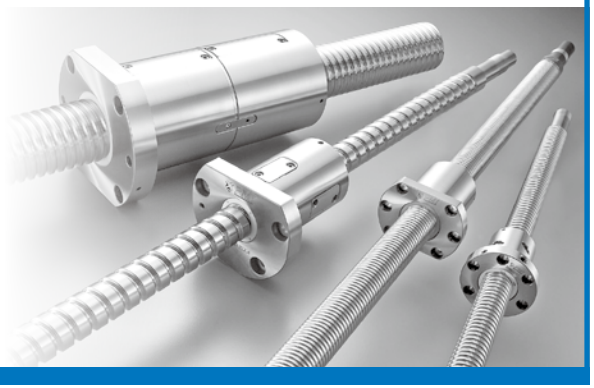
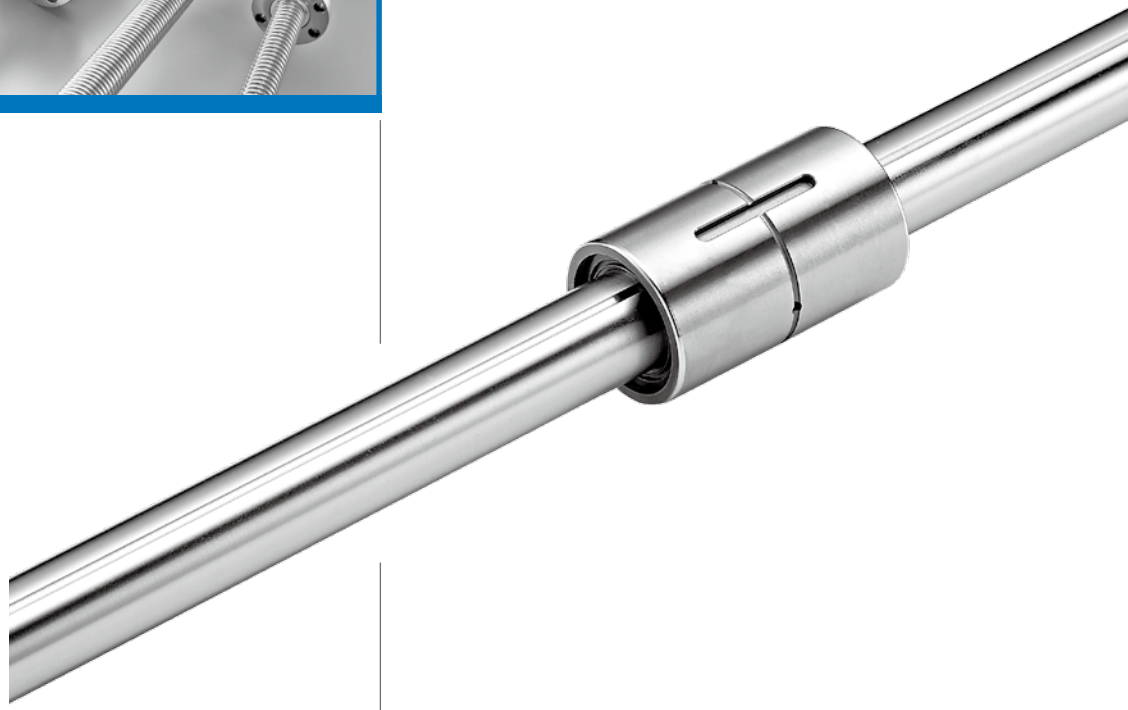


# 볼 스플라인
# Ball Spline



# 볼 스플라인



## 설계원리

볼스플라인은 스플라인축의 외경에 3열의 하중 강구열로 배열되어 있고. 고딕형 설계 3열 강구를 사용하여 토크가 순방향 역방향이 동시에 가능하여 수명과 모멘트를 증가시킨다.

각각의 볼은 스플라인 너트내 특수합성아크릴순환기를 통해 지속적으로 정열순환운동을 진행한다. 그리하여 스플라인축이 스플라인 너트중에 빠져 나오게 되더라도 강구는 떨어져 나가지 않는다.

## 특성

**큰 하중 용량**

볼 운행 홈 시스템은 특수 가공 되었고 홈은 고딕형 30도 접촉각을 이루면서 경방향과 토오크 방향 모두에서 큰 하중의 용량을 견딜 수 있다.

**회전간격은「제로」**

예압을 가하여 접촉각 구조를 형성하여 회전방향의 간격은 제로이여서 고강성 기능을 이룬다.

**고강성**

접촉각도는 큰 편이여서 상황에 맞춰 적당한 예압을 추가하여 요구하는 토오크 강성을 얻을 수 있다.

**볼 리테이너**

리테이너를 사용하여 , 스플라인 축이 너트에서 탈착되더라도 볼은 빠지지 않는다.

**응용**

산업로보트 , 운반장비 , 자동권선기 , ATC 자동 툴 교체 장비 ...등

## 유형과 특성

### 유형과 특성

**원통식 볼 스플라인 SLT 형**

스플라인 베어링 외경은 원통형이다. 조립 공간이 최소일 때 사용하기 편한 형식이다.

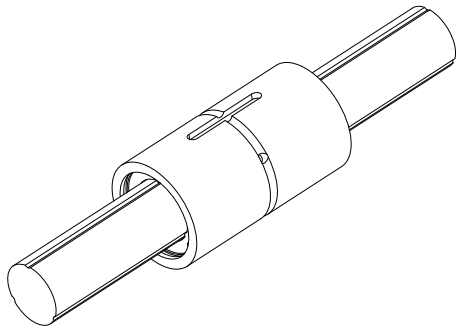


그림1. 원통형 볼 스플라인 SLT형

**플랜지형 볼 스플라인 SLF 형**

플랜지를 이용하여 나사를 통과하면서 베어링 축이 지지축에 고정을 한다 . 따라서 조립은 간편하다. 가공 스플라인 홈이 변형의 위험 혹은 지지베어링 폭이 조금 좁을 경우에는 SLF타입을 적용하는 것을 추천한다.

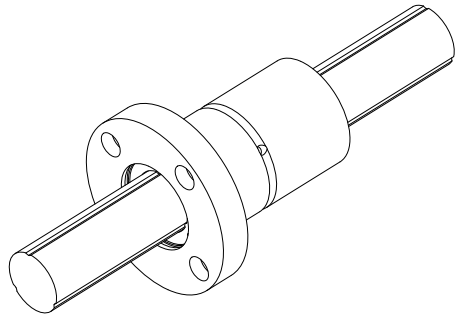


그림2. 플랜지형 볼 스플라인 SLF형

## 스플라인 축의 유형

### 정밀 솔리드 스플라인 축

스플라인 축의 구동 호은 정밀 연마 후 스플라인 축과 조합하여 사용한다.

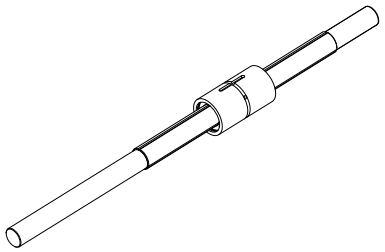


그림3. 정밀 솔리드 스플라인 축

### 특수 스플라인 축

스플라인 축 끝단 혹은 중간 부분의 직경이 매우 클 경우 , ***PMI*** 에서는 특수 가공으로 스플라인을 제작 한다.

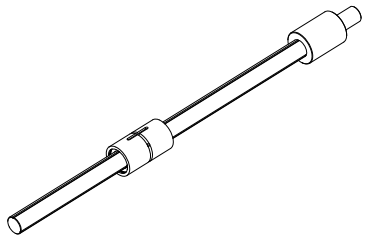


그림4. 특수 스플라인 축

### 중공 스플라인 축

각종 배관 배치 , 전선연결 , 환기 구멍 혹은 중량 감소 등의 요구 시에 중공 스플라인 축을 적용한다.

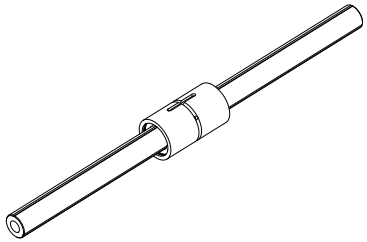


그림5. 중공 스플라인 축

## 지지축의 내경 공차

스플라인 베어링과 지지축의 조합한다 . 볼 스플라인 정도의 요구가 높지 않을 경우 예압 적용하여 조합 사용한다.

표1 리드 정도 비교

| | | |
|---|---|---|
| **지제축의 내경공차** | 종합조건 | H7 |
| | 작은 간격이 필요할 때 | J6 |

## 스플라인 축의 단면 형태

**표2**는 스플라인 축의 단면 형태이다. 스플라인 축 끝은 원주형태이며 가능한 홈직경보다는 크지 않아야 한다.

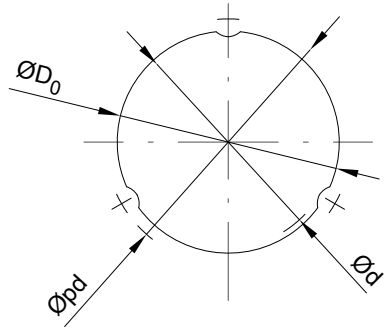



그림6. 스플라인 축의 단면 형태

표2 스플라인 축의 단면 형태 단위: *mm*

| 축경 | 16 | 20 | 25 |
|---|---|---|---|
| 홈경 Ød | 15 | 19 | 23.9 |
| 스플라인 축경 $ØD_0$ | 16 | 20 | 25 |
| 볼 중심 직경 Øpd | 17.8 | 22.2 | 27.9 |
| 질량 (kg/m) | 1.56 | 2.44 | 3.82 |

## 표준 중공 스플라인 축의 홀 형태

**표3**과 같이 표준 중공 스플라인 축의 홀 형태 . 각종 배선 배치,전선연결, 환기구멍 혹은 중량 감소등의 요구에 맞춰 아래 사양을 검토 적용가능하다.

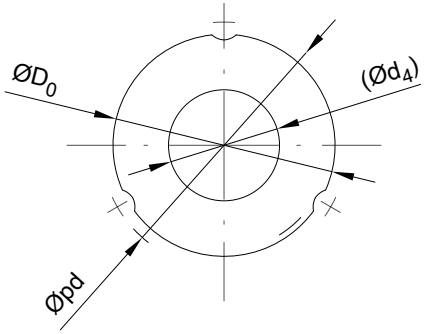



그림7. 중공 스플라인 축의 단면

표3 표준 중공 스플라인 홀 형태 단위: *mm*

| 축경 | 16 | 20 | 25 |
|---|---|---|---|
| 스플라인 축경 $ØD_0$ | 16 | 20 | 25 |
| 볼 중심 직경 Øpd | 17.8 | 22.2 | 27.9 |
| 스플라인 중공 홀 경 ($Ød_4$) | 11 | 14 | 18 |
| 스플라인 중공 홀 경 (kg/m) | 1.17 | 1.83 | 2.44 |

## 특수 스플라인 축의 완전하지 않은 부분의 길이

만약 스플라인 축의 중간 부분 혹은 끝단 부분의 홈 반경(Ød)이 조금 크고 , 완전치 않은 스플라인이 필요할때는 파인 홈에 맞춰 연마 가능하다. **표4**는 완전치 않은 스플라인 부분 (S) 의 길이 와 Ødf 사이의 관계이다.

주: 1500mm 이상일 경우에 해당 사항 적용이 안된다. 상세한 내용은 *PMI* 영업사원에게 문의 바랍니다.

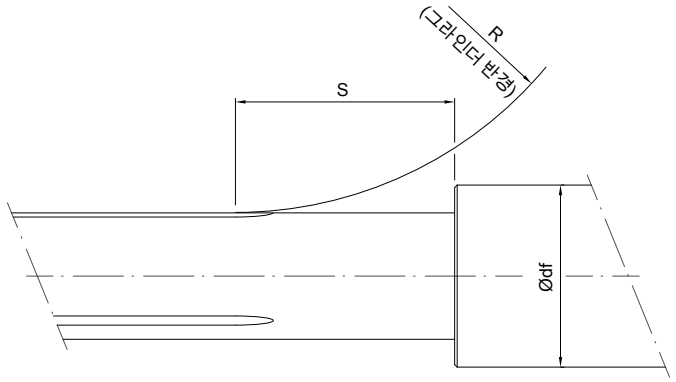
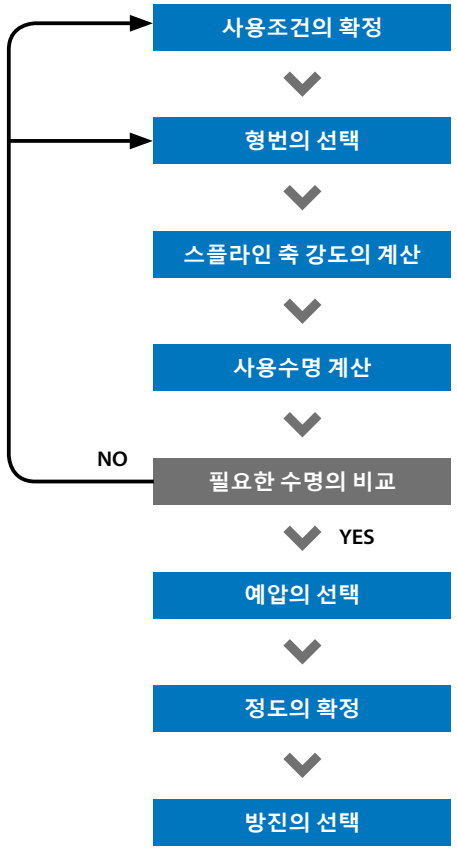



그림8. 완전하지 않은 스플라인 축 부분의 길이

표4 완전하지 않은 스플라인 부분의 길이 단위: *mm*

| Ødf / S / 직경 | 16 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 41 | 50 | 59 | 67 | - | - |
| 20 | - | 41 | 52 | 61 | 75 | - |
| 25 | - | - | 41 | 52 | 68 | 81 |

## 볼 스플라인 선택 순서




## 스플라인 축의 강도 설계

볼 스플라인의 스플라인 축은 직경방향 부하와 토오크를 이겨낼 수 있는 복합 축이다. 부하 혹은 토오크가 매우 클 때 , 스플라인 축의 강도를 고려해야 한다.

### 만곡의 스플라인 축을 감당 할 수 있다

곡선을 이루는 모멘트 작용이 볼 스플라인의 스플라인 축에 있을 경우 , 우선 스플라인 축이 이겨낼 수 있는 최대 만곡 모멘트의 값(M)을 계산한다. 그리고 아래 공식에 의해 적합한 스플라인 축 직경을 계산한다. **공식1**참고바란다:

$$M = \sigma \cdot Z \text{ 和 } Z = \frac{M}{\sigma} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$M$ 스플라인 축의 최대 만곡 모멘트 ( $N\text{-}mm$ )
$\sigma$ 스플라인 축의 허용 만곡 응용 $98$ ( $N / mm^2$ )
$Z$ 스플라인 축의 단면 계수 ( $mm^3$ )
( 참고표6[B2-15] )

주: $Z = \dfrac{\pi \cdot d^3}{32}$

$Z$ 단면 계수 ( $mm^3$ )
$d$ 축외경 ( $mm$ )

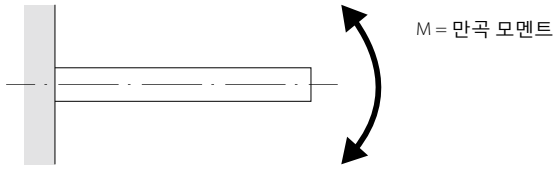



그림9

## 회전을 이겨내는 스플라인 축

회전이 스플라인 축에서 이루어 질 때 , 우선 최대 토오크를 계산한다. ( $T$ ) , 그리고 아래 공식으로 적합한 스플라인 축 직경을 계산한다. **공식 2** 참고바란다.

$$T = \tau_a \cdot Z_p \text{ 和 } Z_p = \frac{T}{\tau_a} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$T$ 최대토오크 ( $N\text{-}mm$ )
$\tau_a$ 스플라인 축의 허용 회전력 $49$ ( $N / mm^2$ )
$Z_p$ 스플라인 축의 끝단 절단면의 계수 ( $mm^3$ )
( 참고표6[B2-15] )

주: $Zp = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$

$Z_p$ 끝단 절단면의 계수 ( $mm^3$ )
$d$ 축외경 ( $mm$ )

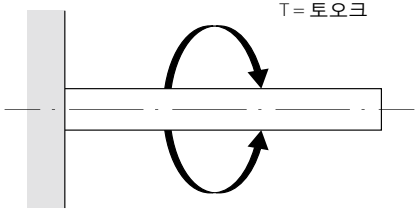



그림10

## 스플라인 축이 휘어짐과 회전 작용을 동시에 이겨낼 때

만곡의 모멘트와 토오크가 동시에 작용을 할 때 .각각 **3,4**공식으로 스플라인 축경을 계산한다: 등효 만곡 모멘트($M_e$)를 감안하였을 때 , 등효 토오크($T_e$)는 공식대로 계산하여 적합한 스플라인 축경을 얻어 그 중축을 선택한다.

### 등효 만곡 모멘트

$$M_e = \frac{M+\sqrt{M^2+T^2}}{2} = \frac{M}{2}\left\{1+\sqrt{1+\left(\frac{M}{T}\right)^2}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

$$M_e = \sigma \cdot z$$

### 등효 토오크

$$T_e = \sqrt{M^2+T^2} = M \cdot \sqrt{1+\left(\frac{T}{M}\right)^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

$$T_e = \tau_a \cdot Z_p$$

## 스플라인 축의 강성

스플라인 축의 강성은 길이 1m 의 스플라인 축의 회전 각도로 표기를 한다. $\frac{1^\circ}{4}$ 좌우로 한정이 되어있다.

$$\theta = 57.3 \times \frac{T \cdot L}{G \cdot I_P} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

$$\text{스플라인 축의 강성} = \frac{\text{회전각도}}{\text{단위 길이}} = \frac{\theta \cdot l}{L} < \frac{1^\circ}{4}$$

$\theta$ 회전각도 ( $^\circ$ )
$L$ 축 길이 ( $mm$ )
$G$ 가로 탄성 계수 $7.9\times10^4$ ( $N / mm^2$ )
$l$ 단위길이 ( $1000mm$ )
$I_p$ 끝단 관성 토오크 ( $mm^4$ )
( 참고표6[B2-15] )

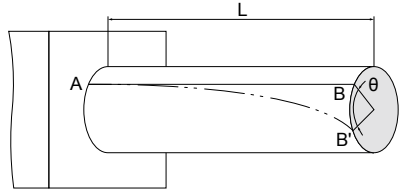
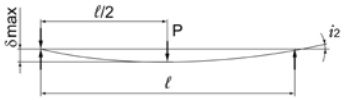
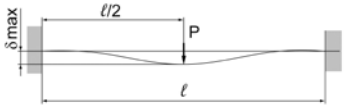
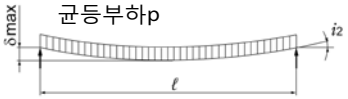
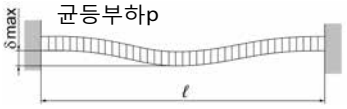
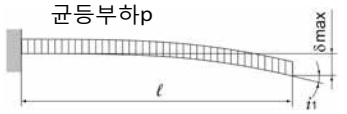
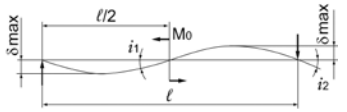
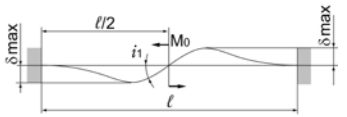



그림11

## 스플라인 축의 휘어짐과 휘어짐 각도

볼 스플라인의 스플라인 축 휘어짐과 휘어짐 각도는 **표5**의 조건에 맞춰 계산한다. **표6[B2-15]**에서는 각종 스플라인 축의 단면 치수(*Z*)와 관성기하토오크 (*I*)를 표기한다. 표에서 *Z* , *I* 를 이용하여 볼 스플라인 각종 형번의 강도와 변형량(휘어짐량)을 계산할 수 있다.

표5 휘어짐과 휘어짐 각도의 계산공식

| 지지방식 | 사용조건 | 휘어짐의 계산식 | 휘어짐 각도의 계산식 |
|---|---|---|---|
| 양쪽자유 |  | $\delta_{max}=\frac{Pl^3}{48EI}$ | $i_1=0$<br>$i_2=\frac{Pl^2}{16EI}$ |
| 양쪽고정 |  | $\delta_{max}=\frac{Pl^3}{192EI}$ | $i_1=0$<br>$i_2=0$ |
| 양쪽자유 |  | $\delta_{max}=\frac{5Pl^4}{384EI}$ | $i_2=\frac{Pl^3}{24EI}$ |
| 양쪽고정 |  | $\delta_{max}=\frac{Pl^4}{384EI}$ | $i_2=0$ |
| 한쪽고정 | | $\delta_{max}=\frac{Pl^3}{3EI}$ | $i_1=\frac{Pl^2}{2EI}$<br>$i_2=0$ |
| 한단고정 |  | $\delta_{max}=\frac{Pl^4}{8EI}$ | $i_1=\frac{Pl^3}{6EI}$<br>$i_2=0$ |
| 양단자유 |  | $\delta_{max}=\frac{\sqrt{3}M_o l^2}{216EI}$ | $i_1=\frac{M_o l}{12EI}$<br>$i_2=\frac{M_o l}{24EI}$ |
| 양단고정 |  | $\delta_{max}=\frac{M_o l^2}{216EI}$ | $i_1=\frac{M_o l}{16EI}$<br>$i_2=0$ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\delta_{max}$ | 최대휘어짐 ( *mm* ) | $i_2$ | 지지점의 휘어짐각도 |
| $M_o$ | 모멘트 ( *N-mm* ) | $P$ | 집중 부하 ( *N* ) |
| $l$ | 길이 ( *mm* ) | $p$ | 균등부하 ( $N/mm$ ) |
| $I$ | 기하면 모멘트 ( $mm^4$ ) | $E$ | 세로 탄성 계수 ( $2.06\times10^5 N/mm^2$ ) |
| $i_1$ | 부하작용점의 휘어짐각도 | | |

## 스플라인 축의 한계 회전속도

동력 전달로 스플라인 회전 시,회전 속도가 한계에 다다를 때 , 공진이 발생한다. 따라서 , 회전속도는 공진이 발생하지 않은 한계로 설정하여야 한다. 공진 점에 근접 혹은 초과 될 경우에는 스플라인 축의 직경에 대하여 다시 검토를 해야 한다. **6공식**의 의해 계산한다. (안전계수 0.8를 곱하여 주세요. )

**한계 회전속도**

$$N_c = \frac{60\lambda^2}{2\pi \cdot l_b^2} \cdot \sqrt{\frac{E \times 10^3 \cdot I}{\gamma \cdot A}} \times 0.8 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

$N_c$ 위험속도 ( $min^{-1}$ )
$l_b$ 조립 면 간의 거리 ( $mm$ )
$E$ 세로 탄성 계수 ( $2.06 \times 10^5 N/mm2$ )
$I$ 축의 최소 기하면 모멘트 ( $mm^4$ )
$\gamma$ 밀도(비중) ( $7.85 \times 10^{-6} kg/mm^3$ )
$A$ 스플라인 축 단면의 면적 ( $mm^2$ )
$\lambda$ 조립 방범에 의해 계수를 정한다

그림12 고정-자유 $\lambda=1.875$
그림13 지지-지지 $\lambda=3.142$
그림14 고정-지지 $\lambda=3.927$
그림15 고정-고정 $\lambda=4.73$

주: $I = \frac{\pi}{64} d^4$ $d$ 작은 직경 ( $mm$ )

( 참고표2[B2-5], 표3[B2-6] )

주: $A = \frac{\pi}{4} d^2$ $d$ 작은 직경 ( $mm$ )

( 참고표2[B2-5], 표3[B2-6] )

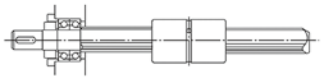


그림12. 고정-자유

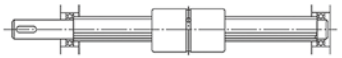


그림13. 지지-지지

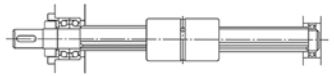


그림14. 고정-지지

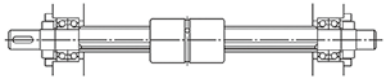


그림15. 고정-고정

## 스플라인 축의 단면 특성정

**볼 스플라인의 스플라인 축 단면 특성**

표7 스플라인 축 단면의 특성

| 축경 | | $I$ 기하면 모멘트($mm^4$) | $Z$ 절단면 계수 ($mm^3$) | $I_P$ 한계 관성 모멘트 ($mm^4$) | $Z_P$ 절단면 계수($mm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 16 | 솔리드 축 | $3.15 \times 10^3$ | $4.02 \times 10^2$ | $6.3 \times 10^3$ | $8.04 \times 10^2$ |
| | 중공축 | $2.5 \times 10^3$ | $3.12 \times 10^2$ | $5.0 \times 10^2$ | $6.24 \times 10^2$ |
| 20 | 솔리드 축 | $7.74 \times 10^3$ | $7.85 \times 10^2$ | $1.55 \times 10^4$ | $1.57 \times 10^3$ |
| | 중곡축 | $5.97 \times 10^3$ | $5.96 \times 10^3$ | $1.19 \times 10^4$ | $1.19 \times 10^3$ |
| 25 | 솔리드 축 | $1.19 \times 10^4$ | $1.53 \times 10^3$ | $3.80 \times 10^4$ | $3.06 \times 10^3$ |
| | 중공축 | $1.4 \times 10^4$ | $1.12 \times 10^3$ | $2.8 \times 10^4$ | $2.24 \times 10^3$ |

# 수명예측

## 정격수명

동일 로트 생산된 볼 스플라인이 동일한 운행 조건에 의해 사용을 하였더라도 그 수명은 조금씩 편차가 있을 것이다. 기본 직선 운행의 수명을 기준으로 아래와 같이 정격수명을 정의한다.

정격 수명은 동일 로트에 생산한 제품이 직선 운행을 하면서 동일한 조건 하에 90%의 제품이 박리현상이 발생하지 않고 (금속면의 박리) 도달 할 수 있는 총 스트로크를 말한다.

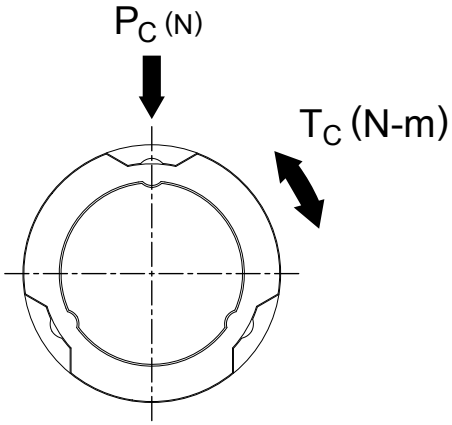



그림16. 볼 스플라인 부하 그림

## 정격수명계산

볼 스플라인은 운행에 따라 부하를 받는데 이는 토오크 부하 , 경방향부하,모멘트부하 이렇게 3종류이다. 각 정격수명은 **7**에서 **10공식**으로 값을 얻을 수 있다.(각 부하 방향의 기본 정격하중은 각 형번 사이즈표에 기재 되어 있다.)

**토오크 하중을 받을 때**

$$L = \left(\frac{f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C_T}{T_C}\right)^3 \times 50 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

**경방향 하중을 받을 때**

$$L = \left(\frac{f_T \cdot f_C}{f_W} \cdot \frac{C_a}{P_C}\right)^3 \times 50 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

$L$ 정격수명 ( $km$ )
$C_T$ 기본 동격 토오크 ( $N$-$m$ )
$T_C$ 외부 토오크 계산값 ( $N$-$m$ )
$C_a$ 기본동정격하중 ( $N$ )
$P_C$ 부하계산값 ( $N$ )
$f_T$ 온도계수 ( 참고그림17[B2-19] )
$f_C$ 온도계수 ( 참고그림7[B2-20] )
$f_W$ 부하계수 ( 참고표8[B2-20] )

**토오크와 하중을 동시에 견디는 경우**

토오크와 하중을 동시에 견디는 상황일 경우에 아래 **9공식**으로 등효 경방향 하중을 얻은 후에 다시 수명을 계산한다.

$$P_E = P_C + \frac{4 \cdot T_C \times 10^3}{i \cdot pd \cdot \cos\alpha} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

$P_E$ 등효 경방향하중 ( $N$ )
$\cos\alpha$ 접촉각도
$i$ 부하중의 볼 열수
$pd$ 볼 중심에서 중심직경까지 ( $mm$ )
( 참고표2[B2-5], 표3[B-6] )

**스플라인 베어링 1 개 혹은 2 개가 긴밀히 접촉되었 때**

아래 **공식10**으로 등효축방향 부하 값을 얻은 후에 다시 수명을 계산한다.

$$P_u = K \cdot M \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

$P_u$ 등효축방향부하 ( $N$ ) (모멘트부하로 발생)

$K$ 등효계수 ( 고표9[B2-23] )

$M$ 부하모멘트 ( $N\text{-}mm$ )

주: $M$ 은 허용정격 모멘트보다 작다.

**모멘트와 부하를 동시에 받고 있을 때**

부하와 등효 축방향 부하의 총합으로 수명을 계산한다.

**수명계산시간**

위 공식대로 정격수명을 얻은 후, 스트로크와 분당 왕복 차수에 의해 아래 **11공식**으로 수명 시간을 얻을 수 있다.

$$L_h = \frac{L \times 10^3}{2 \times l_s \times n_1 \times 60} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

$L_h$ 수명계산 ( $hr$ )

$l_s$ 스트로크 길이 ( $m$ )

$n_1$ 분당 왕복 차수 ( $min^{-1}$ )

**$f_T$ : 온도계수**

볼 스플라인 사용 환경은 최고 100℃일 경우 , 고온으로 인해 수명에 영향을 주게 된다 . 따라서 수명 계산은 **그림17**에 얻어진 온도 계수 $f_T$ 를 곱하면 되겠다. 동시에 볼 스플라인도 고온에 적합한 제품이어야 한다.

주: 사용환경 온도가 80℃일 경우 , 씰 부속품과 리테이너 재질은 고온에 적합한 규격 재질이어야 한다. 상세한 내용은 ***PMI*** 영업사원에게 문의 바랍니다.

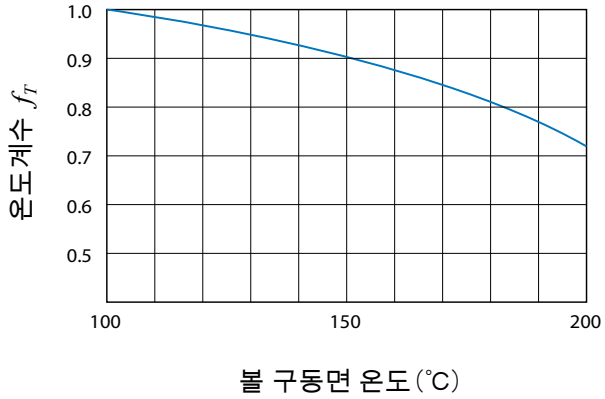



그림17. 온도계수 $f_T$

**$f_C$ : 접촉 계수**

직선 운동의 스플라인 베어링은 긴밀히 접촉되어 사용하면 , 모멘트 혹은 조립 정도의 영향으로 부하는 균일하게 분포가 되지 않는다. 따라서 몇개의 베어링을 사용할 경우에는 기본 정격하중($C_a$)와 ($C_0$)의 합에 접촉 계수를 곱해야 한다. **표7**를 참고한다.

주: 대형 장비 중 , 부하 불균일 경우에는 , **표7**의 접촉 계수를 참고하여야 한다.

표7 접촉계수 $f_c$

| 스플라인 축 베어링 수 | 접촉계수 $f_c$ |
|---|---|
| 2 | 0.81 |
| 3 | 0.72 |
| 4 | 0.66 |
| 5 | 0.61 |
| 통상사용 | 1 |

**$f_W$ : 부하계수**

왕복 운행하는 장비는 상당한 부하를 받게 된다. 이를 공식으로 계산을 할 수 있다. 실제 사용환경에서는 진동 혹은 충격을 받고 있으며 이러한 부하는 실제 계산값보다 크다.그래서 실제 작용되는 직성 시스템 부하로 가설하고 속도와 진동 영향이 크다는 정보 없이 기본 정격 하중($C_a$)과($C_0$) 를 나누어 표 8과 같이 . 경험으로 얻어낸 부하값 $f_W$ 이다.

표9 부하 계수 $f_W$

| 운행조건 | 사용속도 | $f_W$ |
|---|---|---|
| 매끄러운운행 충격없음 | V≤15m / min | 1~1.2 |
| 보통충격과 진동 | 15<V≤60m / min | 1.2~1.5 |
| 중급 충격과 진동 | 60<V≤120m / min | 1.5~2 |
| 강렬한 충격과 진동 | V>120m / min | 2~3.5 |

## 평균부하 계산

평균부하($P_m$) 는 . 베어링은 구동 시 각종 조건에 의해 변동이 될 때 , 변동 부하 조건하의 수명은 일정은 부하를 받게 된다. 기본적인 계산 방법은 아래와 같다.

$$P_m = \sqrt[3]{\frac{1}{L} \cdot \sum_{n=1}^{n} \left(P_n^3 \cdot L_n\right)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

$P_m$ 평균부하 ( $N$ )
$P_n$ 변화부하 ( $N$ )
$L$ 총구동거리 ( $mm$ )
$L_n$ $P_n$시의 운행거리 ( $mm$ )

**그림 18 과 같이 , 계단식 곡선을 이룰 때 . 평균 부하는 공식 12 으로 계산하여 산출 가능하다 .**

$$P_m = \sqrt[3]{\frac{1}{L}\left(P_1^3 \cdot L_1 + P_2^3 \cdot L_2 \cdots\cdots + P_n^3 \cdot L_n\right)} \cdots\cdots (12)$$

$P_m$ 평균부하 ( $N$ )
$P_n$ 변화부하 ( $N$ )
$L$ 총구동거리 ( $mm$ )
$L_n$ $P_n$시의 운행거리 ( $mm$ )

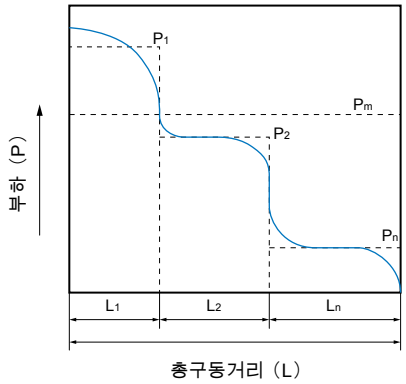



그림18. 계단식 변동 부하

**그림 19 과 같이 직선에 가까울 경우에 평균 부하 공식은 13 으로 계산하여 산출 가능하다 .**

$$P_m \fallingdotseq \frac{1}{3}\left(P_{min}+2\cdot P_{max}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$P_{min}$ 최소부하 ( $N$ )

$P_{max}$ 최대부하 ( $N$ )

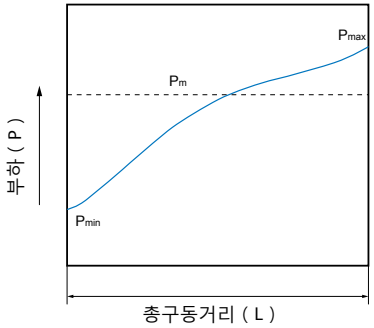



그림19. 직선에 가까운 변동 부하

**정현 곡선 시 , 두가지의 상황**

• 평균 부하의 변동 곡선은 **그림20**과 같다. **공식14**으로 계산하여 산출 가능하다.

$$P_m \fallingdotseq 0.65\,(P_{max}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

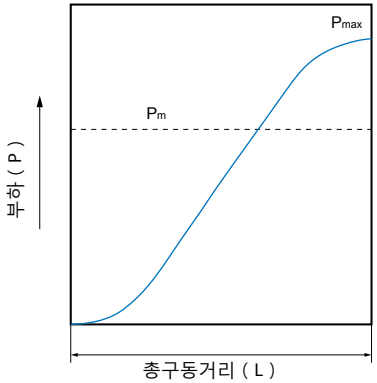



그림20. 정현 곡선 변동의 부하 (1)

• 평균부하의 변동 선은 도면 **21** 과 같다. **공식15** 으로 계산하여 산출가능하다.

$$P_m \fallingdotseq 0.55\,(P_{max}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (15)$$

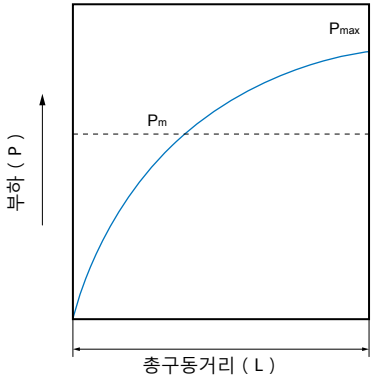



그림21. 정현 곡선변동의 부하 (2)

## 등가계수

**표9**는 각 형번 별 볼 스플라인이 토오크를 받아드리고 있을 때 등효 경방향 부하치수이다.

표10 볼 스플라인 등효 계수표

| 축경 | 등값계수 K | |
|---|---|---|
| | 단일 스플라인 베어링 | 2개 이상의 스플라인 베어링 |
| 16 | 0.21 | 0.035 |
| 20 | 0.17 | 0.028 |
| 25 | 0.15 | 0.023 |

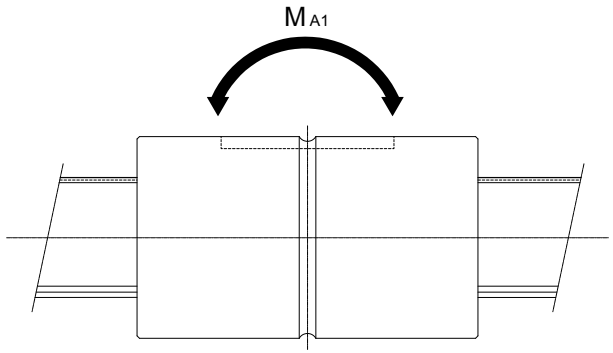



그림22. 1개의 스플라인 베어링

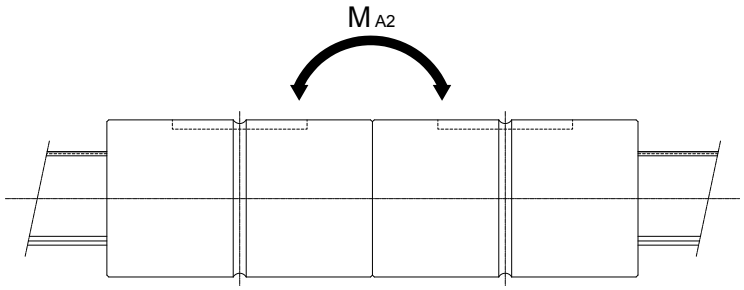



그림23. 두개의 스플라인 베어링

## 예압 선택

볼 스플라인의 예압은 정도 , 부하능력과 강성에 매우 큰 영향을 준다. 따라서 용도에 따라 적합한 간격 (예압)을 선택해야 한다. 각 형번의 간격값은 이미 규격화 되었으니 사용 조건에 맞춰 적합하게 선택하기를 추천한다.

### 회전방향 간격

원주방향의 간격의 총 합을 회전방향의 간격으로 하여 이를 규격화 한다.

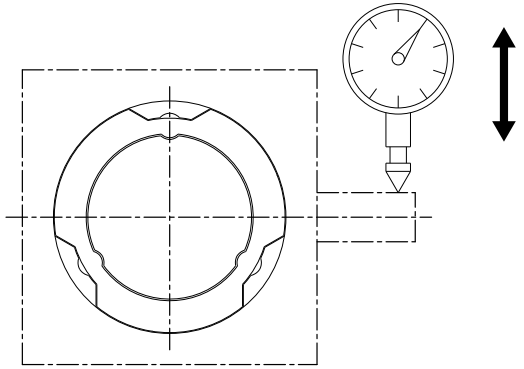


그림24. 회전방향 간격의 측정

## 예압과 강성

예압은 회전방향의 간격을 소멸시키고 강성을 향상시키는 목적이 있으며 볼에 적당한 하중을 준다. 예압을 추가하였을 때  볼 스플라인은 예압의 강도에 회전 방향의 간격을 소멸시키면서 강성은 높일 수 있다. **그림25**는 회전 토오크 추가 시의 회전 방향 위치 이동하는 것을 나타내고 있다. 최대 2.8배까지 예압 부하를 받을 있다. 무예압과 비교하면 , 동일한 토오크 시의 변위량은 절반이며 강성은 2배이상이다.

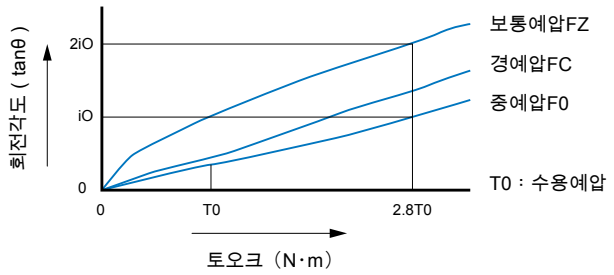



그림25. 예압부하와 회전각도관계그림

## 예압 선택 시에 사용 조건과 기준

**표10**중에서 볼 스플라인 사용 조건과 회전방향 간격의 선택 기준이 설명 되었다.

볼 스플라인의 회전방향 간격은 스플라인 베어링의 정도 혹은 강성에 큰 영향을 미친다.따라서 사용 용도에 있어 적합한 간격은 매우 중요하다. 통상적으로 예압이 있는 제품을 많이 사용하고 있다. 반복 회전 구동 혹은 반복 직전 구동을 하면서 진동충격이 발생하여 그에 맞는 예압이 적용이 되어야 제품의 수명과 정도를 상승시킬 수가 있다.

표10 볼 스플라인 회전 방향 간격의 선택 표준

| 흰전방향간격 | 사용조건 | 중점사용 |
|---|---|---|
| 표준간격 (FZ) | · 작은 힘으로 구동하는 장비<br>· 토오크가 한방향으로 작용하는 장비 | 각종 계측기 , 자동제도장비 , 형태측정기 , 원동기 , 권선기 , 자동용접기 , 연마장비 , 자동포장기 |
| 경예압 (FC) | · 벽에 매달려 하중을 받는 장비<br>· 반복 정밀도 적용이 되는 장비<br>· 변동되는 하중 적용이 되는 장비 | 공업용 로보트 ARM , 각종 자동하차장비 , 자동 페인트 가이드 축 , 폭죽가공주축 , 충압식 몰드 주축 , 드릴가공주축 |
| 중예압 (F0) | · 고강성 및 충경 발생이 있는 장비<br>· 1개의 스플라인 베어링으로 토오크를 받을 장비 | 건축차량의 회전조종레버 축 , 용접장비주축 , 자동공구분할주축 |

표11 볼 스플라인의 회전방향 간격

| 예압 / 축경 | 표준간격(FZ) | 경예압(FC) | 중예압(F0) |
|---|---|---|---|
| 16 | 0~1μm | 0~0.02C | 0.03~0.05C |
| 20 | 0~1μm | 0~0.02C | 0.03~0.05C |
| 25 | 0~2μm | 0~0.02C | 0.03~0.05C |

## 정도등급

볼 스플라인의 정도는 스플라인 축 베어링과 스플라인 축 지지축 부분의 흔들림으로 표시한다.
이를 표준급(N)、고급(H)、정밀급(P)으로 분류하며 측정 항목은 **그림26**과 같다.

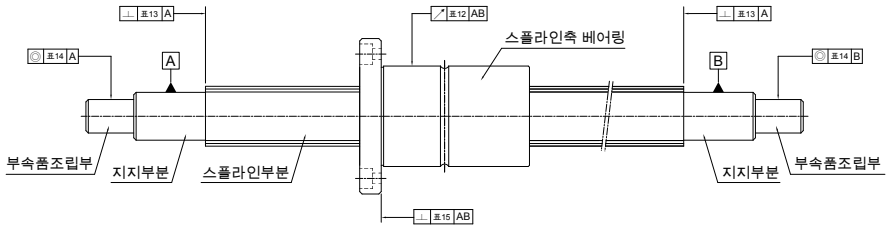



그림26. 볼 스플라인 정도 측정 항목

## 정도규격

볼 스플라인의 각 측정 항목 **표13~표16**과 같다.

표12 스플란 축 베어링 외경에서 축 지지부분의 최대 흔들림 양 단위: $\mu m$

| 정도 | | 정밀 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 축경 | | 16 , 20 | | | 25 | | |
| 축길이 | | 표준(N) | 고(H) | 정밀(P) | 표준(N) | 고(H) | 정밀(P) |
| 초과 | 이하 | | | | | | |
| - | 200 | 56 | 34 | 18 | 53 | 32 | 18 |
| 200 | 315 | 71 | 45 | 25 | 58 | 39 | 21 |
| 315 | 400 | 83 | 53 | 31 | 70 | 44 | 25 |
| 400 | 500 | 95 | 62 | 38 | 78 | 50 | 29 |
| 500 | 630 | 112 | - | - | 88 | 57 | 34 |
| 630 | 800 | - | - | - | 103 | 68 | 42 |

표13 스플라인부분의 축면과 스플라인 축 지지부분의 최대 수직도 단위: $\mu m$

| 정도 | 수직도 | | |
|---|---|---|---|
| 축경 | 표준급(N) | 고급(H) | 정밀도(P) |
| 16 | 27 | 11 | 8 |
| 20 | | | |
| 25 | 33 | 13 | 9 |

표14 부품 조립부분과 스플라인 축 지지부분의 최대 동심도 단위: $\mu m$

| 정도 | 동심도 | | |
|---|---|---|---|
| 축경 | 표준급(N) | 고급(H) | 정밀도(P) |
| 16 | 46 | 19 | 12 |
| 20 | | | |
| 25 | 53 | 22 | 13 |

표15 스플라인 축 베어링 플랜지의 조립면과 스플라인 축 지지부분의 최대 직각도 단위: $\mu m$

| 정도 | 수직도 | | |
|---|---|---|---|
| 축경 | 표준급(N) | 고급(H) | 정밀도(P) |
| 16 | 39 | 16 | 11 |
| 20 | | | |
| 25 | | | |

# 볼 스플라인 제품 설명

## 규격정의

**2-SLT-25-UU-F0-400-500-N-S**

- 축의형
  - S : 실심
  - H : 중공
- 정도등급
  - N : 보통
  - H : 고급
  - P : 정밀
- 축길이
- 스플라인 길이
- 예압등급
  - FZ : 보통간격
  - FC : 경예압
  - F0 : 중예압
- 방진부속품
  - UU : 양쪽 스크레이퍼
  - U : 한쪽 스크레이퍼
  - 표기안함-스크레이퍼 미포함
- 외경
- 형식
  - SLT : 원통형
  - SLF : 플랜지형
- 스플라인 너트수량

## 표준

볼 스플라인 SLT형은 1세트의 **표16**과같이 표준 스플라인이 포함 되어있다.

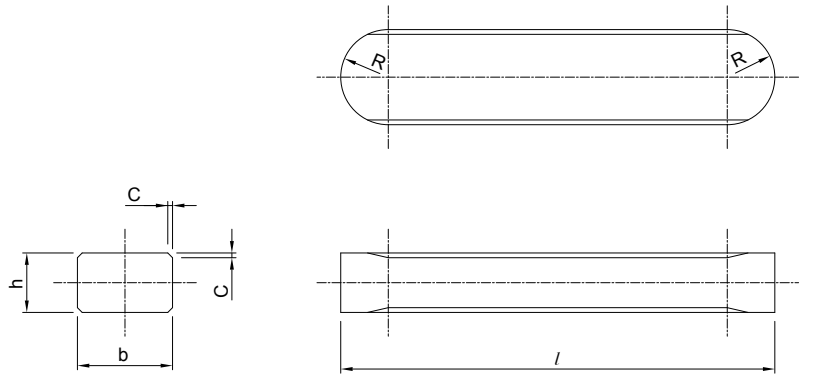
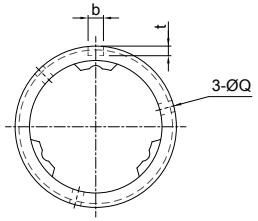


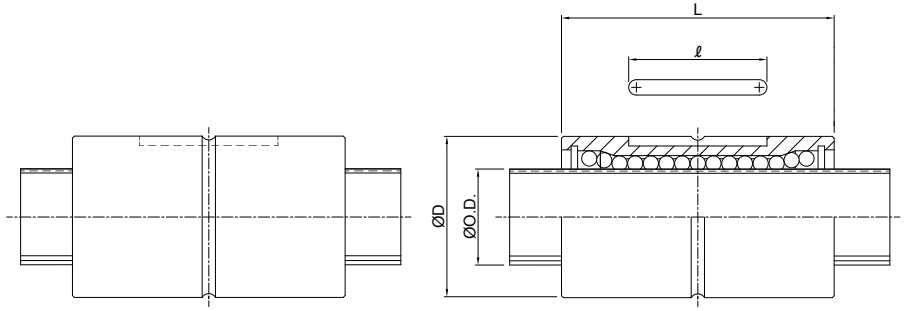

그림27. 스플라인 베어링의 홈

표16 SLT형 표준 단위: *mm*

| 축경 | 폭 | | 높이 | | 길이 | | R | C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | b | 공차(p7) | h | 공차(h9) | *l* | 공차(h12) | | |
| 16 | 3.5 | +0.024<br>+0.012 | 3.5 | 0<br>-0.030 | 17.5 | 0<br>-0.180 | 1.75 | 0.5 |
| 20 | 4 | | 4 | | 29 | 0<br>-0.210 | 2 | |
| 25 | 4 | | 4 | | 36 | 0<br>-0.250 | 2 | |

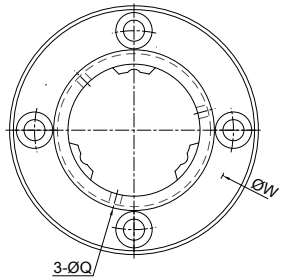
SLT 제품
BALL SPLINE
제품 사양 | 볼 스플라인

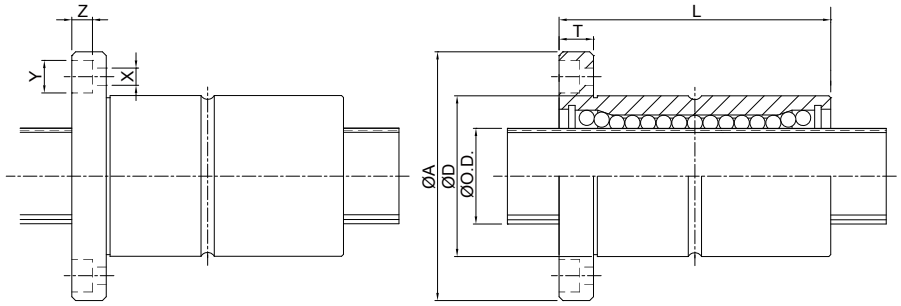



| 규격 | 사이즈 | | | | | | | | | | | 기본정격토오크 | | 기본정격하중 | | 정격허용토오크 | | 질량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 직경 | | 길이 | | 스플라인 홈 사이즈 | | | 윤활홀 | 축경 | 열수 | | | | | | | | | |
| | D | 공차 | L | 공차 | b | t | l | Q | O.D. | | | $C_T$ (N · m) | $C_{OT}$ (N · m) | Ca (kN) | Co (kN) | $M_{A1}$ (N · m) | $M_{A2}$ (N · m) | 너트 (g) | 스크류 (kg/m) |
| 16 | 31 | 0 -0.013 | 50 | 0 -0.2 | 3.5 | 2 | 17.5 | 3 | 16 | 3 | | 31.4 | 34.3 | 6.9 | 12.4 | 60 | 360 | 145 | 1.56 |
| 20 | 35 | 0 -0.016 | 63 | | 4 | 2.5 | 29 | 3 | 20 | 3 | | 56.8 | 55.8 | 10.1 | 17.8 | 120 | 720 | 200 | 2.44 |
| 25 | 42 | | 71 | 0 -0.3 | 4 | 2.5 | 36 | 3 | 25 | 3 | | 105 | 103 | 15.2 | 25.3 | 180 | 1140 | 276 | 3.82 |

SLF
제품
BALL SPLINE
제품 사양 | 볼 스플라인




| 규격 | 사이즈 | | | | | | | | | | | | | | 기본정격토오크 | | 기본정격하중 | | 정격허용토오크 | | 질량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 직경 | | 길이 | | 플랜지 치수 | | | 마운팅 홀 | | | | 윤활홀 | 축경 | 열수 | $C_T$ (N·m) | $C_{OT}$ (N·m) | Ca (kN) | Co (kN) | $M_{A1}$ (N·m) | $M_{A2}$ (N·m) | 너트 (g) | 스크류 (kg/m) |
| | D | 공차 | L | 공차 | T | A | 공차 | W | X | Y | Z | Q | O.D. | | | | | | | | | |
| 16 | 31 | 0 -0.013 | 50 | 0 -0.2 | 7 | 51 | 0 -0.2 | 40 | 4.5 | 8 | 4.5 | 3 | 16 | 3 | 31.4 | 34.3 | 6.9 | 12.4 | 60 | 360 | 207 | 1.56 |
| 20 | 35 | 0 -0.016 | 63 | | 9 | 58 | | 45 | 5.5 | 9.5 | 5.4 | 3 | 20 | 3 | 56.8 | 55.8 | 10.1 | 17.8 | 120 | 720 | 303 | 2.44 |
| 25 | 42 | | 71 | 0 -0.3 | 9 | 65 | | 52 | 5.5 | 9.5 | 5.4 | 3 | 25 | 3 | 105 | 103 | 15.2 | 25.3 | 180 | 1140 | 397 | 3.82 |

## SLT 형의 추천 축단 형태

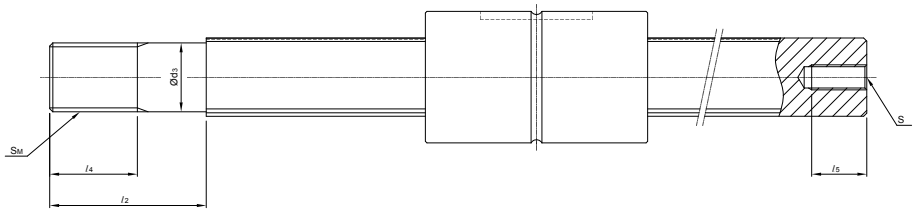



그림28. 축단 형태

표17 SLT형의 추천 축 단 형태 단위: *mm*

| 형번 | $d_3$ | 공차 | $l_2$ | $S_M$ | $l_4$ | $S\times l_5$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SLT 16 | 14 | 0<br>-0.018 | 30 | M14×1.5 | 18 | M6×10 |
| SLT 20 | 16 | | 38 | M16×1.5 | 22 | M8×15 |
| SLT 25 | 22 | 0<br>-0.021 | 50 | M22×1.5 | 28 | M10×18 |

## 설계원리

로타리 볼스플라인은 샤프트 외경에 3열로 된 볼스플라인 홈이 있으며 고딕아치형으로 설계되어 시계 방향과 시계 반대 방향에서 오는 토오크를 동시에 견딜 수 있는 설계로 강성도 향상되었으며 사용수명이 길어진다.

스플라인 너트 외경에는 특수베어링이 내장되어있다.스플라인 너트 회전 혹은 정지로 인해 동시에 2가지 모드(회전 , 직선)로 운행 할 수있다.

각 볼열은 스플라인 너트 내의 특수 합성 수지 리테이너를 통과하면서 지속적인 정렬 순환 운행을 하고 있어서 볼 스플라인 샤프트를 너트로부터 분리를 하더라도 볼은 빠지지 않는다.

## 특성

**향상된 위치 정도**

스플라인 나사산은 고딕아치형으로 설계되어 예압이 가해진 후에 회전방향 간격이 발생되지 않으므로 효과적으로 위치 정도 향상이 된다.

**소형화 설계**

스플라인 너트와 지지베어링의 일체화 구조는 볼스플라인 무게가 가벼워지며 소형화 및 경량화 설계를 실현케한다.

**조립 간편성**

볼스플라인 너트와 지지베어링은 일체형 스크류를 사용하여 스플라인 너트를 플러머블럭에 고정하는 방식으로 조립이 간편하다.

**지지베어링 고강성**

정밀 스플라인 측 지지베어링은 45도 접촉각으로 설계되어 작동 시 축방향과 직경방향에서 동일한 힘을 받게 된다.

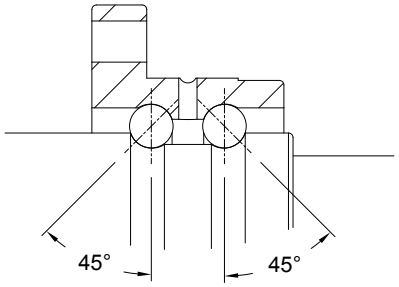



그림1. STRA 타입 접촉각

# 유형과 특징

## 스플라인 베어링의 유형

**스플라인 STRA 형**

스플라인 베어링와 지지베어링 일체형

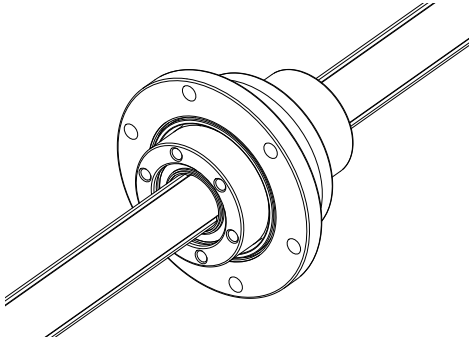


그림2. 볼 스플라인 STRA형

## 스플라인 축의 종류

**정밀 실심 스플라인 축**

스플라인 축의 구동 홈은 정밀 연삭 후 , 스플라인 축 베어링을 조합하여 사용한다.

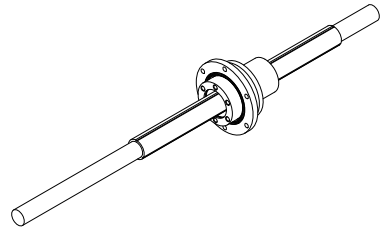


그림3. 정밀 실심 스플라인 축

**특수 스플라인 축**

스플라인 축단 혹은 중간 부분의 직경이 클 경우 , ***PMI*** 에서는 특수 가공 제작한다.

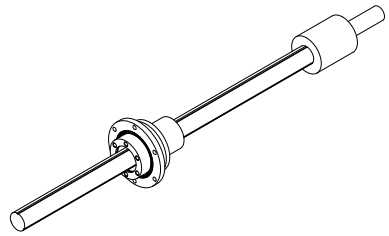


그림4. 특수 스플라인 축

**중공 스플라인 축**

장비 배치 , 연결 , 환기홀 혹은 중량감소 등 요구 시에 , 중공 스플라인 축을 사용한다.

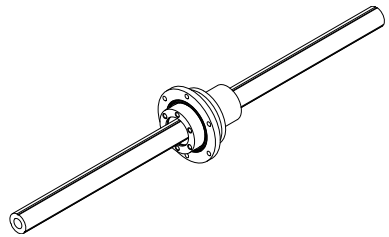


그림5. 중공 스플라인 축

## 회전식 볼 스플라인 제품 설명

### 규격정의

**2-STRA-25-UU-F0-400-500-N-S**

- 축의형식 — S : 실심 / H : 중공
- 정도등급 — N : 보통 / H : 고급 / P : 정밀
- 축길이
- 스플라인 길이
- 예압등급 — FZ : 표준간격 / FC : 경예압 / F0 : 중예압
- 방진부속품 — UU : 양쪽 스크레이퍼 / U : 한쪽 스크레이퍼 / 표기안됨-스크레이퍼 미포함
- 외경
- 형식
- 스플라인너트수량

### 정도정의

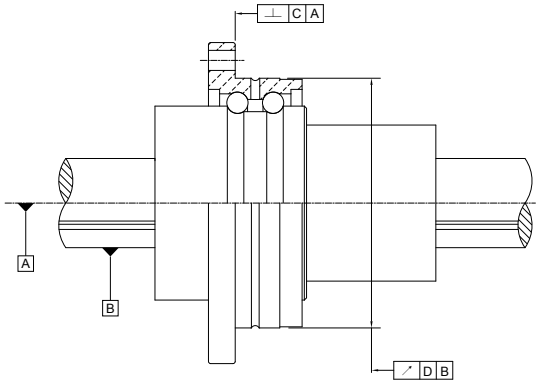



그림6. 정도정의

표1 정도정의 단위: *mm*

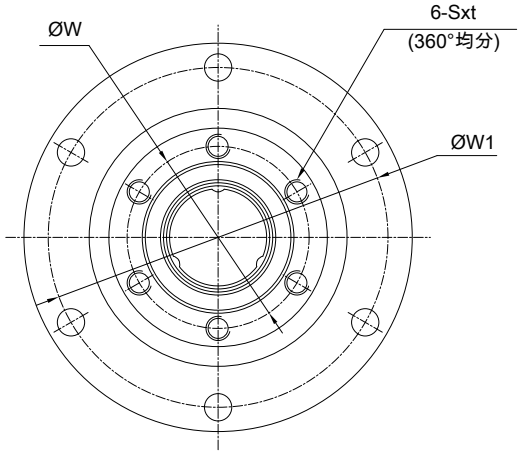
| 정도등급 | 표준(N) | | 고급(H) | | 정밀(P) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 규격 | C | D | C | D | C | D |
| STRA-1616 | 0.023 | 0.035 | 0.016 | 0.020 | 0.013 | 0.017 |
| STRA-2020 | 0.023 | 0.035 | 0.016 | 0.020 | 0.013 | 0.017 |
| STRA-2525 | 0.023 | 0.035 | 0.018 | 0.024 | 0.015 | 0.020 |

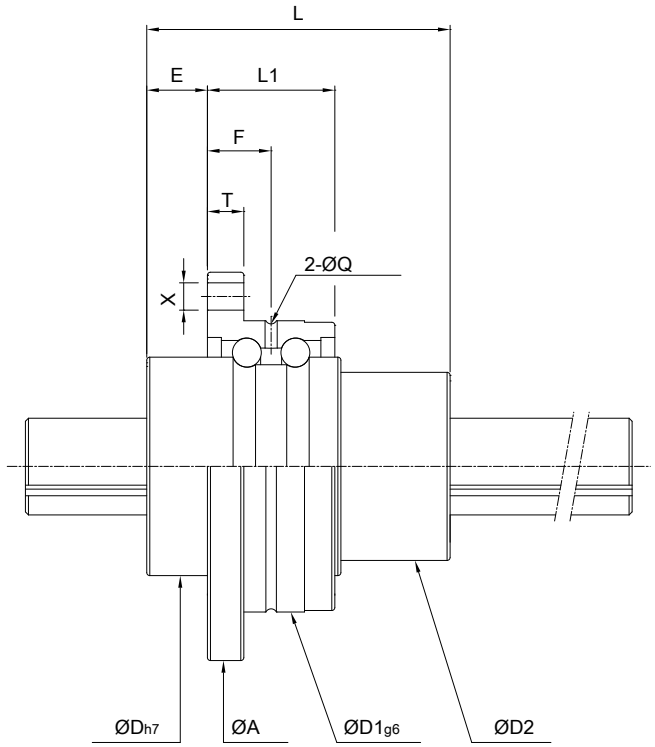
### 회전식 볼 스플라인의 허용 회전 속도

표2 STRA형의 허용회전속도

| 형번 | 허용회전속도 | | |
|---|---|---|---|
| | 볼 스플라인 부분 | 지지베어링부분 | |
| | 축길이에 의해 계산 | 유지윤활 | 윤활 |
| STRA 16 | 스플라인축의 임계 회전속도 참고 | 4000 | 5400 |
| STRA 20 | | 3600 | 4900 |
| STRA 25 | | 3200 | 4300 |

STRA




| 규격 | 치수 | | | | | | | | | | | | | | | 치수 | | 기본 정격 토오크 | | 기본 정격 하중 | | 정격 허용 모멘트 | 지지 베어링 기본 정격하중 | | 질량 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 직경 | 외경 | | | | 길이 | 플랜지 사이즈 | | | 볼트 | 오일 홀 위치 | 오일 홀 경 | E | L1 | | 축 직경 | 열 수 | $C_T$ (N·m) | $C_{OT}$ (N·m) | Ca (kN) | Co (kN) | $M_A$ (N·m) | Ca (kN) | Co (kN) | 너트 (kg) | 샤프트 (kg/m) |
| | $D1_{g6}$ | $D_{h7}$ | W | S × t | D2 | L | A | T | $W_1$ | X | F | Q | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 48 | 36 | 30 | M4×0.7P×6 | 31 | 50 | 64 | 6 | 56 | 4.5 | 10.5 | 2 | 10 | 21 | | 16 | 3 | 31.4 | 34.3 | 6.9 | 12.4 | 60 | 6.74 | 6.36 | 0.33 | 1.56 |
| 20 | 56 | 43.5 | 36 | M5×0.8P×8 | 35 | 63 | 72 | 6 | 64 | 4.5 | 10.5 | 2 | 12 | 21 | | 20 | 3 | 56.8 | 55.8 | 10.1 | 17.8 | 120 | 7.49 | 8.16 | 0.48 | 2.44 |
| 25 | 66 | 52 | 44 | M5×0.8P×8 | 42 | 71 | 86 | 7 | 75 | 5.5 | 12.5 | 2 | 13 | 25 | | 25 | 3 | 105 | 103 | 15.2 | 25.3 | 180 | 9.45 | 10.65 | 0.75 | 3.82 |

## 정도에 근거하여 제작가능한 최대길이를 확정한다

### 표3정도에 근거하여 제작 가능한 최대길이를 결정한다

표3 정도에 근거하여 제작가능한 최대길이를 확정한다 단위: *mm*

| 샤프트 표준 직경 | 정밀도 | | |
|---|---|---|---|
| | 표준 사양 (N) | 고급 사양 (H) | 정밀사양(P) |
| 16 | 630 | 500 | 500 |
| 20 | 630 | 500 | 500 |
| 25 | 800 | 800 | 800 |

주: 표에서 길이는 스플라인 샤프트 길이다.

주: 표준 중공 스플라인 샤프트 제작 가능 길이는 표의 정밀급 길이를 참고한다.