



볼나사

THK 종합 카탈로그

볼나사

THK 종합 카탈로그

B 기술해설

특징과 분류	B 15-6	볼나사 선정에	B 15-69
볼나사의 특징.....	B 15-6	· 고속 반송장치(수평 사용).....	B 15-69
· 미끄럼나사에 비해 구동토크가 1/3로 감소..	B 15-6	· 수직 반송장치.....	B 15-83
· 구동토크 산출예.....	B 15-8	옵션	B 15-95
· 고정도를 보증한다.....	B 15-9	방진.....	B 15-96
· 미동이송이 가능.....	B 15-10	윤활.....	B 15-97
· 백래쉬가 작고 강성이 높다.....	B 15-11	방정(표면처리 등).....	B 15-97
· 고속 이송이 가능.....	B 15-12	볼나사용 방진씰.....	B 15-98
볼나사의 종류.....	B 15-14	와이퍼 링 W.....	B 15-99
선정 포인트	B 15-16	볼나사용 방진 커버.....	B 15-101
볼나사 선정 플로우 차트.....	B 15-16	윤활장치 QZ.....	B 15-102
볼나사의 정도.....	B 15-19	장착 순서와 메인터너스	B 15-104
· 리드 정도.....	B 15-19	장착 순서.....	B 15-104
· 장착부 정도.....	B 15-22	· 서포트 유니트 장착.....	B 15-104
· 축방향 클리어런스.....	B 15-27	· 테이블 및 베이스에 조립.....	B 15-104
· 예압.....	B 15-28	· 정도 확인 및 체결.....	B 15-105
· 예압토크 산출예.....	B 15-31	· 모터와 연결.....	B 15-105
나사축의 선정.....	B 15-32	메인터너스 방법.....	B 15-106
· 나사축의 제작 한계길이.....	B 15-32	· 윤활량.....	B 15-106
· 정밀 볼나사의 축경과 리드 표준조합.....	B 15-34	호칭형번	B 15-107
· 전조 볼나사의 축경과 리드 표준조합.....	B 15-35	· 호칭형번의 구성예.....	B 15-107
볼나사 축의 장착방법.....	B 15-36	· 발주 시의 주의점.....	B 15-111
허용 축방향 하중.....	B 15-38	취급상의 주의사항	B 15-112
허용회전수.....	B 15-40	볼나사용 옵션 취급시 주의사항.....	B 15-114
너트의 선정.....	B 15-43	· 볼나사용 윤활장치QZ.....	B 15-114
· 너트의 종류.....	B 15-43		
형번의 선정.....	B 15-46		
· 축방향 하중의 산출.....	B 15-46		
· 정적안전계수.....	B 15-47		
· 수명검토.....	B 15-48		
강성검토.....	B 15-51		
· 이송 나사계의 축방향 강성.....	B 15-51		
위치결정정도의 검토.....	B 15-55		
· 위치결정정도의 오차원인.....	B 15-55		
· 리드 정도의 검토.....	B 15-55		
· 축방향 클리어런스의 검토.....	B 15-55		
· 이송 나사계의 축방향 강성 검토.....	B 15-57		
· 이송나사계의 강성 검토 예.....	B 15-57		
· 발열에 의한 열변위 검토.....	B 15-59		
· 주행중의 자세변화 검토.....	B 15-60		
회전 토크 검토.....	B 15-61		
· 외부하중에 의한 마찰 토크.....	B 15-61		
· 볼나사의 예압에 의한 토크.....	B 15-62		
· 가속에 필요한 토크.....	B 15-63		
· 볼나사 축끝단 강도의 검토.....	B 15-64		
구동모터 검토.....	B 15-66		
· 서보모터를 사용하는 경우.....	B 15-66		
· 스텝핑 모터(펄스 모터)를 사용하는 경우..	B 15-68		

A 제품해설 (별도)

볼나사의 종류..... A15-6

선정 포인트..... A15-8

볼나사 선정 플로우 차트..... A15-8

볼나사의 정도..... A15-11

• 리드 정도..... A15-11

• 장착부 정도..... A15-14

• 축방향 클리어런스..... A15-19

• 예압..... A15-20

나사축의 선정..... A15-24

• 나사축의 제작 한계길이..... A15-24

• 정밀 볼나사의 축경과 리드 표준조합..... A15-26

• 전조 볼나사의 축경과 리드 표준조합..... A15-27

볼나사 축의 장착방법..... A15-28

허용 축방향 하중..... A15-30

허용회전수..... A15-32

너트의 선정..... A15-35

• 너트의 종류..... A15-35

형변의 선정..... A15-38

• 축방향 하중의 산출..... A15-38

• 정적안전계수..... A15-39

• 수명검토..... A15-40

강성검토..... A15-43

• 이송 나사계의 축방향 강성..... A15-43

위치결정정도의 검토..... A15-47

• 위치결정정도의 오차원인..... A15-47

• 리드 정도의 검토..... A15-47

• 축방향 클리어런스의 검토..... A15-47

• 이송 나사계의 축방향 강성 검토..... A15-49

• 발열에 의한 열변위 검토..... A15-51

• 주행중의 자세변화 검토..... A15-52

회전 토크 검토..... A15-53

• 외부하중에 의한 마찰 토크..... A15-53

• 볼나사의 예압에 의한 토크..... A15-54

• 가속에 필요한 토크..... A15-55

• 볼나사 축끝단 강도의 검토..... A15-56

구동모터 검토..... A15-58

• 서보모터를 사용하는 경우..... A15-58

• 스탭핑 모터(펄스 모터)를 사용하는 경우..... A15-60

각 형변의 특징..... A15-61

SBN형, SBK형, SDA형, HBN형, SBKH형..... A15-62

• 구조와 특징..... A15-63

• 볼리데이너 효과..... A15-63

• 종류와 특징..... A15-66

• HBN형, SBKH형의 조립예..... A15-68

치수도, 치수표

SBN형..... A15-70

SBK형..... A15-74

SDA형..... A15-78

HBN형..... A15-80

SBKH형..... A15-82

표준재고 BIF형 MDK형 MBF형 BNF형..... A15-84

• 구조와 특징..... A15-85

• 종류와 특징..... A15-86

• 너트 형식과 축방향 클리어런스..... A15-88

치수도, 치수표

축단미가공품..... A15-90

표준재고 BNK형..... A15-112

• 특징..... A15-113

• 종류와 특징..... A15-113

• 축단 완성품의 종류와 서포트 유닛, 너트 브라켓 대응표..... A15-114

치수도, 치수표

BNK0401-3 축경:4, 리드:1..... A15-116

BNK0501-3 축경:5, 리드:1..... A15-118

BNK0601-3 축경:6, 리드:1..... A15-120

BNK0801-3 축경:8, 리드:1..... A15-122

BNK0802-3 축경:8, 리드:2..... A15-124

BNK0810-3 축경:8, 리드:10..... A15-126

BNK1002-3 축경:10, 리드:2..... A15-128

BNK1004-2.5 축경:10, 리드:4..... A15-130

BNK1010-1.5 축경:10, 리드:10..... A15-132

BNK1202-3 축경:12, 리드:2..... A15-134

BNK1205-2.5 축경:12, 리드:5..... A15-136

BNK1208-2.6 축경:12, 리드:8..... A15-138

BNK1402-3 축경:14, 리드:2..... A15-140

BNK1404-3 축경:14, 리드:4..... A15-142

BNK1408-2.5 축경:14, 리드:8..... A15-144

BNK1510-5.6 축경:15, 리드:10..... A15-146

BNK1520-3 축경:15, 리드:20..... A15-148

BNK1616-3.6 축경:16, 리드:16..... A15-150

BNK2010-2.5 축경:20, 리드:10..... A15-152

BNK2020-3.6 축경:20, 리드:20..... A15-154

BNK2520-3.6 축경:25, 리드:20..... A15-156

BIF형 DIK형 BNFN형 DKN형 BLW형 BNF형

DK형 MDK형 WHF형 BLK/WGF형 BNT형..... A15-158

• 구조와 특징..... A15-159

• 종류와 특징..... A15-163

치수도, 치수표

정밀 볼나사 예압 타입..... A15-166

정밀 볼나사 무예압 타입..... A15-200

정밀 볼나사 무예압 타입(각형 너트) ... A15-230
 • 호칭형변의 구성에 A15-232

DIR형 BLR형 A15-234
 • 구조와 특징 A15-235
 • 종류 A15-237
 • 정도규격 A15-238
 • 장착 예 A15-240

치수도, 치수표
 DIR형 표준 리드 너트회전 볼나사 A15-242
 BLR형 대리드 너트회전 정밀 볼나사 ... A15-244
 • 로터리 볼나사의 허용회전수 A15-246

BNS-A형 BNS형 NS-A형 NS형 ... A15-248
 • 구조와 특징 A15-249
 • 종류 A15-250
 • 정도규격 A15-251
 • 동작 패턴 A15-252
 • 조립 예 A15-255
 • 사용예 A15-256
 • 사용상의 주의 A15-257

치수도, 치수표
 BNS-A형 콤팩트 타입: 직선운동+회전운동 .. A15-258
 BNS형-重하중 타입: 직선운동+회전운동 .. A15-260
 NS-A형 콤팩트 타입: 직선운동 A15-262
 NS형-중하중 타입: 직선운동 A15-264

JPF형 BTK-V형 MTF형 WHF형 BLK/WTF형 CNF형 BNT형 .. A15-266
 • 구조와 특징 A15-267
 • 종류와 특징 A15-268

치수도, 치수표
 전조 볼나사 예압 타입 A15-272
 전조 볼나사 무예압 타입 A15-274
 전조 볼나사 무예압 타입(각형 너트) ... A15-280
 • 호칭형변의 구성에 A15-282

MTF형 A15-284
 • 구조와 특징 A15-285
 • 종류와 특징 A15-285

치수도, 치수표
 축단미가공품 전조볼나사 MTF형 A15-286

BLR형 A15-288
 • 구조와 특징 A15-289
 • 종류 A15-289

• 정도규격 A15-290
 • 장착예 A15-291

치수도, 치수표
 BLR형 대리드 너트회전 전조 볼나사 ... A15-294
 • 볼나사 축의 제작한계 길이 A15-296

볼나사 주변기기 A15-299
EK형 BK형 FK형 EF형 BF형 FF형 .. A15-300
 • 구조와 특징 A15-300
 • 종류 A15-302
 • 서포트 유니트의 종류와 적용 나사축 외경 .. A15-303
 • 베어링 형변과 특성치 A15-304
 • 장착예 A15-305
 • 장착 순서 A15-306
 • 축단 권장 형상의 종류 A15-308

치수도, 치수표
 EK형 서포트 유니트 고정축 각형 A15-310
 BK형 서포트 유니트 고정축 각형 A15-312
 FK형 서포트 유니트 고정축 환형 A15-314
 EF형 서포트 유니트 지지축 각형 A15-318
 BF형 서포트 유니트 지지축 각형 A15-320
 FF형 서포트 유니트 지지축 환형 A15-322
 축단의 권장 형상B형(H1, H2, H3)(서포트 유니트 FK형, EK형용) .. A15-324
 축단의 권장 형상J형(J1, J2, J3)(서포트 유니트 BK형용) .. A15-326
 축단의 권장 형상 K형(서포트 유니트 FF형, EF형, BF형용) .. A15-328

MC형 A15-330
 • 구조와 특징 A15-330
 • 종류 A15-330

치수도, 치수표
 너트 브라켓 A15-331

RN형 A15-332
 • 구조와 특징 A15-332
 • 종류 A15-332

치수도, 치수표
 로크 너트 A15-333

읍션 A15-335
 방진 A15-336
 윤활 A15-337
 방청(표면처리 등) A15-337
 볼나사용 방진씰 A15-338
 와이퍼 링 W A15-339
 볼나사용 방진 커버 A15-341

윤활장치 QZ	A15-342
각 형번의 옵션 장착 후 치수.....	A15-344
• 와이퍼 링 W, 윤활장치 QZ 장착 후 볼나사 너트 치수 ..	A15-344
• 자바라 사양서.....	A15-352
호칭형번	A15-353
• 호칭형번의 구성예	A15-353
• 발주 시의 주의점	A15-357
취급상의 주의사항	A15-358
볼나사용 옵션 취급시 주의사항.....	A15-360
• 볼나사용 윤활장치QZ.....	A15-360

볼나사의 특징

미끄럼나사에 비해 구동토크가 1/3로 감소

볼나사는 나사축과 너트 사이에서 볼이 구름운동을 하기 때문에 높은 효율이 얻어지며 종래의 미끄럼 나사에 비하여 구동 토크가 1/3 이하입니다. (그림1, 그림2)따라서, 회전운동을 직선운동으로 변환하는 것뿐만 아니라 직선운동을 회전운동으로 변환하는 것도 쉽게 가능합니다.

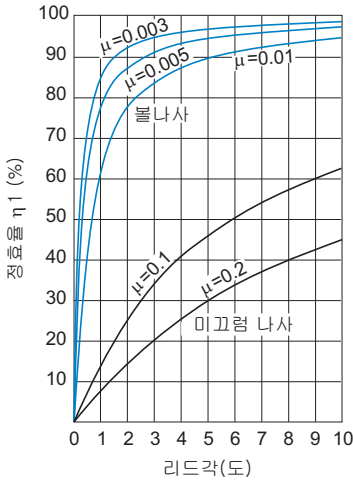


그림1 정효율(회전→직선)

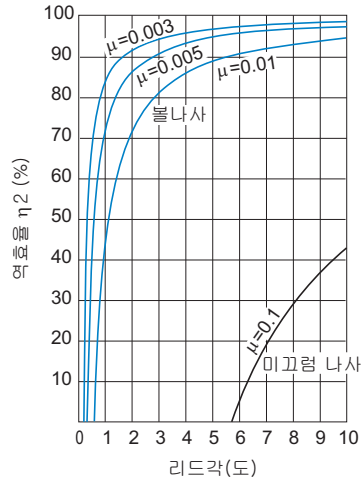


그림2 역효율(직선→회전)

【리드각 산출】

$$\tan\beta = \frac{Ph}{\pi \cdot d_p}$$

- β : 리드각 (°)
- d_p : 볼 중심경 (mm)
- Ph : 이송 나사 리드 (mm)

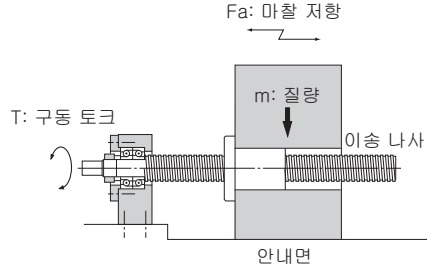
【추력과 토크의 관계】

추력 및 토크를 부여했을 때의 발생토크, 발생추력은 식(1) ~ (3)에 의해 구해집니다.

● 추력을 얻기 위한 구동토크

$$T = \frac{F_a \cdot Ph}{2\pi \cdot \eta_1} \dots\dots(1)$$

- T : 구동토크 (N·mm)
- Fa : 안내면의 마찰저항 (N)
- Fa = μ × mg
- μ : 안내면의 마찰계수
- g : 중력가속도 (9.8 m/s²)
- m : 반송물의 질량 (kg)
- Ph : 이송 나사 리드 (mm)
- η1 : 이송 나사의 정효율 (B15-6그림1 참조)



● 토크를 부여했을 때의 발생추력

$$F_a = \frac{2\pi \cdot \eta_1 \cdot T}{Ph} \dots\dots(2)$$

- Fa : 발생추력 (N)
- T : 구동토크 (N·mm)
- Ph : 이송 나사 리드 (mm)
- η1 : 이송 나사의 정효율 (B15-6그림1 참조)

● 추력을 부여했을 때의 발생토크

$$T = \frac{Ph \cdot F_a}{2\pi \cdot \eta_2} \dots\dots(3)$$

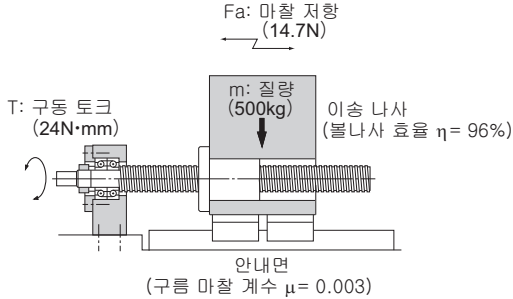
- T : 발생토크 (N·mm)
- Fa : 입력추력 (N)
- Ph : 이송 나사 리드 (mm)
- η2 : 이송 나사의 역효율 (B15-6그림2 참조)

구동토크 산출예

질량 500kg의 물체를 유효경 : 33 mm, 리드 : 10mm (리드각 : 5°30')의 나사로 움직일 때 필요한 토크는 아래와 같습니다.

구름안내 ($\mu = 0.003$)

볼나사 ($\mu = 0.003$ 의 효율 $\eta = 0.96$)



안내면의 마찰저항

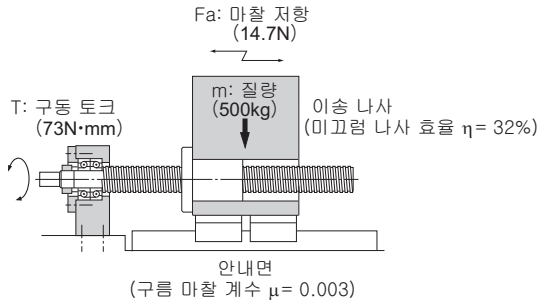
$$F_a = 0.003 \times 500 \times 9.8 = 14.7\text{N}$$

구동 토크

$$T = \frac{14.7 \times 10}{2\pi \times 0.96} = 24 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

구름안내 ($\mu = 0.003$)

미끄럼 나사 ($\mu = 0.2$ 의 효율 $\eta = 0.32$)



안내면의 마찰저항

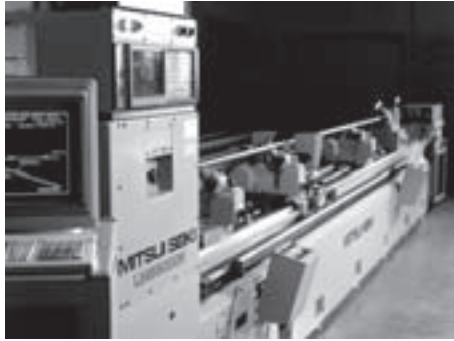
$$F_a = 0.003 \times 500 \times 9.8 = 14.7\text{N}$$

구동 토크

$$T = \frac{14.7 \times 10}{2\pi \times 0.32} = 73 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

고정도를 보증한다

볼나사는 엄격하게 온도관리된 공장에서 최고수준의 설비기계에 의해서 연삭, 조립, 검사에 이르기까지 철저한 품질관리 체제하에서 정도보증이 되고 있습니다.



레이저를 이용한 자동 리드 측정기

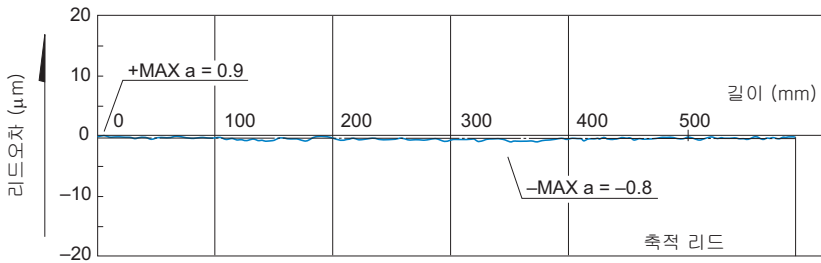


그림3 리드 정도 측정 데이터

[사용조건]

호칭형번: BIF3205-10RRG0+903LC2

표1 리드 정도 측정 데이터 단위: mm

항목	규격치	실측치
방향성 목표치	0	—
대표이동량오차	±0.011	-0.0012
변동	0.008	0.0017

미동이송이 가능

볼나사는 볼에 의한 구름운동을 하기 때문에 기동 토크가 극히 적고 미끄럼 운동의 경우처럼 스틱 슬립을 일으키지 않으므로, 정확한 미동이송이 가능합니다.

그림4는 볼나사로 1펄스당 $0.1\mu\text{m}$ 이송시켰을 때의 이동량입니다. (안내면은 LM 가이드 사용)

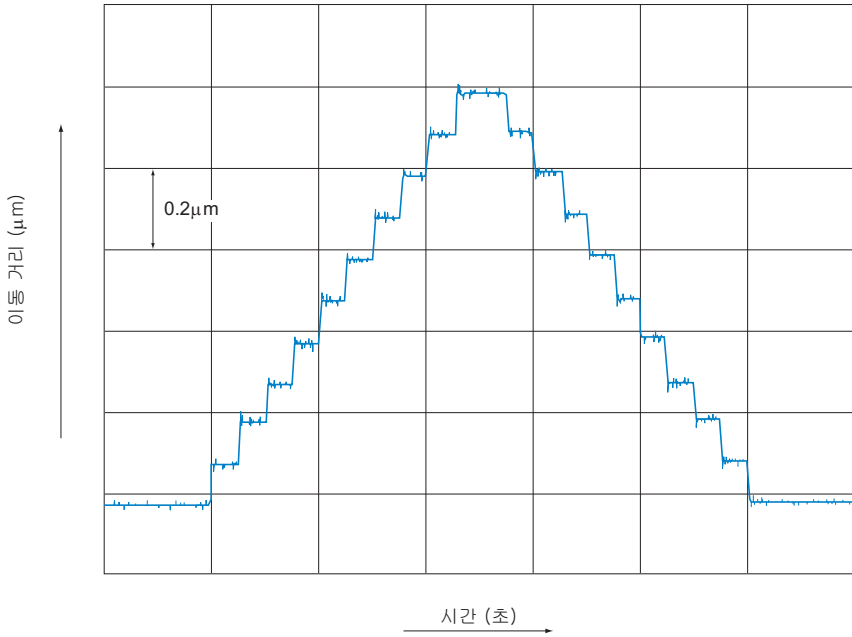


그림4 $0.1\mu\text{m}$ 이송에서의 이동 데이터

백래쉬가 적고 강성이 높다

볼나사는 예압을 부여할 수 있으므로, 축방향 클리어런스를 제로 이하로 줄일 수 있으며, 예압으로 인해 고강성을 얻을 수 있습니다. 그림5에서, 축방향 하중이 정(+) 방향으로 가해진 경우, 테이블은 같은 (+) 방향으로 변위됩니다. 축방향 하중이 역(-) 방향으로 가해진 경우, 테이블은 같은 (-) 방향으로 변위됩니다. 그림6은 축방향 하중과 축방향 변위량의 관계를 보여줍니다. 그림6에 나타난 것과 같이, 축방향 하중의 방향이 변경되면, 축방향 클리어런스가 변위량으로서 발생합니다. 또, 축방향 클리어런스가 제로인 경우에 예압을 가하면 강성이 높아져 축방향 변위량은 작아집니다.

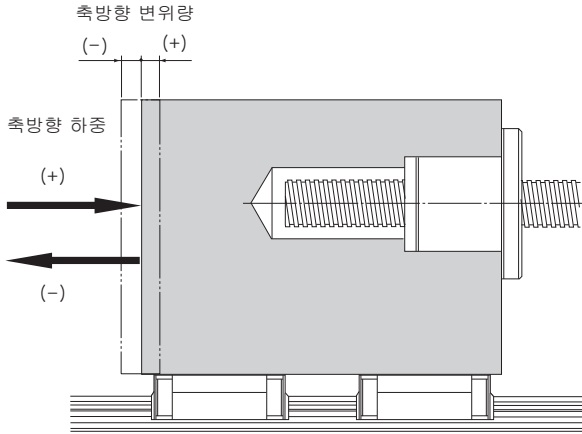


그림5

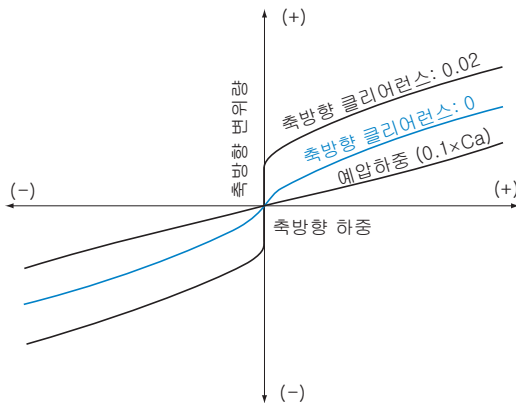


그림6 축방향 하중에 대한 축방향 변위량

고속 이송이 가능

볼나사는 효율이 높고 열발생이 적으므로, 고속 이송이 가능합니다.

【고속예】

그림7은 2m/s에서 대리드 전조 볼나사를 사용한 경우의 속도선도를 나타냅니다.

[사용조건]

항목	내용
시료	대리드 전조 볼나사 WTF3060 (축경: 30mm; 리드: 60mm)
최대 속도	2m/s (볼나사 회전수: 2,000 min ⁻¹)
안내면	LM 가이드 SR25W

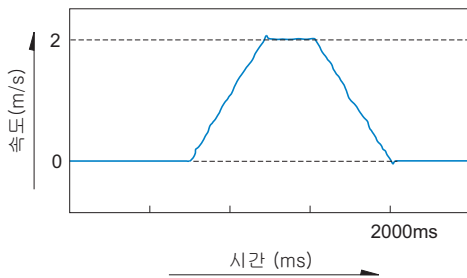


그림7 속도선도

【발열예】

그림8의 동작패턴으로 볼나사를 사용한 경우의 나사축의 발열 데이터를 그림9에 나타냅니다.

[사용조건]

항목	내용
시료	더블너트 정밀 볼나사 BIF4010-5 (축경: 40 mm; 리드: 10 mm; 예압하중: 2,700 N)
최대 속도	0.217m/s (13m/min) (볼나사 회전수: 1300 min ⁻¹)
저속도	0.0042m/s (0.25m/min) (볼나사 회전수: 25 min ⁻¹)
안내면	LM 가이드 HSR35CA
윤활제	리튬계 그리스 (No. 2)

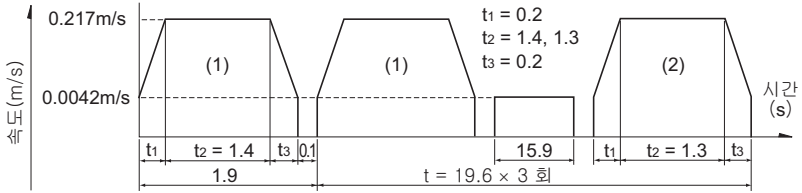


그림8 동작 패턴

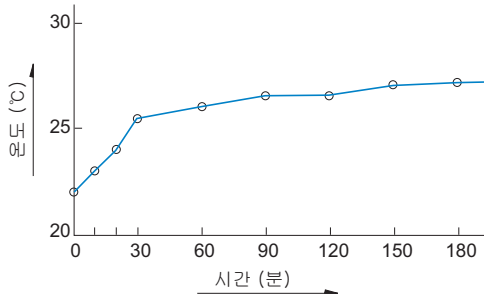
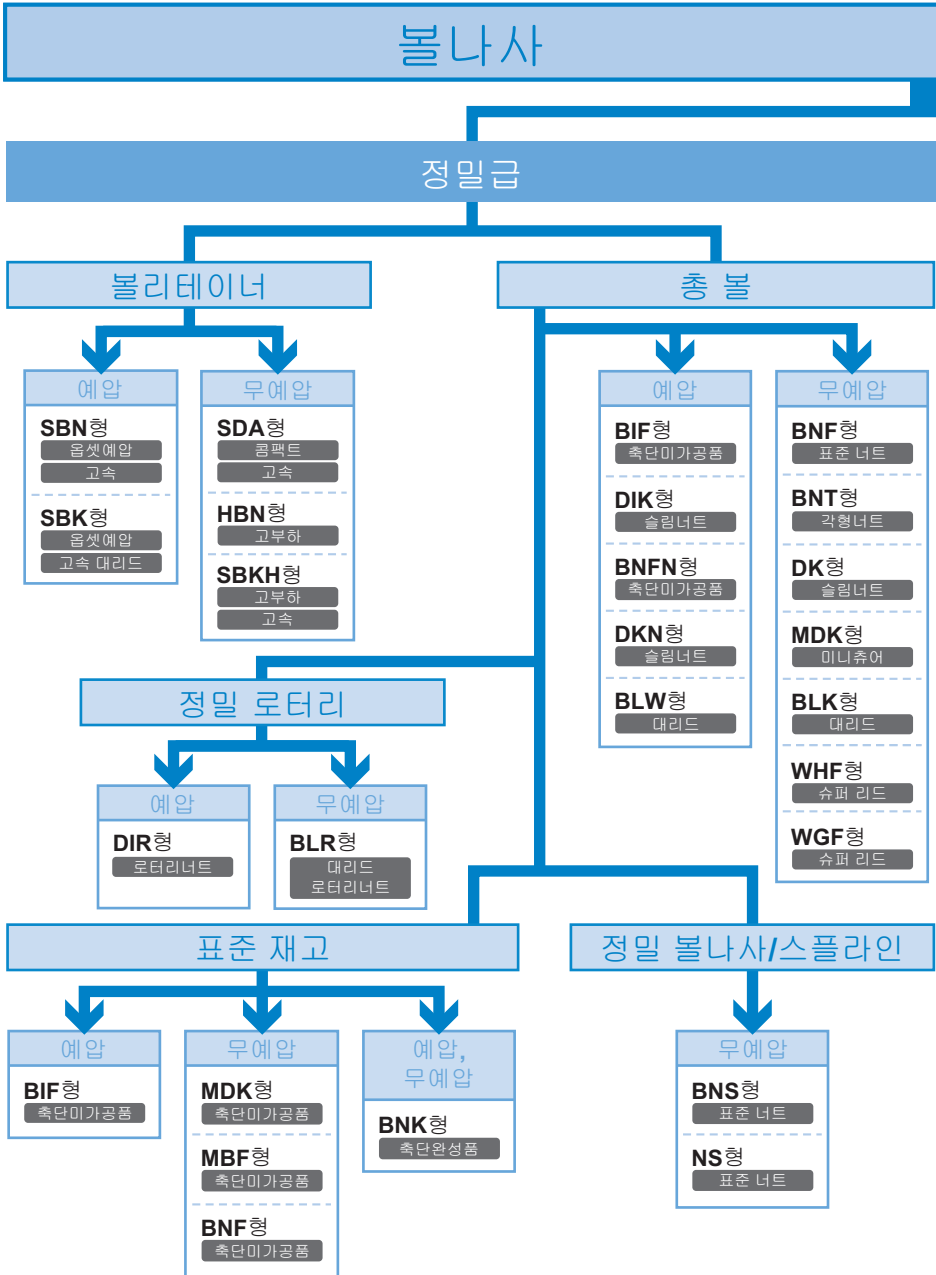
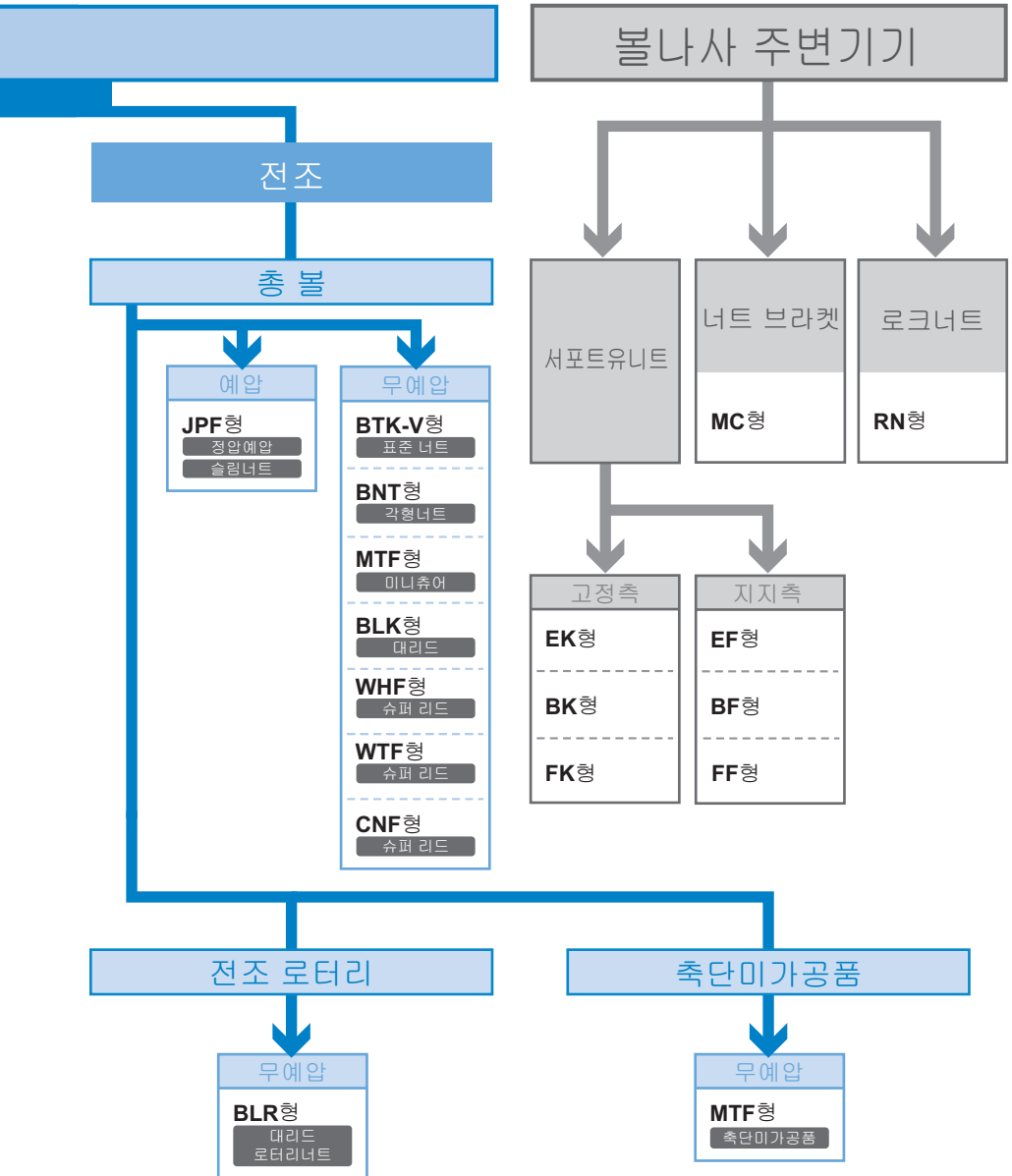


그림9 볼나사 발열 데이터

볼나사의 종류



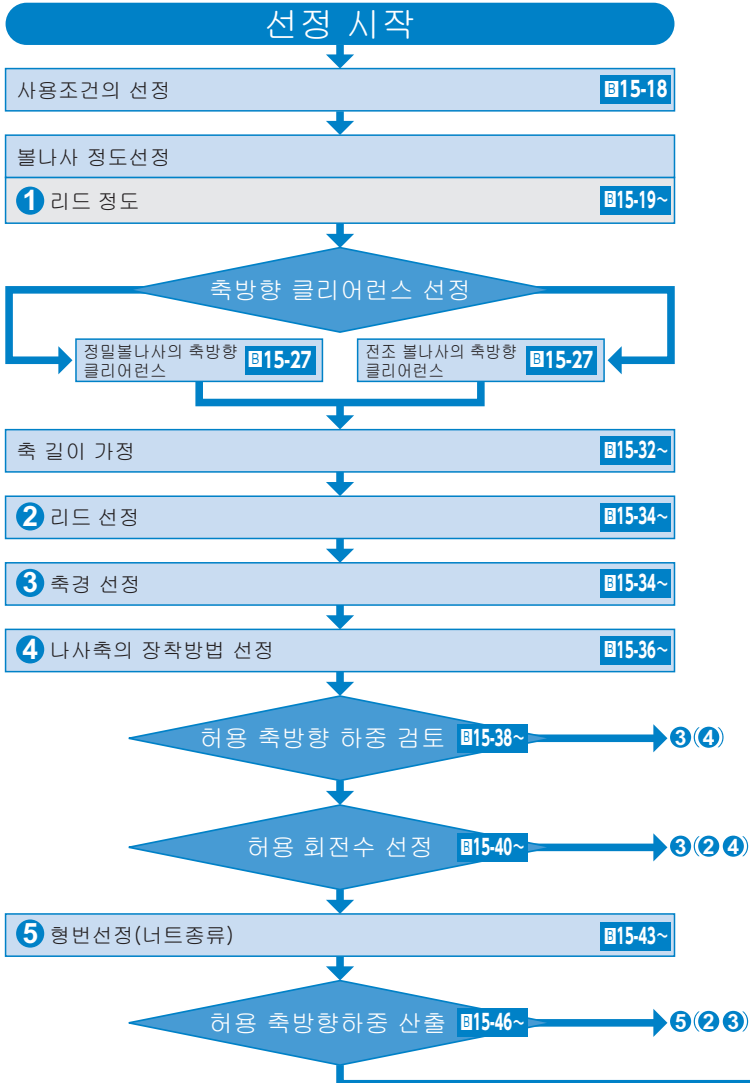


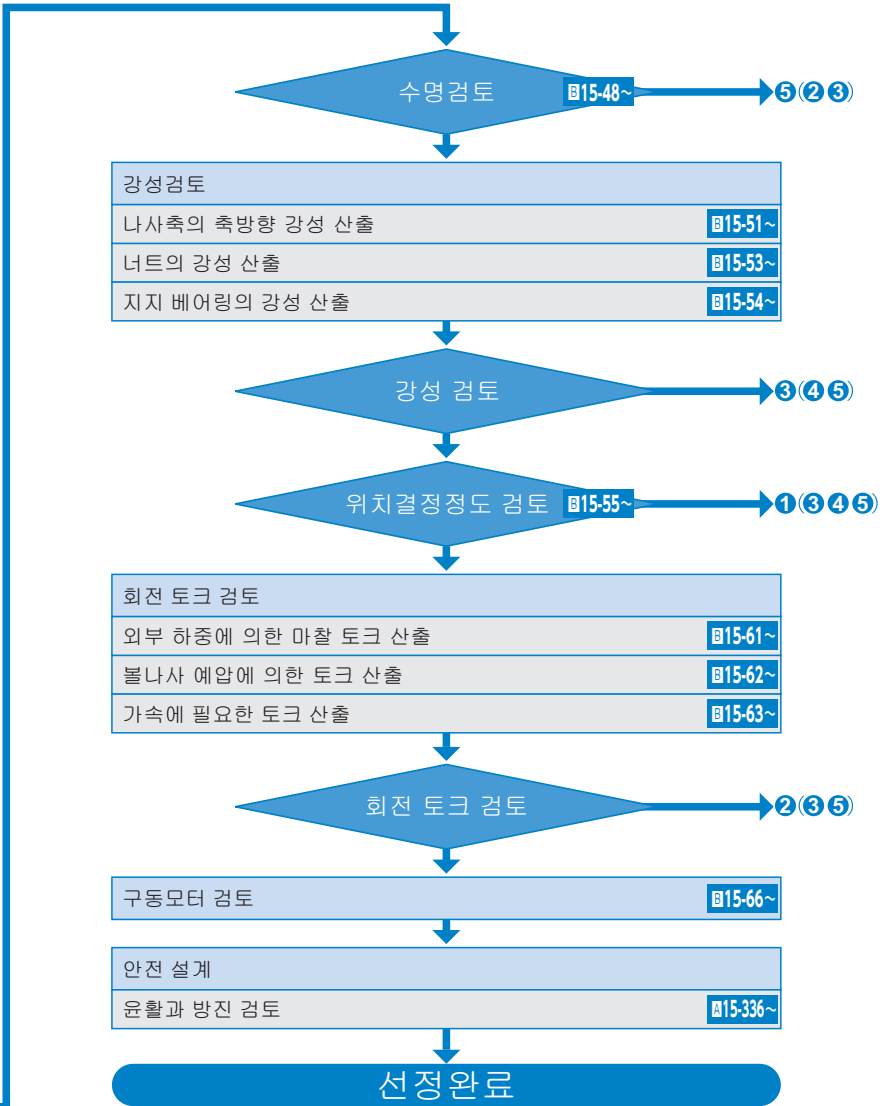
볼나사

볼나사 선정 플로우 차트

【볼나사 선정순서】

볼나사를 선정할 때에는, 다양한 각도로부터 선정할 필요가 있습니다. 다음은 볼나사를 선정하기 위한 측정 기준으로서의 플로우 차트입니다.



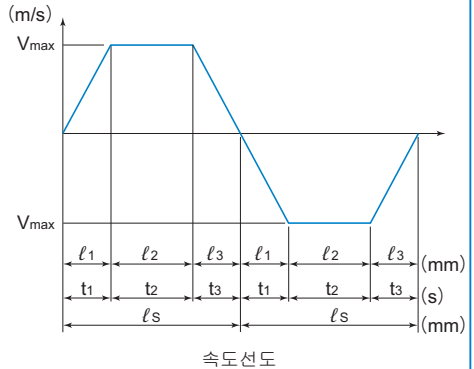


[볼나사의 사용조건]

다음 조건은 볼나사를 선정할 때에 필요한 조건입니다.

반송방향	(수평, 수직 등)
반송질량	m (kg)
테이블 안내방법	(미끄럼, 구름)
안내면 마찰계수	μ (—)
안내면의 저항	f(N)
축방향 외부 하중	F (N)
희망수명시간	L_h (h)

스트로크 길이	l_s (mm)
사용 속도	V_{max} (m/s)
가속 시간	t_1 (s)
등속 시간	t_2 (s)
감속 시간	t_3 (s)
가속도	$\alpha = \frac{V_{max}}{t_1}$ (m/s ²)
가속 거리	$l_1 = V_{max} \times t_1 \times 1000/2$ (mm)
등속 거리	$l_2 = V_{max} \times t_2 \times 1000$ (mm)
감속 거리	$l_3 = V_{max} \times t_3 \times 1000/2$ (mm)
분당왕복횟수	n (min ⁻¹)



위치결정정도	(mm)
반복위치결정정도	(mm)
백래쉬	(mm)
최소 이송량	s(mm/펄스)

구동 모터 (AC 서보모터, 스텝핑 모터 등)

모터의 정격 회전수	N_{MG} (min ⁻¹)
모터의 관성 모멘트	J_M (kg·m ²)
모터 분해능	(펄스/rev)
감속비	A (—)

볼나사의 정도

리드 정도

볼나사의 리드 정도는 JIS규격(JIS B1192 - 1997) 에 준하여 정도관리가 되고 있습니다. 정도등급 C0 ~ C5는 직선성과 방향성으로, C7 ~ C10은 300mm에 대한 이동량 오차로서 규정되어 있습니다.

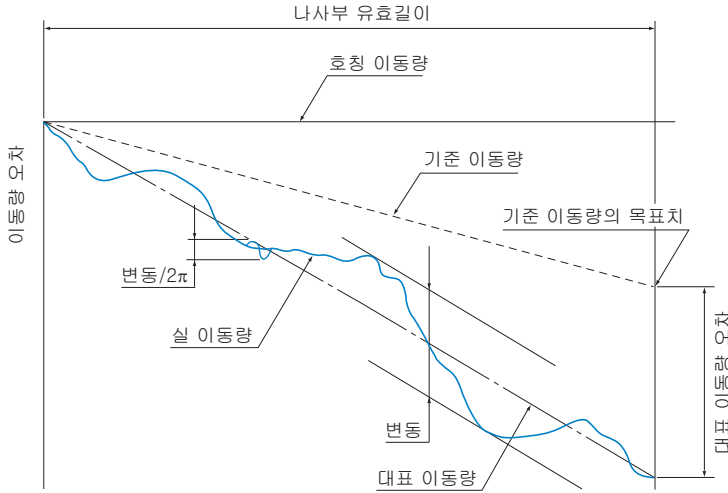


그림1 리드 정도 용어

【실 이동량】

실제 볼나사로 측정된 이동량 오차.

【기준 이동량】

일반적으로, 호칭 이동량과 같지만, 사용용도에 따라 의도적으로 호칭 이동량을 보정한 값을 가질 수 있습니다.

【기준 이동량의 목표치】

나사축의 흔들림 방지를 위해서 텐션을 가하거나 외부 하중이나 온도에 의한 신축을 고려해서 미리 기준 이동량을 "마이너스" 또는 "플러스"로 설정할 수가 있습니다. 그런 경우에는, 기준 이동량의 목표치를 지시하여 주십시오.

【대표 이동량】

실 이동량의 경향을 나타내는 직선이며, 실 이동량을 나타내는 곡선으로부터 최소 이승법에 의해서 얻어집니다.

【대표 이동량 오차 (± 표시)】

대표 이동량과 기준 이동량의 차이.

【변동】

대표 이동량에 평행하게 그려진 두 직선 간의 실제 이동량의 최대폭입니다.

【변동/300】

임의의 나사 길이 300mm에 대한 변동을 나타냅니다.

【변동/2π】

나사축의 1회전내의 변동입니다.

표1 리드 정도(허용치)

단위: μm

		정밀 볼나사										전조 볼나사		
		C0		C1		C2		C3		C5				
나사부 유효길이	정도 등급	대표	변동	대표	변동	대표	변동	대표	변동	대표	변동	이동량 오차	이동량 오차	이동량 오차
		이동량 오차		이동량 오차		이동량 오차		이동량 오차		이동량 오차				
—	100	3	3	3.5	5	5	7	8	8	18	18	±50/ 300mm	±100/ 300mm	±210/ 300mm
100	200	3.5	3	4.5	5	7	7	10	8	20	18			
200	315	4	3.5	6	5	8	7	12	8	23	18			
315	400	5	3.5	7	5	9	7	13	10	25	20			
400	500	6	4	8	5	10	7	15	10	27	20			
500	630	6	4	9	6	11	8	16	12	30	23			
630	800	7	5	10	7	13	9	18	13	35	25			
800	1000	8	6	11	8	15	10	21	15	40	27			
1000	1250	9	6	13	9	18	11	24	16	46	30			
1250	1600	11	7	15	10	21	13	29	18	54	35			
1600	2000	—	—	18	11	25	15	35	21	65	40			
2000	2500	—	—	22	13	30	18	41	24	77	46			
2500	3150	—	—	26	15	36	21	50	29	93	54			
3150	4000	—	—	30	18	44	25	60	35	115	65			
4000	5000	—	—	—	—	52	30	72	41	140	77			
5000	6300	—	—	—	—	65	36	90	50	170	93			
6300	8000	—	—	—	—	—	—	110	60	210	115			
8000	10000	—	—	—	—	—	—	—	—	260	140			

주) 나사부 유효길이의 단위: mm

표2 나사부 길이 300mm 및 1회전에 대한 변동(허용치)

단위: μm

정도 등급	C0	C1	C2	C3	C5	C7	C8	C10
변동/300	3.5	5	7	8	18	—	—	—
변동/2 π	3	4	5	6	8	—	—	—

표3 종류와 등급

종류	시리즈 기호	등급	비고
위치 결정용	Cp	1, 3, 5	ISO 대응
반송용	Ct	1, 3, 5, 7, 10	

주) 정도 등급은 Cp 시리즈와 Ct 시리즈에도 적용됩니다. 상세한 내용은 삼익THK에 문의하여 주시기 바랍니다.

예: 기준 이동량의 목표치 $-9\ \mu\text{m}/500\ \text{mm}$ 로 제작된 볼나사의 리드를 측정한 결과 다음과 같은 데이터가 얻어졌습니다.

표4 이동량 오차에 대한 측정 데이터

단위: mm

지령 위치 (A)	0	50	100	150
이동 거리 (B)	0	49.998	100.001	149.996
이동량 오차 (A-B)	0	-0.002	+0.001	-0.004
지령 위치 (A)	200	250	300	350
이동 거리 (B)	199.995	249.993	299.989	349.985
이동량 오차 (A-B)	-0.005	-0.007	-0.011	-0.015
지령 위치 (A)	400	450	500	
이동 거리 (B)	399.983	449.981	499.984	
이동량 오차 (A-B)	-0.017	-0.019	-0.016	

측정 데이터를 그래프로 나타내면 그림2와 같이 됩니다.

위치결정오차 (A-B)는 실 이동량으로 나타내며, (A-B)의 그래프의 경향을 대표하는 직선은 대표 이동량이 됩니다.

기준 이동량과 대표 이동량 사이의 차이는 대표 이동량 오차로 나타냅니다.

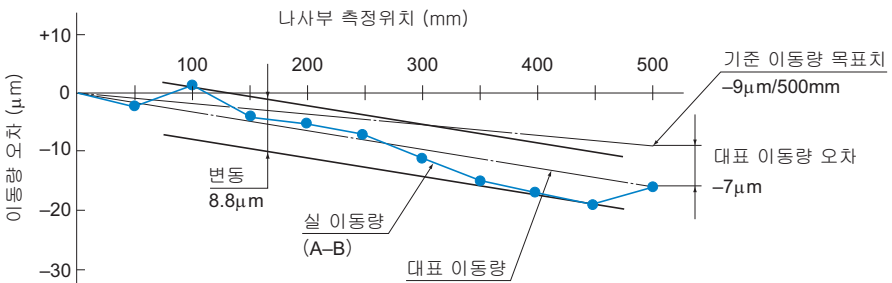


그림2 이동량 오차에 대한 측정 데이터

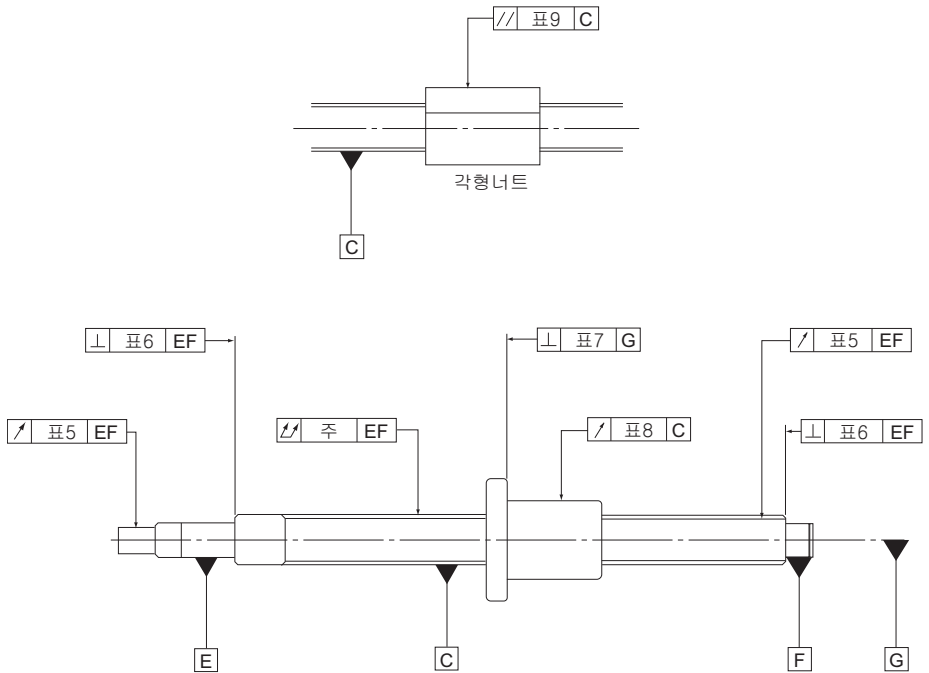
[측정결과]

대표 이동량 오차: $-7\ \mu\text{m}$

변동: $8.8\ \mu\text{m}$

장착부 정도

볼나사 장착부의 정도는 JIS 표준(JIS B 1192-1997)에 준하여 제작합니다.



주) 나사축 축선의 반경방향의 전흔들림은 JIS B 1192-1997을 참조하십시오.

그림3 볼나사 장착부 정도

【장착부 정도규격】

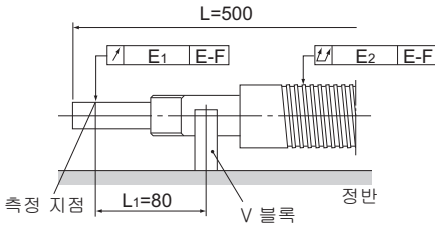
표5~표9는 정밀 볼나사의 장착부에 대한 정도규격을 나타냅니다.

표5 나사축의 지지부 축선에 대한 나사홈의 반경 방향 원주 흔들림과 부품 장착부의 반경방향 원주 흔들림
단위: μm

나사축 외경(mm)		흔들림 (최대)					
초과	이하	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	8	3	5	7	8	10	14
8	12	4	5	7	8	11	14
12	20	4	6	8	9	12	14
20	32	5	7	9	10	13	20
32	50	6	8	10	12	15	20
50	80	7	9	11	13	17	20
80	100	—	10	12	15	20	30

주) 이 항목의 측정에는 나사축경의 흔들림의 영향이 포함되어 있으므로, 나사축 전장과 지점, 측정점 거리비율에 의한, 나사축선의 전흔들림으로부터 보정치를 구하여, 위의 표에 추가할 필요가 있습니다.

예: 형번 DIK2005-6RRGO+500LC5



$$E_1 = e + \Delta e$$

e : 표5의 규격치(0.012)

Δe : 보정치

$$\Delta e = \frac{L_1}{L} \times E_2$$

$$= \frac{80}{500} \times 0.06$$

$$= 0.01$$

L : 나사축 전장

L_1 : 지점과 측정점의 거리

E_2 : 나사축 축선의 반경방향 전흔들림(0.06)

$$E_1 = 0.012 + 0.01$$

$$= 0.022$$

주) 나사축 축선의 반경방향의 전흔들림은 JIS B 1192-1997을 참조하십시오.

표6 나사축의 지지부 축선에 대한 지지부 단면의 직각도
단위: μm

나사축 외경(mm)		직각도 (최대)					
초과	이하	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	8	2	3	3	4	5	7
8	12	2	3	3	4	5	7
12	20	2	3	3	4	5	7
20	32	2	3	3	4	5	7
32	50	2	3	3	4	5	8
50	80	3	4	4	5	7	10
80	100	—	4	5	6	8	11

표7 나사축의 축선에 대한 플랜지 장착면의 직각도
단위: μm

너트 외경(mm)		직각도 (최대)					
초과	이하	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	20	5	6	7	8	10	14
20	32	5	6	7	8	10	14
32	50	6	7	8	8	11	18
50	80	7	8	9	10	13	18
80	125	7	9	10	12	15	20
125	160	8	10	11	13	17	20
160	200	—	11	12	14	18	25

표8 나사축의 축선에 대한 너트 외주면의
반경방향 원주 흔들림

단위: μm

너트 외경(mm)		흔들림 (최대)					
초과	이하	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	20	5	6	7	9	12	20
20	32	6	7	8	10	12	20
32	50	7	8	10	12	15	30
50	80	8	10	12	15	19	30
80	125	9	12	16	20	27	40
125	160	10	13	17	22	30	40
160	200	—	16	20	25	34	50

표9 나사축의 축선에 대한 너트
외주면(평면형 장착면)의 평행도

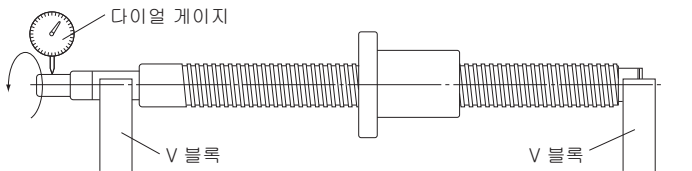
단위: μm

장착 기준 길이 (mm)		평행도 (최대)					
초과	이하	C0	C1	C2	C3	C5	C7
—	50	5	6	7	8	10	17
50	100	7	8	9	10	13	17
100	200	—	10	11	13	17	30

【장착부의 정도 측정방법】

● 나사축의 지지부축에 대한 부품 장착부의 반경방향 원주 흔들림 (B15-23표5 참조)

V블록으로 나사축의 지지부를 지지합니다. 부품 장착부의 원호에 측정자를 위치시키고, 나사축을 1회 회전시켰을 때의 다이얼 게이지의 최대차를 측정치로 합니다.



정반

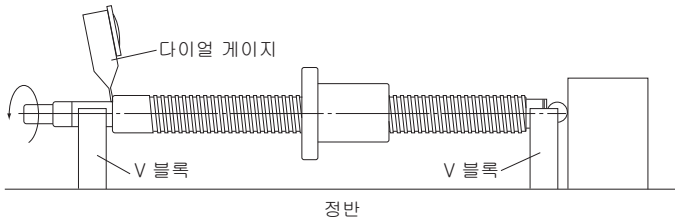
● 나사축의 지지부 축선에 대한 나사홈면의 반경방향 원주 흔들림 (B15-23표5 참조)

V블록으로 나사축의 지지부를 지지합니다. 너트의 원호에 측정자를 위치시키고, 너트를 돌리지 않고, 나사축을 1회전시켰을 때의 다이얼 게이지의 최대차를 측정치로 합니다.



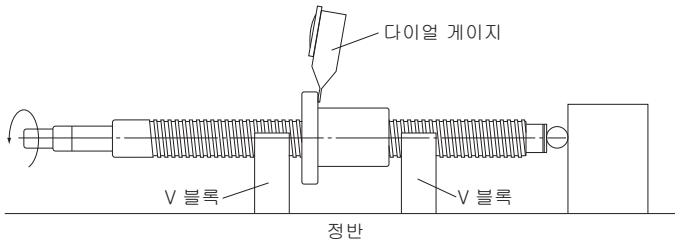
● 지지부 축선에 대한 나사축의 지지부 단면 직각도 (B15-24표6 참조)

V블록으로 나사축의 지지부를 지지합니다. 나사축의 지지부 단면에 측정자를 위치시키고, 나사축을 1회전 시켰을 때의 다이얼 게이지의 최대차를 측정치로 합니다.



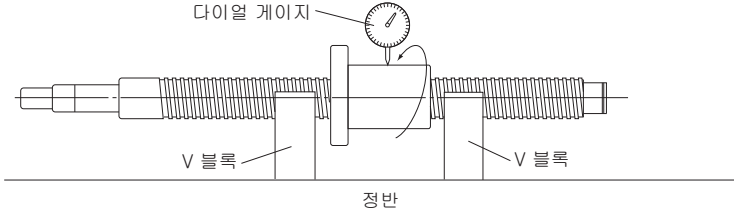
● 나사축의 축선에 대한 플랜지 장착면의 직각도 (B15-24표7 참조)

나사축의 나사부 외경을 너트에 가깝게 V블록으로 지지합니다. 플랜지 단면에 측정자를 위치시키고, 나사축과 너트를 동시에 1회전 시켰을 때의 다이얼 게이지의 최대차를 측정치로 합니다.



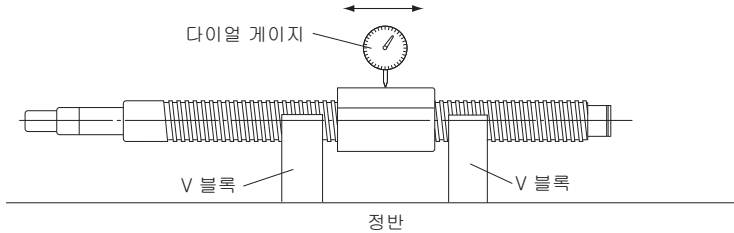
● 나사축의 축선에 대한 너트 외주면의 반경방향 원주 흔들림 (B15-24표8 참조)

나사축의 나사부 외경을 너트에 가깝게 V 블록으로 지지합니다. 너트의 원호에 측정자를 위치시키고, 나사축을 돌리지않고 너트를 1회전 시켰을 때의 다이얼 게이지의 최대치를 측정치로 합니다.



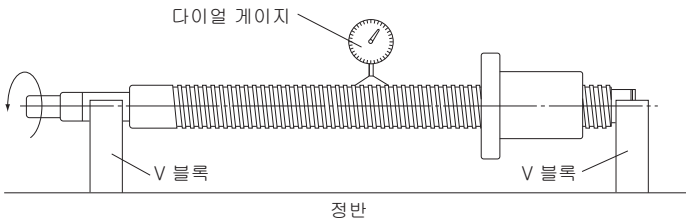
● 나사축의 축선에 대한 너트 외주면 (평면형 장착면)의 평행도 (B15-24표9 참조)

나사축의 나사부 외경을 너트에 가깝게 V 블록으로 지지합니다. 너트(평면형 장착면)의 원호에 측정자를 위치시키고, 나사축과 평행하게 다이얼 게이지를 움직인 때의 다이얼 게이지의 최대차를 측정치로 합니다.



● 나사축의 축선의 반경방향 전흔들림

나사축의 나사부 외경을 너트에 가깝게 V 블록으로 지지합니다. 나사축의 원호에 측정자를 위치시키고, 나사축 1회전 시켰을 때에 축방향의 여러 지점에서의 다이얼 게이지의 최대치를 측정치로 합니다.



주) 나사축의 반경방향 전흔들림은 JIS B 1192-1997를 참조하십시오.

축방향 클리어런스

【정밀 볼나사의 축방향 클리어런스】

표10은 정밀 볼나사의 축방향 클리어런스를 보여줍니다. 제작길이가 표11의 값을 초과하면, 클리어런스는 부분적으로 마이너스(예압 상태)로 될 수 있습니다.

볼나사 리테이너 타입 정밀 볼나사의 축방향 클리어런스에 대해서는 **A15-70~A15-83**를 참조하여 주십시오.

표10 정밀 볼나사의 축방향 클리어런스

단위: mm

클리어런스 기호	G0	GT	G1	G2	G3
축방향 클리어런스	0 이하	0 ~ 0.005	0 ~ 0.01	0 ~ 0.02	0 ~ 0.05

표11 정밀 볼나사의 각 축방향 클리어런스의 제작 한계 길이

단위: mm

나사축 외경	GT 클리어런스				G1 클리어런스				G2 클리어런스						
	C0	C1	C2·C3	C5	C0	C1	C2·C3	C5	C0	C1	C2	C3	C5	C7	
4·6	80	80	80	100	80	80	80	100	80	80	80	80	100	120	
8	230	250	250	200	230	250	250	250	230	250	250	250	300	300	
10	250	250	250	200	250	250	250	250	250	250	250	250	300	300	
12·13	440	500	500	400	440	500	500	500	440	500	630	680	600	500	
14	500	500	500	400	500	500	500	500	530	620	700	700	600	500	
15	500	500	500	400	500	500	500	500	570	670	700	700	600	500	
16	500	500	500	400	500	500	500	500	620	700	700	700	600	500	
18	720	800	800	700	720	800	800	700	720	840	1000	1000	1000	1000	
20	800	800	800	700	800	800	800	700	820	950	1000	1000	1000	1000	
25	800	800	800	700	800	800	800	700	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
28	900	900	900	800	1100	1100	1100	900	1300	1400	1400	1400	1200	1200	
30·32	900	900	900	800	1100	1100	1100	900	1400	1400	1400	1400	1200	1200	
36·40·45	1000	1000	1000	800	1300	1300	1300	1000	2000	2000	2000	2000	1500	1500	
50·55·63·70	1200	1200	1200	1000	1600	1600	1600	1300	2000	2500	2500	2500	2000	2000	
80·100	—	—	—	—	1800	1800	1800	1500	2000	4000	4000	4000	3000	3000	

* 정밀등급정도 C7의 볼나사를 GT, G1 클리어런스로 제작하는 경우, 클리어런스는 부분적으로 마이너스로 됩니다.

【전조 볼나사의 축방향 클리어런스】

표12는 전조 볼나사의 축방향 클리어런스를 보여줍니다.

표12 전조 볼나사의 축방향 클리어런스

단위: mm

나사축 외경	축방향 클리어런스(최대)
6 ~ 12	0.05
14 ~ 28	0.1
30 ~ 32	0.14
36 ~ 45	0.17
50	0.2

예압

축방향 클리어런스를 없애고 축방향 하중에 의한 변위량을 최소화 하기 위해서는 예압을 가합니다. 고정도 위치결정을 실행하는 경우, 예압을 가하는 것이 일반적입니다.

【예압하의 볼나사의 강성】

볼나사에 예압이 가해지는 경우, 너트의 강성이 증가합니다.

그림4는 예압이 가해진 경우와 예압이 가해지지 않은 경우의 볼나사의 탄성 변위 곡선을 보여줍니다.

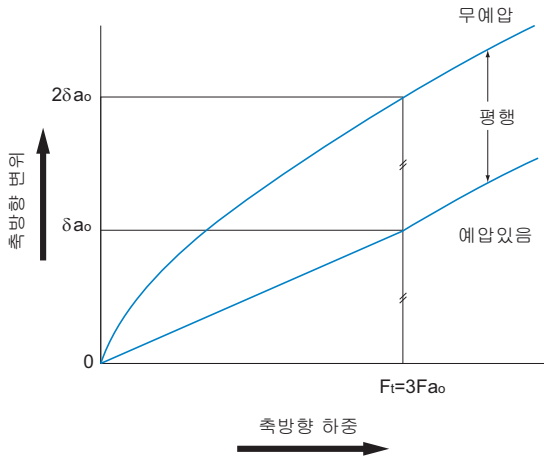
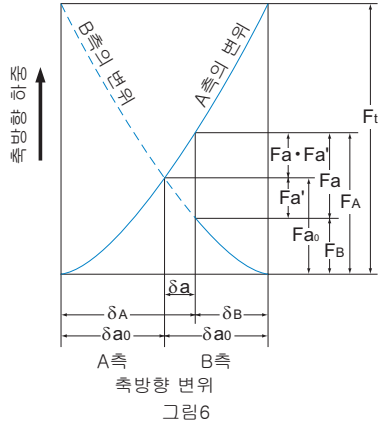
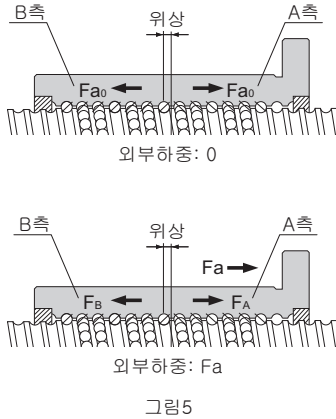


그림4 볼나사의 탄성 변위 곡선

그림5는 싱글너트 타입의 볼나사를 나타냅니다.



A, B측은 너트 중앙의 홈피치를 변경하는 것으로 위상을 만들어 예압하중(F_{a0})을 부여하고 있습니다. 예압하중에 따라 A, B측은 δ_{a0} 의 탄성변위를 합니다. 이 상태에서 외부에서 축방향하중(F_a)가 작용하면 A, B측의 변위량은 다음과 같습니다.

$$\delta_A = \delta_{a0} + \delta a \quad \delta_B = \delta_{a0} - \delta a$$

즉, A, B측에 걸리는 하중은 다음과 같습니다.

$$F_A = F_{a0} + (F_a - F_{a'}) \quad F_B = F_{a0} - F_{a'}$$

따라서, 예압을 부여함으로써 A측에 걸리는 하중은 $F_a - F_{a'}$ 가 되고, 예압을 부여하지 않는 경우에는 걸리는 하중의 $F_{a'}$ 만큼 부하하중이 감소하여 변위량은 작아집니다.

그 효과는 B측의 예압하중에 따른 변위량(δ_{a0})이 제로가 될 때까지입니다.

어디까지 탄성 변위량이 감소되는가? 예압이 가해지지 않은 볼나사에서의 축방향 하중과 탄성 변위량간의 관계는 $\delta_{a0} \propto F_a^{2/3}$ 와같이 표현할 수 있습니다. 그림6으로부터 다음 식이 성립됩니다.

$$\delta_{a0} = K F_{a0}^{2/3} \quad (K : \text{정수})$$

$$2\delta_{a0} = K F_t^{2/3}$$

$$\left(\frac{F_t}{F_{a0}}\right)^{2/3} = 2 \quad F_t = 2^{3/2} \times F_{a0} = 2.8F_{a0} \approx 3F_{a0}$$

그러므로, 예압의 약 3배의 축방향 하중(F_t)이 외부에서 가해지는 경우 예압하의 볼나사는 δ_{a0} 만큼 변위량이 발생합니다. 결과적으로, 예압하의 볼나사의 변위량은 무예압 경우의 볼나사의 변위량($2\delta_{a0}$)의 절반이 됩니다.

위에 설명된 것과 같이, 축방향 하중의 예압 효과는 가해진 예압의 약 3배로 되기때문에, 최적 예압은 최대 축하중의 1/3 입니다.

그렇지만, 과도한 예압은 수명과 발열에 좋지않은 영향을 준다는 것에 유의해 주십시오. 최대 예압은 기본동정격하중(C_a)의 10%로 설정하십시오.

【예압 토크】

예압 토크는 JIS 규격(JIS B 1192 -1997)에 따라 관리됩니다.

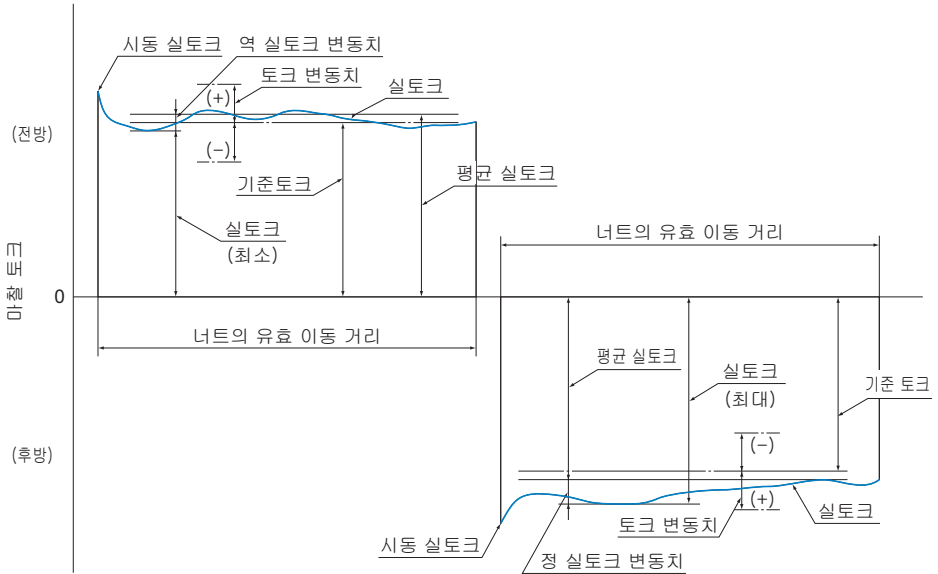


그림7 예압 토크 용어

● 예압 동토크

외부 하중없이 주어진 예압하에서 볼나사의 나사축을 연속적으로 회전시키는데 필요한 토크.

● 실토크

실제 볼나사로 측정된 예압 동토크.

● 토크 변동치

목표치로 설정된 예압 동토크 변동치. 기준 토크에 대해서 플러스 또는 마이너스로 될 수 있습니다.

● 토크 변동율

기준 토크에 대한 토크 변동율.

● 기준 토크

목표로 설정된 예압 동토크.

● 기준 토크 산출

예압을 가한 볼나사의 기준 토크는 식(4)에 의해 얻어집니다.

$$T_p = 0.05 (\tan\beta)^{-0.5} \frac{F_{a0} \cdot Ph}{2\pi} \dots\dots(4)$$

T_p : 기준 토크 (N·mm)

β : 리드각

F_{a0} : 예압하중 (N)

Ph : 리드 (mm)

예압토크 산출예

볼나사 BIF4010-10G0+1500LC3의 나사부 길이 1300mm(축경 40mm, 볼 중심경 41.75mm, 리드 10mm)에서 예압하중 3000N을 가한 경우의 볼나사 예압토크는 아래와 같이 산출합니다.

■기준 토크 산출

β : 리드각

$$\tan\beta = \frac{\text{리드}}{\pi \times \text{볼중심경}} = \frac{10}{\pi \times 41.75} = 0.0762$$

F_{a0} : 예압하중=3000N

Ph : 리드 = 10mm

$$T_p = 0.05 (\tan\beta)^{-0.5} \frac{F_{a0} \cdot Ph}{2\pi} = 0.05 (0.0762)^{-0.5} \frac{3000 \times 10}{2\pi} = 865N \cdot mm$$

■토크 변동치 산출

$$\frac{\text{나사부 길이}}{\text{나사축 외경}} = \frac{1300}{40} = 32.5 \leq 40$$

따라서, 표13의 기준토크가 600N·mm~1000N·mm, 나사부 유효길이 4000mm이하의 ≤ 40 , 정도 등급 C3이 되므로 토크 변동율은 $\pm 30\%$ 가 됩니다.

결과적으로, 토크 변동은 다음과 같습니다.

$$865 \times (1 \pm 0.3) = 606 N \cdot mm \sim 1125 N \cdot mm$$

■결과

기준토크 : 865 N·mm

토크 변동치 : 606 N·mm ~ 1125 N·mm

표13 토크 변동을 허용 범위

기준토크 N·mm		나사부 유효길이													
		4,000mm 이하											4,000mm 초과 10,000mm 이하		
		$\frac{\text{나사부 길이}}{\text{나사축 외경}} \leq 40$						$40 < \frac{\text{나사부 길이}}{\text{나사축 외경}} < 60$					—		
		정도 등급						정도 등급					정도 등급		
초과	이하	C0	C1	C3	C5	C7	C0	C1	C3	C5	C7	C3	C5	C7	
200	400	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 50\%$	—	$\pm 40\%$	$\pm 40\%$	$\pm 50\%$	$\pm 60\%$	—	—	—	—	
400	600	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	—	$\pm 35\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	—	—	—	—	
600	1000	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 30\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	$\pm 50\%$	
1000	2500	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 25\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	$\pm 45\%$	
2500	6300	$\pm 10\%$	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 20\%$	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	$\pm 40\%$	
6300	10000	—	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$	$\pm 20\%$	$\pm 30\%$	—	—	$\pm 20\%$	$\pm 25\%$	$\pm 35\%$	$\pm 25\%$	$\pm 30\%$	$\pm 35\%$	

나사축의 선정

나사축의 제작 한계길이

정도 등급에 의한 정밀 볼나사의 최대 길이가 표14에 표시되어 있으며, 전조 볼나사의 경우는 B15-33의 표15에 표시되어 있습니다.

축치수가 표14, 표15에서의 제작 한계를 초과하는 경우에는 삼익THK에 문의하여 주시기 바랍니다.

표14 정밀 볼나사의 정도 등급별 제작 한계길이

단위: mm

나사축 외경	나사축 전장						
	C0	C1	C2	C3	C5	C7	
4	90	110	120	120	120	120	
6	150	170	210	210	210	210	
8	230	270	340	340	340	340	
10	350	400	500	500	500	500	
12	440	500	630	680	680	680	
13	440	500	630	680	680	680	
14	530	620	770	870	890	890	
15	570	670	830	950	980	1100	
16	620	730	900	1050	1100	1400	
18	720	840	1050	1220	1350	1600	
20	820	950	1200	1400	1600	1800	
25	1100	1400	1600	1800	2000	2400	
28	1300	1600	1900	2100	2350	2700	
30	1450	1700	2050	2300	2570	2950	
32	1600	1800	2200	2500	2800	3200	
36	2000	2100	2550	2950	3250	3650	
40		2400	2900	3400	3700	4300	
45		2750	3350	3950	4350	5050	
50		3100	3800	4500	5000	5800	
55		3450	4150	5300	6050	6500	
63		4000	6300	5200	5800	6700	7700
70				6450	7650	9000	10000
80				7900	9000	10000	
100				10000	10000		

표15 전조 볼나사의 정도 등급별 제작 한계길이

단위: mm

나사축 외경	나사축 전장		
	C7	C8	C10
6 ~ 8	320	320	—
10 ~ 12	500	1000	—
14 ~ 15	1500	1500	1500
16 ~ 18	1500	1800	1800
20	2000	2200	2200
25	2000	3000	3000
28	3000	3000	3000
30	3000	3000	4000
32 ~ 36	3000	4000	4000
40	3000	5000	5000
45	3000	5500	5500
50	3000	6000	6000

정밀 볼나사의 축경과 리드 표준조합

정밀 볼나사의 축경과 리드의 표준조합을 표16에 나타냅니다.

볼 리테이너 정밀 볼나사의 축경과 리드의 표준조합에 관해서는 **A15-70~A15-83**를 참조하여 주십시오.

사용상 표 이외의 볼나사가 필요한 경우에는 삼익THK로 문의하여 주시기 바랍니다.

표16 나사축 외경과 리드의 표준조합 (정밀 볼나사)

단위: mm

나사축 외경	리드																					
	1	2	4	5	6	8	10	12	15	16	20	24	25	30	32	36	40	50	60	80	90	100
4	●																					
5	●																					
6	●																					
8	●	●					●	○														
10		●	●				●	○														
12		●		●		●																
13											○											
14		●	●	●		●																
15							●			●		○		○								
16			○	●	○		○		●													
18							●															
20			○	●	○	○	●	○		●							○	○				
25			○	●	○	○	●	○		○	●	○						○				
28				○	●	○	○															
30																		○		○		
32			○	●	●	○	●	○			○				○							
36					○	○	●	○		○	○	○				○						
40				○	○	○	●	●		○	○			○			○			○		
45					○	○	○	○		○	○											
50				○		○	●	○		○	○			○		○		○				○
55								○	○		○	○		○		○						
63								○	○		○	○										
70								○	○			○										
80								○	○			○										
100												○										
120																						

●: 재고품 [나사축을 규격화한 나사축 조합 표준재고품 (축단 미가공품, 축단 완성품)]

○: 준표준품

전조 볼나사의 축경과 리드 표준조합

전조 볼나사의 축경과 리드의 표준조합을 표17에 나타냅니다.

표17 나사축 외경과 리드의 표준조합 (전조 볼나사)

단위: mm

나사축 외경	리드																				
	1	2	4	5	6	8	10	12	16	20	24	25	30	32	36	40	50	60	80	100	
6	●																				
8		●																			
10		●			○																
12		●				○															
14			●	●																	
15							●		●		●										
16				●					●												
18						●															
20				●			●			●						●					
25				●			●					●					●				
28					●																
30																		●			
32							●							●							
36							●			●	●				●						
40							●									●				●	
45								●													
50										●								●			●

●: 표준 재고

○: 준표준품

볼나사 축의 장착방법

그림1~그림4는 나사축에 대한 대표적인 장착방법을 보여줍니다.

허용 축방향 하중과 허용 회전수는 나사축에 대한 장착방법에 따라 다릅니다. 그러므로, 사용조건에 따라 적합한 장착 방법을 선택할 필요가 있습니다.

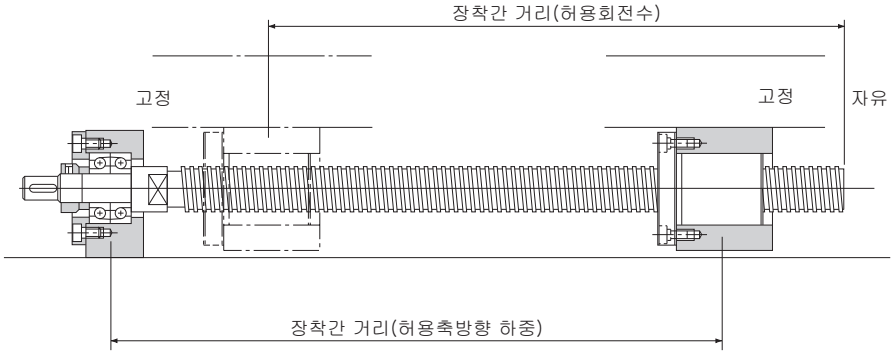


그림1 나사축의 장착방법: 고정-자유

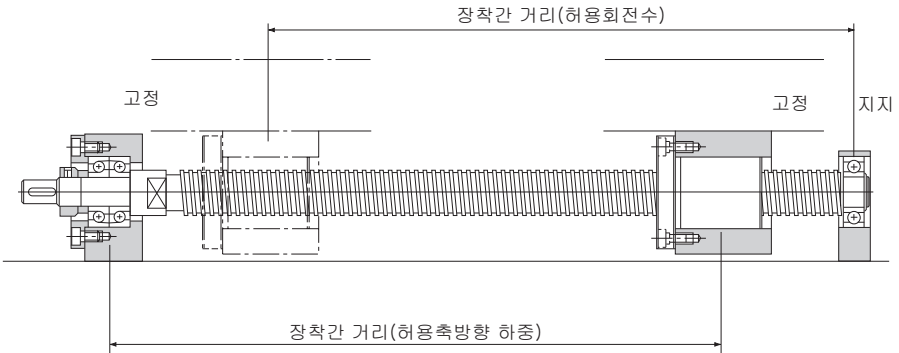


그림2 나사축의 장착방법: 고정-지지

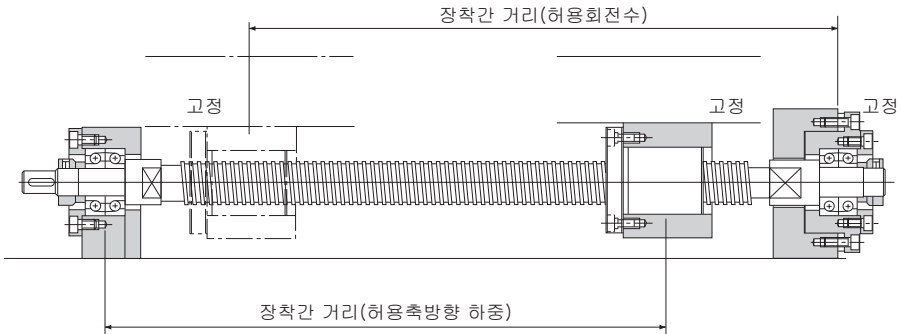


그림3 나사축의 장착방법: 고정-고정

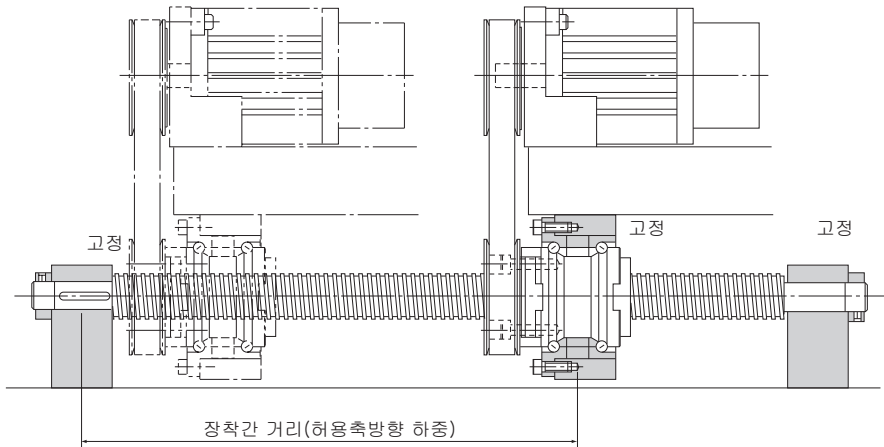


그림4 너트 회전 볼나사에 대한 나사축 장착방법: 고정-고정

허용 축방향 하중

【나사축의 좌굴하중】

볼나사의 경우, 축방향으로 최대 축방향 하중이 작용하였을 때 나사축에 좌굴이 발생하지 않도록 나사축을 선정 할 필요가 있습니다.

■15-39의 그림5은 나사축경과 좌굴하중간의 관계를 보여줍니다.

계산으로 좌굴하중을 결정하는 경우, 아래의 식(5)으로부터 얻을 수 있습니다만, 안전을 위해 0.5를 안전계수로서 곱하여 줍니다.

$$P_1 = \frac{\eta_1 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_a^2} \quad 0.5 = \eta_2 \frac{d_1^4}{l_a^2} \cdot 10^4 \quad \dots\dots(5)$$

- P_1 : 좌굴하중 (N)
- l_a : 장착간 거리 (mm)
- E : 영률 (2.06×10^5 N/mm²)
- I : 축의 최소 단면 2차 모멘트 (mm⁴)

$$I = \frac{\pi}{64} d_1^4 \quad d_1: \text{나사축 곡경 (mm)}$$

η_1, η_2 =장착 방법에 따른 계수

고정 - 자유	$\eta_1=0.25$	$\eta_2=1.3$
고정 - 지지	$\eta_1=2$	$\eta_2=10$
고정 - 고정	$\eta_1=4$	$\eta_2=20$

【나사축의 허용인장 압축하중】

축방향 하중이 볼나사에 가해진 경우에는 나사축의 항복응력에 대해 좌굴하중 뿐만 아니라 허용인장 압축하중을 고려할 필요가 있습니다.

허용인장 압축하중은 식(6)로부터 얻어집니다.

$$P_2 = \sigma \frac{\pi}{4} d_1^2 = 116d_1^2 \quad \dots\dots(6)$$

- P_2 : 허용인장 압축하중 (N)
- σ : 허용인장 압축응력 (147 MPa)
- d_1 : 나사축 곡경 (mm)

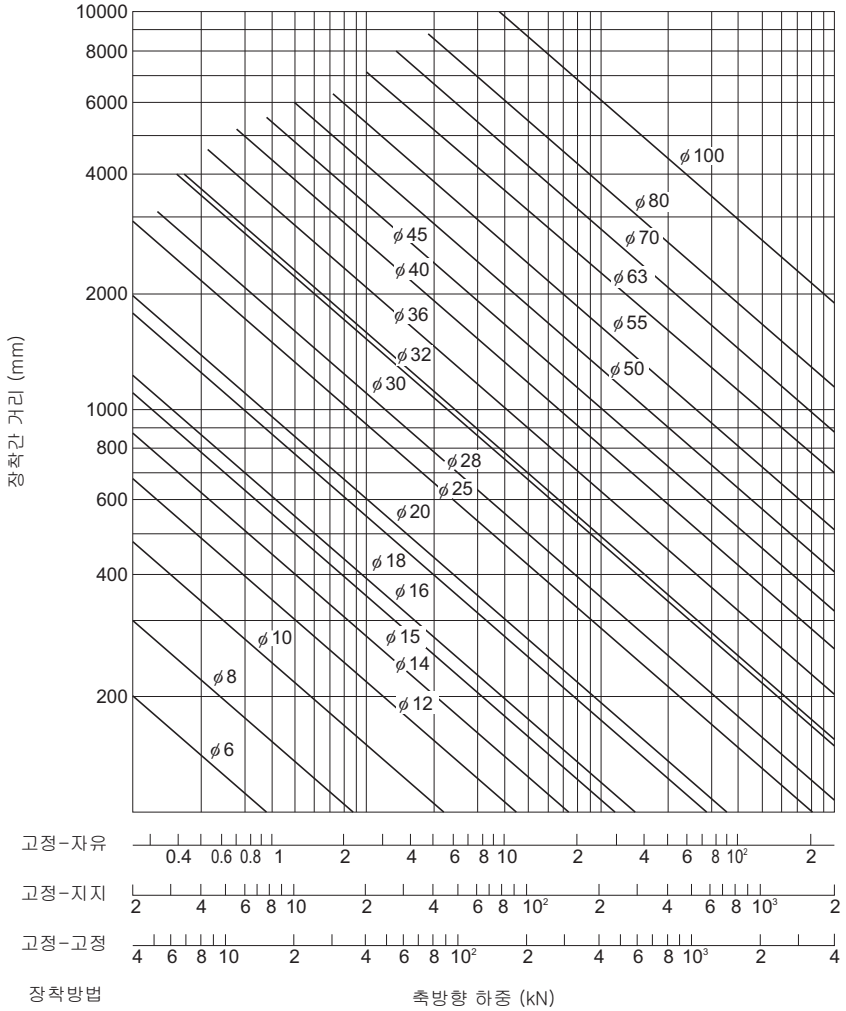


그림5 허용 축방향 하중선도

허용회전수

【나사축의 위험속도】

회전속도가 높아지면 볼나사의 고유 진동수에 의해서 공진을 일으켜서 조작불능으로 될 수 있습니다. 그러므로, 공진점(위험속도) 아래에서 사용가능하도록 선정합니다.

■15-42의 그림6는 나사축경과 위험속도간의 관계를 보여줍니다.

계산으로 위험속도를 산출하는 경우, 아래의 식(7)으로부터 얻을 수 있습니다만, 0.8을 안전계수로 곱해줍니다.

$$N_1 = \frac{60 \cdot \lambda_1^2}{2\pi \cdot l_b^2} \times \sqrt{\frac{E \times 10^3 \cdot I}{\gamma \cdot A}} \times 0.8 = \lambda_2 \cdot \frac{d_1}{l_b^2} \cdot 10^7 \dots\dots(7)$$

N_1 : 위험속도에 의한 허용회전수 (min⁻¹)

l_b : 장착간 거리 (mm)

E : 영률 (2.06 × 10⁵ N/mm²)

I : 축의 최소 단면 2차 모멘트 (mm⁴)

$$I = \frac{\pi}{64} d_1^4 \quad d_1: \text{나사축 곡경 (mm)}$$

γ : 밀도(비중) (7.85 × 10⁻⁶kg/mm³)

A : 나사축 단면적 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} d_1^2$$

λ_1, λ_2 : 장착 방법에 따른 계수

고정 - 자유 $\lambda_1=1.875$ $\lambda_2=3.4$

지지 - 지지 $\lambda_1=3.142$ $\lambda_2=9.7$

고정 - 지지 $\lambda_1=3.927$ $\lambda_2=15.1$

고정 - 고정 $\lambda_1=4.73$ $\lambda_2=21.9$

【DN치】

볼나사의 허용회전수는 나사축의 위험속도와 DN치에 의하여 구하여야 합니다.

DN치에 의해 결정되는 허용회전수는 아래의 식(8) ~ (15)에 의해 산출할 수 있습니다.

정밀	볼리테이너	대리드	SBK형 (SBK3636, SBK4040, SBK5050의 경우)	$N_2 = \frac{210000}{D}$(8-1)
			SBK형 (상기 형번, 소형 SBK형* 이외의 경우)	$N_2 = \frac{160000}{D}$(8-2)
	표준리드	SBN형, HBN형, SBKH형	$N_2 = \frac{130000}{D}$(9)	
	총 볼	슈퍼 리드	WHF형	$N_2 = \frac{120000}{D}$(10)
WGF형			$N_2 = \frac{70000}{D}$(11)	
대리드		BLW형, BLK형, DIR형, BLR형		
표준리드		BIF형, DIK형, BNFN형, DKN형, BNF형, BNT형, DK형, MDK형, MBF형, BNK형, BNS형, NS형		
전조	총 볼	슈퍼 리드	WHF형	$N_2 = \frac{100000}{D}$(12)
			WTF형, CNF형	$N_2 = \frac{70000}{D}$(13)
		대리드	BLK형, BLR형	$N_2 = \frac{100000}{D}$(14)
		표준리드	BTK-V형	
		JPF형, BNT형, MTF형	$N_2 = \frac{50000}{D}$(15)	

N_2 : DN치에 의한 허용회전수 ($\text{min}^{-1}(\text{rpm})$)

D : 볼중심경

(각 형번의 치수표에 기재되어 있습니다)

위험속도에 의한 허용회전수(N_1)와 DN치에 의한 허용회전수(N_2) 중에 낮은 회전수를 허용회전수로 합니다.

소형SBK(SBK1520~SBK3232), SDA형의 허용회전수(N_2)는 치수표내의 최대 허용회전수가 됩니다.

(**▲15-74~▲15-75**, **▲15-78~▲15-79**치수표 참조)

사용회전수가 N_2 를 초과하는 경우는 삼익THK로 문의하여 주십시오.

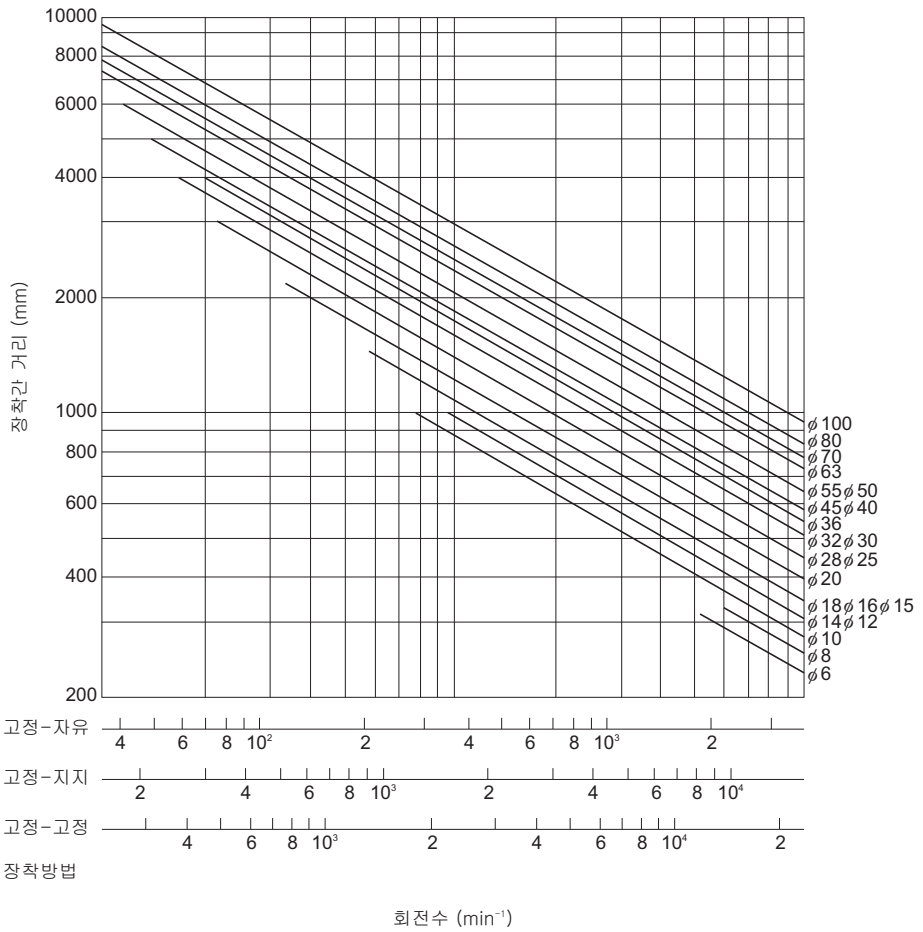


그림6 허용회전수 선도

너트의 선정

너트의 종류

볼나사의 너트는 볼순환 방식에 따라 리턴파이프 타입, 디플렉터 타입, 엔드캡 타입으로 분류됩니다. 각 순환방식의 특징을 아래에 나타냅니다.

순환방식 뿐만 아니라, 볼나사는 예압방법에 의해서도 분류됩니다.

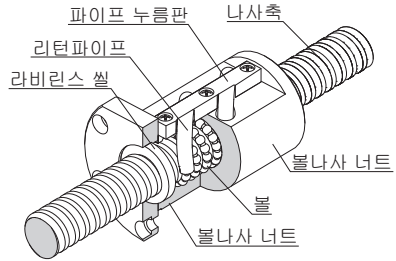
【볼순환 방식에 의한 종류】

● 리턴파이프 타입

(SBN형, BNF형, BNT형, BNFH형, BIF형, BTK-V형)

리턴피스 타입 (HBN형)

볼순환용으로 리턴파이프를 사용하는 가장 일반적인 타입의 너트입니다. 리턴파이프에 의해 볼이 안내되고 파이프를 통과해서, 원래의 위치로 되돌려서 무한 운동을 하게 해 줍니다.

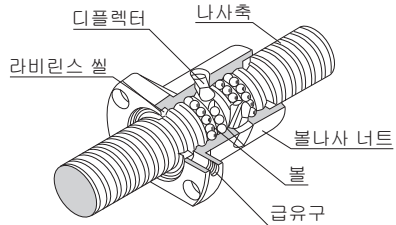


리턴파이프 너트의 구조에

● 디플렉터 타입

(DK형, DKN형, DIK형, JPF형, DIR형, MDK형)

가장 콤팩트한 너트 타입입니다. 볼은 디플렉터에 의해 이동방향이 변경되며, 나사축의 외주면을 따라 원래의 위치로 되돌아가는 무한운동을 합니다.

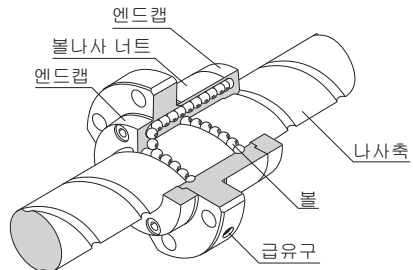


심플 너트의 구조에

● 엔드캡식 : 대리드 너트

(SBK형, SDA형, SBKH형, WHF형, BLK형, WGF형, BLW형, WTF형, CNF형, BLR형)

고속이송에 가장 적합한 너트 타입입니다. 볼은 엔드캡에 의해 안내되고, 너트의 관통 구멍을 통과해서 원래의 위치로 돌아가 무한 운동을 합니다.



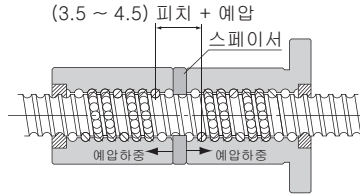
대리드 너트의 구조에

【예압방식에 의한 종류】

● 정위치 예압방식

■ 더블너트 예압 (BNFN형, DKN형, BLW형)

간좌가 2개의 너트 사이에 삽입되어서 예압을 부여합니다.



BNFN형



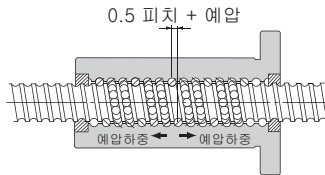
DKN형



BLW형

■ 옅섯 예압방식 (SBN형, BIF형, DIK형, SBK형, DIR형)

더블너트방식보다 더욱 콤팩트한 옅섯예압은 간좌를 사용하지 않고 너트의 홈 피치를 변경해서 예압을 부여합니다.



SBN형



BIF형



DIK형



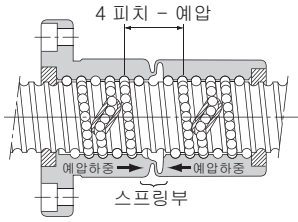
SBK형



DIR형

● 정압 예압방식 (JPF형)

스프링 구조가 너트의 중앙에 설치되어 너트의 중앙에서 홈 피치를 변경하여 예압을 부여합니다.



JPF형

형번의 선정

축방향 하중의 산출

【수평장착의 경우】

일반적인 반송 시스템에서, 수평으로 워크를 왕복운동하는 경우 가해지는 축방향 하중(F_{a_n})은 다음 식에 의해 구해집니다.

$$Fa_1 = \mu \cdot mg + f + m\alpha \dots\dots\dots (16)$$

$$Fa_2 = \mu \cdot mg + f \dots\dots\dots (17)$$

$$Fa_3 = \mu \cdot mg + f - m\alpha \dots\dots\dots (18)$$

$$Fa_4 = -\mu \cdot mg - f - m\alpha \dots\dots\dots (19)$$

$$Fa_5 = -\mu \cdot mg - f \dots\dots\dots (20)$$

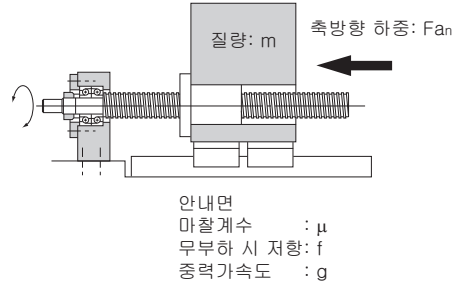
$$Fa_6 = -\mu \cdot mg - f + m\alpha \dots\dots\dots (21)$$

V_{max} : 최대속도 (m/s)

t_1 : 가속시간 (m/s)

$$\alpha = \frac{V_{max}}{t_1} : \text{가속도} \quad (m/s^2)$$

- Fa_1 : 왕로가속시 축방향 하중 (N)
- Fa_2 : 왕로등속시 축방향 하중 (N)
- Fa_3 : 왕로감속시 축방향 하중 (N)
- Fa_4 : 복로가속시 축방향 하중 (N)
- Fa_5 : 복로등속시 축방향 하중 (N)



- Fa_6 : 복로감속시 축방향 하중 (N)
- m : 반송질량 (kg)
- μ : 안내면의 마찰계수 (-)
- f : 안내면 저항(하중 없는 경우) (N)

【수직장착의 경우】

일반적인 반송 시스템에서, 수직으로 워크를 왕복운동하는 경우 가해지는 축방향 하중(F_{a_n})은 다음 식에 의해 구해집니다.

$$Fa_1 = mg + f + m\alpha \dots\dots\dots (22)$$

$$Fa_2 = mg + f \dots\dots\dots (23)$$

$$Fa_3 = mg + f - m\alpha \dots\dots\dots (24)$$

$$Fa_4 = mg - f - m\alpha \dots\dots\dots (25)$$

$$Fa_5 = mg - f \dots\dots\dots (26)$$

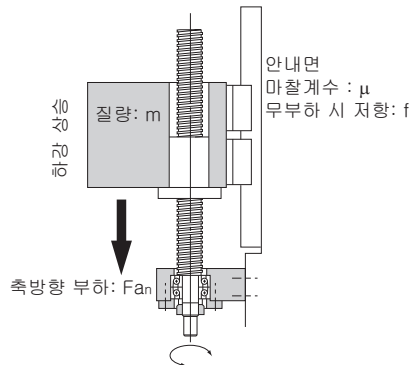
$$Fa_6 = mg - f + m\alpha \dots\dots\dots (27)$$

V_{max} : 최대속도 (m/s)

t_1 : 가속시간 (m/s)

$$\alpha = \frac{V_{max}}{t_1} : \text{가속도} \quad (m/s^2)$$

- Fa_1 : 상승가속시 축방향 하중 (N)
- Fa_2 : 상승등속시 축방향 하중 (N)
- Fa_3 : 상승감속시 축방향 하중 (N)
- Fa_4 : 하강가속시 축방향 하중 (N)
- Fa_5 : 하강등속시 축방향 하중 (N)



- Fa_6 : 하강감속시 축방향 하중 (N)
- m : 반송질량 (kg)
- f : 안내면 저항(무부하 시) (N)

정적안전계수

기본정정격하중(C_{0a})은 일반적으로 볼나사의 허용 축방향 하중과 같습니다. 조건에 따라서는, 계산된 하중에 대해서 다음의 정적안전계수를 고려할 필요가 있습니다. 볼나사가 정적 또는 작동중 일 때, 충격 또는 기동 정지시에 발생하는 관성으로 인해서 예상치 못한 외부 힘이 가해질 수가 있습니다.

$$F_{a_{max}} = \frac{C_{0a}}{f_s} \dots\dots\dots(28)$$

- $F_{a_{max}}$: 허용 축방향 하중 (kN)
- C_{0a} : 기본정정격하중* (kN)
- f_s : 정적안전계수 (표1 참조)

표1 정적안전계수 (f_s)

LM 시스템을 사용하는 기계	하중 조건	f_s 의 하한
일반 산업기계	진동이나 충격이 없을 때	1.0 ~ 3.5
	진동이나 충격이 있을 때	2.0 ~ 5.0
공작기계	진동이나 충격이 없을 때	1.0 ~ 4.0
	진동이나 충격이 있을 때	2.5 ~ 7.0

* 기본정정격하중(C_{0a})은 최대응력을 받고 있는 접촉부에 있어서 전동체의 영구변형량과 전동면의 영구변형량의 합이 전동체 직경의 0.0001배가 되는 방향과 크기가 일정한 정지하중을 말합니다. 볼나사에서는 축방향 하중으로 정의합니다. (볼나사의 각각의 수치는 각 형번의 치수표에 기재되어 있습니다.)

【허용하중에 대한 안전률 (HBN형, SBKH형)】

고부하 볼나사 HBN형 및 고부하고속 볼나사 SBKH형은 종래의 볼나사에 고부하 조건하에서 도 긴 수명을 실현 할 수 있도록 설계 되어 축방향 하중에 대해서는 허용하중 F_p 를 고려해야 합니다. 허용하중 F_p 란 고부하 볼나사가 받을 수 있는 최대 축방향 하중으로 이를 초과하지 않는 범위에서 사용하여 주십시오.

또한, 실제로 작용하는 축방향 하중이 충격 등에 의해서 변화하는 경우에는 허용하중 F_p 에 대해 안전을 고려하여 주십시오.

$$\frac{F_p}{F_a} > 1 \dots\dots\dots(29)$$

- F_p : 허용하중 (kN)
- F_a : 축방향 하중 (kN)

볼나사

수명검토

【볼나사의 수명】

볼나사가 외부하중을 받으면서 운동을 할 경우 전동면이나 볼에 계속적인 반복응력이 작용하기 때문에 한계에 이르면 전동면은 피로 파손되어 표면의 일부가 비늘 모양으로 벗겨지게 됩니다. 이것을 플레이킹이라고 합니다.

볼나사의 수명이란 전동면 또는 볼이 재료의 구름피로에 의해 최초의 플레이킹이 발생할 때까지의 총 회전수를 말합니다. 볼나사의 수명은 동일하게 제작된 것을 동일 운전조건으로 사용하여도 큰 차이를 나타냅니다. 이 때문에 볼나사의 수명을 구하는 기준으로써 다음과 같이 정의된 정격수명을 사용합니다.

정격수명이라는 것은 1군의 동일 볼나사를 동일 조건으로 각각 운동시켰을 때 이종의 90%가 플레이킹을 일으키지 않고 도달 가능한 총 회전수를 말합니다.

【정격수명 산출】

볼나사의 정격수명은 기본동정격하중(Ca)과 부하 축방향 하중을 사용해서 다음 식(30)에 의해 구해집니다.

● 정격수명(총 회전수)

$$L = \left(\frac{C_a}{f_w \cdot F_a} \right)^3 \times 10^6 \dots\dots\dots(30)$$

- L : 정격수명(총 회전수) (rev)
- Ca : 기본동정격하중* (N)
- Fa : 부하 축방향 하중 (N)
- f_w : 하중계수 (표2 참조)

표2 하중계수 (f_w)

진동/충격	속도(V)	f _w
미	미속의 경우 V ≤ 0.25m/s	1 ~ 1.2
소	저속의 경우 0.25 < V ≤ 1m/s	1.2 ~ 1.5
중	중속의 경우 1 < V ≤ 2m/s	1.5 ~ 2
대	고속의 경우 V > 2m/s	2 ~ 3.5

* 기본동정격하중(Ca)은 볼나사가 하중을 받고 운동 할 경우의 수명산출에 사용됩니다. 기본동정격하중이란, 1군의 동일 볼나사를 각각 운동시켰을 때 정격수명이 L=10⁶ 회전이 되는 방향과 크기가 변동하지 않는 하중을 말합니다. (기본동정격하중은 치수표 중에 기재되어 있습니다.)

* 정격 수명은 양호한 윤활이 확보되고, 이상적인 장착 조건에서 조립하는 것을 전제로 하중계산을 하여, 산출하고 있습니다. 장착부의 재질의 정도 및 변형에 따라 수명에 영향을 줄 우려가 있습니다.

● 수명시간

분당 회전수가 결정되면, 수명시간은 정격수명(L)을 이용해서 다음 식(31)에 의해 구해집니다.

$$L_h = \frac{L}{60 \times N} = \frac{L \times Ph}{2 \times 60 \times n \times \ell_s} \dots\dots\dots(31)$$

- L_h : 수명시간 (h)
- N : 분당회전수 (min^{-1})
- n : 분당왕복횟수 (min^{-1})
- Ph : 볼나사 리드 (mm)
- ℓ_s : 스트로크 길이 (mm)

● 주행거리 수명

주행거리 수명은 정격 수명(L)과 볼나사 리드를 이용해서 다음 식(32)에 의해 구해집니다.

$$L_s = \frac{L \times Ph}{10^6} \dots\dots\dots(32)$$

- L_s : 주행거리 수명 (km)
- Ph : 볼나사 리드 (mm)

● 예압을 고려한 부하하중과 수명

볼나사를 예압(중하중)하에서 사용하는 경우에는, 볼나사 너트가 이미 내부 하중을 받고 있으므로 수명을 계산할 때에 예압하중을 고려할 필요가 있습니다. 예압하중은 형번을 설정한 후, 삼익THK에 문의하여 주시기 바랍니다.

● 평균 축방향 하중

볼나사에 작용하는 축방향 하중이 변동하는 경우에는, 평균 축방향 하중을 산출하여 수명을 계산합니다.

평균 축방향 하중(F_m)은 변동 하중 조건에 의한 수명과 동등한 수명이 되는 일정하중입니다.

하중이 단계로 변화하면, 평균 축방향 하중은 다음 식에 의해 구해집니다.

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{1}{\ell} (Fa_1^3 \ell_1 + Fa_2^3 \ell_2 + \dots + Fa_n^3 \ell_n)} \dots\dots\dots(33)$$

- F_m : 평균 축방향 하중 (N)
- Fa_n : 변동하중 (N)
- ℓ_n : 하중(F_n)을 받아 주행한 거리
- ℓ : 총 주행 거리

거리 대신에 회전속도와 시간을 이용해서 평균 축방향 하중을 산출하는 경우, 다음 식으로 거리를 산출하여 평균 축방향 하중을 계산하십시오.

$$l = l_1 + l_2 + \dots + l_n$$

$$l_1 = N_1 \cdot t_1$$

$$l_2 = N_2 \cdot t_2$$

$$l_n = N_n \cdot t_n$$

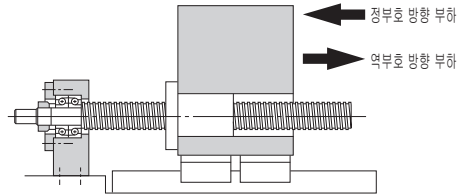
N: 회전수

t: 시간

■부하하중의 부호가 변화하는 경우

변동 하중에 대한 모든 부호가 동일할 경우, 식 (33)이 문제없이 적용 되지만, 변동하중의 부호가 동작에 따라 변하는 경우에는 하중의 방향을 고려하여 정부호 하중의 축방향 평균하중, 역부호 하중의 축방향 평균하중을 계산합니다. (정부호 하중의 평균 축방향하중을 계산하는 경우, 역부호 하중을 제로로 하여 계산합니다.) 2개의 축방향 평균하중에서 더 큰 쪽이 수명계산시의 축방향 평균하중이 됩니다.

예: 다음 하중 조건을 가지는 평균 축방향 하중 계산하면 아래와 같습니다.



동작 No.	변동하중 Fa(N)	주행거리 l_i (mm)
No.1	10	10
No.2	50	50
No.3	-40	10
No.4	-10	70

변동하중과 주행거리의 첨자는 동작 No.를 나타냅니다.

●정부호 방향 하중의 평균 축방향 하중

플러스 부호 하중의 평균 축방향 하중을 계산하기 위해서는, F_{a3} 와 F_{a4} 가 제로라고 가정하십시오.

$$F_{m1} = \sqrt[3]{\frac{F_{a1}^3 \times l_1 + F_{a2}^3 \times l_2}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}} = 35.5N$$

●역부호 방향 하중의 평균 축방향 하중

마이너스 부호 하중의 평균 축방향 하중을 계산하기 위해서는, F_{a1} 과 F_{a2} 가 제로라고 가정하십시오.

$$F_{m2} = \sqrt[3]{\frac{|F_{a3}|^3 \times l_3 + |F_{a4}|^3 \times l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}} = 17.2N$$

따라서, 정부호 방향 하중의 평균 축방향 하중(F_{m1})이 수명계산을 위한 평균 축방향 하중(F_m)으로 채택됩니다.

강성검토

NC 공작기계나 정밀기계에 있어서 이송나사의 위치결정정도를 항상 또는 절삭력에 의해 야기되는 변위를 줄이기 위해서, 각종 구성요소의 강성을 균형있게 설계합니다.

이송 나사계의 축방향 강성

이송 나사 시스템의 축방향 강성이 K인 경우, 축방향 탄성 변위량은 다음 식(34)에 의해 구해집니다.

$$\delta = \frac{F_a}{K} \dots\dots\dots(34)$$

- δ : 이송 나사계의 축방향 탄성 변위량 (μm)
- F_a : 부하 축방향 하중 (N)

이송 나사 시스템의 축방향 강성(K)는 다음 식(35)에 의해 구해집니다.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_N} + \frac{1}{K_B} + \frac{1}{K_H} \dots\dots\dots(35)$$

- K : 이송 나사 시스템의 축방향 강성 (N/μm)
- K_s : 나사축의 축방향 강성 (N/μm)
- K_N : 너트의 축방향 강성 (N/μm)
- K_B : 지지 베어링의 축방향 강성 (N/μm)
- K_H : 너트 브라켓과 지지 베어링 브라켓의 강성 (N/μm)

【나사축의 축방향 강성】

나사축의 축방향 강성은 축을 장착하는 방법에 따라 다릅니다.

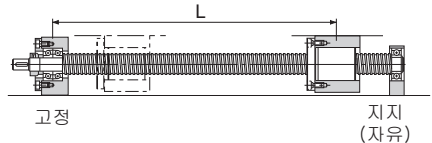
● 고정-지지(자유)의 경우

$$K_s = \frac{A \cdot E}{1000 \cdot L} \dots\dots\dots(36)$$

A : 나사축 단면적 (mm²)

$$A = \frac{\pi}{4} d_1^2$$

- d₁ : 나사축 곡경 (mm)
- E : 영률 (2.06×10⁵ N/mm²)
- L : 장착간의 거리 (mm)



B 15-52의 그림 7은 나사축에 대한 축방향 강성선도를 보여줍니다.

나사

● 고정-고정의 경우

$$K_s = \frac{A \cdot E \cdot L}{1000 \cdot a \cdot b} \dots\dots(37)$$

$a = b = \frac{L}{2}$ 의 위치에서 K_s 는 최저로 되고 축 방향의 탄성 변위량은 최대로 됩니다.

$$K_s = \frac{4A \cdot E}{1000L}$$

■ 15-53의 그림8은 이 구성에서의 나사 축에 대한 축방향 강성선도를 보여줍니다.

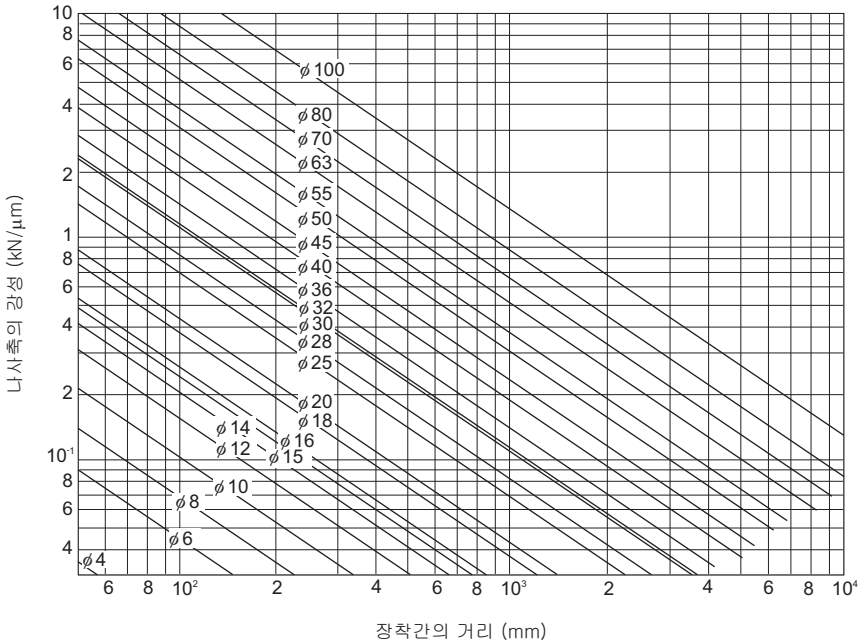
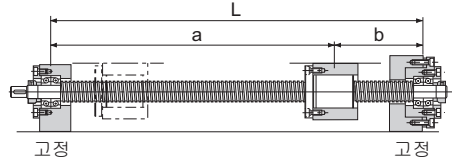


그림7 나사축의 축방향 강성(고정-자유, 고정-지지)

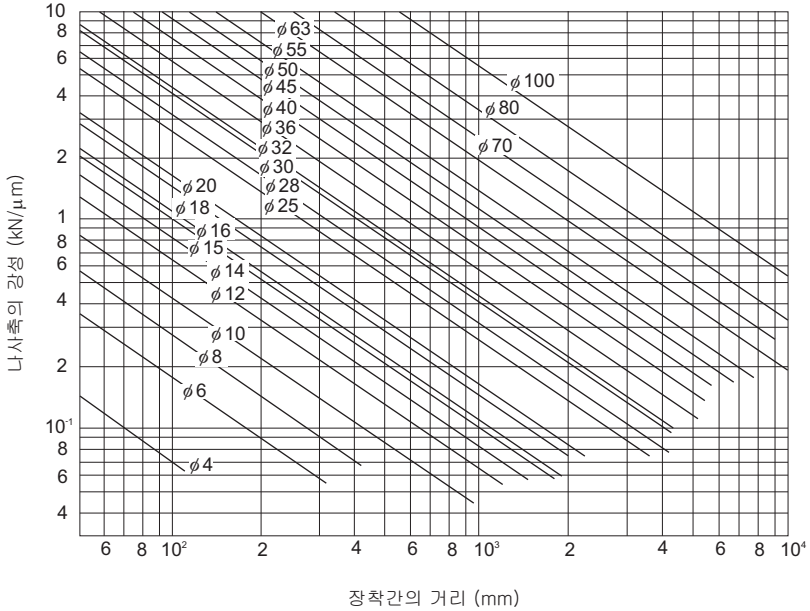


그림8 나사축의 축방향 강성(고정-고정)

【너트의 축방향 강성】

너트의 축방향 강성은 예압에 따라 크게 달라집니다.

● 무예압 타입

기본동정격하중(Ca)의 30%에 해당하는 축방향 하중이 가해진 경우의 이론적 축방향 강성은 치수 표에 표시되어 있습니다. 이 값은 너트 장착 브라켓에 관련된 구성요소의 강성은 포함하지 않습니다. 그러므로, 일반적으로 표에서의 값의 약 80%의 값으로 설정하십시오.

부하 축방향 하중이 기본동정격하중(Ca)의 30%와 다를 때의 강성치는 다음 식(38)에 의해 구해집니다.

$$K_N = K \left(\frac{F_a}{0.3Ca} \right)^{\frac{1}{3}} \times 0.8 \dots\dots(38)$$

- K_N : 너트의 축방향 강성 (N/μm)
- K : 치수표의 강성치 (N/μm)
- F_a : 부하 축방향 하중 (N)
- Ca : 기본동정격하중 (N)

● 예압 타입

기본동정격하중(Ca)의 10%에 해당하는 축방향 하중이 가해진 경우의 이론적 축방향 강성은 치수 표에 표시되어 있습니다. 이 값은 너트 장착 브라켓에 관련된 구성요소의 강성은 포함하지 않습니다. 그러므로, 일반적으로 표에서의 값의 약 80%의 값으로 설정하십시오.

예압하중이 기본동정격하중(Ca)의 10%와 다를 때의 강성치는 다음 식(39)에 의해 구해집니다.

$$K_N = K \left(\frac{Fa_0}{0.1Ca} \right)^{\frac{1}{3}} \times 0.8 \dots\dots(39)$$

- K_N : 너트의 축방향 강성 (N/ μ m)
- K : 치수표의 강성치 (N/ μ m)
- Fa_0 : 예압하중 (N)
- Ca : 기본동정격하중 (N)

【지지 베어링의 축방향 강성】

볼나사 지지 베어링의 강성은 사용되는 지지 베어링에 따라 다릅니다.

대표적인 앵글러 볼 베어링의 강성 계산은 아래의 식 (40)에 나타나 있습니다.

$$K_B \doteq \frac{3Fa_0}{\delta a_0} \dots\dots(40)$$

- K_B : 지지 베어링의 축방향 강성 (N/ μ m)
- Fa_0 : 지지 베어링의 예압하중 (N)
- δa_0 : 축방향 변위량 (μ m)

$$\delta a_0 = \frac{0.45}{\sin\alpha} \left(\frac{Q^2}{Da} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$Q = \frac{Fa_0}{Z\sin\alpha}$$

- Q : 축방향 하중 (N)
- Da : 지지 베어링의 볼경 (mm)
- α : 지지 베어링의 초기 접촉각 (°)
- Z : 볼수

특정 지지 베어링의 상세내용에 관해서는 제조사에 문의하여 주십시오.

【너트 브라켓과 지지 베어링 브라켓의 축방향 강성】

기계를 설계할 때에는 여러 조건을 충분히 고려하여 강성은 가능한 한 높게 설정하십시오.

위치결정정도의 검토

위치결정정도의 오차원인

위치결정정도에서의 오차 원인에는 리드 정도, 축방향 클리어런스와 이송 나사 시스템의 축방향 강성등과 같은 것이 포함됩니다. 기타 중요한 요인으로는 발열로 인한 열변위와 주행중의 자세 변화 등을 포함합니다.

리드 정도의 검토

볼나사 정도로부터 요구되는 위치결정정도를 만족하는 볼나사의 올바른 정도 등급(표15-20 표1)을 선택합니다. 표15-56의 표3은 용도에 따라 정도 등급을 선택하는 예를 보여줍니다.

축방향 클리어런스의 검토

축방향 클리어런스는 한 방향으로 이송의 경우 위치결정정도의 요인은 아니지만, 이송 방향이 반대 축방향 하중이 반대로 작용하는 경우에 백래쉬를 유발할 수 있습니다. 표15-27의 표10과 표12로부터 요구되는 백래쉬를 만족하는 축방향 클리어런스를 선정하여 주십시오.

표3 용도별 정도 등급 선정예

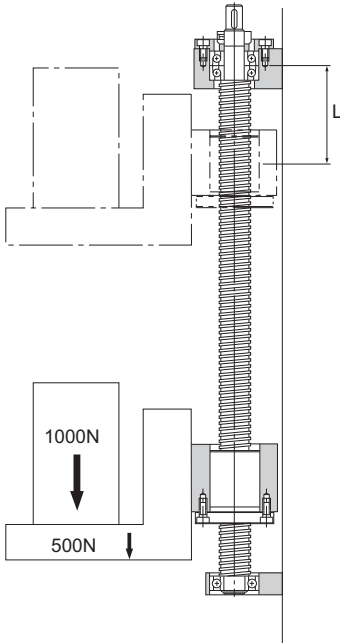
주요용도		축	정도 등급							
			C0	C1	C2	C3	C5	C7	C8	C10
NC 작기계	선반	X		●	●	●	●			
		Z				●	●			
	머시닝 센터	XY			●	●	●			
		Z			●	●	●			
	드릴링 머신	XY				●	●			
		Z					●	●		
	지그보어	XY	●	●						
		Z	●	●						
	평면 연삭기	X				●	●			
		Y		●	●	●	●			
		Z		●	●	●	●			
	원통 연삭기	X	●	●	●					
		Z		●	●	●				
	방전기공기	XY	●	●	●					
		Z		●	●	●	●			
	방전기공기 와이어 컷	XY	●	●	●					
		Z	●	●	●	●				
		UV		●	●	●				
	편칭 프레스	XY				●	●	●		
	레이저 기기	X				●	●	●		
Z					●	●	●			
목공기						●	●	●	●	
범용기계; 전용기계					●	●	●	●	●	
파 에 제 기	직교좌표형	조립				●	●	●	●	
		기타					●	●	●	
	수직다관절	조립					●	●	●	
		기타						●	●	
원통 좌표형					●	●	●			
핀 핀 핀 핀	노광장치	●	●							
	화학처리장치			●	●	●	●	●	●	
	와이어분더		●	●						
	프로버	●	●	●	●					
	프린트기판 가공기		●	●	●	●	●			
전자부품 삼입기				●	●	●	●			
3차원 측정기		●	●	●						
영상처리장치		●	●	●						
사출성형기							●	●	●	
사무 기기						●	●	●	●	

이송 나사계의 축방향 강성 검토

이송 나사계의 축방향 강성 중에서, 나사축의 축방향 강성은 스트로크 위치에 따라 변합니다. 축방향 하중이 큰 경우, 나사축의 축방향 강성의 변화는 위치결정정도에 영향을 줍니다. 그러므로, 이송 나사계의 강성을 고려할 필요가 있습니다. (B15-51 ~ B15-54)

이송나사계의 강성 검토 예

수직반송시의 이송나사계 축방향 강성에 따른 위치 결정 오차



[사용조건]

반송 중량: 1,000 N, 테이블 중량: 500 N

사용 볼나사: BNF2512-2.5형 (나사축 곡경 $d_1 = 21.9$ mm)

스트로크 길이: 600 mm ($L=100$ mm~700 mm)

나사축의 장착 방법: 고정-지지

【검토방법】

$L = 100$ mm와 $L = 700$ mm 간의 위치에 대한 축방향 강성의 차이는 나사축의 축방향 강성에만 적용됩니다. 그러므로, 이송 나사 시스템의 축방향 강성에 의한 위치결정오차는 $L = 100$ mm와 $L = 700$ mm 간의 나사축의 축방향 변위 차이와 같습니다.

【나사축의 축방향 강성(B15-51, B15-52 참조)】

$$K_s = \frac{A \cdot E}{1000L} = \frac{376.5 \times 2.06 \times 10^5}{1000 \times L} = \frac{77.6 \times 10^3}{L}$$

$$A = \frac{\pi}{4} d_1^2 = \frac{\pi}{4} \times 21.9^2 = 376.5 \text{mm}^2$$

$$E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

(1) L = 100 mm인 경우

$$K_{s1} = \frac{77.6 \times 10^3}{100} = 776 \text{ N/}\mu\text{m}$$

(2) L = 700mm인 경우

$$K_{s2} = \frac{77.6 \times 10^3}{700} = 111 \text{ N/}\mu\text{m}$$

【나사축의 축방향 강성에 의한 축방향 변위량】

(1) L = 100 mm인 경우

$$\delta_1 = \frac{Fa}{K_{s1}} = \frac{1000+500}{776} = 1.9 \mu\text{m}$$

(2) L = 700mm인 경우

$$\delta_2 = \frac{Fa}{K_{s2}} = \frac{1000+500}{111} = 13.5 \mu\text{m}$$

【이송 나사계의 축방향 강성에 의한 위치결정오차】

위치결정정도 = $\delta_1 - \delta_2 = 1.9 - 13.5$

$$= -11.6 \mu\text{m}$$

그러므로, 이송 나사계의 축방향 강성에 의한 위치결정오차는 11.6 μm 입니다.

발열에 의한 열변위 검토

나사축의 온도가 운전 중에 상승되면, 나사축이 늘어나 위치결정정도를 저하시킵니다. 나사축의 팽창과 수축은 다음 식(41)에 의해 구해집니다.

$$\Delta l = \rho \times \Delta t \times l \dots\dots(41)$$

- Δl : 나사축의 축방향 신축량 (mm)
- ρ : 열팽창계수 ($12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
- Δt : 나사축의 온도 변화 ($^{\circ}\text{C}$)
- l : 유효 나사 길이 (mm)

나사축의 온도가 1 $^{\circ}\text{C}$ 상승하면, 나사축은 미터당 12 μm 늘어납니다. 따라서, 볼나사의 사용조건이 고속이 되면 발열량도 증대하여 온도상승에 의한 위치결정정도가 저하되므로, 고정도가 필요한 경우는 온도 대책을 생각할 필요가 있습니다.

【온도 상승 대책】

● 발열을 최소화함

- 볼나사와 지지 베어링의 예압을 최소화합니다.
- 볼나사 리드를 늘리고 회전속도를 줄입니다.
- 적절한 윤활제를 선택합니다. (B24-2 윤활 관련제품 참조)
- 윤활제나 공기로 나사축의 원호를 냉각시킵니다.

● 발열을 통한 온도 상승의 효과를 피합니다

- 볼나사의 기준 이동량에 대해 마이너스의 목표치로 설정합니다.
일반적으로, 열로인한 온도 증가를 2 $^{\circ}\text{C}$ ~ 5 $^{\circ}\text{C}$ 로 가정한 경우의 기준 이동 거리에 대해 마이너스의 목표치를 설정합니다.
(-0.02mm ~ -0.06mm)
- 나사축의 프리텐션을 부여합니다.(구조 : B15-37그림3 참조)

주행중의 자세변화 검토

볼나사의 리드 정도는 볼나사의 축 중심의 위치결정 정도와 같습니다. 위치결정정도가 필요한 곳은 볼나사 중심과 높이 방향이나 폭방향으로 달라지므로, 이동 중의 자세 변화는 위치결정정도에 영향을 줍니다.

위치결정정도에 영향을 주는 자세 변화의 가장 큰 요인은 볼나사 중심과 높이 방향의 변화가 발생할 때의 피칭과 폭방향으로 변화가 발생할 때의 요잉입니다.

따라서, 볼나사 중심으로부터 위치결정정도가 요구되는 곳까지의 거리에 기초한 이동 중의 방향 변화(피칭, 요잉 등)를 검토할 필요가 있습니다.

피칭과 요잉에 의한 위치결정오차는 다음 식(42)에 의해 구해집니다.

$$A = \ell \times \sin\theta \dots\dots\dots(42)$$

A: 피칭(요잉)에 의한 위치결정오차

(mm)

ℓ : 볼나사 중심으로부터의 수직(수평)거리

(mm)(그림9 참조)

θ : 피칭(요잉)

(°)

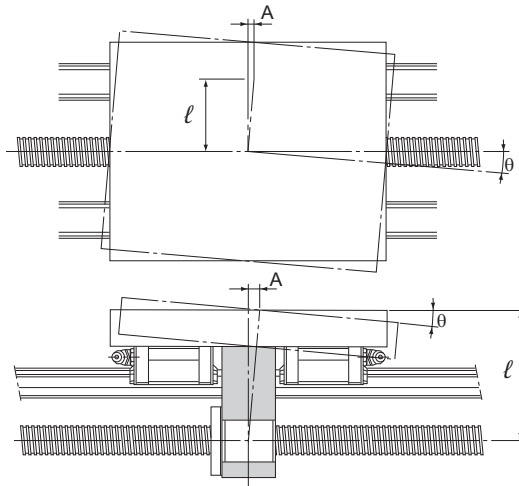


그림9

회전 토크 검토

볼나사에 회전토크를 부여하여 회전운동을 직선운동으로 변환시키는 데에 필요한 회전 토크는 다음 식(43)에 의해 구해집니다.

【등속시】

$$(T_1 + T_2 + T_4) \cdot A \dots\dots(43)$$

- T_1 : 등속시 필요한 회전 토크 (N·mm)
- T_1 : 외부 하중에 의한 마찰 토크 (N·mm)
- T_2 : 예압에 의한 토크 (N·mm)
- T_4 : 기타 토크 (N·mm)
(지지 베어링과 오일 씰의 마찰 토크)
- A : 감속비

【가속시】

$$T_K = T_t + T_3 \dots\dots(44)$$

- T_K : 가속시 필요한 회전 토크 (N·mm)
- T_3 : 가속에 필요한 토크 (N·mm)

【감속시】

$$T_g = T_t - T_3 \dots\dots(45)$$

- T_g : 감속시 필요한 회전 토크 (N·mm)

외부하중에 의한 마찰 토크

볼나사에 필요한 회전력 중에서, 외부 하중(안내면 저항, 외력)에 필요한 회전 토크는 다음 식(46)에 의해 구해집니다.

$$T_1 = \frac{F_a \cdot Ph}{2\pi \cdot \eta} \dots\dots(46)$$

- T_1 : 외부 하중에 의한 마찰 토크 (N·mm)
- F_a : 축방향 하중 (N)
- Ph : 볼나사 리드 (mm)
- η : 볼나사 효율(0.9 ~ 0.95)

볼나사의 예압에 의한 토크

볼나사에서의 예압에 대해서는 **B15-30**의 "예압 토크"를 참조하십시오.

가속에 필요한 토크

$$T_3 = J \times \omega' \times 10^3 \dots\dots(47)$$

- T_3 : 가속에 필요한 토크 (N·mm)
 J : 관성 모멘트 (kg·m²)
 ω' : 각가속도 (rad/s²)

$$J = m \left(\frac{Ph}{2\pi} \right)^2 \cdot A^2 \cdot 10^{-6} + J_s \cdot A^2 + J_A \cdot A^2 + J_B$$

- m : 반송질량 (kg)
 Ph : 볼나사 리드 (mm)
 J_s : 나사축의 관성 모멘트 (kg·m²)
 (각 형번의 치수표에 기재되어 있습니다)
 A : 감속비
 J_A : 나사축 쪽에 부착된 기어등의 관성 모멘트 (kg·m²)
 J_B : 모터 쪽에 부착된 기어등의 관성 모멘트 (kg·m²)

$$\omega' = \frac{2\pi \cdot Nm}{60t}$$

- Nm : 분당 모터회전수 (min⁻¹)
 t : 가속시간 (s)

[참조] 원형의 관성 모멘트

$$J = \frac{m \cdot D^2}{8 \cdot 10^6}$$

- J : 관성 모멘트 (kg·m²)
 m : 원형의 질량 (kg)
 D : 나사축 외경 (mm)

볼나사 축끝단 강도의 검토

볼나사의 나사축은 토크를 전달할 때에 비틀림 하중이나 굽힘 하중을 받기 때문에 나사축의 강도를 고려할 필요가 있습니다.

【비틀림을 받는 나사축】

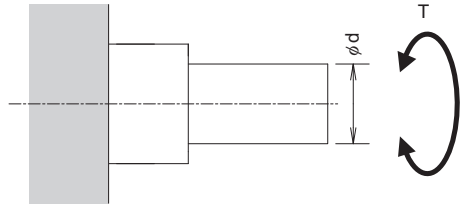
볼나사 축끝단에 비틀림 하중이 작용하는 경우, (48)식에 의해 나사축끝단 축경을 구합니다.

$$T = \tau_a \cdot Z_P \quad \text{및} \quad Z_P = \frac{T}{\tau_a} \quad \dots\dots (48)$$

T: 비틀림 모멘트

- T : 최대 비틀림 모멘트 (N·mm)
- τ_a : 나사축의 허용 비틀림 응력 (49N/mm²)
- Z_P : 극단면계수 (mm³)

$$Z_P = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$$



【굽힘을 받는 나사축】

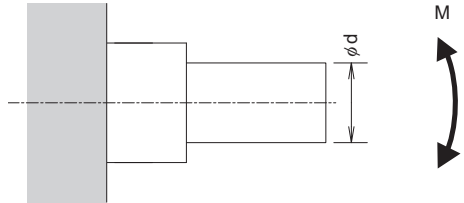
볼나사 축끝단에 굽힘 하중이 작용하는 경우, (49)식에 의해 나사축끝단 축경을 구합니다.

$$M = \sigma \cdot Z \quad \text{및} \quad Z = \frac{M}{\sigma} \quad \dots\dots (49)$$

M: 굽힘 모멘트

- M : 최대 굽힘 모멘트 (N·mm)
- σ : 나사축의 허용 굽힘 응력 (98N/mm²)
- Z : 단면계수 (mm³)

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$



【비틀림과 굽힘을 동시에 받는 경우】

볼나사 축끝단에 비틀림 하중과 굽힘 하중이 동시에 작용하는 경우, 상당 굽힘 모멘트(M_e)와 상당 비틀림 모멘트(T_e)를 고려하여 각각 나사축의 직경과 두께를 계산하여 그 중 큰 쪽의 값을 취합니다.

등가 굽힘 모멘트

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

$$M_e = \sigma \cdot Z$$

등가 비틀림 모멘트

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

$$T_e = \tau_a \cdot Z_P$$

구동모터 검토

볼나사를 회전시키는 데에 필요한 구동모터를 선택할 때에는, 회전속도, 회전 토크와 최소 이송량을 고려합니다.

서보모터를 사용하는 경우

【회전수】

모터에 필요한 회전수는 이송속도, 볼나사 리드와 감속비에 근거해서 식(50)에 의해 구해집니다.

$$N_M = \frac{V \times 1000 \times 60}{Ph} \times \frac{1}{A} \dots\dots(50)$$

- N_M : 모터의 필요 회전수 (min⁻¹)
- V : 이송속도 (m/s)
- Ph : 볼나사 리드 (mm)
- A : 감속비

모터의 정격 회전수는 위의 계산치(N_M)와 같거나 더 커야합니다.

$$N_M \leq N_R$$

- N_R : 모터의 정격 회전수 (min⁻¹)

【필요 분해능】

엔코더와 드라이버에 필요한 분해능은 최소 이송량, 볼나사 리드와 감속비에 근거해서 식(51)에 의해 구해집니다.

$$B = \frac{Ph \cdot A}{S} \dots\dots(51)$$

- B : 엔코더와 드라이버에 필요한 분해능 (p/rev)
- Ph : 볼나사 리드 (mm)
- A : 감속비
- S : 최소 이송량 (mm)

【모터토크】

모터에 필요한 토크는 등속시, 가속시, 감속시에 따라 다릅니다. 회전 토크를 계산하기 위해서는, **B15-61**의 "회전 토크 검토"를 참조하십시오.

a. 최대 토크

모터에 필요한 최대 토크는 모터의 순간 최대 토크와 같거나 그 이하여야 합니다.

$$T_{\max} \leq T_{p\max}$$

T_{\max} : 모터에 작용하는 최대 토크

$T_{p\max}$: 모터의 순간 최대 토크

b. 유효 토크치

모터에 필요한 토크의 유효값을 계산하여야 합니다. 토크의 유효값은 다음 식(52)에 의해 구해 집니다.

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_1^2 \times t_1 + T_2^2 \times t_2 + T_3^2 \times t_3}{t}} \dots\dots\dots(52)$$

T_{rms} : 유효 토크값 (N·mm)

T_n : 변동토크 (N·mm)

t_n : 토크 T_n 이 가해지는 시간 (s)

t : 사이클 시간 (s)

$$(t=t_1+t_2+t_3)$$

산출한 유효 토크치는 모터의 정격 토크 이하여야 합니다.

$$T_{rms} \leq T_R$$

T_R : 모터의 정격 토크 (N·mm)

【관성 모멘트】

모터에 필요한 관성 모멘트는 다음 식(53)에 의해 구해 집니다.

$$J_M = \frac{J}{C} \dots\dots\dots(53)$$

J_M : 모터에 필요한 관성 모멘트 (kg·m²)

C : 모터와 드라이버에 의해서 정해지는 계수

(보통 3~10 사이입니다. 그렇지만, 모터와 드라이버에 따라 달라지므로, 모터 제조사의 카탈로그내의 특정값을 확인합니다.)

모터의 관성 모멘트는 산출된 J_M 과 같거나 더 큰 값을 가져야 합니다.

스텝핑 모터(펄스 모터)를 사용하는 경우

【최소 이송량(1 스텝당 이송량)】

모터와 드라이버에 필요한 스텝각은 최소 이송량, 볼나사 리드와 감속비에 근거해서 식 (54)에 의해 구해집니다.

$$E = \frac{360S}{Ph \cdot A} \dots\dots(54)$$

- E : 모터와 드라이버에 필요한 스텝각 (°)
S : 최소 이송량 (mm)
(1 스텝당 이송량)
Ph : 볼나사 리드 (mm)
A : 감속비

【펄스 속도와 모터 토크】

a. 펄스 속도

펄스 속도는 이송 속도와 최소 이송량에 근거해서 식(55)에 의해 구해집니다.

$$f = \frac{V \times 1000}{S} \dots\dots(55)$$

- f : 펄스 속도 (Hz)
V : 이송 속도 (m/s)
S : 최소 이송량 (mm)

b. 모터에 필요한 토크

모터에 필요한 토크는 등속시, 가속시, 감속시의 경우에 다릅니다. 회전 토크를 계산하기 위해서는, **B15-61**의 "회전 토크 검토"를 참조하여 산출하십시오.

따라서, 모터에 필요한 펄스 속도와 필요한 토크는 위에 설명된 식으로 계산할 수 있습니다.

토크는 사용되는 모터에 따라 달라지지만, 보통 안전을 위해서 산출 토크는 두배로 해주어야 합니다. 모터의 속도-토크 곡선내에서 토크를 이용할 수 있는지 확인하십시오.

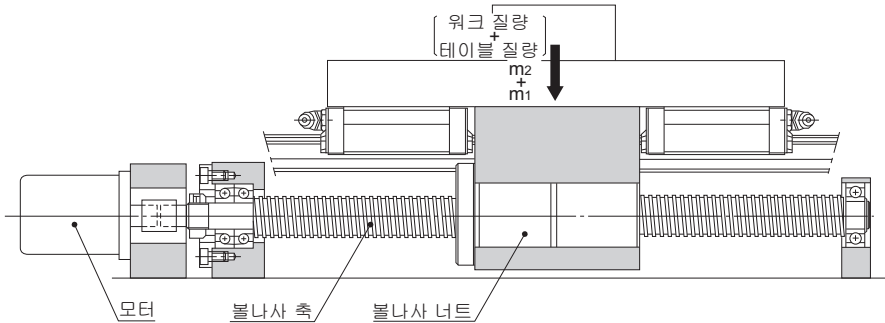
볼나사 선정에

고속 반송장치(수평 사용)

【선정 조건】

테이블 질량	$m_1 = 60\text{kg}$	반복위치결정정도	$\pm 0.1\text{ mm}$
워크 질량	$m_2 = 20\text{kg}$	최소 이송량	$s = 0.02\text{mm/펄스}$
스트로크 길이	$l_s = 1000\text{mm}$	희망 수명시간	30000h
최대 속도	$V_{\text{max}} = 1\text{m/s}$	구동 모터	AC 서보 모터
가속 시간	$t_1 = 0.15\text{s}$		정격 회전 속도: $3,000\text{ min}^{-1}$
감속 시간	$t_3 = 0.15\text{s}$	모터의 관성 모멘트	$J_m = 1 \times 10^{-3}\text{ kg}\cdot\text{m}^2$
분당 왕복 횟수	$n = 8\text{min}^{-1}$	감속 기구	없음 (직결) $A=1$
백래쉬	0.15mm	안내면의 마찰계수	$\mu = 0.003$ (구름)
위치결정정도	$\pm 0.3\text{ mm/1000 mm}$	안내면의 저항	$f = 15\text{ N}$ (무부하시)

(한 방향으로 위치결정 실행)



【선정 항목】

- 나사 축경
- 리드
- 너트 형번
- 정도
- 축방향 클리어런스
- 나사축 지지방법
- 구동 모터

【리드정도와 축방향 클리어런스의 선정】

● 리드정도의 선정

±0.3 mm/1,000 mm의 위치결정정도를 만족시키기 위해서

$$\frac{\pm 0.3}{1000} = \frac{\pm 0.09}{300}$$

±0.09 mm/300 mm 이상의 리드정도를 선정할 필요가 있습니다.

그러므로, 볼나사의 정도 등급으로 다음을 선택하십시오(■15-20의 표1을 참조).

C7(이동량 오차: ±0.05mm/300mm)

정도 등급 C7은 전조, 정밀 볼나사 모두에 사용할 수 있습니다. 저가인 전조 볼나사를 선정합니다.

● 축방향 클리어런스의 선정

0.15 mm의 백래쉬를 만족시키기 위해서는, 0.15mm 이하의 축방향 클리어런스를 가지는 볼나사를 선택할 필요가 있습니다.

그러므로 0.15 mm 이하(■15-27의 표12참조)의 축방향 클리어런스를 만족하는 32mm 이하의 나사 축경을 가지는 전조 볼나사형이 요구조건을 만족합니다.

이상에서, 나사 축경 32mm 이하와 정도 등급 C7을 가지는 전조 볼나사형이 선택됩니다.

【나사축 선정】

● 나사축 길이 가정

너트 전체길이가 100mm이고 나사 축단 길이가 100mm라고 가정합니다.

따라서, 전장은 1,000mm의 스트로크 길이에 근거해서 다음과 같이 정해집니다.

$$1000 + 200 = 1200 \text{ mm}$$

이상에서, 나사축 길이는 1,200mm로 가정합니다.

● 리드의 선정

구동 모터의 정격 회전 속도가 3,000 min⁻¹이고, 최고 속도가 1 m/s인 경우, 볼나사 리드는 다음과 같이 구해집니다:

$$\frac{1 \times 1000 \times 60}{3000} = 20 \text{ mm}$$

그러므로, 20mm 이상을 선정할 필요가 있습니다.

또한, 볼나사와 모터는 감속 기구를 사용하지 않고도 직렬로 장착할 수 있으므로 AC 서보모터의 회전당의 최소 분해능은 아래에 표시된 것과 같이 AC 서보모터에 표준 부속품으로 제공되는 엔코더(1,000 p/rev; 1,500 p/rev)의 분해능에 근거해서 아래와 같이 됩니다.

1000 p/rev(체배없음)

1500 p/rev(체배없음)

2000 p/rev(2체배)

3000 p/rev(2체배)

4000 p/rev(4체배)

6000 p/rev(4체배)

선정조건인 최소 이송량인 0.02 mm/펄스를 만족시키기 위해서는, 아래와 같이 됩니다.

리드	20mm	—	1000 p/rev
	30mm	—	1500 p/rev
	40mm	—	2000 p/rev
	60mm	—	3000 p/rev
	80mm	—	4000 p/rev

● 나사 축경의 선정

B15-70【리드정도와 축방향 클리어런스의 선정】의 나사축경32mm이하, 전조볼나사,

B15-70【나사축 선정】의 리드 20mm, 30mm, 40mm, 60mm, 80mm를 만족시키는 볼나사 (**B15-35**표17참조)는 아래와 같이 됩니다.

축경	리드
15mm	— 20mm
15mm	— 30mm
20mm	— 20mm
20mm	— 40mm
30mm	— 60mm

또 **B15-70**【나사축 선정】 나사축 길이1200mm로부터 나사축경이 15mm로서는 너무 가늘고 길어지기 때문에 나사 축경 20mm이상으로 합니다.

이상에 의해 나사축경이 20mm·리드20mm,나사축경이 20mm·리드40mm,나사축경이 30mm·리드 60mm의 3종류가 됩니다.

● 나사축 지지방법의 선정

스트로크 길이 1000mm로 길고, 최고속도 1m/s로 고속 사용하므로 나사축의 지지방법은 고정-지지 또는 고정-고정을 선정합니다.

단, 고정-고정은 구조가 복잡하게 되고 또 부품정도, 조립정도를 고정도로 사용할 필요가 있습니다. 이상으로부터 나사축의 지지방법은 고정-지지를 선택합니다.

● 허용 축방향 하중의 검토

■ 최대 축방향 하중의 산출

안내면 저항	$f=15$ N(무부하시)
테이블 질량	$m_1 =60$ kg
워크 질량	$m_2 =20$ kg
안내면 마찰계수	$\mu =0.003$
최고 속도	$V_{max}=1$ m/s
중력가속도	$g = 9.807$ m/s ²
가속 시간	$t_1 = 0.15$ s

따라서, 필요한 값은 다음과 같이 얻어집니다.

가속도:

$$\alpha = \frac{V_{max}}{t_1} = 6.67 \text{ m/s}^2$$

왕로 가속시:

$$F_{a1} = \mu \cdot (m_1 + m_2) g + f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 550 \text{ N}$$

왕로 등속시:

$$F_{a2} = \mu \cdot (m_1 + m_2) g + f = 17 \text{ N}$$

왕로 감속시:

$$F_{a3} = \mu \cdot (m_1 + m_2) g + f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = -516 \text{ N}$$

복로 가속시:

$$F_{a4} = -\mu \cdot (m_1 + m_2) g - f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = -550 \text{ N}$$

복로 등속시:

$$F_{a5} = -\mu \cdot (m_1 + m_2) g - f = -17 \text{ N}$$

복로 감속시:

$$F_{a6} = -\mu \cdot (m_1 + m_2) g - f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 516 \text{ N}$$

따라서, 볼나사에 작용하는 최대 축방향 하중은 다음과 같이 됩니다.

$$F_{a_{max}} = F_{a1} = 550 \text{ N}$$

나사축의 허용 축방향하중은 나사 축경이 가늘수록 작아지게 됨으로 곡경이 가장 작은 나사축경 20mm,리드20mm(곡경 17.5mm)로서 문제없으면 나사축경 30mm는 문제가 없으므로 나사축경 20mm,리드20mm로서 나사축의 좌굴하중과 허용인장 압축하중을 산출합니다.

■나사축의 좌굴하중

장착 방법에 따른 계수 $\eta_2=20$ (B15-38 참조)

좌굴이 고려되는 너트와 베어링 사이부의 장착 방법은 "고정-고정"이므로:

장착간 거리 $l_s=1100$ mm (추정)

나사축 곡경 $d_1=17.5$ mm

$$P_1 = \eta_2 \cdot \frac{d_1^4}{l_s^2} \times 10^4 = 20 \times \frac{17.5^4}{1100^2} \times 10^4 = 15500 \text{ N}$$

■나사축의 허용인장 압축하중

$P_2 = 116 \times d_1^2 = 116 \times 17.5^2 = 35500 \text{ N}$

따라서, 나사축의 좌굴하중과 허용인장압축하중은 최대 축방향 하중 이상으로 되므로, 사용상의 문제가 없습니다.

● 허용 회전수의 검토

■최대 회전수

● 나사축경: 20 mm, 리드: 20 mm

최고 속도 $V_{max}=1$ m/s

리드 $Ph=20$ mm

$$N_{max} = \frac{V_{max} \times 60 \times 10^3}{Ph} = 3000 \text{ min}^{-1}$$

● 나사축경: 20 mm, 리드: 40mm

최고 속도 $V_{max}=1$ m/s

리드 $Ph=40$ mm

$$N_{max} = \frac{V_{max} \times 60 \times 10^3}{Ph} = 1500 \text{ min}^{-1}$$

● 나사축경: 30mm, 리드: 60mm

최고 속도 $V_{max}=1$ m/s

리드 $Ph=60$ mm

$$N_{max} = \frac{V_{max} \times 60 \times 10^3}{Ph} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

■나사축의 위험속도에 의한 허용 회전수

장착 방법에 따른 계수 $\lambda_2=15.1$ (B15-40 참조)

위험속도를 검토할 너트-베어링간의 장착방법은 고정-지지에서

장착간 거리 $\ell_b=1100$ mm(추정)

- 나사 축경20 mm, 리드20 mm 및 40 mm

나사축 곡경 $d_1=17.5$ mm

$$N_1 = \lambda_2 \times \frac{d_1}{\ell_b^2} 10^7 = 15.1 \times \frac{17.5}{1100^2} \times 10^7 = 2180 \text{ min}^{-1}$$

- 나사 축경30mm, 리드60mm

나사축 곡경 $d_1=26.4$ mm

$$N_1 = \lambda_2 \times \frac{d_1}{\ell_b^2} 10^7 = 15.1 \times \frac{26.4}{1100^2} \times 10^7 = 3294 \text{ min}^{-1}$$

■DN치에 의한 허용 회전수

- 나사 축경20 mm, 리드20 mm, 40mm (대리드 볼나사)

볼중심경 $D=20.75$ mm

$$N_2 = \frac{70000}{D} = \frac{70000}{20.75} = 3370 \text{ min}^{-1}$$

- 나사 축경30 mm, 리드60 mm (대리드 볼나사)

볼중심경 $D=31.25$ mm

$$N_2 = \frac{70000}{D} = \frac{70000}{31.25} = 2240 \text{ min}^{-1}$$

따라서, 20mm의 나사축경과 20mm의 리드를 가지는 볼나사의 경우, 최대 회전속도는 위험 속도를 초과합니다. 반대로, 20mm의 나사축경과 40mm의 리드를 조합하고, 30mm의 나사축경과 60mm의 리드를 조합하면, 위험 속도와 DN치를 만족하게 됩니다.

따라서, 20mm의 나사축경과 40mm의 리드를 가지는 볼나사, 또는 30mm의 나사축경과 60mm의 리드를 가지는 볼나사가 선정됩니다.

【너트의 선정】

● 너트 형변의 선정

전조 볼나사에서 나사축경 20mm, 리드40mm 및 나사축경 30mm, 리드 60mm의 너트는 대리드 전조 볼나사 WTF형이므로, 아래와 같이 선정됩니다.

WTF2040-2

(Ca=5.4 kN, C_{0a}=13.6 kN)

WTF2040-3

(Ca=6.6 kN, C_{0a}=17.2 kN)

WTF3060-2

(Ca=11.8 kN, C_{0a}=30.6 kN)

WTF3060-3

(Ca=14.5 kN, C_{0a}=38.9 kN)

● 허용 축방향 하중의 검토

가장 기본정정격하중(C_{0a})이 작은 WTF2040-2(C_{0a}=13.6kN)로 검토를 합니다.

고속 반송장치이기 때문에 가속, 감속시에 충격하중이 작용하므로 정적안전계수 f_s=2.5 (B15-47표1참조)로 설정합니다.

$$\frac{C_{0a}}{f_s} = \frac{13.6}{2.5} = 5.44 \text{ kN} = 5440 \text{ N}$$

얻어진 허용 축방향 하중은 최대 축방향 하중 550 N보다 크므로, 문제가 없습니다.

■ 이동거리의 산출

최대 속도 V_{max}=1 m/s

가속 시간 t₁ = 0.15s

감속 시간 t₃ = 0.15s

● 가속시의 주행거리

$$l_{1,4} = \frac{V_{max} \cdot t_1}{2} \times 10^3 = \frac{1 \times 0.15}{2} \times 10^3 = 75 \text{ mm}$$

● 등속시의 주행거리

$$l_{2,5} = l_s - \frac{V_{max} \cdot t_1 + V_{max} \cdot t_3}{2} \times 10^3 = 1000 - \frac{1 \times 0.15 + 1 \times 0.15}{2} \times 10^3 = 850 \text{ mm}$$

● 감속시의 주행거리

$$l_{3,6} = \frac{V_{max} \cdot t_3}{2} \times 10^3 = \frac{1 \times 0.15}{2} \times 10^3 = 75 \text{ mm}$$

위의 조건에 근거해서, 부하 축방향 하중과 이동 거리간의 관계를 아래의 표에 나타냅니다.

동작	부하 축방향 하중 F _a (N)	주행거리 l _N (mm)
No.1: 왕로 가속시	550	75
No.2: 왕로 등속시	17	850
No.3: 왕로 감속시	-516	75
No.4: 복로 가속시	-550	75
No.5: 복로 등속시	-17	850
No.6: 복로 감속시	516	75

* 첨자는 동작 No.를 나타냅니다.

하중 방향(부호)은 F_{a3}, F_{a4}, F_{a5}는 반대이므로 2방향의 축방향 평균하중을 산출합니다.

■ 축방향 평균하중

● 정부호 방향의 축방향 평균하중

하중 방향은 다르기 때문에, $F_{a_{3,4,5}} = 0\text{N}$ 으로 하여 계산합니다.

$$F_{m1} = \sqrt[3]{\frac{F_{a1}^3 \times l_1 + F_{a2}^3 \times l_2 + F_{a6}^3 \times l_6}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}} = 225 \text{ N}$$

● 역부호 방향의 축방향 평균하중

하중 방향은 다르기 때문에, $F_{a_{1,2,6}} = 0\text{N}$ 으로 하여 계산합니다.

$$F_{m2} = \sqrt[3]{\frac{|F_{a3}|^3 \times l_3 + |F_{a4}|^3 \times l_4 + |F_{a5}|^3 \times l_5}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6}} = 225 \text{ N}$$

$F_{m1} = F_{m2}$ 이므로, 축방향 평균하중은 $F_m = F_{m1} = F_{m2} = 225 \text{ N}$ 으로 합니다.

■ 정격수명

하중계수 $f_w = 1.5$ (B15-48의 표2을 참조)

평균하중 $F_m = 225 \text{ N}$

정격수명 L (rev)

$$L = \left(\frac{C_a}{f_w \cdot F_m} \right)^3 \times 10^6$$

검토행번	동정격하중 Ca(N)	정격수명 L(rev)
WTF 2040-2	5400	4.1×10^9
WTF 2040-3	6600	7.47×10^9
WTF 3060-2	11800	4.27×10^{10}
WTF 3060-3	14500	7.93×10^{10}

■매분 평균 회전수

매분 왕복 횟수 $n = 8 \text{ min}^{-1}$
스트로크 $l_s = 1,000 \text{ mm}$

●리드: $Ph = 40 \text{ mm}$

$$N_m = \frac{2 \times n \times l_s}{Ph} = \frac{2 \times 8 \times 1000}{40} = 400 \text{ min}^{-1}$$

●리드: $Ph = 60 \text{ mm}$

$$N_m = \frac{2 \times n \times l_s}{Ph} = \frac{2 \times 8 \times 1000}{60} = 267 \text{ min}^{-1}$$

■정격수명에 근거한 수명시간 산출

●WTF2040-2

정격수명 $L = 4.1 \times 10^9 \text{ rev}$
분당평균회전수 $N_m = 400 \text{ min}^{-1}$

$$L_h = \frac{L}{60 \times N_m} = \frac{4.1 \times 10^9}{60 \times 400} = 171000 \text{ h}$$

●WTF2040-3

정격수명 $L = 7.47 \times 10^9 \text{ rev}$
분당평균회전수 $N_m = 400 \text{ min}^{-1}$

$$L_h = \frac{L}{60 \times N_m} = \frac{7.47 \times 10^9}{60 \times 400} = 311000 \text{ h}$$

●WTF3060-2

정격수명 $L = 4.27 \times 10^{10} \text{ rev}$
분당평균회전수 $N_m = 267 \text{ min}^{-1}$

$$L_h = \frac{L}{60 \times N_m} = \frac{4.27 \times 10^{10}}{60 \times 267} = 2670000 \text{ h}$$

●WTF3060-3

정격수명 $L = 7.93 \times 10^{10} \text{ rev}$
분당평균회전수 $N_m = 267 \text{ min}^{-1}$

$$L_h = \frac{L}{60 \times N_m} = \frac{7.93 \times 10^{10}}{60 \times 267} = 4950000 \text{ h}$$

■정격수명에 근거한 주행수명 산출

●WTF2040-2

정격수명 $L=4.1 \times 10^9$ rev

리드 $Ph=40$ mm

$$L_s = L \times Ph \times 10^{-6} = 164,000 \text{ km}$$

●WTF2040-3

정격수명 $L=7.47 \times 10^9$ rev

리드 $Ph=40$ mm

$$L_s = L \times Ph \times 10^{-6} = 298,800 \text{ km}$$

●WTF3060-2

정격수명 $L=4.27 \times 10^{10}$ rev

리드 $Ph=60$ mm

$$L_s = L \times Ph \times 10^{-6} = 2,562,000 \text{ km}$$

●WTF3060-3

정격수명 $L=7.93 \times 10^{10}$ rev

리드 $Ph=60$ mm

$$L_s = L \times Ph \times 10^{-6} = 4,758,000 \text{ km}$$

위에 설명된 모든 조건으로, 희망 수명시간 30,000 시간을 만족하는 다음 형번을 선정합니다.

WTF 2040-2

WTF 2040-3

WTF 3060-2

WTF 3060-3

【강성 검토】

선정조건으로써, 강성규격이 없고 사용조건에 대해서도 특별히 문제가 없으므로 생각한다.

【위치결정정도의 검토】

● 리드정도의 검토

■15-70의 【리드정도와 축방향 클리어런스의 선정】에서는 정도 등급 C7을 선정하고 있습니다.

C7(이동량 오차: ±0.05mm/300mm)

● 축방향 클리어런스 검토

한방향에서 위치결정을 하기 때문에 축방향 클리어런스는 위치결정정도에 포함되어 있지 않으므로 검토할 필요가 없습니다.

WTF2040: 축방향 클리어런스: 0.1 mm

WTF3060: 축방향 클리어런스: 0.14 mm

● 축방향 강성 검토

하중 방향은 변하지 않으므로, 축방향 강성에 근거해서 위치결정정도를 검토할 필요가 없습니다.

● 발열에 의한 열변위 검토

조작중의 온도 상승은 5℃로 가정합니다.

온도 상승에 근거한 위치결정오차는 다음과 같이 얻어집니다.

$$\begin{aligned} \Delta l &= \rho \times \Delta t \times l \\ &= 12 \times 10^{-6} \times 5 \times 1000 \\ &= 0.06 \text{ mm} \end{aligned}$$

● 주행중의 자세변화의 검토

볼나사 중심과 정도가 필요한 곳이 150mm떨어져 있으므로 주행중 자세변화의 검토는 필요합니다.

구조에서 피칭이 ±10초 이하로 가능하다고 가정합니다.

피칭에 의한 위치결정오차는 다음과 같이 구해집니다.

$$\begin{aligned} \Delta a &= l \times \sin \theta \\ &= 150 \times \sin (\pm 10'') \\ &= \pm 0.007 \text{ mm} \end{aligned}$$

이상에 의해 위치결정정도(Δp)는 다음과 같이 얻어집니다:

$$\Delta p = \frac{\pm 0.05 \times 1000}{300} \pm 0.007 + 0.06 = 0.234 \text{ mm}$$

이상 ■15-70【리드정도와 축방향 클리어런스의 선정】~ ■15-79【위치결정정도의 검토】까지의 검토에서 WTF2040-2, WTF2040-3, WTF3060-2, WTF3060-3이 선정조건을 만족하므로 가장 콤팩트한 WTF2040-2를 선정합니다.

【회전토크 검토】

● 외부 하중에 의한 마찰토크

마찰 토크는 다음과같이 얻어집니다.

$$T_1 = \frac{F_a \cdot Ph}{2\pi \cdot \eta} \cdot A = \frac{17 \times 40}{2 \times \pi \times 0.9} \times 1 = 120 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

● 볼나사의 예압에 의한 토크

볼나사에는 예압이 가해지지 않습니다.

● 가속에 필요한 토크

관성 모멘트

단위 길이당 나사축의 관성 모멘트는

$1.23 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{mm}$ 이므로(치수표 참조), 1,200 mm의 전장을 가지는 나사축의 관성 모멘트는 다음과 같이 얻어집니다.

$$J_s = 1.23 \times 10^{-3} \times 1200 = 1.48 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 \\ = 1.48 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J = (m_1 + m_2) \left(\frac{Ph}{2 \times \pi} \right)^2 \cdot A^2 \times 10^{-6} + J_s \cdot A^2 = (60 + 20) \left(\frac{40}{2 \times \pi} \right)^2 \times 1^2 \times 10^{-6} + 1.48 \times 10^{-4} \times 1^2 \\ = 3.39 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

각가속도:

$$\omega' = \frac{2\pi \cdot Nm}{60 \cdot t_1} = \frac{2\pi \times 1500}{60 \times 0.15} = 1050 \text{ rad/s}^2$$

위에 근거해서, 가속에 필요한 토크는 다음과 같이 얻어집니다.

$$T_2 = (J + J_m) \times \omega' = (3.39 \times 10^{-3} + 1 \times 10^{-3}) \times 1050 = 4.61 \text{ N} \cdot \text{m} \\ = 4.61 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

그러므로, 필요한 토크는 다음과 같이 지정됩니다.

가속시

$$T_k = T_1 + T_2 = 120 + 4.61 \times 10^3 = 4730 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

등속시

$$T_l = T_1 = 120 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

감속시

$$T_g = T_1 - T_2 = 120 - 4.61 \times 10^3 = -4490 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

【구동모터의 검토】

● 회전수

볼나사 리드는 모터의 정격 회전수에 의해서 선정되므로, 모터의 회전수를 검토할 필요는 없습니다.

사용 최고 회전수 : 1500 min⁻¹

모터의 정격 회전수: 3000 min⁻¹

● 최소 이송량

회전수와 같이, AC 서보 모터에 일반적으로 사용되는 엔코더에 근거해서 볼나사 리드를 선정하고 있으므로 검토할 필요는 없습니다.

엔코더 분해능 : 1000 p/rev

더블 : 2000 p/rev

● 모터 토크

B15-80의 【회전토크 검토】에서 계산된 가속시 토크가 필요한 최대 토크입니다.

$$T_{\max} = 4730 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

그러므로, AC 서보 모터의 순간 최대토크는 최소한 4,730N·mm일 필요가 있습니다.

● 토크 실효치

선정 조건과 **B15-80**의 【회전토크 검토】에서 산출한 토크를 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

가속시:

$$T_k = 4730 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$t_1 = 0.15 \text{ s}$$

등속시:

$$T_i = 120 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$t_2 = 0.85 \text{ s}$$

감속시:

$$T_g = 4490 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$t_3 = 0.15 \text{ s}$$

정지시:

$$T_s = 0$$

$$t_4 = 2.6 \text{ s}$$

유효 토크는 다음과 같이 구해지며, 모터의 정격 토크는 1305 N·mm 이상이어야 합니다.

$$T_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{T_k^2 \cdot t_1 + T_i^2 \cdot t_2 + T_g^2 \cdot t_3 + T_s^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{4730^2 \times 0.15 + 120^2 \times 0.85 + 4490^2 \times 0.15 + 0}{0.15 + 0.85 + 0.15 + 2.6}}$$

$$= 1305 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

● 관성 모멘트

모터에 가해진 관성 모멘트는 **B15-80**의 【회전토크 검토】에서 산출된 관성 모멘트가 됩니다.

$$J = 3.39 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

모터 제조사에 따라 다르지만, 통상 모터에 작용하는 관성 모멘트의 1/10 이상의 관성 모멘트를 가질 필요가 있습니다.

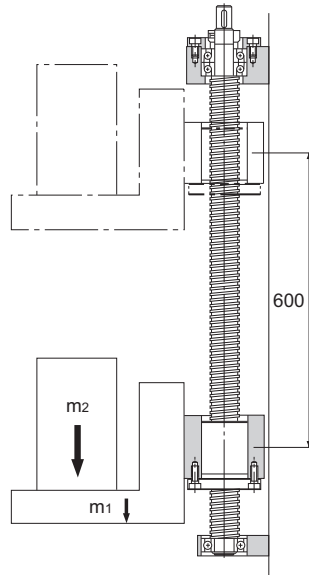
그러므로, AC 서보 모터의 관성 모멘트는 $3.39 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ 이상이어야 합니다.

이상 선정종료.

수직 반송장치

【선정 조건】

테이블 질량	$m_1 = 40\text{kg}$
워크 질량	$m_2 = 10\text{kg}$
스트로크 길이	$l_s = 600\text{mm}$
최고 속도	$V_{\max} = 0.3\text{m/s}$
가속시간	$t_1 = 0.2\text{s}$
감속시간	$t_3 = 0.2\text{s}$
분당왕복횟수	$n = 5\text{min}^{-1}$
백래쉬	0.1mm
위치결정정도	$\pm 0.7\text{mm}/600\text{mm}$
반복위치결정정도	$\pm 0.05\text{mm}$
최소 이송량	$s = 0.01\text{mm}/\text{펄스}$
수명시간	20000h
구동모터	AC 서보 모터 정격 회전 속도: $3,000\text{ min}^{-1}$
모터의 관성 모멘트	$J_m = 5 \times 10^{-5}\text{ kg} \cdot \text{m}^2$
감속 기구	없음 (직결)
안내면의 마찰계수	$\mu = 0.003$ (구름)
안내면 저항	$f = 20\text{ N}$ (무부하시)



【선정 항목】

- 나사 축경
- 리드
- 너트형번
- 정도
- 축방향 클리어런스
- 나사축 지지방법
- 구동 모터

【리드정도와 축방향 클리어런스의 선정】

● 리드정도의 선정

±0.7mm/600mm의 위치결정정도를 만족시키기위해서:

$$\frac{\pm 0.7}{600} = \frac{\pm 0.35}{300}$$

리드정도는 ±0.35mm/300 mm 이상이어야합니다.

그러므로, 볼나사의 정도등급(B15-20의 표1 참조)은 C10일 필요가 있습니다(이동량오차: ±0.21 mm/300 mm).

정도 등급 C10은 저가격의 전조 볼나사에 사용할 수 있으므로, 전조 볼나사를 선정합니다.

● 축방향 클리어런스의 선정

요구 백래쉬는 0.1mm이하이지만 수직사용으로서 축방향 하중이 통상 한방향으로 작용하기 때문에 축방향 클리어런스가 있어도 사용상 백래쉬로는 되지 않습니다.

따라서, 축방향 클리어런스의 문제는 없으므로 저가격인 전조 볼나사를 선정합니다.

【나사축 선정】

● 나사축 길이 가정

너트 전장은 100mm이고 나사 축단 길이를 100mm로 가정합니다.

따라서, 전장 스트로크 길이 600mm에 근거해서 다음과 같이 정해집니다.

$$600 + 200 = 800 \text{ mm}$$

이상에 의해 나사축 길이는 800 mm로 가정합니다.

● 리드의 선정

구동 모터의 정격 회전속도가 3,000 min⁻¹이고, 최고속도가 0.3 m/s인 경우, 볼나사 리드는 다음과 같이 구해집니다:

$$\frac{0.3 \times 60 \times 1000}{3000} = 6 \text{ mm}$$

그러므로, 6mm 이상의 리드를 가지는 타입을 선택할 필요가 있습니다.

또한, 볼나사와 모터는 감속 기구를 사용하지 않고도 직렬로 장착할 수 있으므로 AC 서보모터의 1회전당의 최소 분해능은 아래에 표시된 것과 같이 AC 서보모터에 표준 부속품으로 제공되는 엔코더(1,000 p/rev; 1,500 p/rev)의 분해능에 근거해서 아래와 같이 됩니다.

1000 p/rev(체배없음)

1500 p/rev(체배없음)

2000 p/rev(2체배)

3000 p/rev(2체배)

4000 p/rev(4체배)

6000 p/rev(4체배)

선정조건인 0.010mm/펄스의 최소 이송량을 만족시키기 위해서는 다음을 적용해야 합니다.

리드	6mm	—	3000 p/rev
	8mm	—	4000 p/rev
	10mm	—	1000 p/rev
	20mm	—	2000 p/rev
	40mm	—	2000 p/rev

그렇지만, 리드 6mm, 8mm에서는 0.002mm/펄스로 되어 모터 드라이버에 지령을 주는 컨트롤러의 발진 펄스수가 150kpps가 필요하게 되어 컨트롤러의 비용이 상승할 경우가 있습니다.

또한, 볼나사의 리드가 큰 경우, 모터에 필요한 토크도 커지며, 비용이 올라갑니다.

그러므로, 볼나사 리드에 대해서는 10mm를 선택하십시오.

● 나사축경의 선정

B 15-84 [리드정도와 축방향 클리어런스의 선정]에서 전조 볼나사, **B 15-84** [나사축 선정]의 리드 10mm를 만족시키는 볼나사(**B 15-35** 표 17 참조)는 아래와 같습니다.

축경	리드
15mm	— 10mm
20mm	— 10mm
25mm	— 10mm

따라서, 나사 축경 15mm · 리드 10mm를 선정합니다.

● 나사축 지지 방법의 선정

스트로크 길이 600mm, 최고속도 0.3m/s(볼나사 회전수: 1800min⁻¹)로 사용하므로 나사축의 지지 방법은 고정-지지로 선정합니다.

● 허용 축방향 하중의 검토

■ 최대 축방향 하중의 산출

안내면의 저항	$f=20$ N(무부하시)
테이블 질량	$m_1=40$ kg
워크 질량	$m_2=10$ kg
최고 속도	$V_{\max}=0.3$ m/s
가속 시간	$t_1=0.2$ s

따라서, 필요한 값은 다음과 같이 얻어집니다.

가속도

$$\alpha = \frac{V_{\max}}{t_1} = 1.5 \text{ m/s}^2$$

상승 가속시:

$$F_{a1} = (m_1 + m_2) \cdot g + f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 585 \text{ N}$$

상승 등속시:

$$F_{a2} = (m_1 + m_2) \cdot g + f = 510 \text{ N}$$

상승 감속시:

$$F_{a3} = (m_1 + m_2) \cdot g + f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 435 \text{ N}$$

하강 가속시:

$$F_{a4} = (m_1 + m_2) \cdot g - f - (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 395 \text{ N}$$

하강 등속시:

$$F_{a5} = (m_1 + m_2) \cdot g - f = 470 \text{ N}$$

하강 감속시:

$$F_{a6} = (m_1 + m_2) \cdot g - f + (m_1 + m_2) \cdot \alpha = 545 \text{ N}$$

따라서, 볼나사에 가해지는 최대 축방향 하중은 다음과 같이 됩니다.

$$F_{a_{\max}} = F_{a1} = 585 \text{ N}$$

■ 나사축의 좌굴하중의 산출

장착 방법에 따른 계수 $\eta_2=20$ (B15-38 참조)

좌굴이 고려되는 너트와 베어링 사이의 장착 방법은 "고정-고정"이므로

장착간 거리 $l_a=700$ mm (추정)

나사축 곡경 $d_1=12.5$ mm

$$P_1 = \eta_2 \cdot \frac{d_1^4}{l_a^2} \times 10^4 = 20 \times \frac{12.5^4}{700^2} \times 10^4 = 9960 \text{ N}$$

■ 나사축의 허용인장 압축하중

$$P_2 = 116d_1^2 = 116 \times 12.5^2 = 18100 \text{ N}$$

따라서, 나사축의 좌굴하중과 허용인장 압축하중은 사용상의 문제가 없습니다.

● 허용 회전수 검토

■최고 회전수

- 나사축경 15mm, 리드 10mm

최고 속도 $V_{max}=0.3 \text{ m/s}$
 리드 $Ph= 10 \text{ mm}$

$$N_{max} = \frac{V_{max} \times 60 \times 10^3}{Ph} = 1800 \text{ min}^{-1}$$

■나사축의 위험속도에 의한 허용 회전수

장착 방법에 따른 계수 $\lambda_2=15.1$ (B15-40 참조)

위험속도를 검토할 너트-베어링간의 장착방법은 고정-지지에서

장착간 거리 $\ell_b=700 \text{ mm}$ (추정)

- 나사 축경15mm, 리드10mm

나사축 곡경 $d_1=12.5 \text{ mm}$

$$N_1 = \lambda_2 \times \frac{d_1}{\ell_b^2} 10^7 = 15.1 \times \frac{12.5}{700^2} \times 10^7 = 3852 \text{ min}^{-1}$$

■DN치에 의한 허용 회전수

- 나사 축경15mm, 리드10mm (대리드 볼나사)

볼중심경 $D=15.75 \text{ mm}$

$$N_2 = \frac{70000}{D} = \frac{70000}{15.75} = 4444 \text{ min}^{-1}$$

이상으로부터, 나사축의 위험속도와 DN치를 만족합니다.

【너트의 선정】

● 너트형번의 선정

나사축경 15mm, 리드10mm는 대리드 전조 볼나사로 아래와 같습니다.

BLK1510-5.6

(Ca=9.8 kN, Coa=25.2 kN)

● 허용 축방향 하중의 검토

가속과 감속중에 충격 하중이 작용하므로, 정적안전계수 $f_s=2$ (B15-47 표1 참조)로 설정합니다.

$$F_{a_{\max}} = \frac{C_{0a}}{f_s} = \frac{25.2}{2} = 12.6 \text{ kN} = 12600 \text{ N}$$

얻어진 허용 축방향 하중은 최대 축방향 하중 585 N보다 크므로 문제가 없습니다.

● 수명검토

■ 이동 거리의 산출

최고 속도 $V_{\max}=0.3 \text{ m/s}$

가속 시간 $t_1 = 0.2\text{s}$

감속 시간 $t_3 = 0.2\text{s}$

● 가속시의 주행거리

$$l_{1,4} = \frac{V_{\max} \cdot t_1}{2} \times 10^3 = \frac{0.3 \times 0.2}{2} \times 10^3 = 30 \text{ mm}$$

● 등속시의 주행거리

$$l_{2,5} = l_s - \frac{V_{\max} \cdot t_1 + V_{\max} \cdot t_3}{2} \times 10^3 = 600 - \frac{0.3 \times 0.2 + 0.3 \times 0.2}{2} \times 10^3 = 540 \text{ mm}$$

● 감속시의 주행거리

$$l_{3,6} = \frac{V_{\max} \cdot t_3}{2} \times 10^3 = \frac{0.3 \times 0.2}{2} \times 10^3 = 30 \text{ mm}$$

위의 조건에 근거해서, 부하 축방향 하중과 주행 거리간의 관계가 아래의 표에 나타나 있습니다.

동작	부하 축방향하중 $F_{a_i}(\text{N})$	이동 거리 $l_i(\text{mm})$
No1: 상승 가속시	585	30
No2: 상승 등속시	510	540
No3: 상승 감속시	435	30
No4: 하강 가속시	395	30
No5: 하강 등속시	470	540
No6: 하강 감속시	545	30

* 첨자는, 동작 No.를 나타냅니다.

■축방향 평균하중

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \times l_s} (F_{a1}^3 \cdot l_1 + F_{a2}^3 \cdot l_2 + F_{a3}^3 \cdot l_3 + F_{a4}^3 \cdot l_4 + F_{a5}^3 \cdot l_5 + F_{a6}^3 \cdot l_6)} = 492 \text{ N}$$

■정격수명

동정격하중	Ca = 9800 N
하중계수	f _w = 1.5 (B15-48의 표2 참조)
평균하중	F _m = 492 N
정격수명	L (rev)

$$L = \left(\frac{Ca}{f_w \cdot F_m} \right)^3 \times 10^6 = \left(\frac{9800}{1.5 \times 492} \right)^3 \times 10^6 = 2.34 \times 10^9 \text{ rev}$$

■분당 평균회전수

분당왕복회수	n = 5 min ⁻¹
스트로크	l _s = 600 mm
리드	Ph = 10 mm

$$N_m = \frac{2 \times n \times l_s}{Ph} = \frac{2 \times 5 \times 600}{10} = 600 \text{ min}^{-1}$$

■정격수명에서 수명시간 산출

정격수명	L = 2.34 × 10 ⁹ rev
분당 평균회전수	N _m = 600 min ⁻¹

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot N_m} = \frac{2.34 \times 10^9}{60 \times 600} = 65000 \text{ h}$$

■정격수명에서 주행수명 산출

정격 수명	L = 2.34 × 10 ⁹ rev
리드	Ph = 10 mm
L _s = L × Ph × 10 ⁻⁶	= 23400 km

위에 설명된 모든 조건으로, 희망 수명시간 20,000 시간을 BLK1510-5.6형이 만족시킵니다.

【강성 검토】

선정조건으로써, 강성규격이 없고 사용조건에 대해서도 특별히 문제가 없으므로 생략합니다.

【위치결정정도의 검토】

● 리드정도의 검토

■15-84【리드정도와 축방향 클리어런스의 선정】의 항목에서 정도등급C10을 선정하고 있습니다.

C10(이동량오차: $\pm 0.21\text{mm}/300\text{mm}$)

● 축방향 클리어런스 검토

수직사용으로 축방향 하중이 항상 한방향에서 사용하고 있으므로 검토할 필요가 없습니다.

● 축방향 강성 검토

요구 위치결정정도에 대하여 리드정도가 매우 좋으므로 축방향 강성에 의한 위치결정정도의 검토는 생략합니다.

● 발열에 의한 열변위 검토

요구 위치결정정도에 대하여 리드 정도가 매우 좋으므로 발열에 의한 위치결정정도의 검토는 생략합니다.

● 주행중 자세변화 검토

요구 위치결정정도에 대하여 리드 정도가 매우 좋으므로 위치결정정도의 검토는 생략합니다.

【회전 토크 검토】

● 외부 하중에 의한 마찰 토크

상승 가속시:

$$T_1 = \frac{F_{a2} \cdot Ph}{2 \times \pi \times \eta} = \frac{510 \times 10}{2 \times \pi \times 0.9} = 900 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

하강 등속시:

$$T_2 = \frac{F_{a3} \cdot Ph}{2 \times \pi \times \eta} = \frac{470 \times 10}{2 \times \pi \times 0.9} = 830 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

● 볼나사의 예압에 의한 토크

볼나사에 예압을 부여하고 있지 않으므로 없습니다.

● 가속에 필요한 토크

관성 모멘트:

나사축의 단위 길이당의 관성 모멘트는

$3.9 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{mm}$ 이므로(사양표 참조), 800mm의 전장을 가지는 나사축의 관성 모멘트는 다음과 같습니다.

$$J_s = 3.9 \times 10^{-4} \times 800 = 0.31 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$= 0.31 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J = (m_1 + m_2) \left(\frac{Ph}{2 \times \pi} \right)^2 \cdot A^2 \times 10^{-6} + J_s \cdot A^2 = (40 + 10) \left(\frac{10}{2 \times \pi} \right)^2 \times 1^2 \times 10^{-6} + 0.31 \times 10^{-4} \times 1^2$$

$$= 1.58 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

각가속도:

$$\omega' = \frac{2\pi \cdot N_{\text{max}}}{60 \cdot t} = \frac{2\pi \times 1800}{60 \times 0.2} = 942 \text{ rad/s}^2$$

위에 근거해서, 가속에 필요한 토크는 다음과 같이 얻어집니다.

$$T_3 = (J + J_m) \cdot \omega' = (1.58 \times 10^{-4} + 5 \times 10^{-5}) \times 942 = 0.2 \text{ N} \cdot \text{m} = 200 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

그러므로, 필요한 토크는 다음과 같이 지정됩니다.

상승 가속시:

$$T_{k1} = T_1 + T_3 = 900 + 200 = 1100 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

상승 등속시:

$$T_{t1} = T_1 = 900 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

상승 감속시:

$$T_{g1} = T_1 - T_3 = 900 - 200 = 700 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

하강 가속시:

$$T_{k2} = 630 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

하강 등속시:

$$T_{t2} = 830 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

하강 감속시:

$$T_{g2} = 1030 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

【구동모터 검토】

● 회전 속도

모터의 회전수는 볼나사의 리드를 모터의 정격 회전수에 의해 선정하고 있으므로 검토할 필요는 없습니다.

사용 최고 회전수 : 1800 min^{-1}

모터의 정격 회전수: 3000 min^{-1}

● 최소 이송량

회전 속도와 같이, AC 서보 모터에 일반적으로 사용되는 엔코더에 근거해서 볼나사 리드가 선택되므로 검토할 필요가 없습니다.

엔코더 분해능: 1000 p/rev .

● 모터 토크

■15-90의 【회전 토크 검토】에서 산출된 가속시의 토크가 필요한 최대토크입니다.

$$T_{\max} = T_{k1} = 1100 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

그러므로, AC 서보 모터의 순시 최대토크는 $1100 \text{ N}\cdot\text{mm}$ 이상으로 할 필요가 있습니다.

● 토크 실효치

선정조건과 ■15-90【회전 토크 검토】에서 산출한 토크를 정리하면 아래와 같습니다.

상승 가속시:

$$T_{k1} = 1100 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_1 = 0.2 \text{ s}$$

상승 등속시:

$$T_{t1} = 900 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_2 = 1.8 \text{ s}$$

상승 감속시:

$$T_{q1} = 700 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_3 = 0.2 \text{ s}$$

하강 감속시:

$$T_{k2} = 630 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_1 = 0.2 \text{ s}$$

하강 등속시:

$$T_{t2} = 830 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_2 = 1.8 \text{ s}$$

하강 감속시:

$$T_{q2} = 1030 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_3 = 0.2 \text{ s}$$

정지시($m_2=0$):

$$T_s = 658 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$t_4 = 7.6 \text{ s}$$

토크 실효치는 다음과 같이 구해지며, 모터의 정격 토크는 743 N·mm 이상이 필요 합니다.

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{T_{k1}^2 \cdot t_1 + T_{t1}^2 \cdot t_2 + T_{g1}^2 \cdot t_3 + T_{k2}^2 \cdot t_1 + T_{t2}^2 \cdot t_2 + T_{g2}^2 \cdot t_3 + T_s^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

$$= \sqrt{\frac{1100^2 \times 0.2 + 900^2 \times 1.8 + 700^2 \times 0.2 + 630^2 \times 0.2 + 830^2 \times 1.8 + 1030^2 \times 0.2 + 658^2 \times 7.6}{0.2 + 1.8 + 0.2 + 0.2 + 1.8 + 0.2 + 7.6}}$$

$$= 743 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

● 관성 모멘트

모터에 작용하는 관성 모멘트는 **표 15-90【회전 토크 검토】**에서 산출된 관성 모멘트와 같습니다.

$$J = 1.58 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

모터 제조사에 따라 다르기는 하지만, 보통 모터에 가해진 관성 모멘트의 1/10 이상의 관성 모멘트를 가질 필요가 있습니다.

그러므로, AC 서보 모터의 관성 모멘트는 $1.58 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ 이상이어야 합니다.

선정 완료.

볼 나 사
옵 션

방진

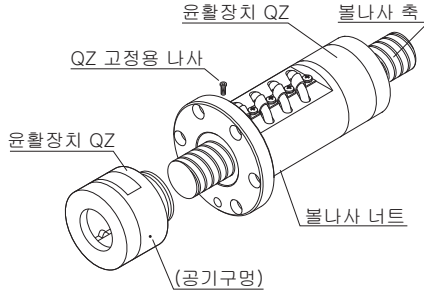
볼나사는 구름베어링과 마찬가지로 먼지나 이물질이 들어가면 마모가 빨리 진행되거나 파손의 원인이 됩니다. 따라서 먼지나 이물질(절삭칩 등)의 유입이 고려되는 경우에는 반드시 방진씰이나 방진장치 (자바라, 스크류커버, 와이퍼링 등)등을 이용하여 이물질의 유입을 방지해야 합니다.

<p>라비린스씰 (정밀볼나사) (전조볼나사JPF형) 기호:RR</p>	<p style="text-align: right;">▲15-338</p>
<p>브러쉬씰 (전조볼나사) 기호:ZZ</p>	<p style="text-align: right;">▲15-338</p>
<p>와이퍼링 기호:WW</p>	<p style="text-align: right;">▲15-339~</p>
<p>방진커버 자바라 스크류 커버</p>	<p style="text-align: right;">▲15-341</p>

유탈

볼나사의 성능을 충분히 발휘시키기 위해서는 조건에 따른 유탈제와 유탈 방법을 선택합니다. 유탈제의 종류, 유탈제의 특성과 유탈 방법에 관해서는, **A24-2**의 "유탈관련제품" 을 참조하십시오.

또한, 유탈장치QZ는 옵선의 부속품으로 메인터넌스 간격을 크게 늘려줍니다.



유탈장치 QZ

A15-342~

방청 (표면처리 등)

사용환경에 따라, 볼나사는 방청처리 또는 재질을 변경할 필요가 있습니다. 방청처리와 재질 변경에 관한 상세한 내용은, 삼익THK로 문의하여 주십시오. (**B0-18**를 참조)

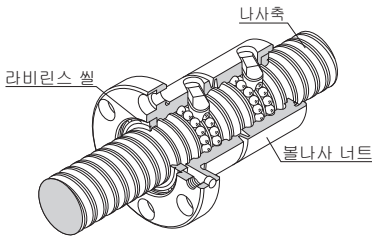
볼나사용 방진씰

특히 이물이 없고 먼지가 부유하는 경우는 라비린스씰(기호RR)과 브러쉬씰(기호ZZ)을 사용하여 방진장치를 대신 할 수 있으므로 주문시 호칭형변에 표기하여 주십시오.

라비린스 씰은 씰과 나사축 전동면 사이에 미소한 클리어런스를 유지하게 설계되어서 방진 효과는 제한되지만 토크와 열은 발생하지 않습니다.

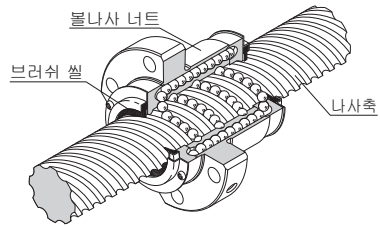
대리드와 수퍼 리드 타입을 제외한 볼나사의 경우, 씰이 있는 것과 없는 것의 너트 치수에는 차이가 없습니다.

라비린스씰 기호RR
(정밀볼나사)
(전조볼나사JPF형)



라비린스 씰

브러쉬씰 기호ZZ
(전조볼나사)

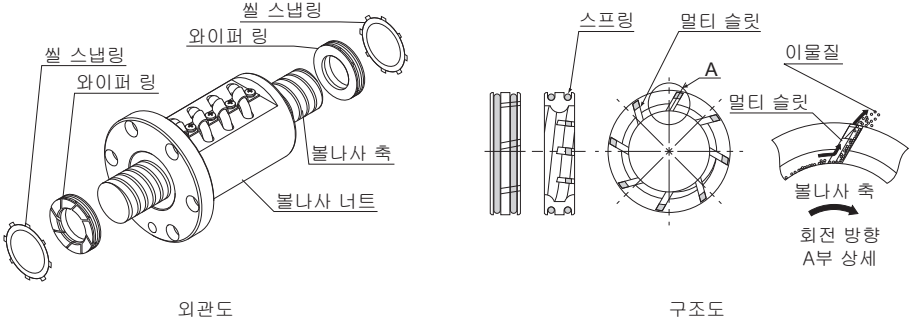


브러쉬 씰

와이퍼 링 W

● 적용형번, 와이퍼링 W 장착후의 볼나사 너트 치수는 **15-344~15-351**를 참조하여 주십시오

와이퍼 링은 내마모성이 우수한 특수수지가 축의 외경 및 나사홈부에 탄성 접촉하여 8개소의 슬릿에서 이물질 제거하여 볼나사 너트 안으로 이물질의 침입을 방지합니다.

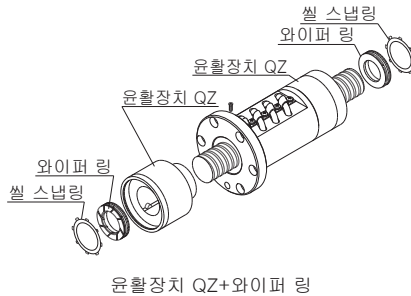


【특징】

- 원주의 8개소의 슬릿에서 연속적으로 이물질을 제거해서 이물질의 유입을 방지합니다.
- 볼나사 축에 접촉해서 그리스의 유출을 억제합니다.
- 스프링에 의해 볼나사 축에 일정압으로 접촉하기때문에 열 발생을 최소화합니다.
- 내마모성, 내약품성이 우수한 재질로 장기간 사용해도 그 성능이 쉽게 떨어지지 않습니다.

윤활장치QZ과 함께 장착가능합니다.

적용형번, 와이퍼링W 장착후 볼나사 너트 치수는 **15-344**~를 참조하여 주십시오.



윤활장치 QZ+와이퍼 링

호칭형번의 구성예

BIF2505-5 QZ WW G0 +1000L C5

윤활장치 QZ 장착 와이퍼 링 W 장착

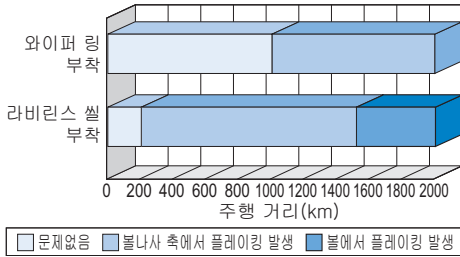
(*) **15-344** 참조

● 이물질 환경에서의 시험

[시험 조건]

항목	내용
호칭형번	BIF3210-5G0+1500LC5
최대 회전수	1000min ⁻¹
최대 속도	10m/min
최대 원주속도	1.8m/s
시정수	60ms
정지시간	1s
스트로크	900mm
하중 (내부 예압에 의해서)	1.31kN
그리스	THK AFG 그리스 8cm ³ (볼나사 너트 초기 봉입만)
철분말	FCD400 평균 입자경: 250 μ m
1축당 이물질량	5g/h

[시험 결과]



● 와이퍼 링 부착

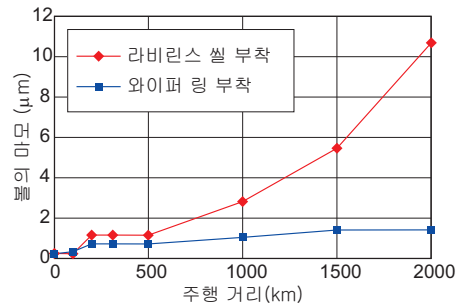
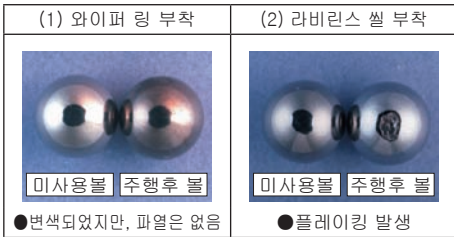
1,000 km의 주행시점에서 볼나사 축에서 약간의 플레이킹이 발생했습니다.

● 라비린스 스프링 부착 타입

200km의 주행시점에서 나사축 전동면의 전반에서 플레이킹이 발생했습니다.

1,500km의 주행 후에 볼에서 플레이킹이 발생했습니다.

2000km 주행후 볼의 변화



● 와이퍼 링 부착

2,000km의 주행시점에서 볼의 마모량은: 1.4 μ m.

● 라비린스 스프링 부착 타입

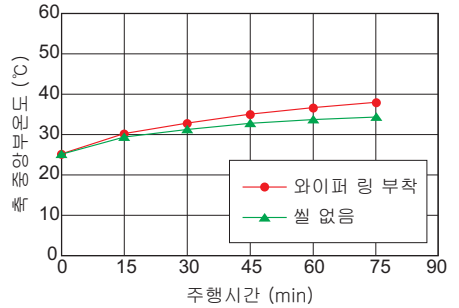
500km 주행 후에 급속히 마모를 시작하며, 2,000km의 주행시점에서 볼의 마모량: 11 μ m.

● 발열시험

[시험 조건]

항목	내용
호칭형번	BLK3232-3.6G0+1426LC5
최대 회전수	1000min ⁻¹
최대 속도	32m/min
최대 원주속도	1.7m/s
시정수	100ms
스트로크	1000mm
하중 (예압하중만)	0.98kN
그리스	THK AFG 그리스 5cm ³ (볼나사 너트에 봉입)

[시험 결과]



단위: °C

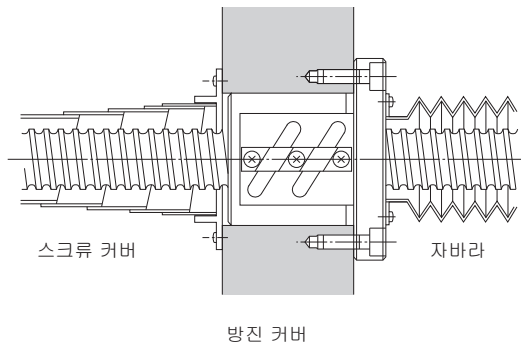
항목	와이퍼 링 부착	씰 없음
발열온도	37.1	34.5
온도상승	12.2	8.9

볼나사용 방진 커버

볼나사용
(공통)

자바라/스크류 커버

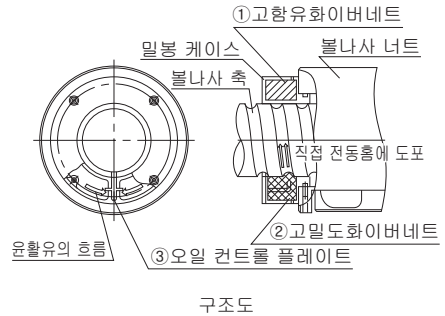
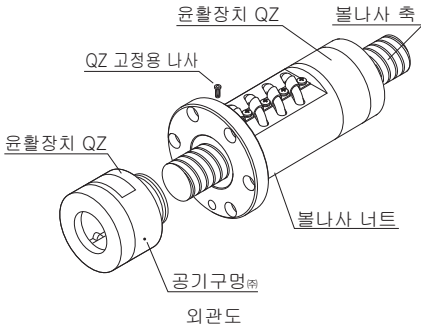
먼지나 이물질이 많은 환경에서 사용할 경우에는 자바라나 스크류커버 등을 이용하여 이물질의 유입을 방지하여 주십시오. 또, 방진씰과 함께 사용함으로써 방진효과를 높일 수 있습니다. 자세한 내용은 삼익THK로 문의하여 주십시오. 또한, 상담시에는 자바라 사양서(▲15-352)를 이용하여 주십시오.



윤활장치 QZ

● 적용형번, QZ장착후 볼나사 너트치수는 **A15-344~A15-351**를 참조하여 주십시오.

윤활장치 QZ는 볼나사 축의 전동면에 적정량의 윤활유를 공급합니다. 이 때문에 볼과 전동면 사이에 유막이 형성되어 윤활성 향상 및 메인터넌스 간격이 대폭적으로 연장되었습니다. 구조는 주요 3개 부품 (1) 고탄유 화이버 넷(윤활유를 저장), (2) 고밀도 화이버 넷(전동면에 윤활유를 공급)와 (3) 오일 컨트롤 플레이트(유류량을 조정)으로 구성되어 있으며, 윤활장치QZ 내부의 윤활유는 펠트펜드에 이용되는 모세관 작용을 기본원리로하여 볼나사축에 공급됩니다.



【기능】

- 손실된 유분을 보충하여 윤활 메인터넌스 간격이 크게 연장되었습니다.
- 적절량의 윤활유를 전동면에 도포하기 때문에 주위 환경을 오염시키지 않는 친환경 윤활시스템입니다.

주) QZ에는 공기구멍이 있는 타입이 있습니다. 그리스 등으로 공기구멍을 막지 않도록 주의해 주십시오.

호칭형번의 구성예

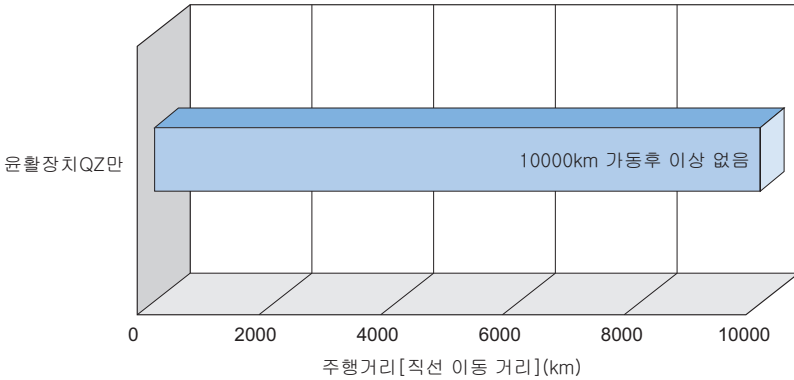
BIF2505-5 QZ WW GO +1000L C5

윤활장치 QZ 장착 와이퍼 링 W 장착

(*) **A15-344** 참조

● 메인テナンス 간격의 대폭적인 연장

윤활장치QZ는 장기간 동안 윤활유를 계속해서 공급하므로, 메인テナンス 기간이 크게 늘어납니다.

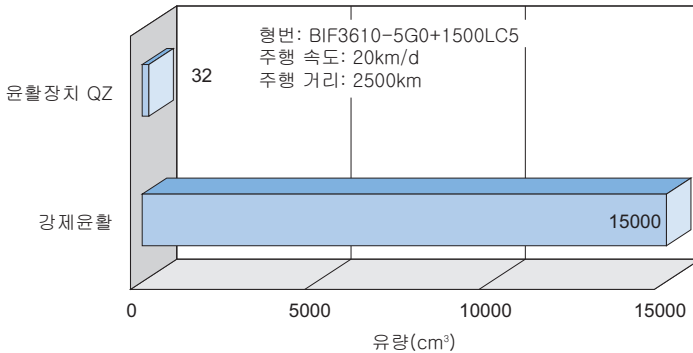


[시험 조건]

항목	내용
볼나사	BIF2510
최대 회전수	2500min ⁻¹
최대 속도	25m/min
스트로크	500mm
하중	내부 예압하중만 해당

● 환경친화적인 윤활 시스템

윤활장치 QZ는 적절량의 유량을 전동면에 직접 공급하므로, 윤활유를 낭비없이 유효하게 사용할 수 있습니다.



윤활장치 QZ + THK AFA 그리스
32cm³
(윤활장치QZ는 볼나사 너트의 양쪽끝에 장착)



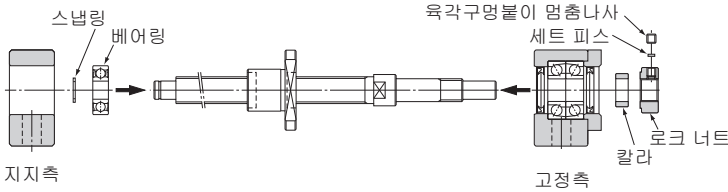
강제윤활
0.25cm³/3min × 24h × 125d
= 15000cm³

$\frac{1}{\text{약 } 470}$ 로감소

장착 순서

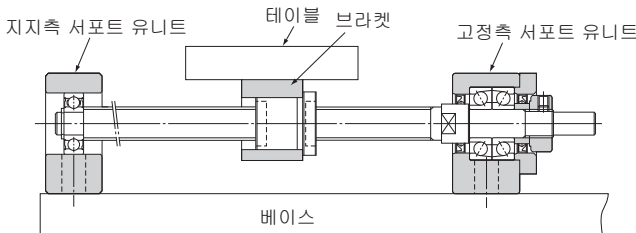
서포트 유니트 장착

- (1) 고정축 서포트 유니트를 나사축에 조립합니다.
 - (2) 고정축 서포트 유니트를 삽입한 후에, 로크너트를 체결하여 세트 피스와 육각구멍볼이 멈춤나사로 고정하십시오.
 - (3) 지지축 베어링을 나사축에 부착하고 스냅링으로 베어링을 고정된 후 지지축의 하우징에 조립하십시오.
- 주1) 서포트 유니트를 분해하지 마십시오.
 주2) 나사축을 서포트 유니트에 삽입할 때에는, 오일 씰 립이 벗겨지지 않도록 주의하여 주십시오.
 주3) 육각구멍볼이 멈춤나사로 세트 피스를 고정하는 경우에는, 조이기 전에 육각구멍볼이 멈춤나사에 접착제를 도포하여 나사가 느슨해지는 것을 방지하여 주십시오. 가혹한 환경하에서 제품을 사용하고자 하는 경우에는, 그 외의 폴림방지에 대해 검토가 필요하므로 삼익THK로 문의하여 주십시오. 상세한 내용은 삼익THK에 문의하여 주십시오.



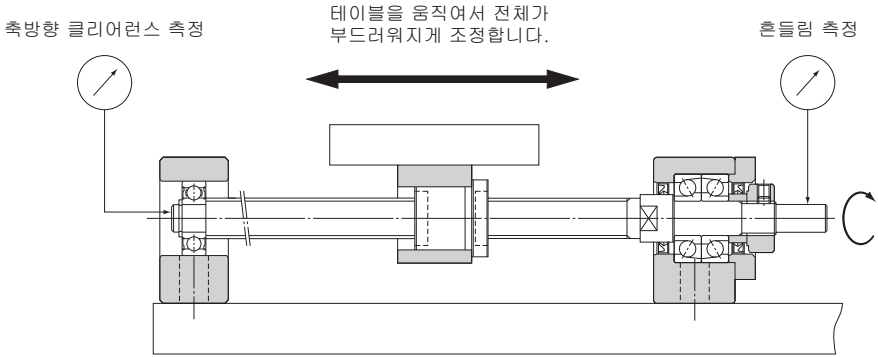
테이블 및 베이스에 조립

- (1) 볼나사 너트를 테이블에 장착할 때 브라켓을 사용하는 경우에는, 브라켓을 삽입해서 가체결하십시오.
- (2) 고정축 서포트 유니트를 베이스에 가체결하십시오.
 이때, 테이블을 고정축 서포트 유니트로 밀어서 축 중심을 정렬하고 테이블을 조정해서 자유롭게 이동할 수 있게 합니다.
 - 고정축 서포트 유니트를 기준으로 이용하는 경우에는, 조정할 때에 볼나사 너트와 테이블 또는 브라켓의 순서로 내부간의 클리어런스를 확보해주십시오.
 - 기준으로 테이블을 이용하는 경우에는, 각형 서포트 유니트의 축심높이를 심으로 조정하고 원형 서포트 유니트의 경우는 외부면과 장착부의 내부면 간의 클리어런스를 가지도록 조정을 하십시오.
- (3) 테이블 지지축 서포트 유니트축에 가까이 대어 축심을 잡고 테이블을 수회 왕복시켜 전체가 부드러운 움직임이 되도록 조정하여 베이스에 가체결하십시오.



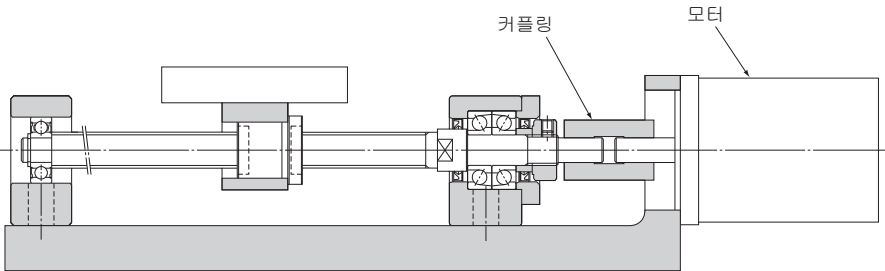
정도 확인 및 체결

다이얼 게이지를 사용해서 볼나사 축단의 흔들림과 축방향 클리어런스를 확인하는 동안, 볼나사 너트, 너트 브라켓, 고정축 서포트 유니트와 지지축 서포트 유니트를 순서대로 체결하십시오.



모터와 연결

- (1) 모터 브라켓을 베이스에 장착하십시오.
- (2) 커플링을 사용해서 모터와 볼나사를 연결합니다.
주) 장착 정도에 주의 하십시오.
- (3) 시스템의 시운전을 충분히 해주십시오.



메인터넌스 방법

윤활량

볼나사에 대한 윤활량이 불충분한 경우, 윤활이 끊기는 원인이 되며, 과도한 경우에는 열발생으로 저항의 증가원인이 되므로, 사용조건을 만족하는 양을 선정할 필요가 있습니다.

【그리스】

그리스 급유량은 일반적으로 너트 내부의공간용적의 1/3정도입니다.

급유량에 대해서는 삼익THK로 문의하여 주십시오.

【오일】

표 1은 오일의 급유량에 대한 기준을 나타냅니다.

스트로크, 오일의 종류, 사용조건 (발열 억제량 등)에 따라 다르므로 주의하여 주십시오.

표1 오일의 급유량에 대한 기준

(간격: 3 분)

축경(mm)	급유량(cc)
4 ~ 8	0.03
10 ~ 14	0.05
15 ~ 18	0.07
20 ~ 25	0.1
28 ~ 32	0.15
36 ~ 40	0.25
45 ~ 50	0.3
55 ~ 63	0.4
70 ~ 100	0.5

호칭형번의 구성예

불나사의 호칭형번 구성은 종류에 따라서 구성이 다릅니다. 표2~표4에서 표시한 대응 구성예를 참조하여 주십시오.

또한, 삼익THK에서는 서포트 유니트에 맞는 축단 형상을 준비하고 있으므로 기호로 지정하여 주십시오.

【정밀 불나사의 종류와 호칭형번 구성예】

표2

	형번		축단 형상	형번 구성예
정밀	SBN, SBK, SDA, HBN, SBKH, BIF, BNFN, MDK, MBF, BNF, DIK, DKN, BLW, DK, MDK, WHF, BLK, WGF, BNT		고정축:H, J 지지축:K	【1】
	표준 재고 축단미가공품 A	MBF, MDK, BNF, BIF		【2】
	표준 재고 축단미가공품 B	BNF, BIF	Y	【3】
	표준 재고 축단완성품	BNK		【4】
	로터리 불나사	BLR, DIR	고정축:H, J 지지축:K	【5】
	불나사/스플라인	BNS-A, BNS, NS-A, NS	—	【5】

【전조 불나사의 종류와 호칭형번 구성예】

표3

	형번		축단 형상	형번 구성예
전조	표준 재고 축단미가공품	MTF	고정축:H, J 지지축:K	【6】
	불나사 너트, 나사축 조합품	JPF, BTK-V, MTF, WHF, BLK, WTF, CNF, BNT		【7】
	로터리 불나사	BLR		【8】
	나사축 단품	TS	—	【9】
	불나사 너트 단품	BTK-V, BLK, WTF, CNF, BNT, BLR		【9】

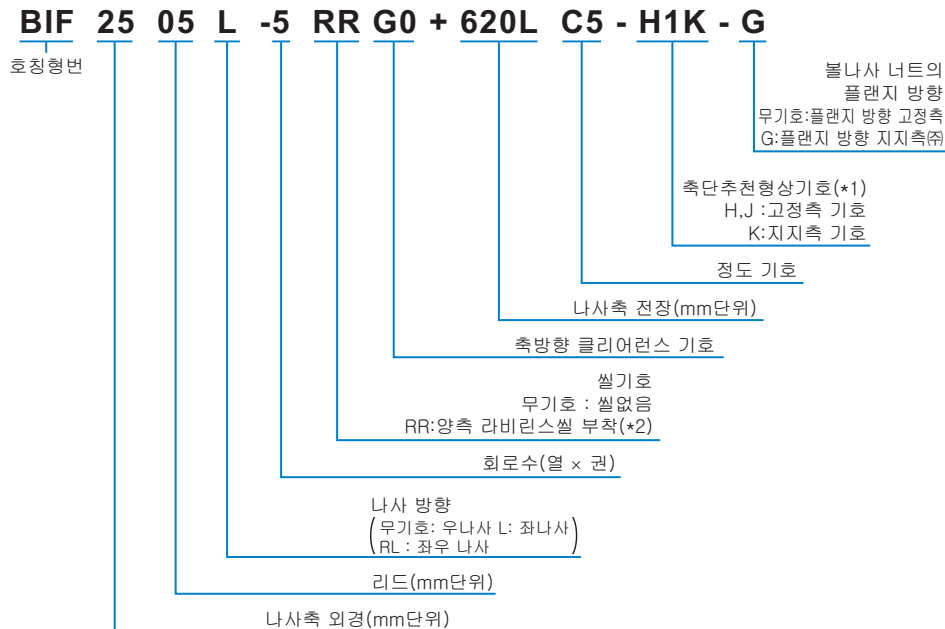
【서포트 유니트, 너트 브라켓, 로크 너트의 종류와 호칭형번 구성예】

표4

	형번	축단 형상	형번 구성예
서포트유니트	EK, BK, FK, EF, BF, FF	—	【10】
BNK용 너트 브라켓	MC	—	
로크 너트	RN	—	

[1 정밀 볼나사]

- SBN형, SBK형, SDA형, HBN형, SBKH형, BIF형, BNFN형, MDK형, MBF형, BNF형, DIK형, DKN형, BLW형, DK형, MDK형, WHF형, BLK형, WGF형, BNT형



(*1) **15-324**~**15-329**참조

(*2) **15-96**참조

주) 볼나사 너트 플랜지는 지정하지 않는 경우 고정축을 향합니다.

플랜지가 지지축을 향하도록 원하시는 경우에는, 주문시에 볼나사 호칭형번의 끝에 기호 G를 추가하여 주십시오.

[2 표준 재고 정밀 볼나사 축단 미가공품]

- BIF, MDK, MBF형과 BNF형

BIF2505-5RRG0+720LC5A

표준재고품
(A, B: 축단미가공품)

대응하는 호칭형번은 **15-90**를 참조하여 주십시오.

【3 표준 재고 정밀 볼나사 축단완성품】

● BNK형

BNK2020-5+620LC5Y

표준재고품
(Y : 축단완성품)대응하는 호칭형번은 **15-116**를 참조하여 주십시오.

【4 로터리 볼나사】

● BLR형, DIR형

BLR2020-3.6 K UU G1 +1000L C5

호칭형번

플랜지 방향기호

서포트 베어링 씰 기호

축방향 클리어런스
기호

나사축 전장(mm단위)

정도 기호

【5 볼나사/스플라인】

● BNS-A, BNS, NS-A 그리고 NS형

BNS2525 +600L

호칭형번

나사축 전장(mm 단위)

【6 표준재고 전조 볼나사 축단미가공품】

● MTF형

MTF 08 02 +250L C7 T - H1

호칭형번

나사축 외경
(mm단위)리드
(mm단위)나사축 전장
(mm단위)축단 추천 형상 기호 **15-324**~참조)

전조 나사 축 기호

정도 기호(보통급의 경우는 무기호)

[7 전조 볼나사]

● BTK-V형, MTF형, WHF형, BLK형, WTF형, CNF형, BNT (전조) 형

- 볼나사 너트와 나사축의 조합

BTK1405V-2.6 ZZ +500L C7 T - H1K

호칭형번

축단 추천 형상 기호(A15-324~참조)

전조축 기호

정도 기호(A15-12참조)(C10급은 무기호)

나사축 전장(mm단위)

씰 기호

무기호: 씰 없음

ZZ: 볼나사 너트 양단 브러쉬 씰 부착(A15-336참조)

[8 전조 볼나사]

● JPF형

- 전조 볼나사 JPF형

JPF1404-4 RR G0 +500L C7 T

호칭형번

전조축 기호

정도 기호(A15-12참조)(C10급은 무기호)

나사축 전장(mm 단위)

축방향 클리어런스 기호

씰 기호

무기호: 씰 없음

RR: 볼나사 너트 양단 라비린스씰부착(A15-336참조)

[9 전조 로터리 볼나사]

● BLR형 (전조)

BLR2020-3.6 K UU +1000L C7 T

호칭형번

플랜지 방향기호

나사축 전장
(mm단위)

정도 기호

서포트 베어링
씰 기호

전조 볼나사 기호

주) 축방향 클리어런스에 대해서는, A15-27를 참조하십시오.

【10 전조축 · 너트 단품】

● BTK-V형, BLK/WTF형, CNF형, BNT (전조)형, BLR형 (전조), TS형

전조축만

TS 14 05 +500L C7

리드 (mm단위)
나사축 외경 (mm단위)
나사축 전장 (mm단위)
정도 기호
참조 (C10급은 무기호)A15-12

전조 불나사 축 기호

너트만

BTK1405V-2.6 ZZ

호칭형번
섀 기호
무기호: 섀 없음
ZZ: 불나사 너트 양단
브러쉬 섀 부착
(A15-336참조)

【11 서포트 유닛 · 너트 브라켓 · 로크 너트】

● EK형, BK형, FK형, EF형, BF형, FF형, MC형, RN형

EK12

호칭형번

【12 불나사 옵션 와이어링W, 윤활장치 QZ】

BIF2505-5 QZ WW G0 +1000L C5

윤활장치 QZ 장착
와이어 링 W 장착

(*) A15-344 참조

발주 시의 주의점

【옵션에 대해서】

옵션은 각 형번에 따라서 대응 내용이 다르므로 확인한 후 지시하여 주십시오.

A15-95 참조

【기타 사양의 지시에 대해서】

이하의 사양에 대해서는 삼익THK로 연락하여 주십시오.

- 축단 형상(축단 추천 형상인 경우에는 기호로 지시하여 주십시오.)
- 표면처리 (A0-20참조)
- 주입 그리스
- 니플 장착

【취급】

- (1) 중량(20kg이상)의 제품을 운반할시에는 2인 이상 또는 운반기구를 사용하여 주십시오.
- (2) 각 부를 분해하지 마십시오. 기능 손실의 원인이 됩니다.
- (3) 볼나사 축 및 볼나사 너트를 기울이면 자중으로 떨어지는 경우가 있으므로 주의하여 주십시오.
- (4) 볼나사를 떨어뜨리거나 두드리지 마십시오. 파손의 원인이 됩니다. 또한, 충격을 가한 경우, 외관에 파손이 보이지 않더라도 그 기능에 손상을 줄 가능성이 있습니다.
- (5) 조립시에는 볼나사너트를 볼나사축에서 빼지않도록 작업을 합니다.
- (6) 제품 취급시에는 필요에 따라 보호장갑, 안전화 등을 착용하여 안전을 확보하여 주십시오.

【사용상의 주의】

- (1) 절삭분과 쿨런트 등의 이물질이 유입되지 않도록 주의하여 주십시오. 파손의 원인이 됩니다.
- (2) 절삭분, 쿨런트, 부식성이 있는 용제, 물 등이 제품 내부로 유입되는 환경하에서 사용하는 경우에는 자바라 또는 커버 등으로 이물질 유입을 방지하여 주십시오.
- (3) 80℃를 초과하여 사용하지 마십시오. 내열사양을 제외하고 이 온도로를 초과하면 수지, 고무부품이 변형, 파손할 우려가 있습니다.
- (4) 절삭분등의 이물이 부착된 경우는 세정한 후, 윤활제를 재봉입하여 주십시오.
- (5) 미소 요동의 경우는 전동면과 전동체의 접촉면에 유막이 형성되기 어렵고 플랫폼이 생길 수 있으므로 내플랫폼성에 우수한 그리스를 사용하여 주십시오. 또, 정기적으로 볼나사 너트를 1회 전 정도 움직여 전동면과 전동체에 유막을 형성시키는 것을 추천합니다.
- (6) 제품에 위치결정부품(핀, 키 등)을 무리하게 삽입하지 마십시오. 전동면에 압흔이 생겨 기능을 손실하는 원인이 됩니다.
- (7) 편하중이나 흔들림이 볼나사 축 서포트와 볼나사 너트에 발생하면 제품 수명이 짧아질 수 있습니다. 장착할 구성품과 장착 정도에 주의하여 주십시오.
- (8) 전동체가 볼나사 너트에서 떨어진 경우는 그대로 사용하지 말고 삼익THK로 문의하여 주십시오.
- (9) 수직으로 사용하는 경우에는 낙하방지의 안전 기구를 추가하는 등의 대처를 해 주십시오. 볼나사 너트가 자체 하중으로 낙하할 우려가 있습니다.
- (10) 허용 회전수를 초과한 사용은 하지 마십시오. 부품 파손이나 사고로 이어집니다. 사용 회전수는 폐사의 사양 범위내로 해 주십시오.
- (11) 볼나사 너트를 오버런시키지 마십시오. 볼의 탈락, 순환부품의 손상, 볼 전동면에 압흔등을 발생시켜, 작동불량을 일으킬 수 있습니다. 또, 그 상태로 계속 사용하는 경우, 조기마모, 순환부품의 파손으로 연결될 수 있습니다.
- (12) 볼나사 사용시 LM가이드나 볼스플라인등의 안내요소를 설계하여 사용합니다. 파손의 원인이 됩니다.
- (13) 장착부품의 강성및 정도가 부족하면 베어링의 하중이 국부적으로 집중되어 베어링 성능이 현저히 떨어집니다. 따라서 하우징과 베이스의 강성·정도, 고정용 볼트의 강도에 대해서 충분히 검토하여 주십시오.

【윤활】

- (1) 제품을 사용하기 전에는 방청유를 완전히 제거하고 윤활제를 발라 주십시오.
- (2) 다른 윤활제를 혼합하여 사용하지 마십시오. 증주제가 같은 종류의 그리스라도 첨가제등이 달라 서로 악영향을 미칠 수 있습니다.
- (3) 상시 진동이 작용하는 장소, 클린룸, 진공, 저온·고온등 특수환경에서 사용되는 경우는 사양·환경에 적합한 그리스를 사용하여 주십시오.
- (4) 그리스니플·급유홀이 장착되어 있지 않은 제품에 윤활하는 경우에는 전동면에 직접 윤활제를 도포하여 내부에 그리스가 들어가도록 여러 번 구동하여 주십시오
- (5) 온도에 따라 그리스의 조도는 변화합니다. 조도의 변화에 따라 볼나사의 토크도 변화므로 주의하여 주십시오.
- (6) 급지 후, 그리스의 교반저항에 따라 볼나사의 회전토크가 증대할 수 있습니다. 반드시 연습운전을 통해 그리스를 충분히 스며들게한 후 구동합니다.
- (7) 급유직후에는 여분의 그리스가 비산 될 수 있으므로 필요에 따라 닦아내고 사용하여 주십시오.
- (8) 그리스는 사용시간과 함께 성상은 열화하고 윤활성능은 저하되므로 사용빈도에 따라 그리스 점검과 보급이 필요합니다.
- (9) 사용조건과 사용환경에 따라 급유간격이 다르지만 주행거리 100km(3~6개월)을 목표로 급유하여 주십시오. 최종적인 급유간격·양은 실제 사용 기계에 따라 설정하여 주십시오.
- (10)장착 자세와 너트의 급유로에 따라 윤활불량이 되는 경우가 있으므로 설계시에 충분히 검토하여 주십시오.
- (11)볼나사를 사용하는 경우에는 양호한 윤활을 해야 합니다. 무급유인채로 사용하면 구름부의 마모가 증가하여 조기파손의 원인이 될 수 있습니다.
급유량은 표1(B15-106)에 나타냅니다.

【보관】

볼나사는 당사의 포장상태 그대로 고온,저온, 다습한 곳을 피해 수평상태로 실내에 보관하여 주십시오.
장기간 보관된 제품은 내부의 윤활제가 열화되어 있으므로 윤활제를 재급유 하여 사용하여 주십시오.

【파기】

제품은 산업폐기물로서 적절한 폐기처리를 하여 주십시오.

볼나사용 옵션 취급시 주의사항

볼나사용 윤활장치QZ

QZ에 대한 상세내용은 **B15-102** 을 참조하여 주십시오.

【선정상의 주의】

스트로크는 윤활장치QZ장착시 나사축 전장 이상으로 하여 주십시오.

【취급】

본 제품을 떨어뜨리거나 두드리지 마십시오. 손상이나 파손의 원인이 됩니다.

그리스 등으로 공기구멍을 막지않도록 하여 주십시오.

QZ는 전동면에만 유분을 공급하는 장치이기 때문에 정기급지·정기급유와 병용하여 사용하여 주십시오.

윤활장치 QZ장착 사양은 최소한의 윤활유를 전동면에 공급합니다. 수직사용 조건 및 윤활유의 성질에 따라 볼나사 축에서 윤활유가 떨어질 수 있으므로 주의하여 주십시오.

【사용환경】

본 제품의 사용 온도 범위는 -10~50℃로, 유기용제, 백등유 등으로 세척하거나 포장을 푼 상태로 방치하지 마십시오.