

## 제1장 기본 사항

### 1.1 기계의 개요

기계(machine): 저항력 있는 물체가 한정된 범위에서 구속된 운동을 하면서 외부에서 공급된 에너지에 의하여 한 일을 하는 것이다(B. W. Kennedy).

### 1.2 컴퓨터를 이용한 설계 및 생산

- (1) 기본설계 : 제품 전체의 형상과 구성을 검토. 성능 예측, 강도해석, 기구해석
- (2) 상세설계 : 각 부분의 상세한 형상, 치수, 재료들을 결정
- (3) 생산준비(공정설계) : 가공법의 종류 및 공작기계 지정, NC programming
- (4) 제조 : 가공, 조립, 검사, 포장

### 1.3 기계설계 시 고려사항

- (1) 원활한 기능 및 작동원리 (2)
- (3) 역학적 타당성 (4)
- (5) 내구성(수명) (6)
- (7) 규격화 및 표준화 (8) 인간공학 등

### 1.4 기계요소의 분류

- \* 결합용 요소 : 나사, 리벳, 용접
- \* 축계 요소: 축, 축이음(커플링, 클러치), 베어링, 축과 보스의 결합 부품
- \* 전동 요소: 마찰차, 기어, 벨트, 로프, 체인
- \* 운동조정용 요소: 제동요소(브레이크), 완충요소(스프링, 관성차)
- \* 관용 요소: 파이프, 파이프 이음

### 1.5 단위계

SI 단위(Systeme International d'unit)

- (1) 힘  $1N = 1 kg \cdot m/s^2$   
 $1kg_f = 1kg \cdot 9.80665 m/s^2 = 9.80665 N \approx 9.81 N$   
 $1 N = kg_f$
- (2) 압력(응력)  $1 Pa = 1 N/m^2$
- (3) 일(모멘트)  $1 J = 1 N \cdot m$

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

(5) 일률(동력)  $1 W = 1 J/s = 1 \text{ Amp} \cdot \text{Volt}$

$$1 \text{ kW} = 1000 W = \frac{1000}{9.80665} kg_f \cdot m/s = 102 kg_f \cdot m/s$$

$$1 \text{ PS} = kg_f \cdot m/s \quad (\text{프랑스의 SI 마력})$$

\* 토크(torque)로 표시하면

$$H' [kW] = \frac{T[kg_f \cdot mm] \omega [rad/s]}{1000 \times 102} = \frac{T[kg_f \cdot mm] \left( \frac{2\pi}{60} N[rpm] \right)}{1000 \times 102} = \frac{T[kg_f \cdot mm] N[rpm]}{974000}$$

### 1.6 효율과 손실

(1) 효율  $\eta = \frac{H_{out}}{H_{in}}$

(2) 손실 동력  $\Delta H = H_{in} - H_{out}$

[예제 1.1] 질량 15ton을 12m/min의 속도로 하역할 기중기는 최저 몇 마력[PS]의 엔진을 필요로 하는가? (단, 효율은 80%이다)

풀이

[예제 1.2] 각속도 50 rad/sec의 원운동을 rpm 단위로 환산하면 얼마인가?

[풀이]

[예제 1.3] 물의 밀도는 4℃에서 1 g/cm<sup>3</sup>이다. kg/m<sup>3</sup>의 단위로 나타내어라.

[풀이]

[예제 1.4] 회전각속도 150 rpm으로 20 kW의 동력을 전달하는 축에 작용하는 토크 kgf·mm는 얼마인가?

[풀이]

## 제2장 응력과 변형률

### 2.1 하중의 종류

인장하중, 압축하중, 전단하중; 정하중, 변동하중, 반복하중, 충격하중, 이동하중

### 2.2 응력과 변형률

#### 2.2.1 응력(stress)

(1) 인장응력 또는 압축응력:  $\sigma = \frac{F}{A}$

(2) 전단응력:  $\tau = \frac{F}{A_s}$

#### 2.2.2 변형률

(1) 인장변형률  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$ , (Poisson) 비  $\nu = -\frac{\text{반경방향 변형률}}{\text{축방향 변형률}}$

(2) 전단변형률  $\gamma$  [rad]

#### 2.2.3 탄성변형

(1) (proportional limit) : 인장응력과 인장변형률이 정비례하는 한도의 법칙  $\sigma = E\epsilon$

전단변형  $\tau = G\gamma$

G: 가로 탄성계수

(2) \_\_\_\_\_ (elastic limit): 제하(除荷) 시 원상태로 복귀하는 응력의 한계

#### 2.2.4 소성변형

(1) 항복점(yield pint)  $Y_1, Y_2$ : 인장응력이 약간 증가할 때 인장변형률이 급격하게 증가하는 영역이 존재한다.

(2) 극한강도(ultimate strength)  $C, \sigma_u$ : 재료가 파괴되지 않고 견딜 수 있는 최대응력

(3) \_\_\_\_\_ (fracture): 재료가 파괴되는 현상

#### 2.2.5 \_\_\_\_\_ 과 \_\_\_\_\_

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad \epsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

### 2.3 응력의 합성

#### 2.3.1 응력요소(stress component)

응력을 표현할 때 하첨자의 첫 번째 문자는 응력이 작용하는 단면의 방향을 나타내고, 두 번째 문자는 단면에 작용하는 응력의 방향을 나타낸다.  $\tau_{xy}$  는 x 방향의 단면에서 y 방향 응력이 작용하는 것을 나타낸다.

#### 2.3.2 평면응력(plane stress) : 모어 원(Mohr circle)

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

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

### 2.4 상당 모멘트

#### 2.4.1 순수 모멘트(pure moment)

$$\text{순수 굽힘모멘트(원형 단면)} : \sigma_b = \frac{32M}{\pi d^3}$$

$$\text{순수 비틀림모멘트(원형 단면)} : \tau_{\theta z} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

#### 2.4.2 상당 모멘트(equivalent moment)

$$\text{상당 굽힘모멘트 } M_e = \frac{1}{2}(M + \sqrt{M^2 + T^2})$$

$$\text{상당 비틀림모멘트 } T_e = \sqrt{M^2 + T^2}$$

### 2.5 응력 집중(stress concentration)

단면이 급격히 변화하는 notch 부위에서 힘의 흐름이 급격히 변화하게 되고 이로 인하여 국부적으로 특별히 큰 응력이 발생하는 현상.

### 2.6 크리프(creep)

재료에 높은 온도로 큰 하중을 일정하게 작용시키면 재료 내의 응력이 일정함에도 불구하고 시간의 변화에 따라 변형률이 점차 증가하는 현상.

### 2.7 재료의 파손예측

(1) 최대 주응력설 - \_\_\_\_\_

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

(2) 최대 전단응력설 - \_\_\_\_\_의 미끄럼파손

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

(3) 전단변형에너지설(von Mises의 설) - \_\_\_\_\_의 파손실험

$$xy \text{ 평면에서 } \sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

### 2.8 안전계수(안전율) S

$$S = \frac{\sigma_a}{\sigma_w} \quad \sigma_a : \text{허용응력}, \quad \sigma_w : \text{사용응력}$$

### 2.9 피로파손(fatigue failure)

(1) 피로: 최대 응력이 항복강도 이하인 반복응력에 의하여 점진적으로 파손되는 현상.

(2) \_\_\_\_\_ (endurance limit)  $\sigma_e$ : 어느 한계값 이하의 반복응력에서는 무수히 많은 반복을 하여도 피로파괴가 일어나지 않는다. 주어진 재료에서의 이 한계응력값을 내구한도(피로한도, 내구강도, 피로강도)라고 한다.

(3) 일반 반복응력(변동응력)

반복응력(fluctuating stress)은 평균응력(mean stress)  $\sigma_m$  과 교변응력(alternating stress)  $\sigma_a$  의 합으로 취급한다.

내구선도는 가로축에 평균응력, 세로축에 교변응력 진폭을 나타낸다.

\_\_\_\_\_ 선(Soderberg line): 응력이 O(0, 0), F(0,  $\sigma_e$ ), Y( $\sigma_Y$ , 0)으로 이루어지는 삼각형 OFY 안에 있을 때 안전하다고 판단하는 제안이다.

### 제3장 공차

#### 3.1 공업규격

국제표준화기구(ISO: International Standard Organization)

한국공업규격(KS: Korean industrial Standards)

#### 3.2 공차의 필요성

기계부품의 치수나 형상은 아무리 좋은 기계를 사용하여 잘 만들더라도 이론적으로 정확한 치수나 형상을 만들 수 없다. 다만 정해진 치수나 형상에 가깝게 만들 뿐이다. 따라서 부품이 정해진 치수나 형상으로부터 얼마나 벗어나도 되는지 정할 필요가 있다.

공차(公差)란 공식적으로 인정되는 오차를 말하며 부품 간의 호환성을 확립하기 위한 것이다. 공차를 지정함으로써 부품 간의 호환성을 확립하고 부품의 원활한 기능이 수행되며, 부품의 가공 방법을 결정하는 데 도움을 준다. 공차는 치수에 대한 범위를 나타내는 치수(size)공차와 형상에 대한 규제 범위를 나타내는 기하(幾何, geometry)공차로 나눈다. 온도는 20℃ 기준(ISO 1)

#### 3.3 치수공차와 끼워맞춤

##### 3.3.1 치수 용어

실제 치수, 허용 한계치수, 최대 허용치수, 최소 허용치수, 치수공차, 기준치수, 위치수 허용차, 아래치수 허용차, 축(shaft), 구멍(hole)

##### 3.3.2 ISO 기본공차의 정밀도 등급

20등급: 01급, 0급, 1급, 2급~18급 (작을수록 정밀한 공차)

##### 3.3.3 공차역(tolerance zone)

###### (1) 공차역 표시

- ① 공차역은 영문자와 숫자로 이루어진다.
- ② 영문자는 구멍과 같이 안치수를 나타내는 경우에는 대문자를, 축과 같이 바깥치수를 나타내는 경우에는 소문자를 사용한다.
- ③ 숫자의 크기는 공차 등급을 나타낸다. 숫자가 크면 허용 범위가 넓다.

###### (2) 구멍의 공차역

① 구멍의 공차역 기호: A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, J, JS, K, M,

N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC

- ② A에 가까워질수록 실제치수가 호칭치수보다 크고, Z에 가까워질수록 실제치수가 호칭치수보다 작다.
- ③ 구멍의 공차역 H의 \_\_\_\_\_치수는 기준치수와 동일하다.
- ④ 구멍의 공차역 JS에서는 위치수 허용차와 아래치수 허용차의 크기가 같다.

###### (3) 축의 공차역

- ① 축의 공차역 기호: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc
- ② a에 가까워질수록 실제치수가 호칭치수보다 작고, z에 가까워질수록 실제치수가 호칭치수보다 크다.
- ③ 축의 공차역 h의 최대치수가 기준치수와 동일하다.
- ④ 축의 공차역 js에서는 위치수 허용차와 아래치수 허용차의 크기가 같다.

#### 3.3.4 공차의 표기

(1) \_\_\_\_\_: 기준치수를 쓰고 오른쪽 위에 상첨자로 위치수 허용치를, 오른쪽 아래에 하첨자로 아래치수 허용치를 쓴다. 기준치수<sup>위치수</sup><sub>아래치수</sub> 허용치

예:  $\phi 50_0^{+0.025}$ ,  $32 \pm 0.1$

(2) 기호에 의한 표기: 기준치수+ 공차역 영문자+ 등급숫자

구멍의 예: 14H7. 축의 예: 25h6

(3) 한계치수 기입법: 최소허용치수를 아래에 쓰고, 최대허용치수를 위에 쓴다.

표기 요령:  $\left( \begin{matrix} \text{최대허용치수} \\ \text{최소허용치수} \end{matrix} \right)$  예:  $\begin{matrix} \phi 50.025 \\ \phi 50 \end{matrix}$

#### 3.3.5 끼워맞춤(fit)

##### (1) 축과 구멍의 상대적 치수

\_\_\_\_\_ (clearance): 구멍이 크고 축이 작아서 험겁게 끼워 맞추어질 때 그 치수 차  
\_\_\_\_\_ (interference): 구멍이 작고 축이 커서 억지로 끼워 맞추어질 때 그 치수 차

(2) 틈새와 씌세의 크기에 따른 끼워맞춤의 구분

① 험거운 끼워맞춤(clearance fit): 항상 틈새가 있는 끼워맞춤으로 구멍의 최소치수가 축의 최대치

수보다 크다.

② 억지 끼워맞춤(interference fit): 항상 틱새가 있는 끼워맞춤으로 축의 최소치수가 구멍의 최대치수보다 크다.

③ 중간 끼워맞춤(slide fit): 틱새가 생기는 것도 있고 틱새가 생기는 것도 있다.

(3) 구멍기준 끼워맞춤

구멍의 공차역을 H(H5~H10)로 정하고, 필요한 틱새 또는 틱새에 따라 축의 공차역을 정한다. 구멍의 아래치수 허용치가 0인 끼워맞춤 방식이다. 많이 사용되는 구멍기준 끼워맞춤 조합은 다음과 같다.

기준 구멍	축의 공차역																
	헐거운 끼워맞춤				중간 끼워맞춤				억지 끼워맞춤								
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	m6	n6	p6	r6	s6	t6	u6	x6
				e7	f7	g7	h7	js7									
H8					f7	g7	h7										
				e8	f8	g8	h8										
H9				d9	e8	f8	g8										
				d8	e8	f8	g8	h8									
H10				c9	d9	e9	f9	g9	h9								
		b9	c9	d9													

(4) 축기준 끼워맞춤

구멍의 공차역을 h(h4~h9)로 정하고, 필요한 틱새 또는 틱새에 따라 구멍의 공차역을 정한다. 축의 위치수 허용치가 0인 끼워맞춤 방식이다. 많이 사용되는 축기준 끼워맞춤 조합은 다음과 같다.

기준 축	구멍의 공차역																
	헐거운 끼워맞춤				중간 끼워맞춤				억지 끼워맞춤								
h4					H5	JS5	K5	M5									
h5					H6	JS6	K6	M6	N6	P6							
					F6	G6	H6	JS6	K6	M6	N6	P6					
h6					F7	G7	H7	JS7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	U7	X7
				E7	F7	G7	H7										
h7					F8	G8	H8										
				D8	E8	F8	G8	H8									
h8				D9	E9	F9	G9	H9									
				D8	E8	F8	G8	H8									
h9				C9	D9	E9	F9	G9	H9								
				D8	E8	F8	G8	H8									
				<b>B10</b>	<b>C10</b>	<b>D10</b>											

3.4 표면거칠기

소재 상태[生地(きじ)] ~

거친 다듬질 ▽

보통 다듬질 ▽▽

상 다듬질 ▽▽▽

정밀 다듬질 ▽▽▽▽

3.5 기하공차

3.5.1 기하공차의 필요성

기하편차(geometric deviation)는 규제 대상물의 모양편차, 자세편차, 위치편차 및 흔들림의 편차를 총칭하며 기하학적으로 정확한 위치나 모양으로부터 벗어남의 크기를 의미한다. 기하편차의 허용값을 기하공차(geometric tolerance)라고 한다.

치수공차로는 기하학적 편차를 나타내지 못하므로 치수공차만으로는 제품에 대한 규제가 불완전하여 조립 불가능 제품이 발생하거나 조립된 제품도 그 기능을 발휘하지 못할 수 있다.

3.5.2 치수공차와 기하공차의 관계

독립의 원칙: 특별한 지시가 없는 한 치수공차는 2점 측정에 의하여 구해진 치수의 허용한계를 나타낼 뿐 그 형태의 형상 편차를 규제하지 않는다.

3.5.3 용어

- (1) \_\_\_\_\_(basic size): 이론적으로 정확한 치수. 기준온도: 20℃
- (2) 형체: 기하편차의 규제 대상이 되는 점, 선, 축선, 면 또는 중심면.
- (3) \_\_\_\_\_형체: 기하공차에 의하여 규제되는 형체
- (4) 공차역: 공차불이형체가 기하학적으로 옳은 형체(모양, 자세 또는 위치)로부터 벗어나는 것이 허용되는 영역
- (5) 데이텀(datum): 형체의 기하공차를 나타내기 위하여 상대적 기준으로써 설정한 이론적으로 정확한 가상의 점, 선, 평면
- (6) \_\_\_\_\_형체: 데이텀에 관계없이 기하편차가 정하여지는 형체
- (7) 관련 형체: 데이텀에 관련되어 기하편차가 정하여지는 형체

3.5.4 기하공차의 종류

기하공차의 종류는 다음과 같다(KS B 0608).

공차의 종류		적용하는 형체
형상공차 (form)	진직도(straightness)	단독 형체
	평면도(flatness)	
	진원도(circularity)	
	원통도(cylindricity)	
	선의 윤곽도(line profile)	단독 형체 또는 관련 형체
면의 윤곽도(surface profile)		
자세공차 (orientation)	평행도(parallelism)	
	직각도(perpendicularity)	
	경사도(angularity)	
위치공차 (location)	위치도(position)	관련 형체
	동심도(concentricity)	
	대칭도(symmetry)	
흔들림 공차 (runout)	원주 흔들림(circular runout)	
	온 흔들림(totla runout)	

(1) 형상공차(모양공차)

① \_\_\_\_\_: 직선 부분이 정확한 직선으로부터 벗어난 크기로서 단독 형체에 적용한다.

선의 진직도, 표면 요소로서 선의 진직도, 축선의 진직도 등을 표현한다.

② \_\_\_\_\_: 평면 부분이 기하학적으로 정확한 면으로부터 벗어난 크기로서 단독 형체에 적용.

③ \_\_\_\_\_: 원형 부분이 기하학적으로 정확한 원으로부터 벗어난 크기로서 단독 형체에 적용.

④ 원통도: 원통 부분이 기하학적으로 정확한 원통면으로부터 벗어난 크기로서 단독 형체에 적용.

⑤ 선의 윤곽도: 선의 윤곽이 이론적으로 정확한 치수에 의하여 정하여진 이상적인 기하학적 선의 윤곽으로부터 벗어난 크기로서 단독 형체 또는 관련 형체에 적용한다.

단독 형체의 선의 윤곽도, 관련 형체에 대한 선의 윤곽도 등을 표현한다.

⑥ 면의 윤곽도: 면의 윤곽이 이론적으로 정확한 치수에 의하여 정하여진 이상적인 기하학적 면의 윤곽으로부터 벗어난 크기로서 단독 형체 또는 관련 형체에 적용한다.

단독 형체의 면의 윤곽도, 관련 형체에 대한 면의 윤곽도 등을 표현한다.

(2) 자세공차

① 평행도: 선 또는 면이 서로 평행하여야 할 선 또는 면에 대하여 기하학적으로 정확한 선 또는 면으로부터 벗어난 크기로서 관련 형체에 대하여 적용한다.

데이텀 직선에 대한 선의 평행도, 데이텀 평면에 대한 선의 평행도, 데이텀 직선에 대한 면의 평행도, 데이텀 평면에 대한 면의 평행도 등을 표현한다.

② 직각도: 선 또는 면이 서로 직각이어야 할 선 또는 면에 대하여 기하학적으로 정확한 선 또는 면으로부터 벗어난 크기로서 관련 형체에 대하여 적용한다.

데이텀 직선에 대한 선의 직각도, 데이텀 평면에 대한 선의 직각도, 데이텀 직선에 대한 면의 직각도, 데이텀 평면에 대한 면의 직각도 등을 표현한다.

③ 경사도: 선 또는 면이 서로 경사진 선 또는 면에 대하여 기하학적으로 정확한 선 또는 면으로부터 벗어난 크기로서 관련 형체에 대하여 적용한다.

데이텀 직선(동일 평면 내)에 대한 선의 경사도, 데이텀 평면에 대한 선의 경사도, 데이텀 직선에 대한 면의 경사도, 데이텀 평면에 대한 면의 경사도 등을 표현한다.

(3) 위치공차

① 위치도: 점, 선 또는 면이 이론적으로 정확한 위치로부터 벗어난 크기로서 관련 형체에 대하여 적용한다. 점의 위치도, 선의 위치도, 면의 위치도 등을 표현한다.

② 동축도: 축선이 데이텀 축직선으로부터 벗어난 크기로서 관련 형체에 대하여 적용한다. 동축도, 동심도 등을 표현한다.

③ 대칭도: 선 또는 면이 데이텀 중심 평면 또는 데이텀 축직선에 대하여 서로 대칭이어야 할 형체의 대칭위치로부터 벗어난 크기로서 관련 형체에 대하여 적용한다.

데이텀 중심 평면에 대한 면의 대칭도, 데이텀 중심 평면에 대한 선의 대칭도, 데이텀 직선에 대한 면의 대칭도, 데이텀 직선에 대한 선의 대칭도 등을 표현한다.

(4) 흔들림 공차

① 원주 흔들림: 데이텀 축직선을 중심으로 회전하였을 때 지정된 방향(반지름 방향, 축방향 등)으로 변화하는 변위의 최대치와 최소치와의 차이로서 관련 형체에 대하여 적용한다.

지정된 방향이 지름 방향일 때는 축직선에 수직인 면의 변위 흔들림이고, 지정된 방향이 축 방향일 때는 축직선에 평행인 면의 변위 흔들림이다.

반지름 방향의 원주 흔들림, 축방향의 원주 흔들림, 경사진 법선 방향의 원주 흔들림, 지정 방향의 원주 흔들림 등을 표현한다.

② 온 흔들림: 관련 형체에 대하여 적용한다. 반지름 방향의 온 흔들림, 축방향의 온 흔들림 등을 표현한다.

③ 반지름 방향의 온 흔들림: 데이텀 축직선에 수직인 방향으로 데이텀 축직선에서부터 대상 표면가

지의 거리의 최대치와 최소치의 차이

④ 축방향의 온 흔들림: 데이텀 축직선에 평행인 방향으로 데이텀 축직선에서부터 대상 표면까지의 거리의 최대치와 최소치의 차이

### 3.5.5 공차 기입틀 표기법

① 단독 형체 표기법: 

공차 종류의 기호	공차값
-----------	-----

② 관련 형체 표기법: 

공차 종류의 기호	공차값	데이텀 기호
-----------	-----	--------

③ 도면 표기: 기하공차를 규제하고자 하는 형체의 대상면 또는 그 연장선에 가는 실선으로 지시선을 수직으로 연결하며 그 끝에 화살표를 그리고, 다른 끝은 공차기입 테두리에 연결한다. 규제 대상에 따라 지시위치가 달라진다.

축의 중심선 또는 중심면을 기하학적으로 규제하려는 경우 치수선의 연장선에 지시하거나 중심선에 지시한다.

### 3.6 최대 실체 공차방식(Maximum Material Principle)

KS A ISO 2692:2003(제도-기하학적 허용공차-최대실체공차방식)

두 개의 부품을 조립하는 경우 치수공차와 기하공차(자세공차 또는 위치공차)와의 연관성을 부여하여 부품의 호환성을 유지하면서 기하공차역을 크게 하는 것이 가능하도록 하였다.

#### 3.6.1 용어

- ① 최대 실체상태(MMC): 형체의 부피가 최대가 되는 허용한계치수를 가진 상태이다.
- ② 최대 실체치수(MMS): 형체의 최대 실체상태를 정하는 치수. 즉, 외측 형체(축, 핀)에 대한 최대 허용치수(상한 치수), 내측 형체(구멍)에 대해서 최소 허용치수(하한 치수).
- ③ 실효 상태(virtual condition): 대상으로 하는 형체의 최대 실체치수와 그 형체의 기하공차(자세공차 또는 위치공차)와의 종합 효과에 의하여 생기는 한계의 상태이다.
- ④ 실효 치수(virtual size, VS): 형체의 최대 실체치수(재료의 양이 최대가 되도록 치수공차 값을 정한 형체의 치수)에 재료의 양이 최대가 되도록 기하공차 값을 더하거나 빼서 정한 치수이다. 즉, 실효 상태에서 형체가 갖는 치수를 실효치수라고 한다.
- ⑤ 허용치수(limit size): 치수공차에 의하여 계산되는 값.

$$\text{최대허용치수} = \text{기준치수} + \text{위치수허용치}$$

$$\text{최소허용치수} = \text{기준치수} - \text{아래치수허용치}$$

#### 3.6.2 최대 실체상태(MMC, Maximum Material Condition, $\text{\textcircled{M}}$ )

- ① 형체의 부피가 최대로 되는 상태.
- ② 규제 대상인 형체의 크기가 최대 실체치수로 가공된 경우: 기하공차는 규정된 값 적용
- ③ 치수공차 허용 범위 내에서 최대 실체치수에서 벗어난 경우: 기하공차는 치수공차의 벗어난 양만큼 추가로 허용된다.

#### ④ 최대 실체상태에서의 실효치수

- 외측 형체(핀)의 실효치수 = 최대 실체치수(핀의 최대허용치수) + 규정된 기하공차
- 내측 형체(구멍)의 실효치수 = 최대실체치수(구멍의 최소허용치수) - 규정된 기하공차

#### ⑤ 실제로 적용할 수 있는 기하공차는 규정된 기하공차보다 커진다.

- 외측 형체(핀)에 적용되는 기하공차 = MMS - 제작된 치수 + 규정된 기하공차
- 내측 형체(구멍)에 적용되는 기하공차 = 제작된 치수 - MMS + 규정된 기하공차

#### 3.6.3 최대 실체 공차방식의 표기

- ① 기호로는  $\text{\textcircled{M}}$ 이고, 약자로는 MMC이다.
- ② 공차붙이 형체에 적용하는 경우 공차값 뒤에  $\text{\textcircled{M}}$ 을 기입한다.
- ③ 데이텀 형체에 기입하는 경우 데이텀을 나타내는 문자 기호 뒤에  $\text{\textcircled{M}}$ 을 기입한다.