의 일부
 - 에너지 또는 물질의 변환
 - 상대적인 운동
 - 인간활동을 지원

1장 기본사항

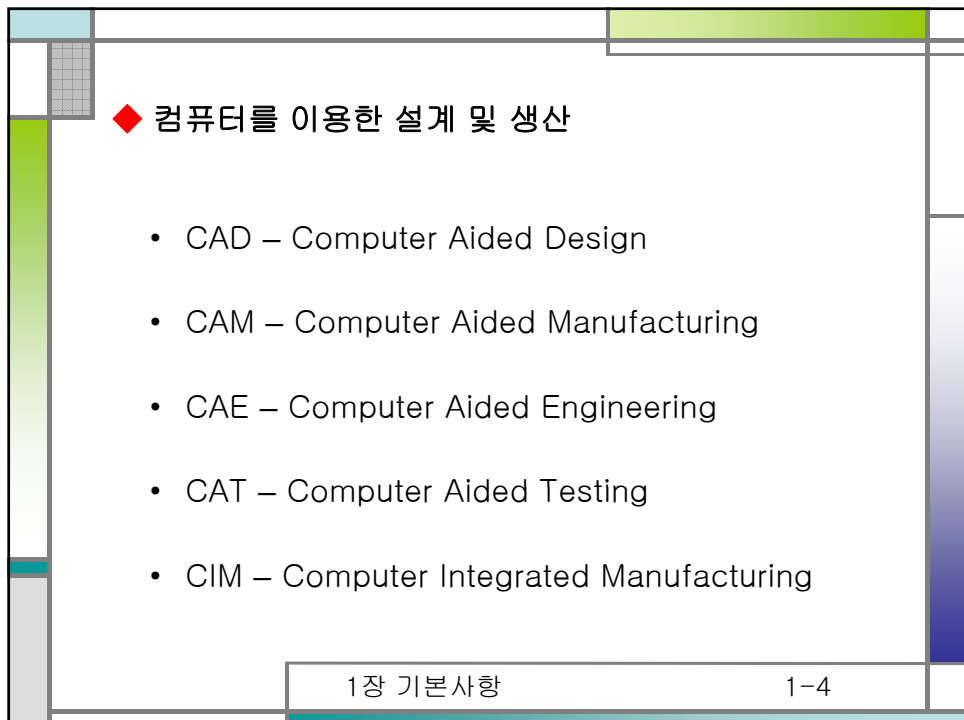
1-2



◆ 기계 설계시 고려사항

- 원활한 기능 및 작동원리
- 안전성
- 역학적 타당성
- 생산성
- 내구성
- 경제성
- 규격화 및 표준화
- 인간공학
- 미학적 측면
- 재활용 측면

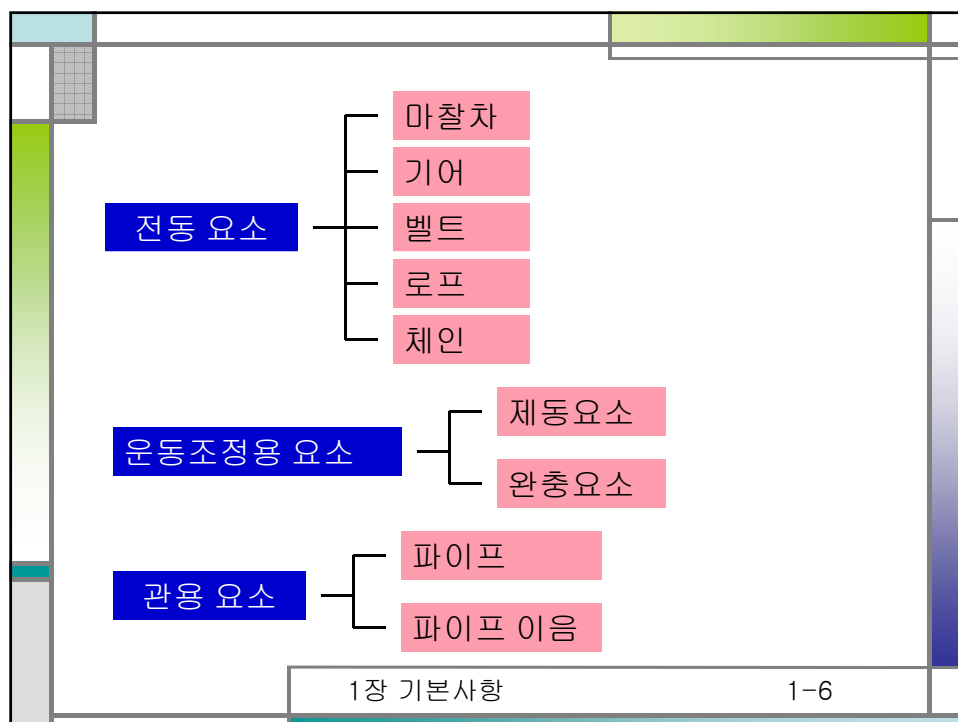
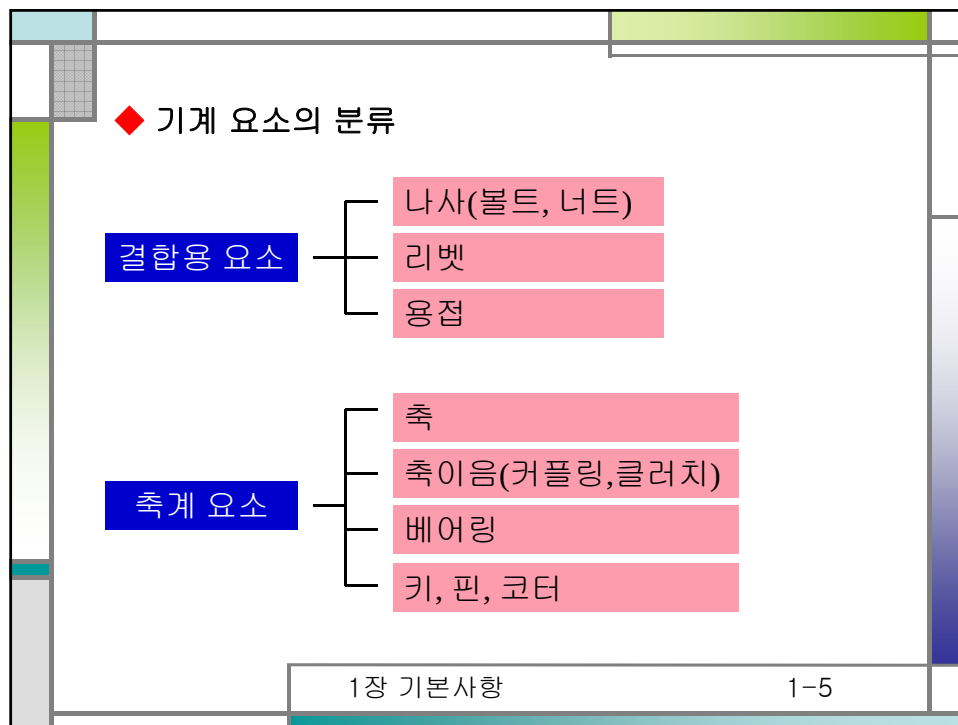
1장 기본사항 1-3



◆ 컴퓨터를 이용한 설계 및 생산

- CAD – Computer Aided Design
- CAM – Computer Aided Manufacturing
- CAE – Computer Aided Engineering
- CAT – Computer Aided Testing
- CIM – Computer Integrated Manufacturing

1장 기본사항 1-4



◆ 단위계

1. SI단위

- 단위 : 물리량을 수치로써 나타낼 때 기준
- 기본단위 : 다른 물리량과 무관
독립적으로 정해지는 단위
- 조립단위 : 기본량을 조립하여 정의된 단위

1장 기본사항

1-7

2. 단위의 환산

(1) 힘(force)

$$1(N) = 1(kg \cdot m / s^2)$$

(2) 압력 또는 응력(pressure or stress)

$$1(Pa) = 1(N / m^2)$$

1장 기본사항

1-8

(3) 일 또는 모멘트(work or moment)

$$1(J) = 1(N \cdot m)$$

(4) 각속도 및 원주속도

$$\omega(rad/s) = \frac{2\pi}{60} N(rpm)$$

$$v(m/s) = r(m) \omega(rad/s) = \frac{D(mm)}{2000} \left(\frac{2\pi N(rpm)}{60} \right)$$

1장 기본사항

1-9

(5) 일률 또는 동력(power)

- 일률 : 단위시간당 한 일의 양

$$H = F \cdot v = F \cdot v = T \cdot \omega = I \cdot V$$

- 동력의 단위

$$1(W) = 1(J/s) = 1(N \cdot m/s) = 1(Amp \cdot Volt)$$

$$1(PS) = 75(kg_f \cdot m/s)$$

1장 기본사항

1-10

<회전력과 접선속도로부터 동력을 구할 때 쓰는 식>

	$P(kg), v(m/s)$	$P'(N), v(m/s)$
$H'(kW)$	$\frac{P(kg_f) \cdot v(m/s)}{102}$	$\frac{P'(N) \cdot v(m/s)}{100}$
$H(PS)$	$\frac{P(kg_f) \cdot v(m/s)}{75}$	$\frac{P'(N) \cdot v(m/s)}{735.5}$

1장 기본사항

1-11

<동력과 회전수로부터 토크를 구할 때 쓰는 식>

	$T(kg_f \cdot mm), N(rpm)$
$H'(kW)$	$T(kg_f \cdot mm) = 974000 \frac{H'(kW)}{N(rpm)}$
$H(PS)$	$T'(kg_f \cdot mm) = 716200 \frac{H(PS)}{N(rpm)}$

1장 기본사항

1-12

<동력과 회전수로부터 토크를 구할 때 쓰는 식>

	$T'(N \cdot m), N(rpm)$
$H'(kW)$	$T'(N \cdot m) = 9549 \frac{H'(kW)}{N(rpm)}$
$H(PS)$	$T'(N \cdot m) = 7023.5 \frac{H'(PS)}{N(rpm)}$

1장 기본사항

1-13

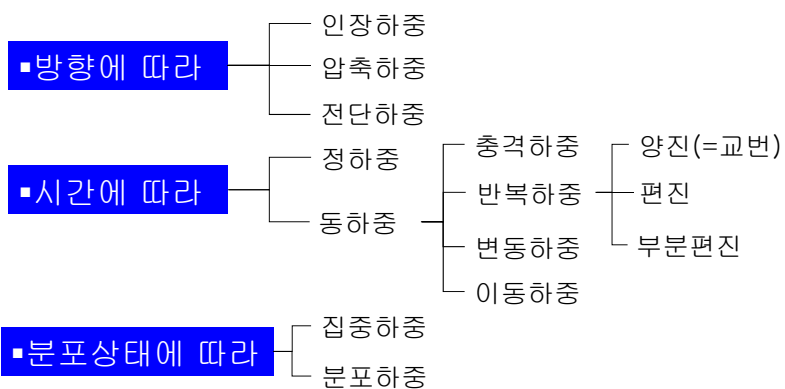
2장 응력과 변형률

2장 응력과 변형률

2-1

◆ 하중의 종류

하중의 종류는 하중의 작용방향, 작용시간, 분포상태 등에 따라 분류할 수 있다.



2장 응력과 변형률

2-2

◆하중의 종류

표2.2 하중과 응력

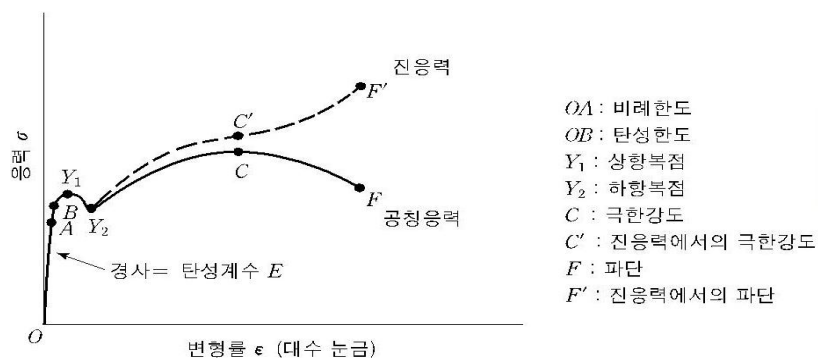
힘 또는 모멘트	발생응력	관계식	비 고
축방향 하중 (인장, 압축)	인장 또는 압축응력	$\sigma = \frac{F}{A}$	A는 인장 또는 압축단면의 면적
전단하중	직접 전단응력	$\tau = \frac{F}{A_s}$	A _s 는 전단단면의 면적
비틀림 모멘트	비틀림 전단응력	$\tau = \frac{T \cdot r}{I_p} = \frac{T}{\mathcal{Z}_p}$	$I_p = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{32}$ (원형단면)
굽힘 모멘트	굽힘응력 (인장, 압축)	$\sigma_b = \frac{M_b y}{I_{yy}} = \frac{M_b}{\mathcal{Z}}$	$I_{yy} = \frac{\pi(d_o^4 - d_i^4)}{64}$ (원형단면) $I_{yy} = \frac{bh^3}{12}$ (사각단면)

주) $\mathcal{Z}$ 는 단면계수(section modulus), $\mathcal{Z}_p$ 는 극단면계수(polar modulus of section), I_{yy} 는 단면2차모멘트(moment of inertia of area or second moment of area), I_p 는 단면2차 극모멘트(polar moment of inertia of area)이다.

2장 응력과 변형률

2-3

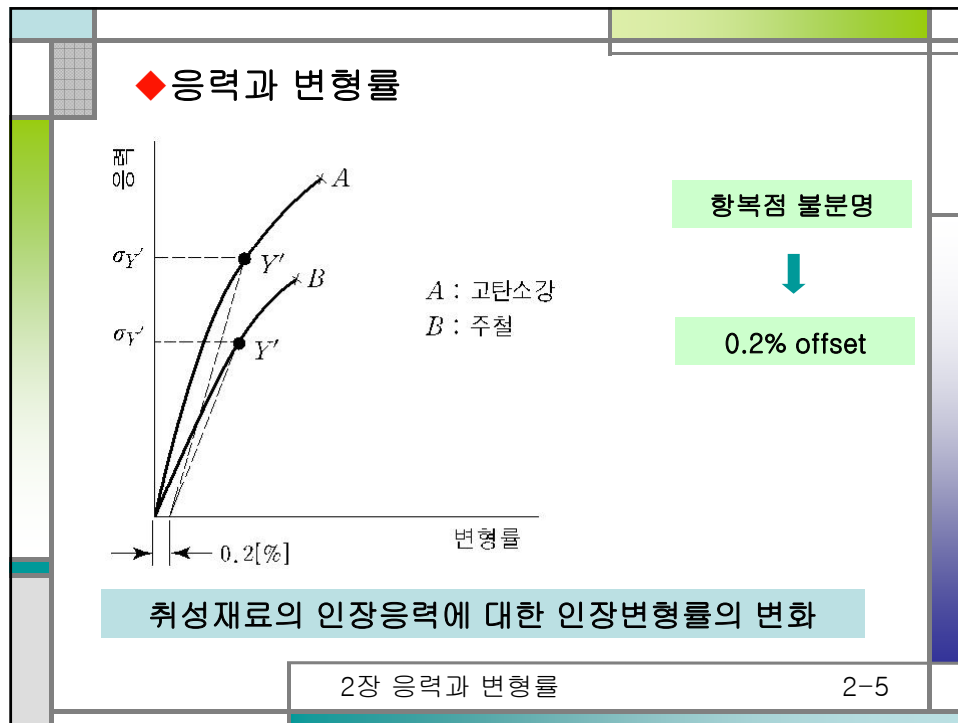
◆응력과 변형률



연강에서 인장응력과 인장변형률과의 관계

2장 응력과 변형률

2-4



◆ 응력과 변형률

표2.3 각종 금속의 기계적 성질

구분	재료명	밀도 [kg/m ³]	탄성계수(E) [GPa]	항복응력 [MPa]	파단응력 [MPa]	푸아송 비	연신율 [%]
철	저탄소강 (AISI 1020)	7870	207	130	260	0.29	45
	중탄소강 (AISI 1040)	7860	207	295	395	0.30	37
	고탄소강 (AISI 1080)	7850	207	350	520	0.30	30
	스테인리스강	7840	207	380	615	0.30	25
	(페라이트, STS446)	7500	200	345	552	0.30	25
	(오스테나이트, STS316)	8000	193	207	552	0.30	60
	(마르텐사이트, STS410)	7800	200	276	483	0.30	30
	회색주철	7150	-	-	125	-	-
	구상흑연주철	7120	165	275	415	0.28	18
	가단주철	7300-7450	172	220	345	0.26	10
비철	알루미늄(>99.5[%])	2710	69	17	55	0.33	25
	알루미늄합금 A2014	2800	72	97	186	0.33	18
	구리(99.95[%])	8940	110	69	220	0.35	45
	황동(70Cu-30Zn)	8530	110	75	303	0.35	68
	청동(89Cu-11Sn)	8800	110	157	380	0.35	70
	마그네슘(>99[%])	1740	45	41	165	0.29	14
	몰리브덴(>99[%])	10220	324	565	665	-	35
	니켈(>99[%])	8900	207	138	483	0.31	40
	은(>99[%])	10490	76	55	125	0.37	48
	티타늄(>99[%])	4510	107	240	330	0.34	30

주1) 1[N/mm²] = 1[MPa] 1[GPa] = 1000[MPa]
 주2) 등방성 재료에서는 $\sigma = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma$ 가 성립한다.
 (E : 세로탄성계수(elasticity modular), G : 가로탄성계수(shear modular))
 주3) AISI(American Iron and Steel Institute)는 미국철강협회규격을 의미하고, AISI 1020의 화학성분은 KS 규격의 SM20C의 성분과 유사하며, AISI 1040은 SM40C와 유사하다.

2장 응력과 변형률 2-6

◆응력과 변형률

■공칭응력과 공칭변형률

공칭응력

최초 단면의 면적에 대한 하중의 비

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

공칭변형률

여기서 A_0 는 최초 단면의 면적

최초 길이에 대한 늘어난 길이의 비

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

여기서 L_0 은 최초 길이

L_f 는 변형 후의 길이

2장 응력과 변형률

2-7

◆응력과 변형률

■진응력과 진변형률

진응력(true stress)

변화된 단면에 대한 하중의 비

$$\sigma_T = \frac{F}{A_f} = \frac{F}{A_0/(1+\varepsilon)} = \sigma(1+\varepsilon) = \sigma R$$

진 변형률(true strain)

변화된 길이에 대해 늘어난 길이의 비

$$\varepsilon_T = \int_{L_0}^{L_f} \frac{dL}{L} = \ln \frac{L_f}{L_0} = \ln \frac{L_0(1+\varepsilon)}{L_0} = \ln(R)$$

2장 응력과 변형률

2-8

◆ 응력의 합성

■ 평면응력

기존 단면(x,y좌표로 표시)에 대하여 반시계 방향으로 각도 θ 만큼 회전한 단면 (x',y' 좌표로 표시)에서의 응력상태를 나타내는 식은 다음과 같다.

$$\sigma_x' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\sigma_y' = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta$$

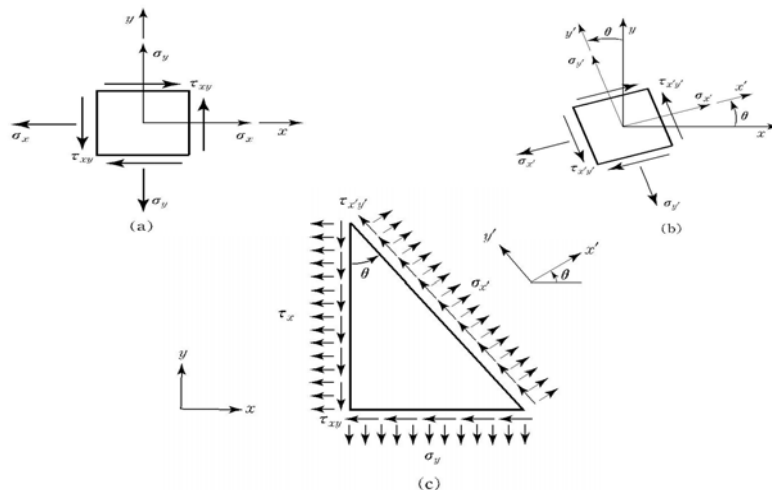
$$\tau_{xy}' = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

여기서 $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ 는 xy 평면에서 미소요소의 응력

2장 응력과 변형률

2-9

◆ 응력의 합성

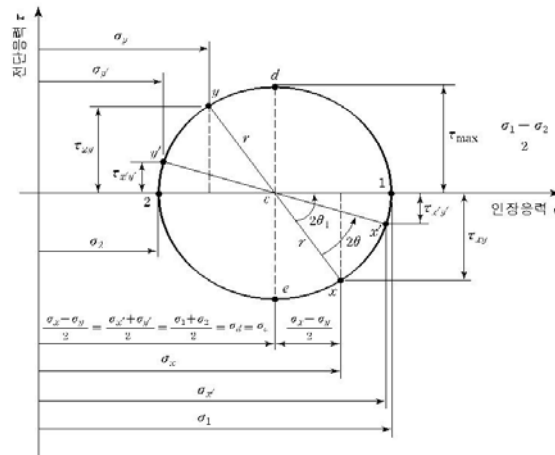


평면응력을 받는 단면

2장 응력과 변형률

2-10

◆ 응력의 합성



모어 원(Mohr circle)

2장 응력과 변형률

2-11

◆ 응력의 합성

■ 모어 원으로 나타낸 식

$$\left(\sigma'_x - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau'^2_{xy} = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2$$

$$\left(\sigma'_y - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau'^2_{xy} = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2$$

■ 주응력(principal stress)

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

이때의 실제면의 회전각

$$\Phi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

2장 응력과 변형률

2-12

◆ 응력의 합성

■ 최대전단응력(maximum shear stress)

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

■ 최대인장응력 $\sigma_{\max}$, 최대전단응력 $\tau_{\max}$

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

2장 응력과 변형률

2-13

◆ 상당 모멘트

■ 원형단면에 순수 굽힘모멘트만 작용하는 경우

$$\sigma_b = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (\text{원형 단면으로서 } I_{yy} = \frac{\pi}{64} d^4 \text{ 인 경우})$$

■ 원형단면에 순수 비틀림모멘트만 작용하는 경우

$$\tau_{\theta z} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (\text{원형 단면으로서 } I_p = \frac{\pi}{32} d^4 \text{ 인 경우})$$

2장 응력과 변형률

2-14

◆상당 모멘트

●굽힘모멘트와 비틀림모멘트가 동시에 작용하는 경우

■ 최대 굽힘응력

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_b}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

■ 굽힘모멘트만 작용하는 식의형태

$$\sigma_{\max} = \frac{32}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{2} (M + \sqrt{M^2 + T^2}) \right\} = \frac{32M_s}{\pi d^3}$$

■상당 굽힘 모멘트

$$M_s = \frac{1}{2} (M + \sqrt{M^2 + T^2})$$

2장 응력과 변형률

2-15

◆상당 모멘트

●굽힘모멘트와 비틀림모멘트가 동시에 작용하는 경우

■ 최대 전단응력

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_b}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

■ 비틀림모멘트만 작용하는 식의형태

$$\tau_{\max} = \frac{16}{\pi d^3} (\sqrt{M^2 + T^2}) = \frac{16T_s}{\pi d^3}$$

■상당 비틀림 모멘트

$$T_s = \sqrt{M^2 + T^2}$$

2장 응력과 변형률

2-16

◆ 응력집중

- 국부적으로 특별히 큰 응력이 발생하는 현상
- 단면이 크게 변하는 부분

예) 축의 키홈, 구멍, 단이 진 부분

2장 응력과 변형률

2-17

◆ 응력집중

- 응력집중계수(stress concentration factor) : α

- 단면부의 평균응력에 대한 최대응력의 비

$$\alpha = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_n}$$

$\sigma_{\max}$: 최대응력

σ_n : 평균응력

2장 응력과 변형률

2-18

◆ 응력집중

■ 판에서의 응력집중

무한 평판에 타원구멍이 있는 경우의 응력집중계수

$$\alpha = 1 + 2\frac{a}{b} = 1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}} \quad \left(\because \rho = \frac{b^2}{a} \right)$$

여기서 a 는 타원에서 장반경

b 는 타원에서 단반경

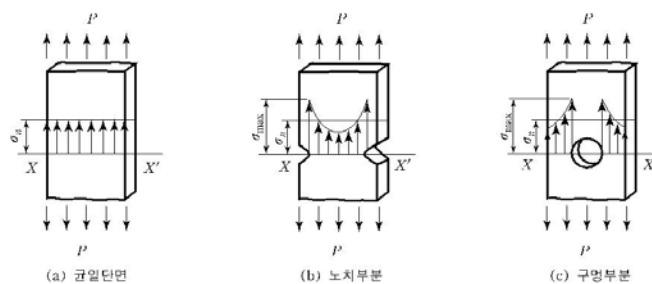
ρ 는 노치부분에서 곡률반경이다.

2장 응력과 변형률

2-19

◆ 응력집중

■ 판에서의 응력집중



평판의 응력집중

2장 응력과 변형률

2-20

◆ 응력집중

■ 판에서의 응력집중

반무한 평판에 V자 노치가 있는 경우의 응력 집중계수

$$a = 1 + 2 \frac{a}{r}$$

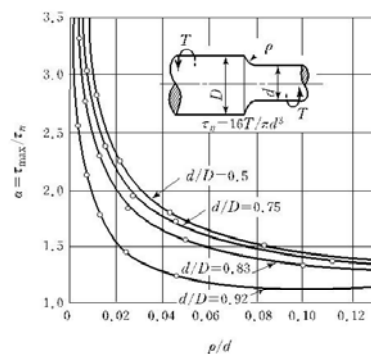
여기서 a 는 파여진 길이, r 은 홈끝의 반경이다.

2장 응력과 변형률

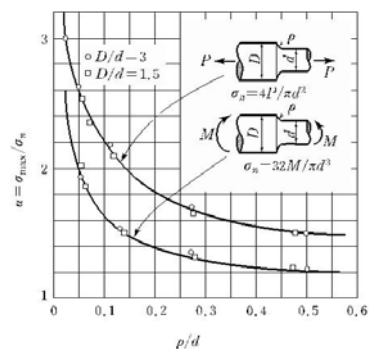
2-21

◆ 응력집중

■ 봉에서의 응력집중



(a) 비틀림 모멘트 작용



(b) 인장하중, 휨모멘트 작용

단이진 원형봉의 응력집중

2장 응력과 변형률

2-22

◆ 응력집중

■ 응력집중 경감대책

필렛 반지름 크게

제1, 제3의 단면변화형상 설치

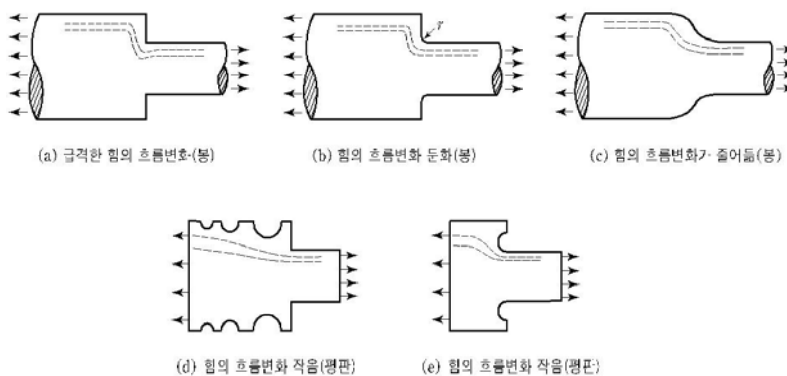
보강재 결합

열처리

2장 응력과 변형률

2-23

◆ 응력집중



응력집중 완화를 위한 형상의 변형

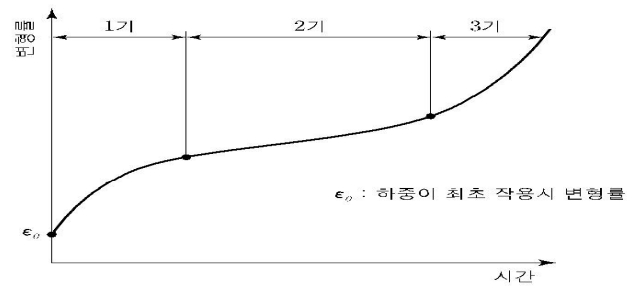
2장 응력과 변형률

2-24

◆ 크리프 (creep)

고온, 일정하중 아래서 장시간 방치하면 변형률이 시간에 따라 증가

예: Jet Engine, Gas Turbine, Rocket, 고압발전 Boiler

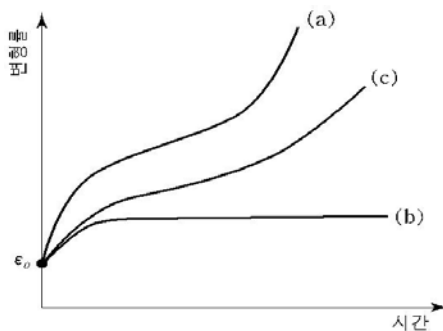


크리프 곡선 (고온 고하중의 경우)

2장 응력과 변형률

2-25

◆ 크리프 (creep)



- (a) 온도가 높고, 하중이 큰 경우
 - (b) 온도가 낮고, 하중이 작은 경우
 - (c) (a)와 (b)의 중간
- ϵ_0 : 하중이 최초 작용시 변형률

온도, 하중의 변화에 따른 크리프 곡선

2장 응력과 변형률

2-26

◆ 재료의 파손이론

■ 최대 주응력설

인장응력이나 압축응력에 의하여 재료가 파손된다는 이론

• 3차원인 경우 최대 주응력

$$\sigma_{\max} = \max(|\sigma_1|, |\sigma_2|, |\sigma_3|)$$

• $\sigma_3 = 0$ 인 2차원의 경우

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

2장 응력과 변형률

2-27

◆ 재료의 파손이론

■ 최대 전단응력설

전단응력에 의하여 재료가 파손된다는 이론

• 3차원인 경우 최대 전단응력

$$\tau_{\max} = \max\left(\left|\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right|, \left|\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}\right|, \left|\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}\right|\right)$$

• $\sigma_3 = 0$ 인 2차원 평면응력의 경우

$$\tau_{\max} = \max\left(\left|\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right|, \left|\frac{\sigma_2}{2}\right|, \left|\frac{\sigma_1}{2}\right|\right)$$

2장 응력과 변형률

2-28

◆ 재료의 파손이론

■ 최대 전단응력설

• 2차원 응력이 동시에 작용하는 경우

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

만약 $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ 인 1차원 응력의 경우 $\tau_{\max} = \sigma_1/2$ 이 된다.

2장 응력과 변형률

2-29

◆ 재료의 파손이론

■ 전단변형에너지설



von Mises condition

$$\text{변형에너지} = \text{전단변형에너지} + \text{체적변형에너지}$$

파손 — 전단변형에너지=인장시의 항복점에서의 변형에너지



항 복

2장 응력과 변형률

2-30

◆ 재료의 파손이론

■ 총변형에너지

$$U = \frac{1}{2} \sigma_1 \varepsilon_1 + \frac{1}{2} \sigma_2 \varepsilon_2 + \frac{1}{2} \sigma_3 \varepsilon_3$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} [(\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3))]$$

■ 응력과 변형률과의 관계

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} [(\sigma_2 - \nu(\sigma_3 + \sigma_1))]$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [(\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2))]$$

● 총변형에너지

$$U = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]$$

2장 응력과 변형률

2-31

◆ 재료의 파손이론

■ 체적변형률 Δ

$$\Delta = (1 + \varepsilon_1)(1 + \varepsilon_2)(1 + \varepsilon_3) - 1 \approx \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

■ 체적변형에너지 (U_v)

$$\begin{aligned} U_v &= \frac{1}{2} p \Delta = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right) \times (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3) \\ &= \frac{1}{6E} \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right) \times \{ \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) \} \end{aligned}$$

단, p : 평균응력

2장 응력과 변형률

2-32

◆ 재료의 파손이론

■ 전단변형에너지 (U_s) = 총변형에너지 - 체적변형에너지

$$U_s = \frac{1+\nu}{6E} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$$

여기서 ν 는 포와슨 계수

E 는 세로탄성계수

2장 응력과 변형률

2-33

◆ 재료의 파손이론

■ 전단변형에너지 (U_s)

단순인장을 받는 경우 ($\sigma_1 = \sigma_{VM}, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$)

$$U_s = \frac{1+\nu}{6E} [(\sigma_{VM} - 0)^2 + (0 - 0)^2 + (0 - \sigma_{VM})^2]$$

단, σ_{VM} 는 인장시 항복응력

2장 응력과 변형률

2-34

◆ 재료의 파손이론

■ σ_{VM} 는 인장시 항복응력

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_2 - \sigma_1)^2 + (\sigma_3 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]}$$

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}$$

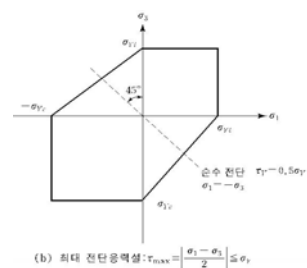
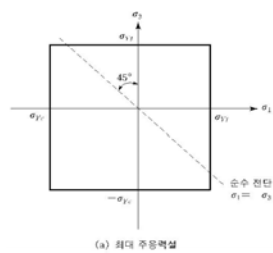
단, $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, 는 주응력

2장 응력과 변형률

2-35

◆ 재료의 파손이론

■ 파손이론의 비교



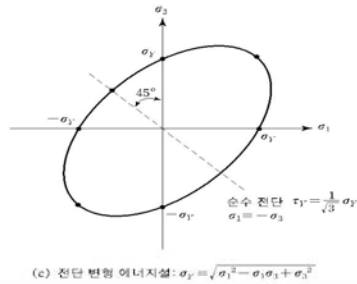
2차원 평면에서 파손이론($\sigma_2 = 0$ 의 경우)

2장 응력과 변형률

2-36

◆ 재료의 파손이론

■ 파손이론의 비교



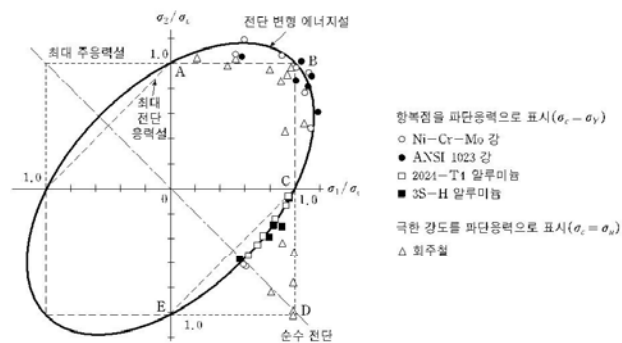
2차원 평면에서 파손이론($\sigma_2 = 0$ 의 경우)

2장 응력과 변형률

2-37

◆ 재료의 파손이론

■ 파손이론의 비교



파손이론과 실험결과($\sigma_3 = 0$ 의 경우)

2장 응력과 변형률

2-38

◆ 안전계수(safety factor)

■ 기준 강도

표2.5 기준강도와 설계응력

하중조건		파괴형태	기준강도	적용 예
재료변화	정하중 상온	항복	항복점	연성재료(연강)
		파단	극한강도	취성재료(주철)
온도변화	정하중 고온	크리프 변형	크리프 한도	터빈 스프링 및 날개차
	정하중 저온	저온취성	저온취성강도	LPG저장탱크
시간변화	반복하중	피로파괴	피로강도(노치, 치수, 표면상태, 온도 등의 효과를 고려)	월도차량 바퀴
	충격하중	충격파괴	충격강도	
하중방향	축방향하중	좌굴	좌굴강도	단면에 비해 길이가 긴 기둥

2장 응력과 변형률

2-39

◆ 안전계수(safety factor)

■ 허용응력(σ_a : allowable stress)

부품설계시 사용하는 응력의 최대 허용치

■ 안전계수 또는 안전률 (S)

허용응력에 대한 기준강도

$$S = \frac{\sigma_s}{\sigma_a}$$

여기서 S 는 안전계수(또는 안전율)

σ_s 는 기준강도

σ_a 는 허용응력

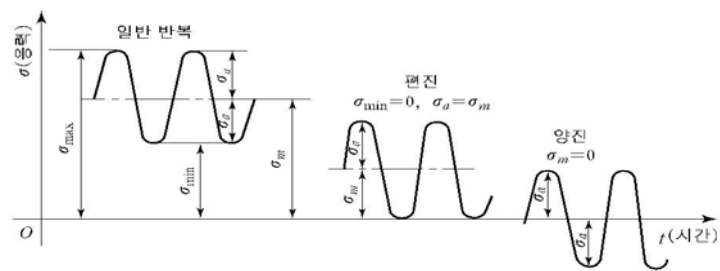
2장 응력과 변형률

2-40

◆ 피로파손(fatigue failure)

정 의

반복 동하중 작용하에서 인장강도 혹은 항복응력보다 낮은 응력에서 재료가 갑자기 파괴되는 현상



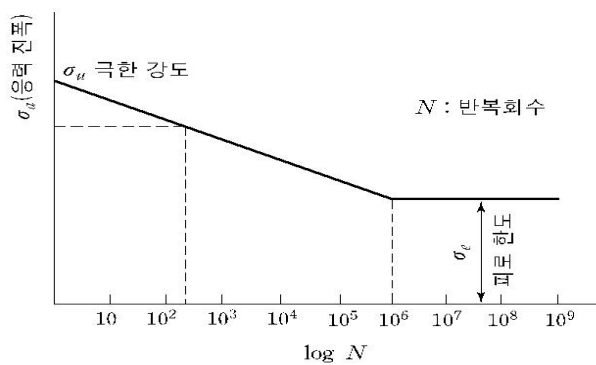
반복응력의 종류

2장 응력과 변형률

2-41

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 피로한도 곡선(S-N 곡선)



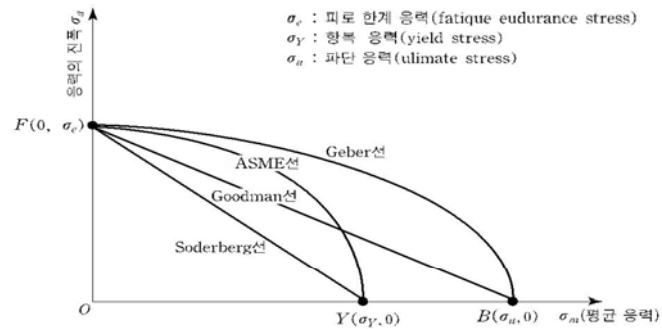
강이 양진응력을 받는 경우

2장 응력과 변형률

2-42

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 피로한도 선도



여러 가지 내구선도의 비교

2장 응력과 변형률

2-45

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 조더버그선(Soderberg line)

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_Y} = 1$$

안전계수 S 를 고려한 설계는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e/S} + \frac{\sigma_m}{\sigma_Y/S} < = 1$$

■ 굿맨선(Goodman line)

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e} + \frac{\sigma_m}{\sigma_u} = 1$$

안전계수 S 를 고려한 설계는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e/S} + \frac{\sigma_m}{\sigma_u/S} < = 1$$

2장 응력과 변형률

2-46

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 거버선(Gerber's line) $\sigma_a = \sigma_e \left\{ 1 - \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u} \right)^2 \right\}$

안전계수 S 를 고려한 설계는 다음과 같다.

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_e/S} + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_u/S} \right)^2 < = 1$$

■ 미국기계학회 표준선도(ASME)

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_Y} \right)^2 = 1$$

안전계수 S 를 고려한 설계는 다음과 같다.

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e/S} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_Y/S} \right)^2 < = 1$$

2장 응력과 변형률

2-47

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 실제 부품의 피로한도

노치효과

반복하중인 경우 노치부분에 금(crack)이 발생하여
피로한도가 작아지는 현상

노치계수(β_k)

$$\beta_k = \frac{\sigma_{e0}}{\sigma_{ek}}$$

여기서 σ_{e0} 는 노치가 없는 시편의 피로한도

σ_{ek} 는 노치가 있는 시편의 피로한도

윗식을 다시 쓰면 노치가 있는 경우 피로한도는 다음과 같이 나타난다.

$$\sigma_{ek} = \frac{\sigma_{e0}}{\beta_k}$$

2장 응력과 변형률

2-48

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 실제 부품의 피로한도

치수효과

치수가 다르고 형상이 같은 여러 물체의 경우
가장 큰 치수의 물체가 더 적은 피로한도 값을 갖는 현상

표면효과

표면조도, 부식, 표면경화 등에 의한
피로한도의 변화 현상

2장 응력과 변형률

2-49

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 실제 부품의 피로한도

압입효과

부품을 조립하는 과정에서 발생하는 압입과 열박음으로
응력이 발생하여 피로한도가 저하되는 현상

$$\sigma_{ek} = \frac{k_1 k_2}{\beta_k} \sigma_{e0}$$

여기서 β_k 는 노치계수

k_1 는 치수 효과에 의한 피로한도 저하율

k_2 는 다듬질 효과에 의한 피로한도 저하율

σ_{e0} 는 원래 피로한도(양진의 경우)

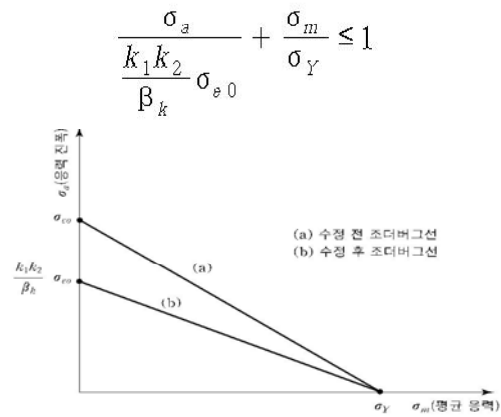
σ_{ek} 는 수정된 피로한도(양진의 경우)

2장 응력과 변형률

2-50

◆ 피로파손(fatigue failure)

■ 수정된 피로한도로 보정된 조더버그 내구선도



2장 응력과 변형을

2-51

3장 기계재료의 선정

3장 기계재료의 선정

3-1

◆ 기계재료



금속 및 비금속 재료를 총칭

➤기계적 성질

- 강도, 경도, 연성, 전성, 탄성계수, Poisson 비 등

➤물리적 성질

- 밀도, 열전도율, 전기전도율, 열팽창계수 등

➤화학적 성질

- 부식성, 용해잠열 등

3장 기계재료의 선정

3-2

기계재료 선정시 고려사항

- 물리적 성질 – 밀도, 열전도성, 전기도전율 등
- 사용환경 – 내식성, 고온, 저온, 크리프 등
- 기계적 성질 – 내충격성, 내피로성, 내마모성 등
- 가공성 – 주조, 용접, 절삭 등
- 기타 - 경제성, 상품성 등

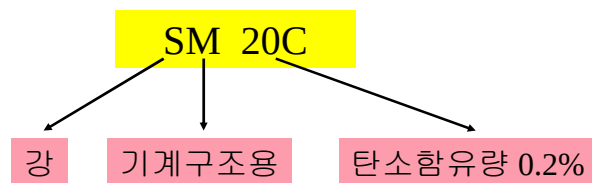
3장 기계재료의 선정

3-3

◆ 재료 호칭법

재료의 성분, 제품규격, 강도, 경도, 제조방법을 표시

예)



3장 기계재료의 선정

3-4

<재료를 표시하는 기호>

- 첫 번째 문자 - 재료의 성분을 표시하는 기호
원소기호 또는 영어 머리문자로 표기
- 두 번째 문자 - 제품의 규격을 표시하는 기호
제품의 형상과 용도를 표시
- 세 번째 문자 - 재료의 최저인장강도, 재료의 종류기호
- 네 번째 문자 - 제조법을 표시
- 다섯 번째 문자 - 제품의 형상기호를 표시

3장 기계재료의 선정

3-5

(1) 재료의 성분을 나타내는 기호

기 호	재 질	기 호	재 질
AIA	알루미늄 합금	NiS	양은
HBs	고강도 황동	GC	회주철
HMn	고강도 망간	SC	탄소주강
MgA	마그네슘 합금	SF	단조강
MS	연강	SNC	니켈 크롬강

3장 기계재료의 선정

3-6

(2) 제품의 규격을 나타내는 기호

기 호	규격명, 제품명	기 호	규격명, 제품명
Au	자동차용	KH	고속도 공구강
BC	청동주물	MC	가단 주철품
DC	다이캐스팅	SW	강선
F	단조품, 박판형	W	선(wire)
HR	열간압연	WR	선재

3장 기계재료의 선정

3-7

(3) 재료의 최저 인장강도 또는 재질의 종류기호

- 인장강도의 단위 변경 → (N/mm²)사용
- 숫자 뒤의 기호의 의미
 - A : 연질, B : 반경질, C : 경질
- 괄호 안에는 단위길이당 무게 기입

3장 기계재료의 선정

3-8

< 제품의 강도 또는 재질의 종류를 나타내는 기호 >

기호	의미	예	기호	의미	예
A	A종	SW-A	5A	5종 A	SPS 5A
B	B종	SW-B	150	최저인장강도 150(N/mm ²)	GC 150
1	1종	SHP 1	330	최저인장강도 330 (N/mm ²)	SS 330
2	2종	SHP2	12C	탄소함유량 (0.10~0.15%)	SM 12C

3장 기계재료의 선정

3-9

(4) 제조법의 표시

기본기호	기본 가공방법	상세기호	상세가공방법
C	주조(casting)	CP CD	정밀주조 다이캐스팅
P	소성가공	F R	단조 압연
M (기계가공)	C (절삭)	L	선삭
	G (연삭)		
	SP (특수가공)		

3장 기계재료의 선정

3-10

(5) 제품의 형상기호

P : 강판, ● : 둥근강, ◎ : 파이프

□ : 각재, ▤ : 채널, ⊏ : I형 강

3장 기계재료의 선정

3-11

< 재료기호 표시 예 >

기호	명칭	용 도	구기호	참고
SF 340A	탄소강 단강품	S - 강 F - 단조품 340 - 최저인장강도	SF 34	KS D 3710
GC 150	회주철품	GC - 회주철 150 - 최저인장강도	GC 15	KS D 4301

3장 기계재료의 선정

3-12

< 주요 철강재료의 기호 >			
분류	KS 번호	규격명	기호
일반용	D 3501	열간 압연 강판 및 강대	SHP
강관	D 3507	배관용 탄소강	SPP
합금강	D 3708	니켈크롬강재	SNC
압력용기용	D 3521	압력용기용 강판	SPPV
특수용도강	D 3701	스프링 강재	SPS
공구강	D 3751	탄소공구강재	STC
탄소강/주철	D 3710	탄소강 단강품	SF
3장 기계재료의 선정			3-13

4장 공차와 끼워맞춤

4장 공차와 끼워맞춤

4-1

◆공업규격(engineering standards)

표4.1 각국의 공업규격

규격 기호	규격명칭	제정 년도
ISO	국제 표준화 기구(International Organization for Standardization)	1928
KS	한국 공업규격(Korean Industrial Standards)	1962
BS	영국 공업규격(British Standards)	1901
DIN	독일 공업규격(Deutsches Institute für Normung)	1917
ANSI	미국 공업규격(American National Standards Institute)	1918
SNV	스위스 공업규격(Schweizerische Normen-Vereinigung)	1918
NF	프랑스 공업규격(Norme Francaise)	1918
CSA	캐나다 공업규격(Canadian Standards Association)	1918
JIS	일본 공업규격(Japanese Industrial Standards)	1921

주 미국규격은 1966년에 ASA(American Standard Association)에서 USAS(United States of America Standards Institute)로 변경되었다가 1969년 현재의 ANSI로 변경됨.

4장 공차와 끼워맞춤

4-2

◆ 공업규격(engineering standards)

표4.2 KS의 부문별 기호

분류기호	부 문	분류기호	부 문
KS A	기본(분칙)	KS K	섬유
B	기계	L	요업
C	전기	M	화학
D	금속	P	의료
E	광산	R	수송기계
F	토목, 건축	V	조선
G	임업품	W	항공
H	식료품	X	정보통신

표4.3 기계부문(KS B)의 분류번호

분류번호	기계부문의 상세분류
KS B 0001 - B 0905	기계기본
KS B 1001 - B 2809	기계요소
KS B 3001 - B 4000	기계공구
KS B 4001 - B 4920	공작기계
KS B 5201 - B 5631	측정계산용 기계기구, 물리기계
KS B 6003 - B 6831	일반기계
KS B 7001 - B 7099	산업기계
KS B 7101 - B 7920	농업기계
KS B 8000 - B 8204	열사용 및 가스기기

4장 공차와 끼워맞춤

4-3

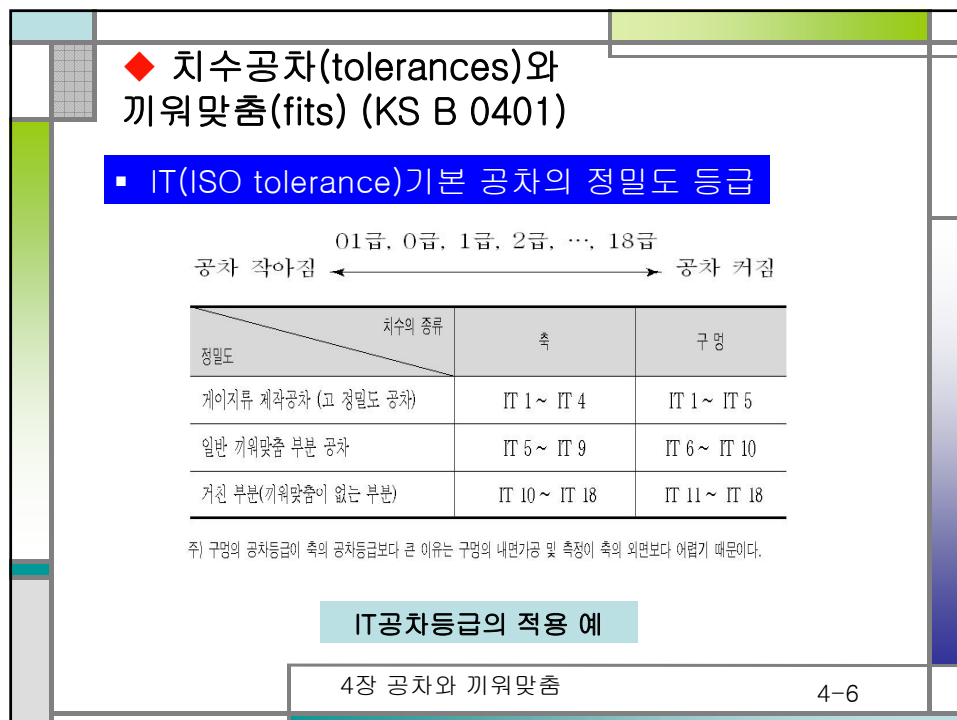
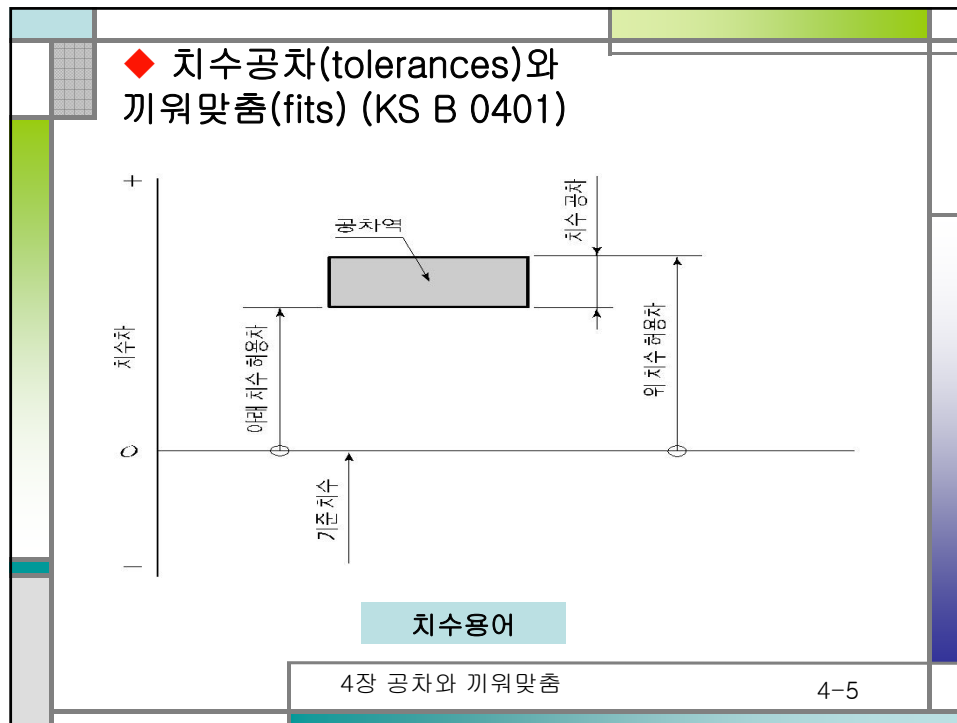
◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 치수용어

- 실제치수(actual size)
- 허용 한계치수(limit of size)
- 최대 허용치수(maximum limit of size)
- 최소 허용치수(minimum limit of size)
- 치수공차(tolerance)
- 기준치수(basic size)
- 위치수 허용차(upper limit deviation)
- 아래치수 허용차(lower limit deviation)

4장 공차와 끼워맞춤

4-4



◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 공차역(tolerance zone)

영문자로 제품의 공차위치를 표기한다.

구멍과 같이 안치수를 나타내는 경우에는 대문자를,

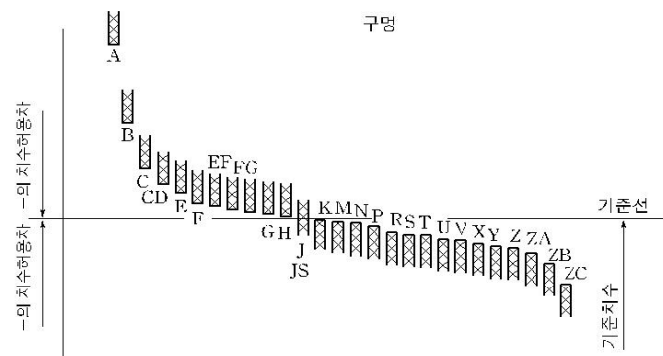
축과 같이 바깥치수를 나타내는 경우에는 소문자를 사용한다.

구멍 기호	A B C CD D EF F FG G H J JS K M N P R S T U V X Y Z ZA ZB ZC
	← (+ 치수허용차) ↑ (− 치수허용차) →
	구멍의 크기가 커짐 여기서 최소 허용치수가 구멍의 크기가 작아짐
	기준치수와 일치한다.
축 기호	a b c cd d ef f fg g h j js k m n p r s t u v x y z za zb zc
	← (− 치수허용차) ↑ (+ 치수허용차) →
	축의 크기가 작아짐 여기서 최대 허용치수가 축의 크기가 커짐
	기준치수와 일치한다.

4장 공차와 끼워맞춤

4-7

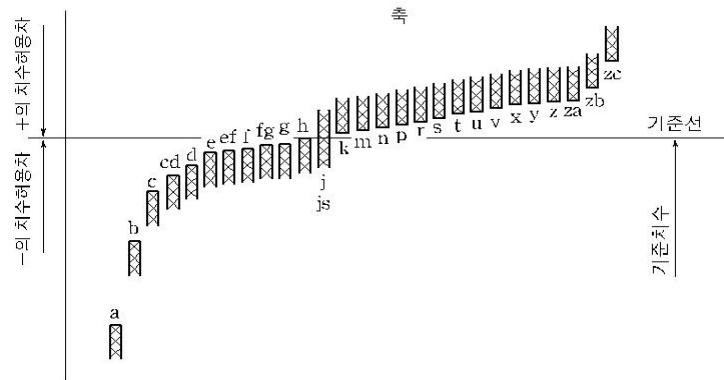
◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)



4장 공차와 끼워맞춤

4-8

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)



축의 공차역

4장 공차와 끼워맞춤

4-9

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 공차표기법(치수기입법)

• 일반공차에 의한 표기법

(일반공차에 의한 공차표기의 예)

표기요령 : 기준치수 위 치수 허용차
아래 치수 허용차

표기예 : $\phi 50_0^{+0.025}$

• 기호에 의한 표기법

(기호에 의한 공차표기의 예)

표기요령 : 기준치수 공차영역 정밀도

표기예 : 25h6, 36s7, 13H9, 65G7

4장 공차와 끼워맞춤

4-10

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 공차표기법(치수기입법)

• 한계치수공차에 의한 표기법

(한계치수에 의한 공차표기의 예)

표기요령 : (최대 허용치수)
(최소 허용치수)

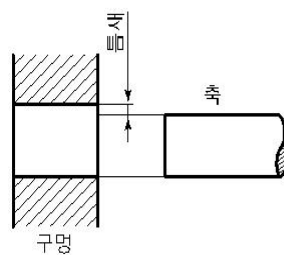
표 기 예 : ($\Phi 50.025$)
 $\Phi 50$

4장 공차와 끼워맞춤

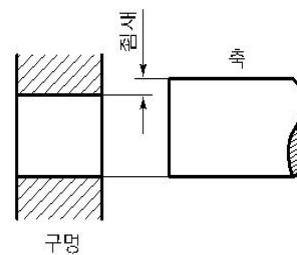
4-11

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 끼워맞춤(fits)



(a) 틈새



(b) 침새

틈새와 침새

4장 공차와 끼워맞춤

4-12

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 끼워맞춤(fits)

• 헐거운 끼워맞춤(clearance fit)

항상 틈새가 있는 끼워맞춤

최소 틈새 = 구멍의 최소 치수 - 축의 최대 치수

최대 틈새 = 구멍의 최대 치수 - 축의 최소 치수

• 억지 끼워맞춤(interference fit)

항상 짐새가 있는 끼워맞춤

최대 짐새 = 축의 최대 치수 - 구멍의 최소 치수

최소 짐새 = 축의 최소 치수 - 구멍의 최대 치수

4장 공차와 끼워맞춤

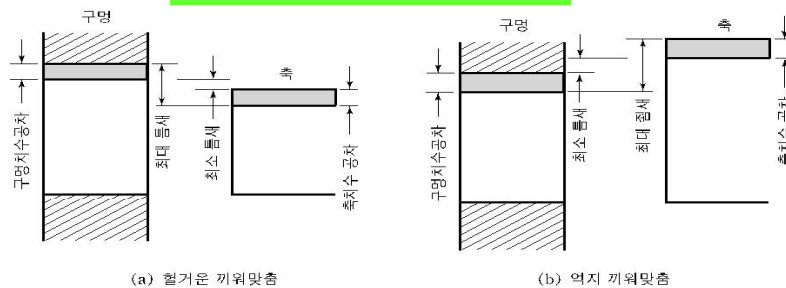
4-13

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 끼워맞춤(fits)

• 중간 끼워맞춤(slide fit)

틈새나 짐새가 생기는 끼워맞춤



끼워맞춤의 종류

4장 공차와 끼워맞춤

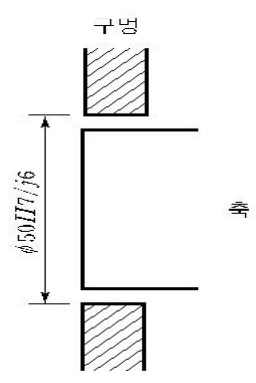
4-14

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 끼워맞춤(fits)

끼워맞춤된 제품의 공차기입법

(끼워맞춤의 표시 예)

$$H8/f6 \text{ (H8-f6 또는 } \frac{H8}{f6} \text{)}$$


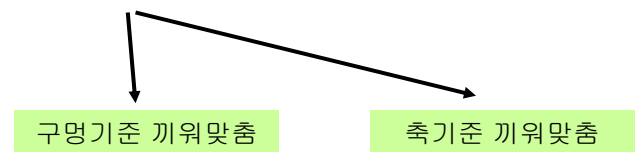
4장 공차와 끼워맞춤 4-15

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

■ 끼워맞춤(fits)

끼워맞춤방식

끼워맞춤을 할 때 어느 한 쪽의 공차역과 정밀도를 정하여 가공한 후 다른 쪽은 원하는 끼워맞춤에 따라 공차역과 정밀도를 정한다.



구멍기준 끼워맞춤 축기준 끼워맞춤

4장 공차와 끼워맞춤 4-16

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

상용하는 구멍기준 끼워맞춤(KS B 0401)

기준구멍	축의 공차역															
	헐거운 끼워 맞춤				중간끼워맞춤				억지끼워 맞춤							
H5					g4	h4	js4	k4	m4							
H6					g5	h5	js5	k5	m5							
					f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6				
H7					f6	g6	h6	js6	k6	m5	n6	p6	r6	s6	t6	u6
				e7	f7		h7	js7								
H8					f7		h7									
				e8	f8		h8									
				d9	e9											
H9				d8	e8		h8									
			c9	d9	e9		h9									
H10	b9	c9	d9													

주 끼워맞춤 구분은 치수구분에 따라 예외가 생긴다.

4장 공차와 끼워맞춤

4-17

◆ 치수공차(tolerances)와 끼워맞춤(fits) (KS B 0401)

상용하는 축기준 끼워맞춤(KS B 0401)

기준축	구멍의 공차역															
	헐거운 끼워 맞춤				중간끼워맞춤				억지끼워 맞춤							
h4						H5	JS5	K5	M5							
h5						H6	JS6	K6	M6	N6	P6					
h6					F6	G6	H6	JS6	K6	M6	N6	P6				
					F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7
h7				E7	F7		H7									
					F8		H8									
h8				D8	E8	F8	H8									
				D9	E9		H9									
h9				D8	E8		H8									
				C9	D9	E9	H9									
B10	C10	D10														

주 끼워맞춤 구분은 치수구분에 따라 예외가 생긴다.

4장 공차와 끼워맞춤

4-18

