

제 1 장 볼스크류란 ?

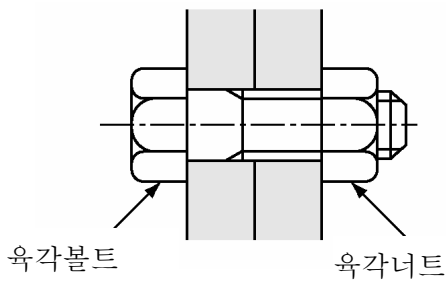
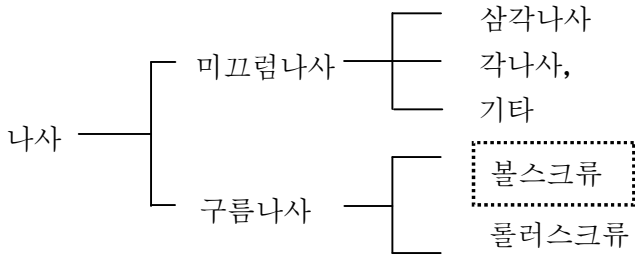
q Lesson 1 : 볼스크류란 무엇인가?

- Section 1 : 나사(스크류)의 종류
- Section 2 : 볼스크류의 구조

q Lesson 2 : 볼스크류의 특징과 사용 예

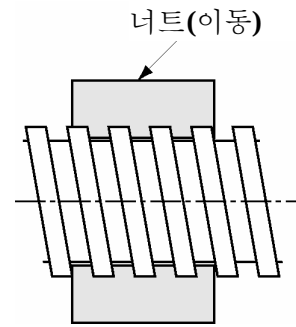
Lesson 1 : 볼스크류란 무엇인가?

Section
1



삼각나사

- 물체를 조립하는데 쓰이는 나사
- 나사축을 회전시키면 너트가 이동하여 물체를 체결하거나 느슨하게 함.



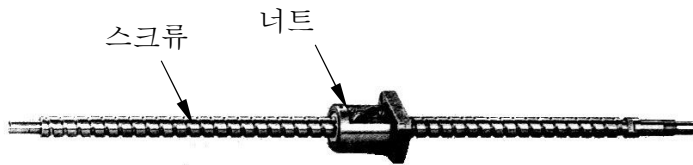
각나사 (사다리꼴나사)

- 물체를 이동시키는 힘을 전달하는데 쓰이는 나사
- {예} 자동차용 공구중 자키의 나사부

“좀 더 가벼운 작동성에 대한 요구”



볼스크류의 등장



◆ 참고자료 ◆ 왜 축을 회전하면 너트가 이동할까?

오른쪽 그림과 같이 나사홈은 나선형상으로 이어져 있으므로, 너트는 이 홈을 따라서 이동합니다.

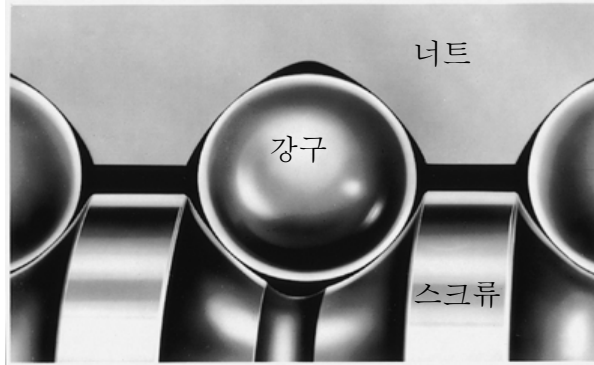
사람이 나선계단을 오르내릴 때와 같은 원리입니다.

Section
2

볼스크류의 구조

1 가볍고 원활한 회전이 필요! ⇒

스크류축과 너트와의 사이(홈)에 강구를 넣어 구르도록 함 (아래그림참조)

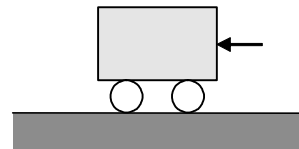


▲참고자료▼ 마찰력이란?

- ◇ 책상 위에 놓인 물체를 미끄러지게 하려고 할 때 물체를 미는 잠시 동안은 움직이지 않지만 (정지 마찰력), 어느 정도의 힘이 되면 움직이기 시작합니다. 그 후 계속해서 움직이게 하려면 어느 정도의 일정한 힘으로 계속 밀어야 합니다. (운동마찰력)
- 이와 같이, 접촉하는 2 개의 물체가 접촉면을 통해 서로의 움직임을 방해하려고 하는 힘을 마찰력 이라고 합니다.
- ◇ 마찰력의 크기는 접촉상태에 따라 다릅니다. 미끄럼접촉일 경우(미끄럼마찰력)보다 구름접촉일 경우(구름마찰력)가 마찰력이 작습니다.



미끄럼마찰력 ⇔ 각나사
(큰 힘이 필요함)



구름마찰력 ⇔ 볼스크류
(가볍게 움직임)

2 너트는 스크류축을 따라서 이동함 (STROKE 운동) ⇒

강구가 너트 외부로 이탈되지 않도록 하는 연구가 필요 ⇒

강구를 순환하게 하는 구조

◆ 참고자료 ◆ 볼스크류에서 왜 순환부품이 필요할까?

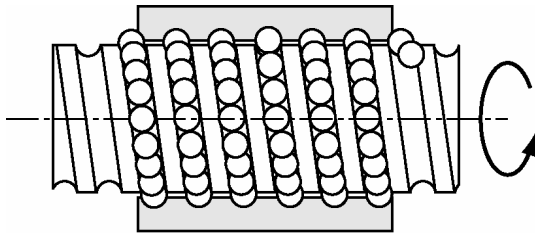
베어링의 경우, 강구는 원주형상의 홈을 따라서 구름운동만 하므로 회전해도 베어링 외부로 이탈되지 않습니다. 그러나 볼스크류의 경우는 홈이 나선형이므로 축을 회전시키면 강구는 나선 홈을 따라서 굴러가므로 어딘가에서 멈추게 하지 않는 한, 밖으로 이탈됩니다. 그러므로 어느 정도 굴러간 곳에서 진로를 변경시켜 강구를 차례대로 “출발점” 으로 되돌아가게 해야 합니다.(순환로 형성) 그 역할을 수행하는 것이 순환부품입니다.

3 강구가 무한순환운동을 하는 이유 (예:튜브식)

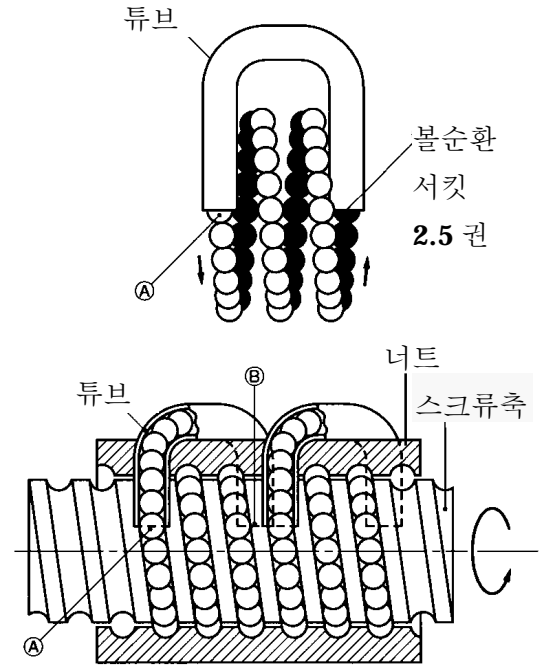
스크류축을 그림과 같은 방향으로 회전시키면, 강구는 (A)에서 스크류축과 너트의 홈 사이를 굴러가면서 진행하고, 스크류 홈을 두 바퀴반 (그림의 경우)회전하여 (B)에 도달합니다.

그 후 튜브의 끝에서 진로가 변경되어, 튜브를 통과하고 (A)로 돌아옵니다.

스크류축 위를 너트가 스트로크 운동을 하고 있을 때, 내부에서는 그와 같은 현상이 반복되고 있습니다.



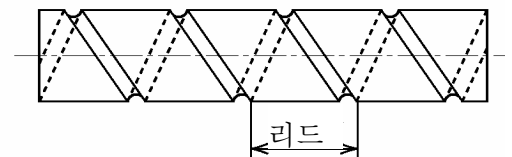
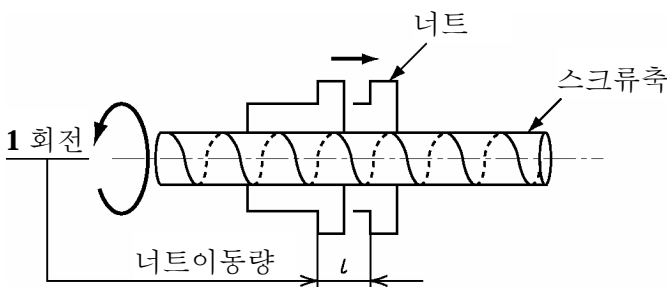
강구가 너트를 이탈함



강구가 순환함

4 리드

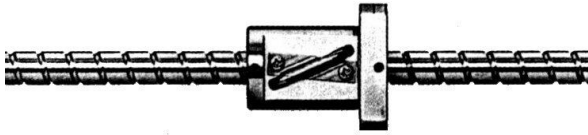
◆ 스크류축을 1 회전시켰을 때(또는 너트를 1 회전 시켰을 때), 너트가 진행한 거리



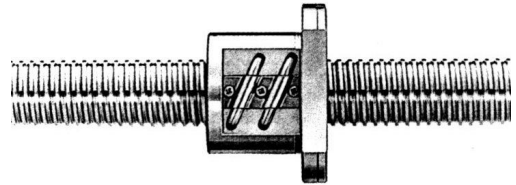
◆ 리드의 대소

용도에 따라 구분이 가능하도록 리드도 크기에 따라 구분합니다.

- 대리드 : 스크류축을 1 회전시켰을 때(또는 너트를 1 회전시켰을 때), 너트의 진행 거리가 큰 경우. 고속이송용으로 적합합니다.
- 소리드 : 스크류축을 1 회전시켰을 때(또는 너트를 1 회전시켰을 때), 너트의 진행 거리가 작은 경우. 정밀이송용으로 적합합니다.



대리드 (홈 간격이 넓다)



소리드 (홈 가격이 좁다)

▲참고자료▼ 리드, 스크류축의 회전수, 너트 이동속도와의 관계

[예] 리드가 10mm인 스크류축을 2000 rpm으로 회전될 때 너트의 이동속도는
 $(10\text{mm}/1\text{회전}) \times (2000\text{회전}/\text{분}) = 20000\text{mm}/\text{분} (=20\text{m}/\text{분})$

6 Coffee break 6 볼스크류의 역사

19 세기말 문헌에 의하면 구동 기구인“ 스크류” 를 가볍게 움직이게 하기 위해서 수나사와 너트의 사이에 볼을 넣어서 미끄럼 마찰을 구름마찰로 바꾸는 볼스크류를 만들려고 하는 시도는 있었습니다. 하지만 당시의 기술로는 실용화할 수 없었습니다.

1940 년대 미국에서는 자동차의 스티어링 기어에 사용된(미국 GM 의 Saginaw Division 에서 제작한 자동차용 Ball Screw Steering 이 세계 최초로 실용화됨)무렵부터 볼스크류의 설계와 제작기술이 크게 발전했습니다.

일본에서는 기계공업의 근대화가 진행됨과 동시에 볼스크류의 출현을 바라는 목소리가 매우 컸습니다. 그 때 NSK 는 가장 먼저 베어링 설계기술과 제작기술을 동원하여 볼스크류 개발에 착수해서 1958 년 일본최초로 볼스크류식 자동차용 스티어링 기어를 완성했습니다.

그리고 볼스크류의 꽃이라고 할 수 있는 NC 공작기계용 정밀볼스크류의 시작은 당시 일본에서 최고의 인기상품이었던 마키노 프라이즈 K 5 라고 하는 프라이즈반에 사용되던 XYZ 축의 사다리꼴나사를 NSK 볼스크류로 교체하면서 시작되었습니다. K 5 은 당시업계에서 베스트 셀러제품으로 월생산 50 대이상 생산되었던 것이었습니다.

그 후 설계기술, 제조기술의 향상으로 볼스크류가 가진 우수한 성능이 에너지절약이 요구되는 시대를 맞이하여 NC 기계, 에너지절약형 각종기계 등에 필수기계요소 중 하나가 되었습니다.

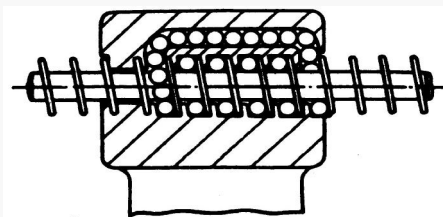


FIG. 1.30

A.D. 1898. In *The Practical Engineer* for 9th and 10th December, 1898, there appeared an article entitled "The Design and Construction of Ball Bearings" by C. H. Benjamin, which

Fig. 1.30 shows what may perhaps be considered the most ingenious application of balls yet made—a ball bearing screw and nut. The balls follow each other like sheep through a hole in the wall, travelling all the windings of the screw, and finally returning through the by-pass only to begin over again through interminable windings.

1898년 12월에 *The Practical Engineer* 지에
 개재되었던 볼스크류
 (R. K. Allan 의 저서 *Rolling Bearings* 에서 발췌)

Lesson 2 : 볼스크류의 특징과 사용 예

볼스크류는 구름마찰을 하므로 미끄럼스크류에 비해 여러 가지 우수한 점이 있습니다. 다음은 여러 가지 장점에 대한 설명입니다.

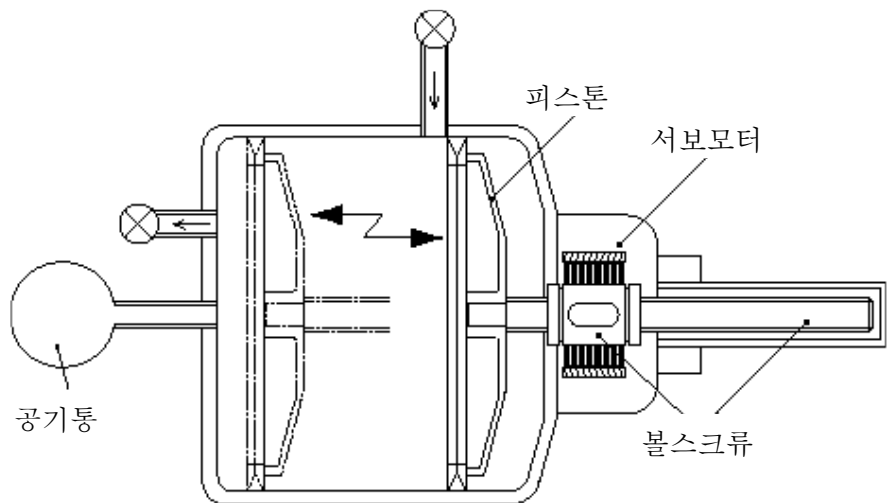
- 1** 기계효율이 높음
 스크류축을 회전시키는 힘을 거의 대부분 **(90%이상)**을 너트를 이송시키는 데 이용됨.
 (마찰에 의한 손실이 매우 적고 스크류축을 회전시키기 위해 필요한 힘이 각나사에 비해 약 **1/3** 이하로 좋음)



운동방향을 변환하려고 할 경우에 사용됨.

- 회전운동→직선운동
- 직선운동→회전운동

[사용 예-1] 인공호흡기



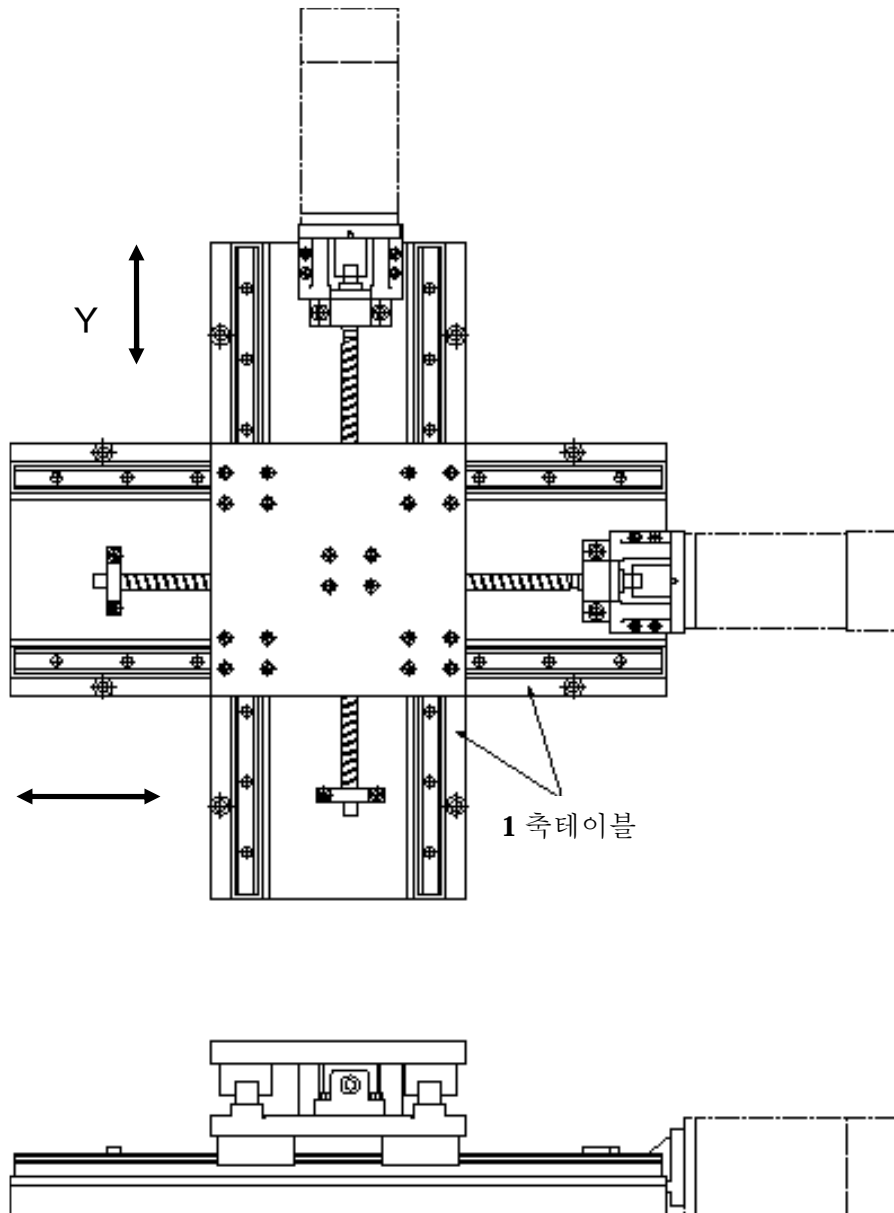
모터로 볼스크류의 너트를 구동하여 스크류축에 연결된 피스톤을 움직입니다. 위 그림은 너트회전·축이동 방식을 나타내지만, 축회전·너트이동 방식도 있습니다.

- 2) 마모가 적음.
 구름접촉이므로 미끄럼접촉에 비해
 마모가 적음.
 → 정밀도가 떨어지는 현상이 매우 적음



정밀한 위치결정이 필요한 경우에
 사용됩니다.

[사용 예-2] 정밀위치결정테이블

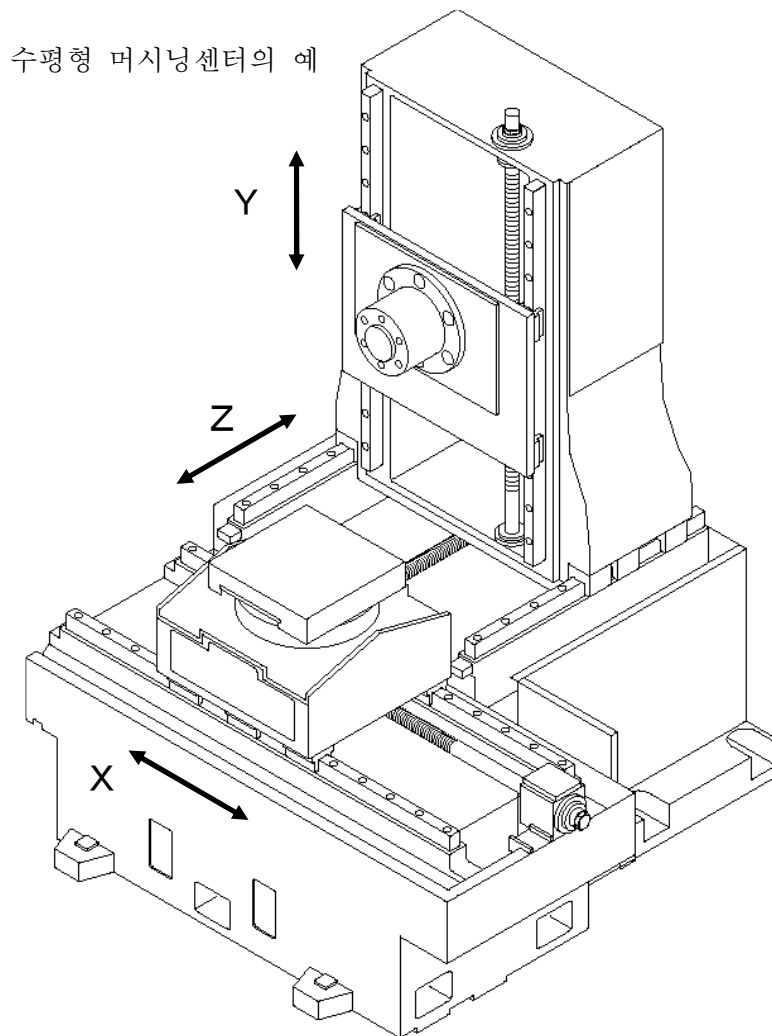


X축방향, Y축방향으로 정확하게 테이블을 이동시키기 위해 볼스크류를 사용합니다.
 예를 들어, 노광장치, 검사장치처럼 위치결정정도가 중요한 기기에 사용됩니다.

3 작동성이 좋음
미소이송에 대해서도 원활하게 작동함. ⇨
부하가 걸린 상태에서도 원활하게 작동함.

- 가볍고 일정한 회전이 필요한 경우에 사용됩니다.
- 정밀한 위치결정이 필요한 경우에 사용됩니다.
- 무거운 물체를 가볍게 이송시킬 때 사용됩니다.

[사용 예-3] 공작기계



각 슬라이더부를 X, Y, Z의 방향으로 이동시키기 위해 사용됩니다.
머시닝센터나 NC 선반과 같은 절삭계 공작기계의 경우, 일반적으로 큰 절삭력이 작용합니다.

4 수명의 예측이 가능함.
기본적인 원리는 구름베어링과 같으므로
주어진 조건에 대한 피로수명의 계산도
가능합니다.



- 희망수명을 근거로 기계설계가 가능
- 선정이 용이

5 기타
JIS, ISO 등에 의한 규격화가 되어있음.

제 2 장

볼스크류의 구조와 특징

q Lesson 1 : 볼스크류 구성부품

- Section 1 : 스크류축
- Section 2 : 순환부품과 순환방식
- Section 3 : 강구(ball)
- Section 4 : 씰(seal)

q Lesson 2 : 볼스크류의 정도

- Section 1 : 리드 정도
- Section 2 : 리드 정도의 등급
- Section 3 : 조립부 정도

q Lesson 3 : 볼스크류의 예압과 강성

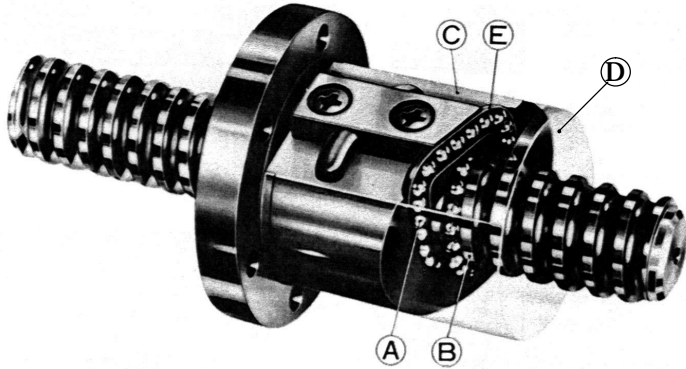
- Section 1 : 볼스크류의 예압
- Section 2 : 볼스크류의 강성
- Section 3 : 예압방식

q Lesson 4 : 축경과 리드의 조합

日本精工株式会社

精機技術センター

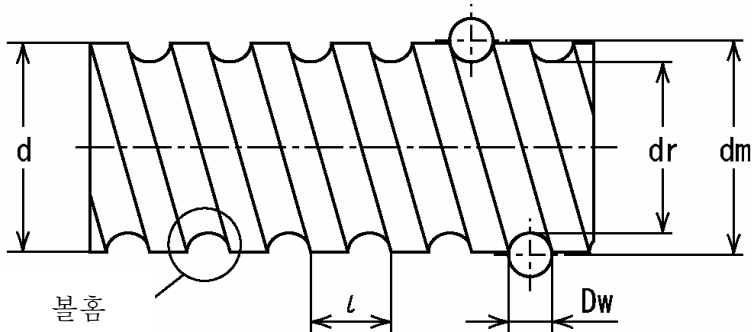
Lesson 1 : 볼스크류의 구성부품



- A : 강구(ball)
- B : 스크류축
- C : 너트(nut)
- D : 씬(seal, 너트양단)
- E : 순환부품(튜브 등)

Section 1

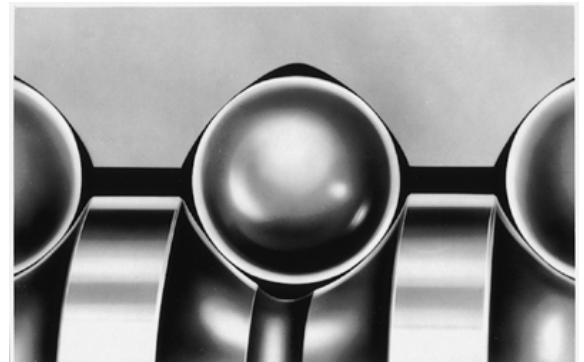
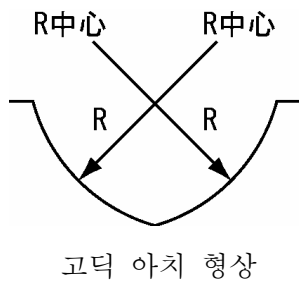
스크류축



- d : 스크류축 외경 (형변상의 축경)
- d_m : 볼피치 원경
- d_r : 스크류축 곡경
- l : 리드(lead)
- D_w : 강구경(볼경)

1 볼홈의 형상

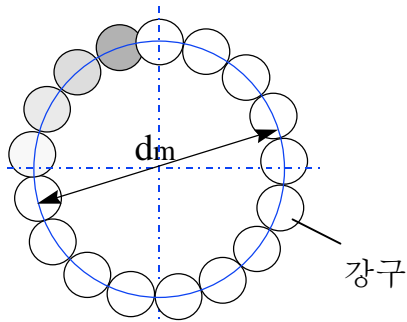
그림과 같이 두 원의 일부로 형성된 고딕 아크 형상을 한 「고딕 아크 홈」입니다.



◆ 참고자료 ◆ 왜 고딕 아치라고 하나요?

고딕 건축의 지붕과 형상이 비슷하기 때문에 이름이 그렇게 붙여졌습니다.

2 볼피치 원경



순환하고 있는 강구의 중심을 선으로 이어 그려진 원의 직경을 말합니다.
 허용회전속도(4 장 참조)의 검토시 필요한 치수입니다.
 카다로그의 치수표에 기재되어 있습니다.

3 스크류축 곡경

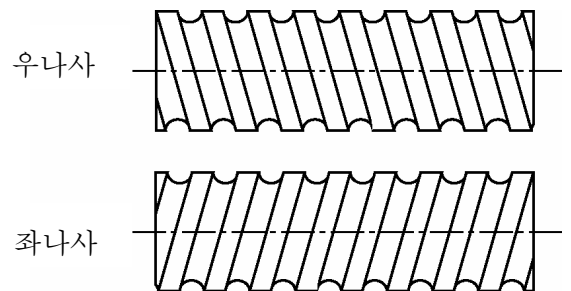
스크류축의 나선홈경을 말합니다. 볼스크류에서 가장 가는 부분이며 축의 강도 및 스크류축의 위험속도의 계산시 필요한 치수입니다. 카다로그의 치수표에 기재되어 있습니다.

4 스크류 방향

우나사, 좌나사의 2 종류가 있습니다. 주로 우나사가 많이 쓰입니다.

● 우나사

축방향에서 봤을 때, 나선홈을 시계방향으로 따라가 보면 멀어지는 나사를 말합니다.
 (오른쪽 그림에서 왼쪽방향으로 나아감.)
 그림과 같이 홈이 오른쪽 아래 방향으로 경사져 있습니다.



● 좌나사

축방향에서 봤을 때, 나선홈을 시계방향으로 따라가 보면 돌아오는 나사를 말합니다.
 (오른쪽 그림에서 오른쪽 방향으로 나아감.)
 그림과 같이 홈이 왼쪽 아래방향으로 경사져 있습니다.

Section
2

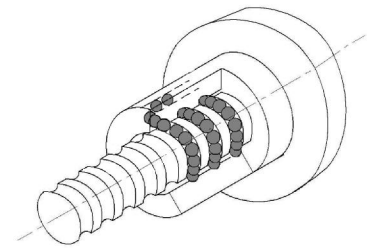
순환부품과 순환방식

NSK 는 모두 4 종류의 순환방식을 적용하고 있습니다.

1 신순환식(신제품, BSS 시리즈)

● 특징

- 고속 $dN \leq 18$ 万
(종래 고속사양 $dN \leq 13.5$ 万) **33% UP**
- 정음(靜音) 소음레벨 대폭 감소 약 **6dB** 이상
새로운 순환방식에 의한 부드러운 음색
- 컴팩트 너트외경 최대 **30% DOWN** (종래품비교)



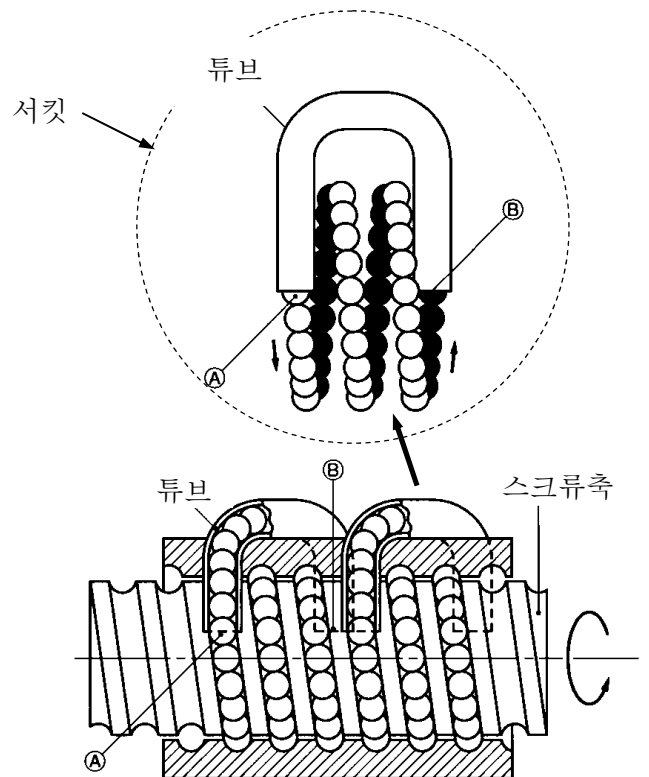
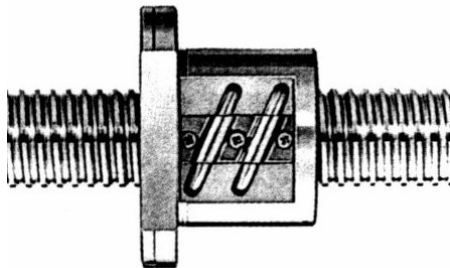
순환방식형상

2 튜브식

● 순환부품 : 튜브

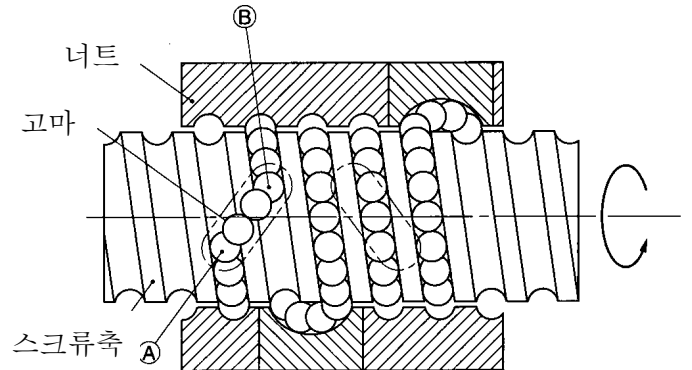
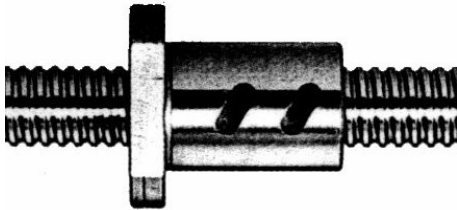
● 특징

- 축경, 리드 대응범위가 넓음.
- 가격적으로 유리
- 양산성 : 大
- 권수 : 1.5~3.5 (일반적)



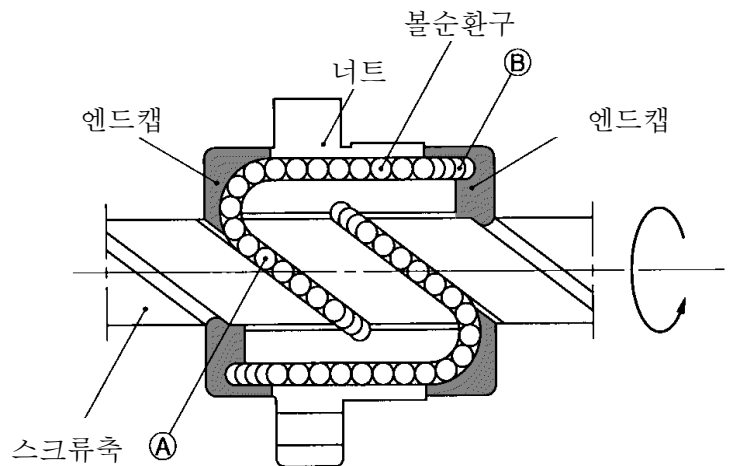
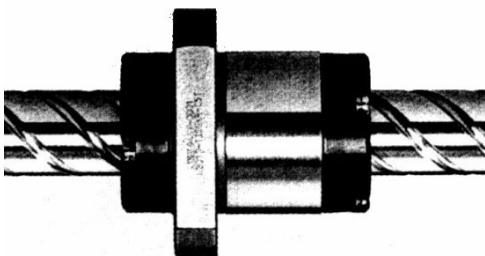
3 고마식(Deflector)

- 순환부품 : 고마
- 특징
 - 소리드용
 - 너트외경이 콤팩트 함.
 - 양산성 : 小
 - 권수 : 1 권만 가능



4 엔드캡식

- 순환부품 : 엔드캡(및 볼순환구멍)
- 특징
 - 튜브, 고마식으로는 대응할 수 없는 범위에 적용함.
 - 범용성이 낮음. (엔드캡의 성형틀에 귀속됨.)
 - 大리드용
 - 양산성 : 中
 - 권수 : 0.7 권, 1.7 권
 - 일반적으로 다조(多条) 스크류용임.

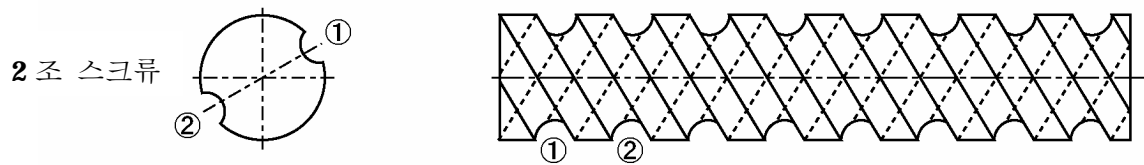
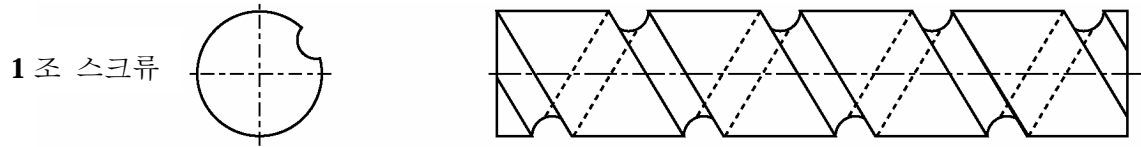


◆ 참고자료 ◆

- § 서킷 : 강구가 스크류축의 홈을 끊임없이 순환할 수 있는 구조임.
- § 권수 : 한 서킷에서 스크류축에(접촉하여) 강구가 둘러싸고 있는 스크류 홈의 개수를 나타낸 수치.
(유효권수 : [권수] × [서킷수], 즉, 축방향하중을 받는 것이 가능한 강구의 총 권수)

★ 참고자료 다조(多條)스크류란?

일반적으로 스크류축의 불홈의 개수는 1개입니다. 그것을 「1조 스크류」라고 합니다. 그리고, 불홈의 수가 2개 이상인 것을 「다조 스크류」라고 합니다.



(①번 홈과 ②번 홈은 180°위상차가 있음.)

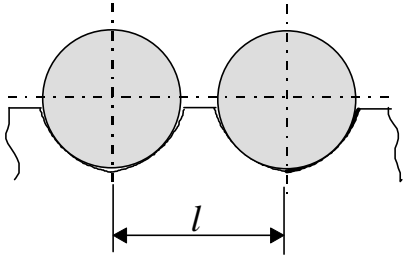
리드가 커지면 홈 사이의 거리도 커집니다. 따라서 리드가 커짐에 따라 유효권수를 확보하기가 어렵게 됩니다. (가공상의 제약으로 너트를 길게 할 수 없음) 유효권수를 많이 확보하려면 홈수를 증가시키면 되므로 홈 사이에 홈을 추가 설정하면(유효활용) 다조 스크류라 하는 것이 됩니다. 大리드의 볼스크류에 다조스크류가 많은 것은 이러한 이유 때문입니다.

Section
3

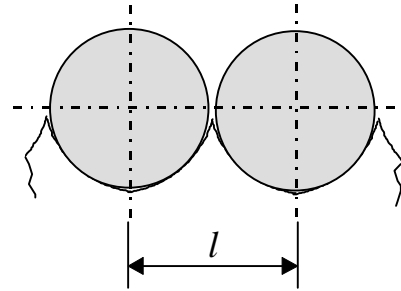
강구 (ball)

● 강구 사이즈

강구경은 스크류축경 및 리드(l)와의 균형(**balance**), 및 강성, 부하용량, 작동성 등을 고려하여 정해집니다.



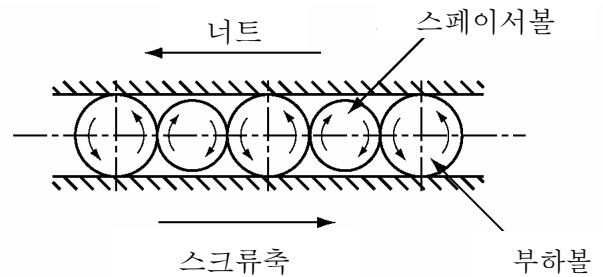
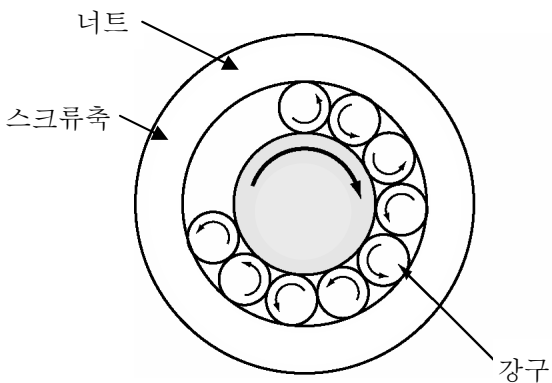
리드에 균형이 맞는 사이즈의 강구를 조립한 경우
(홈 사이의 축외형부가 확보될 수 있습니다.)



리드에 비해 큰 강구를 조립한 경우
(홈 사이의 축외형부가 남아있지 않습니다.)

● 강구의 조립

- 강구는 아래 그림과 같이 스크류축과 너트의 볼홈 사이를 이동하지만 볼스크류에는 구름베어링처럼 리테이너가 없기 때문에 강구 사이의 클리어런스가 없게 되면 강구끼리 서로 간섭(충돌)을 일으키게 됩니다.
- 따라서, 작동성을 향상시키기 위해 보통 강구보다 수십 μm 정도 작은 강구를 강구들 사이에 넣어 리테이너 역할을 하게 합니다. (아래 그림 참조)
그 작은 강구를 스페이서 볼이라고 합니다. 스페이서 볼을 조립하므로 부하를 받게 되는 강구의 수가 줄어들게 되므로 부하용량은 저하됩니다. 단지, 스페이서 볼과 구별하는 의미에서 보통 부하를 받는 강구를 부하(**load**)볼이라고 합니다.



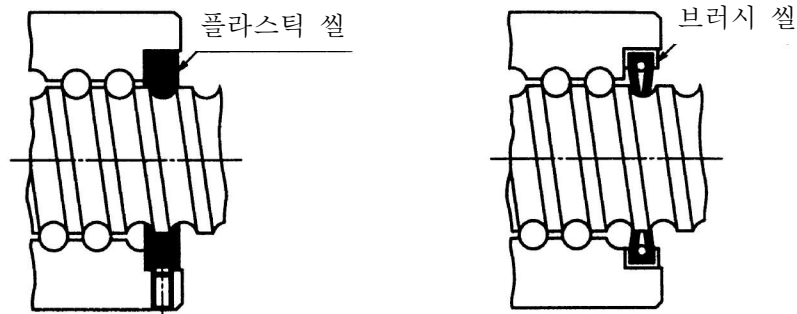
Section
4

씰(Seal)

너트 내에 이물이 들어가면 작동성이 나쁘게 되거나 조기 마모현상이 발생하므로 볼스크류의 기능에 악영향을 미칩니다. 그렇기 때문에 방진대책으로써 씰(seal)을 사용하고 있습니다.

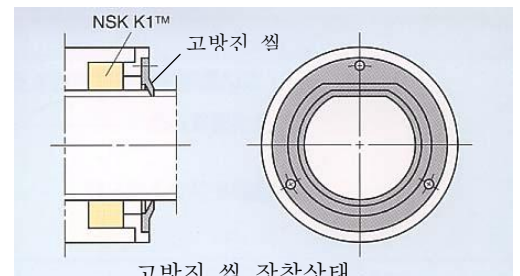
1 표준 씰

- 씰의 종류 : ①플라스틱 씰 (일반·표준/비접촉 타입)
②브러시 씰 (전조볼스크류용/접촉타입)



2 고방진(高防塵) 씰

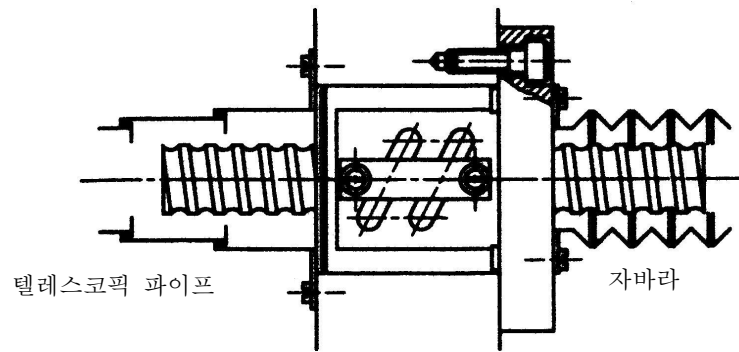
- 씰(접촉)부를 스크류축 단면형상과 비슷하게 립(lip)을 만들어서 토크의 상승을 최대한 억제하고 방진성을 높인 제품입니다.
- 또한, 스크류축 볼홈은 씰 성능을 높이기 위해 홈 바닥부의 홈을 없앤 특수형상입니다.
- 방진성 및 내구성을 우선적으로 높이기 위해서 윤활 유니트「NSK K1™」을 표준으로 장착합니다.
- 효과 : **NSK** 에서 평가시험을 한 결과, 종래의 표준 씰 장착품과 비교하면
 - ①이물 침입량이 **1/15** 이하로 감소
 - ②볼스크류의 수명이 **4** 배 이상 증가
- 적용형식 : 축경, 리드에 적합한 최적의 씰 형상을 설정하므로 주문생산합니다.
- 정도, 예압은 표준품과 동일하고 동마찰 토크는 약간 증가합니다.
- 용도에 : 목공기계, 레이저 가공기, 용접라인 등의 이물이 많은 곳에서 사용합니다.



고방진 씰 장착상태

3 기타

실 만으로 방진효과가 충분하지 않은 이물이 많은 악조건일 때에는 자바라나 텔레스코픽 파이프(**telescopic pipe**)를 이용하여(고객 주문시), 스크류축을 완전하게 커버합니다.



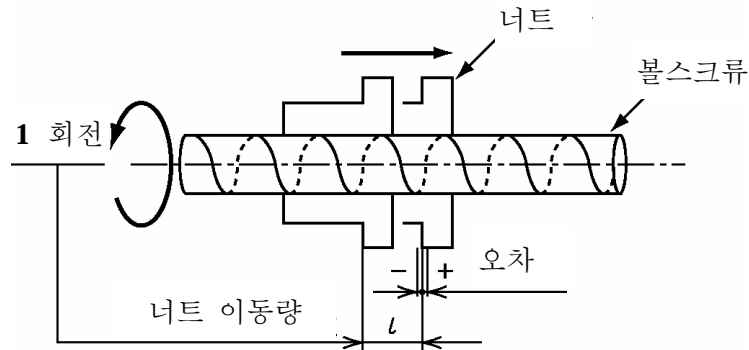
Lesson 2 : 볼스크류의 정도(精度)

볼스크류가 이송나사 기능을 하는데 있어 정도 관련 중요항목에는 「리드 정도」, 「조립 정도」가 있습니다.

Section 1

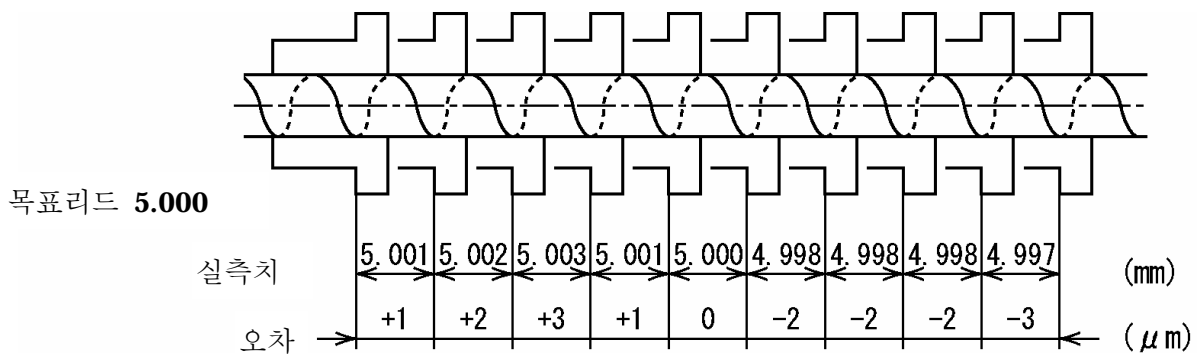
리드 정도

리드 정도란, “스크류축을 회전시켰을 때의 너트가 이동하는 거리의 정밀도(너트이동 정도)”로 스크류축 불홈의 이송방향 정도를 반영하는 것입니다.



예를 들면, 리드 $l=5.000$ 목표로 제작된 볼스크류에서도, 실제로는 $l=4.998$, $l=5.005$ 등의 +의 리드 오차가 있습니다.

또한, 아래 그림과 같이 1 리드마다의 오차는 위치에 따라 다릅니다.



오차는 이동장치의 이동속도나 위치결정정도에 직접 영향을 미치므로, 볼스크류의 JIS 규정에서는 리드 정도와 관련하여 상세하게 규정하고 있습니다.

Section 2

리드정도의 등급

구분 항목	위치결정용(C 계열)					반송용(Ct 계열)	
	C0	C1	C2	C3	C5	Ct7	Ct10
정도등급	C0	C1	C2	C3	C5	Ct7	Ct10
V_{300}	3.5 μm	5 μm	7 μm	8 μm	18 μm	52 μm	210 μm
품질	고정도(高精度) ←						

리드정도의 요구치로 규정된 정도등급 대신에, 「 V_{300} 에서 10 μm 이하」 등의 방식으로 리드정도를 나타내기도 합니다.

◆ 참고자료 ◆

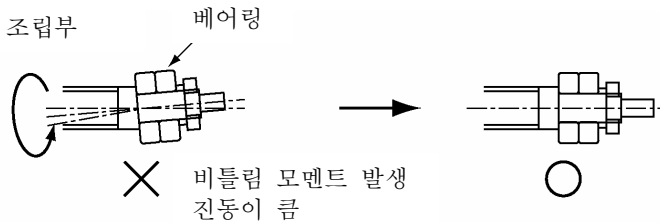
V_{300} : 스크류부 유효길이에서 임의의 300mm의 범위에서 리드오차의 최대폭(변동)을 말합니다.
자세한 사항은 제 5 장 Lesson 3 을 참고하십시오.

Section 3

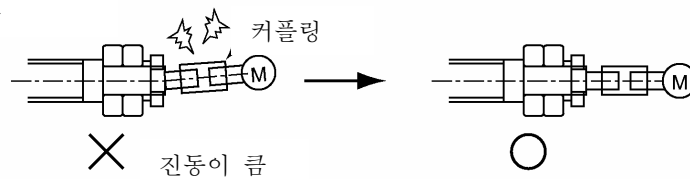
조립정도

리드정도가 아무리 좋아도 볼스크류의 조립에 문제가 있다면 리드정도가 제대로 나올 수 없고, 소음과 진동, 수명저하 등의 문제가 발생할 수 있습니다. 물론, 볼스크류의 조립정도는 지지베어링, 커플링, 모터 등을 포함해서 고려하는 것도 필요하지만, 볼스크류 단품으로 봤을 때, 이러한 부품들의 정도보다 조립부의 정도가 우선됩니다.

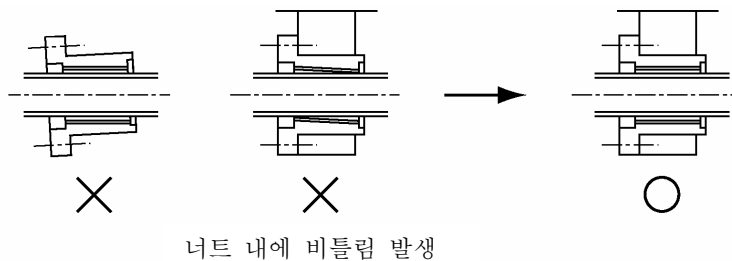
① 지지베어링 조립부



② 커플링 조립부



③ 볼스크류 너트와 너트브라켓 조립부(너트조립면의 볼스크류부에 대한 직각도)



※위에 열거한 내용 외에도 스크류축의 휨이나 베어링조립부경 치수정도(베어링과의 끼워맞춤) 등이 있습니다.

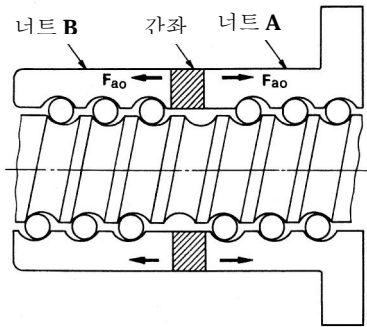
Lesson 3 : 볼스크류의 예압과 강성

Section 1

볼스크류 예압

● 예압이란?

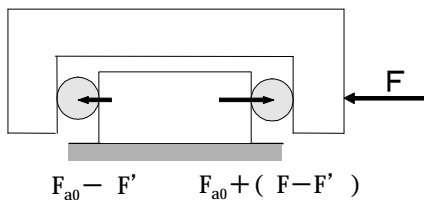
축방향하중(예압하중) F_{a0} 을 주어 미리 강구와 스크류축 및 너트의 볼홈 접촉면에 탄성 변형(변위)을 준 것을 말합니다.



◆ 참고자료 ◆ 탄성변위란?
 힘을 주었다가 힘을 주지 않으면 원래의 상태로 돌아가는 것을 말합니다.
 고무공을 쥐면 찌그러지지만 놓으면 원래의 형태로 돌아옵니다.
 이러한 변형을 탄성변위라 합니다.

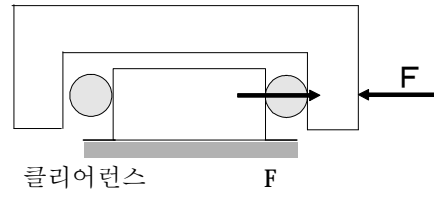
● 예압의 목적(효과)

- 스크류축과 너트 사이의 내부클리어런스를 제로로 합니다. (→ 흔들림 없음)
- 외부하중에 대하여 축방향 탄성변위량을 작게 합니다. (→ 강성 UP)



<예압(F_{a0})이 있는 경우>

F 는 직접 걸리지 않고, F' 만큼 빼고 F 가 직접 가해집니다. → 변위량 : 大
 가해짐 → 변위량 : 小



<예압이 없는 경우>

● 예압량(하중)의 설정

용도에 맞는 예압량으로 설정되어야 합니다.(무작위로 설정하면 안됨)

예압하중을 크게 하면 강성은 높아지지만, 다음과 같은 문제가 있습니다.

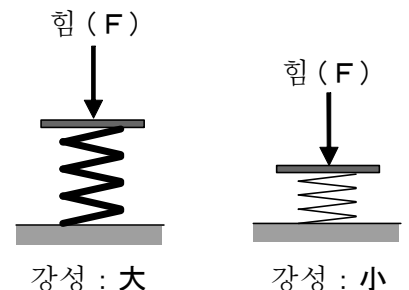
- 회전이 무거워짐. (회전시키는 데에 큰 힘이 필요하게 됨)
- 발열량이 증가함.(→온도상승→스크류축의 열팽창량 증가→리드정도, 베어링에 영향)
- 수명이 짧아짐.

Section 2

볼스크류의 강성

축방향으로 외부하중을 가했을 때에(탄성변위 범위에서) 변형하기 어려운 “성질” 혹은 “정도”를 말합니다.

스프링의 경우에서 보면 스프링 상수에 해당되는 것입니다.



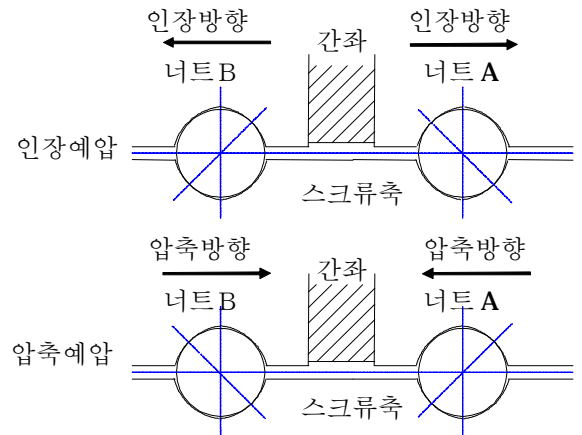
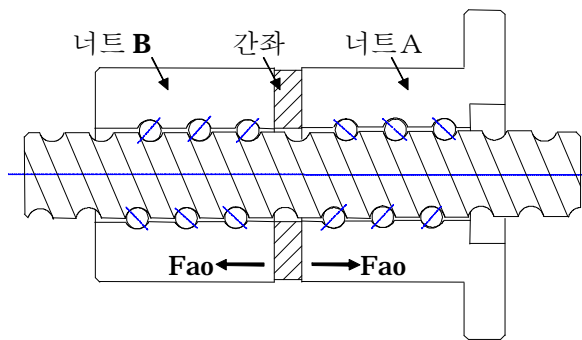
Section
3

예압방식

NSK 볼스크류에서는 용도 따라 4 종류의 예압방식을 사용하고 있습니다.

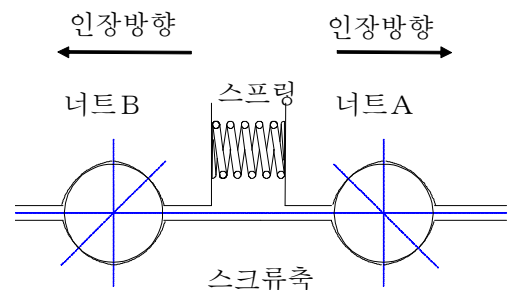
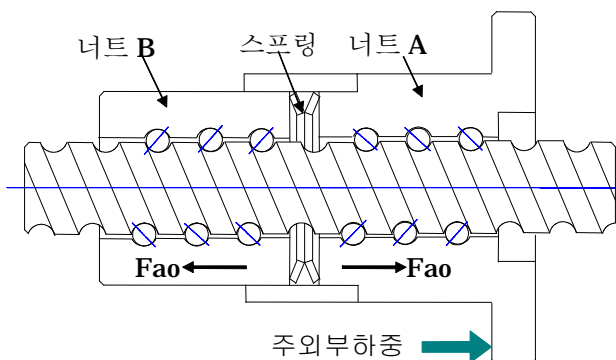
1 더블너트예압 (D 예압)

- 너트 2 개를 사용하고 그 사이에 간좌(spacer)를 삽입하여 예압을 주는 방법.
- 일반적으로 너트 사이의 틈새보다 예압량만큼 두꺼운 간좌(spacer)를 삽입합니다. (인장예압방식)
- 예압량만큼 얇은 간좌를 삽입하여 두 개의 너트를 서로 붙이는 방식(압축예압방식)도 있습니다만 잘 사용하지는 않습니다.
- 큰 예압하중을 설정하고 싶은 경우에 적합합니다.



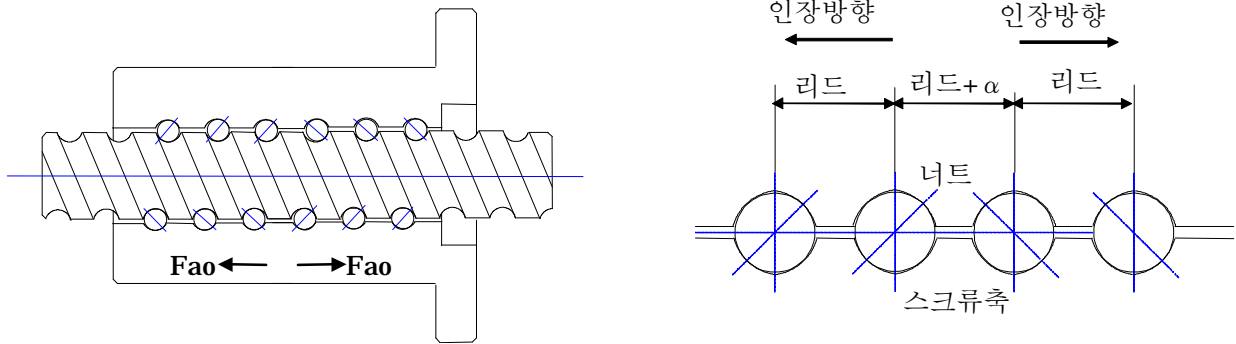
2 스프링 더블너트예압(J 예압)

- D 예압의 간좌 대신에 스프링(판스프링, 또는 코일스프링)을 삽입한 것으로 스프링 힘으로 예압을 주는 방법입니다.
- 스프링이 댐퍼 역할을 하여, 스크류축경의 변동량 및 강구, 볼홈의 마모량을 흡수하는 것으로 예압량의 영향을 완화하기 위해, 장기간에 걸쳐 토크의 변화량을 작게 해줍니다. (토크특성 우수)
- 스프링을 이용하므로 하중방향 따라 강성이 달라집니다. 아래그림에 나타나있는 「주외부하중」의 방향으로만 하중이 걸리지 않게 하는 용도로 사용됩니다.



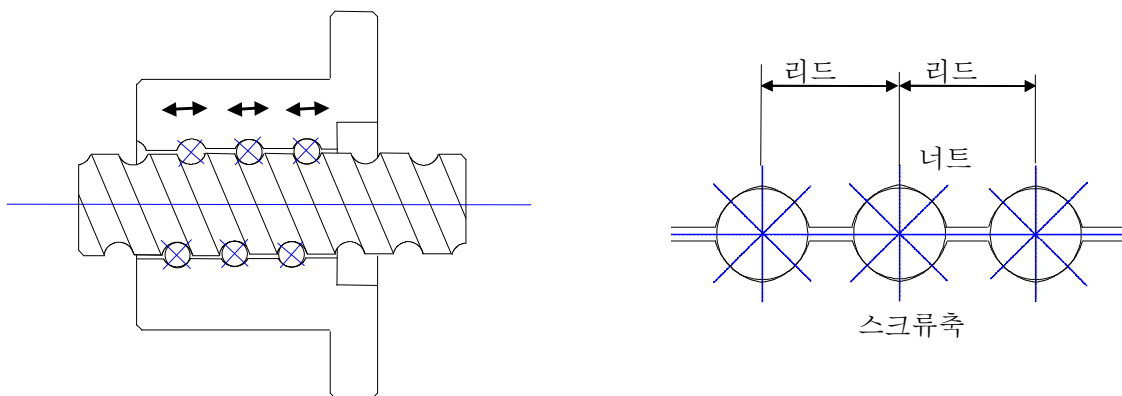
3 | 옹셋 예압(Z 예압)

- 너트의 중앙부근의 리드를 예압량(α)만큼 크게 하여 예압을 주는 방식입니다.
(싱글너트로 D 예압과 같은 예압방식이므로 기능면에서 D 예압과 동일)
- 간좌(spacer)를 사용하지 않으므로 콤팩트화 · 저가격화를 꾀할 수 있습니다.
- 너트길이가 길어지기 때문에, 제작 서킷 수에 제한이 있습니다.



4 | 오버사이즈 볼 예압 (P 예압)

- 볼홈의 공간보다도 예압량만큼 큰 강구(오버사이즈 볼)를 삽입하고, 강구를 4 점 접촉하여 예압을 주는 방식입니다.
- 다른 방식에 비해 너트길이가 가장 짧으므로 너트가 소형화됩니다.
- 그다지 큰 예압은 걸리지 않습니다.



Lesson 4 : 축경과 리드의 조합

JIS 에 따른 볼스크류의 축경과 리드의 조합을 아래의 표에 나타내었습니다. (기본조합)
이것을 기본으로 하여 **NSK** 볼스크류는 시리즈화 되어 있습니다.

	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	30	32	40	50	60	64	80	100
4	M	M																					
6	M	M		M																			
8	M	M	M	M																			
10		M		M	M	T	T	B	T		B												
12		M		M	M	M	T	BT		T	BL	L		BU		B							
14				M		M	T	T															
15								B			BL			BU		B							
16				M	M		T	T	T		T		L				U		U				
18										T													
20				M			T	BTD	TD	T	B		L	BL		B		BU		BU			
25				M			T	BTD	TD	T	B	B	L	BL	BL	B			BU			U	
28								T	T		T	B											
32				M			T	BTD	TD	TD	BTD	BT	B	BLN	LN		BLN					BU	
36								BT	T		BT	B	B	B									
40				M				TD	TD	TD	BTD	BT	BT	BH	BLN	B	LN	BLN					BU
45											B	BT	B	BH	BH	B							
50								TD	TD	TD	BTD	BTD	BTF	BTD	BLHN	BH	LN	LN	BLN				B
55											T		F										
63									D	D	TD	TD	TF	TDF				L	L				
80											TD	TD	T	TDF	F								
100											D	TD	T	TDF									
125													T	T	T		T						
140															T		T	T	T				
160																	T	T	T				
200																	T	T	T				
250																	T	T					

B : BSS 시리즈, **T** : 튜브식, **D** : 고마식, **L** : 대리드, **U** : 초대리드,
M : 고마식 미니어처, **H** : HMC 시리즈, **F** : HTF 시리즈, **N** : NDT 시리즈

◆ 참고자료 ◆ 위의 표에서 공백이 있는 이유는?

§ 리드가 큰 경우
축경에 비해 리드가 크기 때문에 제작이 어렵거나 제작이 불가능하므로 기본조합에서 제외되었습니다.

§ 리드가 작은 경우
축경에 비해 리드가 작기 때문에 실용성이 낮으므로(부하용량, 이동속도 면에서), 기본조합에서 제외되었습니다.

제 3 장

볼스크류의 사용법

q Lesson 1 : 볼스크류의 분류와 시리즈

q Lesson 2 : 볼스크류 관련부품

- Section 1 : 서포트유니트
- Section 2 : 로크너트
- Section 3 : 그리스유니트
- Section 4 : 스톱퍼

q Lesson 3 : 특수용도시리즈의 개요

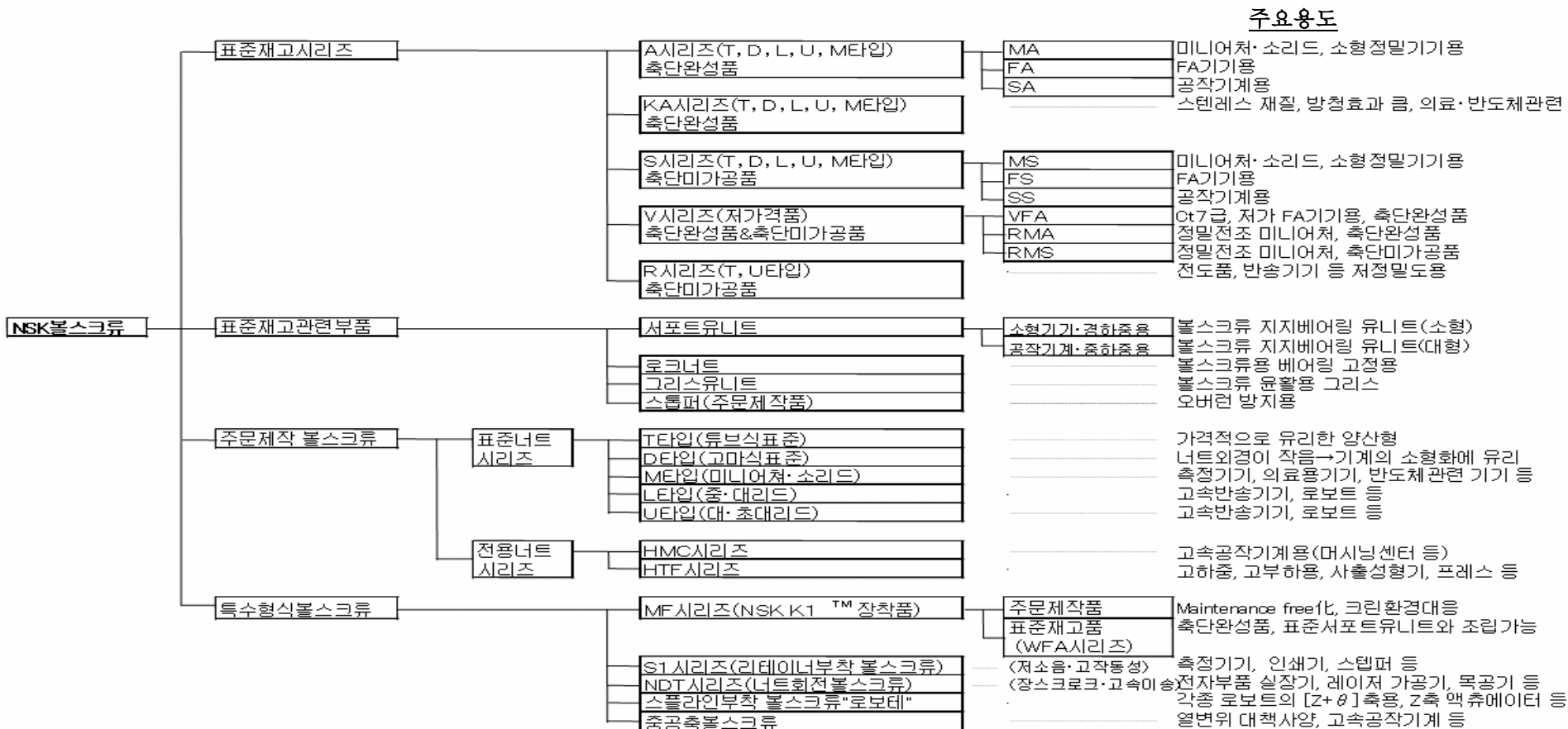
- Section 1 : BSS 시리즈
- Section 2 : S1 시리즈
- Section 3 : MF 시리즈
- Section 4 : 대·초대리드 볼스크류
- Section 5 : HMC 시리즈
- Section 6 : HTF 시리즈
- Section 7 : NDT 시리즈 (너트회전 볼스크류)
- Section 8 : 스플라인부착 볼스크류 “ 로보테”
- Section 9 : 중공축 볼스크류

q Lesson 4 : 스크류축 제작범위

日本精工株式会社

精機技術センター

Lesson 1 : 볼스크류의 분류



NSK 볼스크류의 기본타입

타입	리드 크기	순환방식	예압방식
T 타입	소·중리드	튜브	D,P,Z 예압
D 타입	소·중리드	고마	D,P,Z 예압
L 타입	중·대리드	튜브	D,P 예압
U 타입	대·초대리드	튜브, 엔드캡	P 예압
M 타입	소리드	고마	P 예압

NSK 리드 구분

구분	리드비 (K = 리드 / 축외경)
소리드	K < 0.5
중리드	0.5 ≤ K < 1
대리드	1 ≤ K < 2
초대리드	2 ≤ K



1 표준재고 시리즈

단납기 대응을 위해 표준화 · 재고품화한 시리즈입니다.

u 축단완성품

- § 베어링, 구동부품 등이 바로 조립될 수 있도록 스크류축 양단부가 가공되어 있음.
- § 추가가공 등이 불필요(제품상태 그대로 기계에 조립가능)



u 축단미가공품

- § 스크류축 양단부는 미가공(미열처리, 원통형)으로 축단형상에 대한 자유도가 있음.
- § 조립 전에 축단의 추가가공이 필요
- § 축단완성품 중 적당한 제품이 없을 경우에 선택해서 사용



2 주문제작 볼스크류

- § 표준재고 시리즈 품으로 대응이 안 되는 경우에 사용 (특수주문품)
- § 고객과 도면을 교환하고, 사양을 확정된 후 제조.
- § 원재료로부터 제조가 시작되므로 표준재고품보다 납기가 더 길어집니다.

3 특수형식 볼스크류

Maintenance free 화 대응, 환경대응, 고효율화 대응 등을 위해 특수기능을 첨가한 볼스크류 입니다. 자세한 내용은 **Lesson 4** 참조해 주십시오.

Lesson 2 : 볼스크류 관련부품

볼스크류를 사용할 때, 유용한 보조부품을 소개합니다. 볼스크류와 세트로 구매하시면 편리합니다.

Section 1

서포트유닛 (Support Unit)

볼스크류 조립용 베어링과 하우징을 세트화한 제품입니다. 볼스크류 지지부를 설계하고 제작하는 것은 성가신 일이 될 수 있으므로 유니트화된 본 제품을 쓰시면 편리합니다.

W표준재고 단납기 제품입니다.

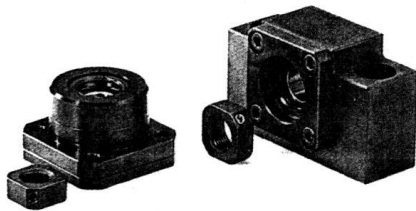
W용도별로 2 종류가 있습니다.

W「표준재고시리즈」볼스크류에 대응합니다.

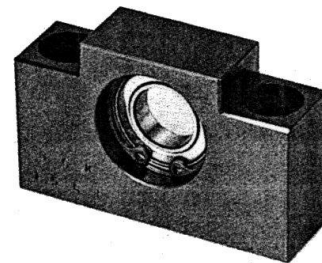
W그리스 봉입품입니다.

1 소형기기 · 경하중용

- 베어링 내경치수 범위가 $\phi 4 \sim \phi 25$ mm 입니다.
- 「고정측」용 (각형, 환형) 과 「단순지지측」용이 있습니다.



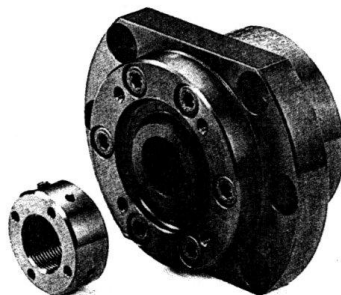
「고정측」용



「단순지지측」용

2 공작기계 · 중하중용

- 베어링 내경치수 범위가 $\phi 17 \sim \phi 40$ mm입니다.
- 「고정측」용만 있습니다.



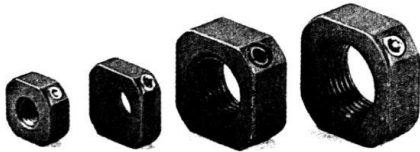
Section
2

로크너트(Lock nut)

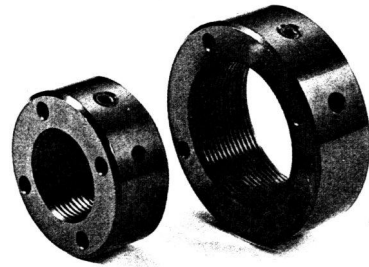
볼스크류 지지베어링은 가능한 한, 축과 직각이 되도록 조립되어야 합니다.

따라서, **NSK**에서는 볼스크류전용 고정도 로크너트를 제작하고 있습니다. (표준재고)

「A타입」과 「S타입」의 2 종류입니다. 지지 베어링조립을 할 때, 본 제품을 사용해 주시기 바랍니다.



A 타입



S 타입

W A 타입 : 「소형기기·경하중용」서포트 유니트에 동봉된 것과 같음.

W S 타입 : 「공작기계·중하중용」서포트 유니트에 동봉된 것과 같음.

Section
3

그리스 유니트

볼스크류 유효용 그리스는 자바라용기 (80g) 각종 그리스와 수동 그리스 펌프가 있습니다.

W 원터치로 그리스 건(그리스 유지용 기구)에 장착이 가능하므로 사용하기 쉽습니다.

W 장기간 사용하지 않을 때에는 그리스가 열화되는 것을 방지하기 위해, 그리스 건과 분리하여 뚜껑으로 막아두십시오.

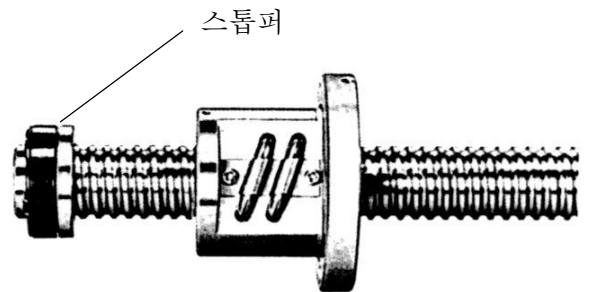
명 칭	용 도	튜브색
NSK 그리스 AV2	중(重)하중용	갈색
NSK 그리스 PS2	고속경하중용	오렌지
NSK 그리스 LR3	고속중(中)하중용	녹색
NSK 그리스 LG2	크린환경	파란색



Section
4

스톱퍼(Stopper)

- W 기계자체의 안전장치의 고장이나 작업미스 등에 의해 너트가 오버런(**Overrun**) 하는 경우가 있습니다. 오버런을 방지하기 위한 볼스크류 안전장치로 스톱퍼를 설치합니다.
- W NSK에서는 「충격흡수형 스톱퍼」를 시리즈화했습니다. 단품판매는 하지 않고 볼스크류와 세트에 주문제작하여 판매합니다.



Lesson 3 : 특수용도시리즈

Section 1

S1 시리즈

W소음을 줄이고 작동성을 향상시킨 볼스크류

《 구조 》

강구끼리의 충돌이나 충돌로 인한 작동성 저하를 방지하기 위해, 강구 사이에 수지로 만든 리테이너 피스를 삽입하였음.

《 주요특징 》

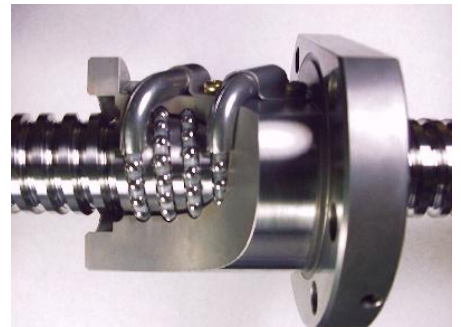
- 1) 저소음, 좋은 음질(사람을 불쾌하게 하지 않는), 저진동
- 2) 원활한 작동성
- 3) 고부하용량 · 고강성 (스페이서볼사양 대비)
- 4) 종래품과의 너트치수 호환성
- 5) 정도등급 : C0 ~ C5 급

《 용도예 》

측정기기, 스캐너나 인쇄기계, 스텝퍼, 와이어방전가공기 등

《 선정시 주의점 》

- 볼순환방식은 튜브식입니다.
- P 예압이 표준사양입니다만, Z 예압, D 예압도 대응가능합니다.
- 사용가능온도범위는 상용 Max. 50℃, 순간 Max. 80℃입니다.



Section
2

MF 시리즈

W윤활유니트「NSK K1™」을 장착한 볼스크류입니다.

《 주요특징 》

- 1) 장기간 **Maintenance free** 가 가능(유지보수성이 좋음)
- 2) 사용환경을 오일로 오염시키지 않음 (깨끗한 환경 유지)
- 3) 물로 윤활제가 오염되는 환경에 강함(장수명화)
- 4) 흡유성 이물이 발생하는 환경에서 기능유지(장수명화)
- 5) 표준재고품으로 **WFA** 시리즈가 있음 (단납기, 정도등급 : **C5**)
- 6) 정도, 클리어런스, 예압사양은 종래품과 동급

《 용도예 》

공작기계, 반도체·액정관련장치, 식품·의료기계, 자동차관련제조설비, 목공·제지·의료기계, 로봇 등

《 선정시 주의점 》

- 윤활유니트「NSK K1™」을 장착하면 너트길이가 길어지므로 기존제품에서 설계변경하는 경우 유효스트로크에 주의해 주십시오.
- 윤활유니트「NSK K1™」을 장착하면 동마찰토크가 약간 증가합니다.
- 사용가능온도범위는 상용 **Max. 50** °C, 순간 **Max. 80** °C입니다.
- 헥산, 신나 등 탈지능력이 있는 유기용제나 백등유, 백등유성분이 있는 방청유와 함께 사용하지 마십시오.

Section
4

대·초대리드 볼스크류

《 주요특징 》

- 1) 고속이송이 가능
- 2) 이송속도가 일정하다면, 위험속도, 온도상승, 저소음화적인 측면에서 유리 (리드를 올리면 회전수가 내려가므로)
- 3) 정도등급 : **C3, C5, Ct7** 급

《 용도예 》

레이저 가공기, 펀칭프레스, 전자부품장착기, 고속고정도반송기, 로봇 등

《 선정시 주의사항 》

- 구동모터의 부하가 커집니다. (→ 정격토크가 큰 모터가 필요)
- 고정도 위치결정용으로는 적당하지 않습니다.

Section
5

HMC 시리즈

W 공작기계, 특히 머시닝센터의 고속화에 대응하기 위해 개발한 시리즈입니다.
W 다음의 특징을 실현하기 위해 **NSK** 독자적인 설계기술을 활용하였습니다.

《 주요특징 》

- 1) **40 ~ 100 m / min** 의 고속이송가능
- 2) 고강성 · 고부하용량 (**NSK** 종래품 대비 : 강성 **1.8** 배, 정격하중 **1.6** 배)
- 3) 컴팩트한 너트 (외경 : 小, 길이 : 短)
- 4) 저진동, 저소음
- 5) 정도등급 : **C3, C5** 급

Section
6

HTF 시리즈

W 고부하구동용으로 특수하게 제작한 시리즈입니다.
W 유압실린더 구동기구를 전동구동화 할 때 주로 사용됩니다.
W 다음의 특징을 실현하기 위해 **NSK** 독자적인 설계기술을 활용하였습니다.

《 주요특징 》

- 1) 초부하하중량 (ϕ **80**, 리드가 **20** 일 경우, **NSK** 종래사양품 대비 약 2 배)
- 2) 우수한 내구성
- 3) 다양한 제품구성 (축경·리드의 조합, 다양한 축단형상 대응)
- 4) 정도등급 : **C5, Ct7** 급

《 용도예 》

전동사출성형기, 펀치프레스, **IC** 몰딩프레스, 서보시린더 등

《 선정시 주의점 》

내구성적인 측면에서 사용할 그리스의 선정도 중요한 항목입니다.

Section

7

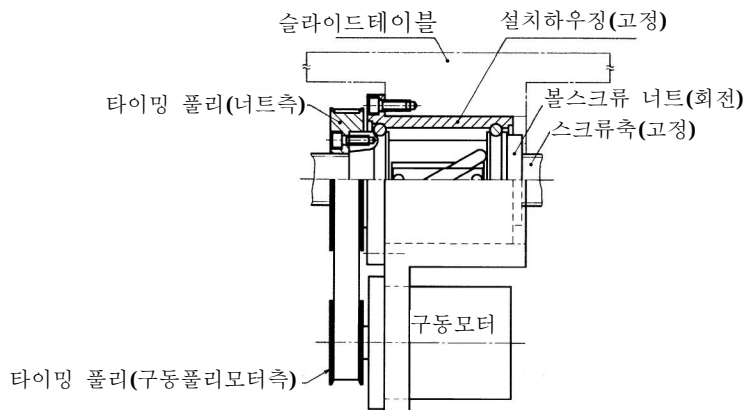
NDT 시리즈 (너트회전볼스크류)

W장스트로크 고속이송용으로 가장 알맞은 볼스크류입니다.

《 구조 》

- 1) 한 축상에 여러 개의 너트를 구동시키기 위해 축을 고정하고 너트만 회전, 이동시키는 구조입니다.
- 2) 구동테이블에 대한 조립성을 좋게 하기위해 너트와 지지베어링과 하우징을 일체화한 구조입니다.
- 3) 너트단면에 구동폴리를 직접 조립할 수 있는 구조입니다.
- 4) 옵션사양으로 제진댐퍼 장착이 가능합니다.

(제진댐퍼 : 스크류축에 발생한 진동에너지를 흡수하는 구조→고속회전이 가능)



설치 예

《 주요특징 》

- 1) 한 축 상에 복수의 너트 구동이 가능 (→생산효율 **UP**)
- 2) 장스트로크 고속이송에 최적
- 3) 구동테이블에 조립작업이 간단
- 4) 너트는 저이너샤설계 (→구동모터의 소형화)
- 5) 정도등급 : **C3, C5, Ct7** 급

《 용도예 》

전자부품장착기, 레이저가공기, 펀치프레스, 목공기, 로봇트, 반송장치 등

《 선정시 주의점 》

- 허용회전수에 관련하여 검토하는 방법은 스크류축회전과 동일합니다.
- 제진댐퍼를 장착하여 더욱더 고속으로 회전시킬 수 있지만, 허용「 $dm \cdot n$ 치」를 초과하여 사용할 수는 없습니다.

Section 8

스플라인부착 볼스크류“ 로보테”

《 구조 》

- 1) 한 축 상에 볼스크류(이송기능)과 볼스플라인(안내기능)을 복합화한 구조입니다.
- 2) 너트와 지지베어링과 하우징을 일체화하여 기계와의 조립성을 좋게 하였습니다.
- 3) 너트단면에 구동플리를 직접 조립할 수 있는 구조

《 주요특징 》

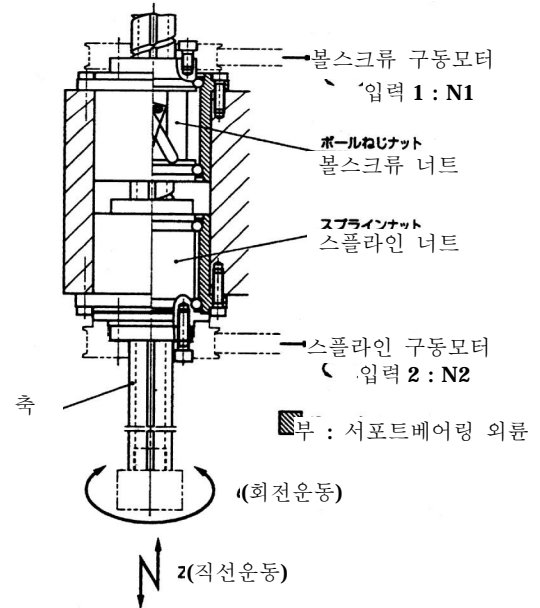
- 1) 고기능 ... 한 축으로 직선운동(축의 출입)과 회전(θ) 운동을 상호독립적으로 할 수 있음
- 2) 콤팩트·경량 (←지지베어링 & 하우징의 일체화, 중공축)
- 3) 다양한 제품구성...운동기능이나 요구성능에 알맞은 제품 선택가능
- 4) 볼스크류 너트부는 저이너샤설계 (→구동모터의 소형화)
- 5) 정도등급 (볼스크류부) : C3, C5, Ct7 급

《 용도에 》

스칼라형 및 직교좌표형 로봇, 반도체제조관련장치, 그 외 Z축 및 [Z+ θ] 축 액츄에이터 등

《 선정시 주의점 》

- 축전장은 축경의 **MAX 25** 배입니다.



Section 9

중공축 볼스크류

W강제냉각용 유체가 흐르도록 스크류축을 중공으로 만든 볼스크류
W볼스크류의 발열에 의한 열팽창(리드정도의 영향)을 경감하고, 위치결정정도의 저하를 방지하기 위한 옵션사양

《 효과 》

- 1) 위치결정정도의 안정화
- 2) 볼스크류관련 각부 열변위 방지
- 3) 윤회성능의 유지(열에 의한 윤회제 열화방지)

《 선정시 주의점 》

- 중공경 크기, 스크류축 전장 등에 관련하여 제조상의 제약이 있을 수 있습니다.
NSK 에 문의해 주십시오.

Lesson 4 : 스크류축 제작범위

스크류축 외경 치수, 정도에 따라 축전장의 제작범위는 제한됩니다. (가늘고 긴축을 정도가 좋게 제작하는 것이 어렵기 때문) 아래의 표는 볼스크류의 정도 등급별 축전장의 제작범위를 나타낸 것입니다.

또한, 축경이 **100mm**가 넘는 대형 볼스크류는 중량에 따라 제작범위가 제한 되기 때문에 **NSK**에 확인해 주십시오. 또한 필요한 스크류축 외경치수가 아래표의 범위를 벗어나는 경우에도 **NSK**에 문의해 주십시오.

스크류축 전장의 제작범위

단위 : mm

축외경 \ 정도	C0	C1	C2	C3	C5	Ct7	전조 볼스크류 (Ct10)
4	90	110	120	140	140	140	—
6	150	180	200	250	250	250	—
8	240	280	340	340	340	340	—
10	350	400	500	500	500	550	800
12	450	500	650	700	750	800	800
14	600	650	750	800	1000	1000	1000
15	600	700	800	900	1250	1250	1500
16	600	750	900	1000	1500	1500	1500
18	—	—	—	—	—	—	1500
20	850	1000	1200	1400	1900	1900	2000
25	1100	1400	1600	1900	2500	2500	2500
28	1100	1400	1600	1900	2500	2500	2500
32	1500	1750	2250	2500	3200	3200	3000 (4000)
36	1500	1750	2250	2500	3200	3500	3000
40	2000	2400	3000	3400	3800	4300	4000 (5000)
45	2000	2400	3000	3400	4000	4500	4000
50	2000	3200	4000	4500	5000	5750	4000
63	2000	4000	5000	6000	6800	7700	
80		4000	6300	8200	9200	10000	
100		4000	6300	10000	12500	14000	
125				10000	14000	14000	

- [비고] · 전조볼스크류의 () 안의 값은 초대형 리드 ($l/d \geq 2$) 품에 적용합니다.
 · 소(小)리드(3 이하)품의 경우는, 스크류부 길이에 따라서도 제한 됩니다

제 4 장

볼스크류의 선정 <초급선정>

q Lesson 1 : 볼스크류 선정포인트

- Section 1 : 허용회전속도
- Section 2 : 허용축방향하중
- Section 3 : 피로수명

q Lesson 2 : 볼스크류 사용법

- Section 1 : 볼스크류 조립
- Section 2 : 볼스크류 조립오차의 영향
- Section 3 : 너트 외관형상
- Section 4 : 스크류축단 형상

q Lesson 3 : 볼스크류 취급상의 주의점

- Section 1 : 윤활
- Section 2 : 사용상의 주의
- Section 3 : 보관

日本精工株式会社
精機技術センター

Lesson 1 : 볼스크류 선정포인트

Section
1

허용회전속도

허용회전속도는

- 강구순환부의 파손에 영향을 주는 「 $dm \cdot n$ 치」
 - 스크류축의 공진에 영향을 주는 「위험속도」
- 위 두 항목에 대해 검토하여 사용가능여부를 판단합니다.

U $dm \cdot n$ 치

(dm : 볼피치원경 [mm] (제 2 장 Lesson 1 참조) , n : 분당회전수 [rpm])

dm 과 n 를 곱해서 순환하는 강구의 속도를 나타냅니다. 강구의 순환속도가 지나치게 빨라지면 볼이 순환시 생기는 충격력에 의해 순환부가 파손되어 더 이상의 작동이 불가능하게 됩니다.

따라서, $dm \cdot n$ 치 한계의 이하에서 사용해 주십시오.

정도등급 : C0~C5, Ct7	표준사양	$dm \cdot n \leq 70000$
	고속사양	$dm \cdot n \leq 100000$
	초고속사양	$dm \cdot n \leq 180000$
정도등급 : Ct10 (전도볼스크류 등)		$dm \cdot n \leq 50000$

《 주 》 「고속사양」은 주문제작 볼스크류입니다.

「초고속사양」은 **BSS** 시리즈입니다.

U 위험속도

볼스크류는 가는 스크류축의 양단을 지지하여 사용되므로 회전수가 높으면 공진에 의해 큰 진동이 발생합니다. 그리고 그 진동에 의해 기계의 큰 진동이나 소음의 발생, 진동에 의한 강구와 궤도면의 손상 그리고 최악의 경우 축이 절단되는 등의 문제가 발생합니다.

Section
2

허용축방향하중

볼스크류에 받게 되는 하중의 크기에는 한계가 있습니다. 그 한계하중은 스크류축의 파손에 관계되는「허용 축방향 하중」과 강구의 궤도면의 열화와 관계하는「피로수명」 둘로 크게 구분됩니다.

1 허용 축방향 하중

볼스크류는 기본적으로 축방향 하중만을 받습니다. 축방향 하중한계를 정하는 기준은 다음과 같습니다.

- Ⅰ 볼스크류축의 좌굴 (→좌굴하중)
- Ⅰ 볼스크류축의 인장·압축응력에 따라 항복 (→허용인장·압축하중)
- Ⅰ 강구와 볼 홈 접촉부의 영구변형 (→기본정정격하중)

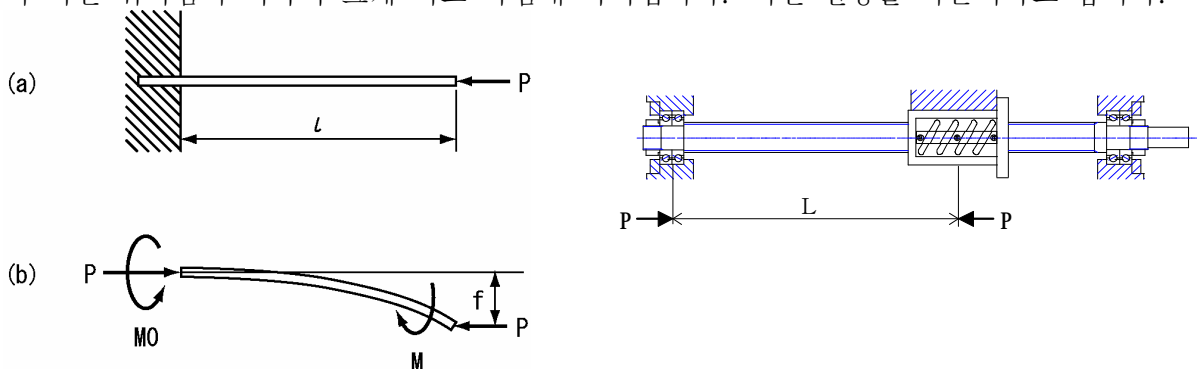
(1) 좌굴하중

- 축방향 허용압축하중입니다. 이 이상의 하중이 작용하면 축이 파손됩니다.
- 좀더 비약시켜 예를 들면 가늘고 긴 스크류축에 큰 축 방향 하중이 작용할 경우에 축이 파손되는 것을 생각하시면 됩니다.

(상당히 엄격한 기준이기 하지만, 스크류축의 설치 거리가 축경의 **60** 배 이상이고 기본 동정격하중 정도의 하중이 걸리는 경우에는 한국 **NSK** 에 상담을 해주시기 바랍니다.)

▲참고자료▼ 좌굴은 어떤 현상?

그림에서처럼 가는 축이 압축력을 받은 경우, 일반적으로 하중의 방향을 엄밀하게 따져보면 축 중심선에 일치하지 않기 때문에 약간의 횡방향 휘어짐이 발생해서 축 압축응력과 휨 응력이 조합 되게 됩니다. 어느 정도 이하의 하중이 가해진다면 휘어짐은 복원되지만, 어느 값 이상의 하중이 되면 휘어짐이 더욱더 크게 되고 마침내 파괴됩니다. 이런 현상을 좌굴이라고 합니다.



(2) 허용인장·압축하중

스크류축에 작용하는 인장 또는 압축방향하중 한계치입니다. 이 이상의 하중이 작용하면, 축이 더 이상 지탱할 수 없어 소성변형(하중을 가하지 않아도 원형으로 돌아가지 않는 변형)이나 파단 되어 버립니다.

(일반적으로 기본 정정격하중 정도 이하의 축방향 하중이라면 문제가 없다고 판단할 수 있습니다.)

(3) 기본정정격하중

- 과대한 축방향 하중을 받으면 강구와 볼홈(궤도면)의 접촉부가 패여서 하중을 주지 않아도 완전하게 원래대로 돌아가지 않고 영구변형으로 남습니다. 이러한 영구변형은 소음·진동의 발생과 작동성·수명 등에 악영향을 미칩니다. 따라서, 변형을 일정한도 내(문제가 없을 정도)로 두기 위한 검토도 필요합니다.
- 정정격하중을 기본으로 강구와 볼 홈의 접촉부에 발생하는 내구변형에 대한 안정성을 확인합니다.
- 영구변형에 대한 허용 축방향 하중(**Po**)은 아래와 같습니다.
(기본정정격하중의 **1/2** 정도가 허용하중입니다.)

$$Po = C_{0a} / f_s$$

f_s : 정허용하중계수 (일종의 안전계수)

· 보통 운전 시 : **1 ~ 2**

· 진동이나 충격이 있을 시 : **1.5 ~ 3**

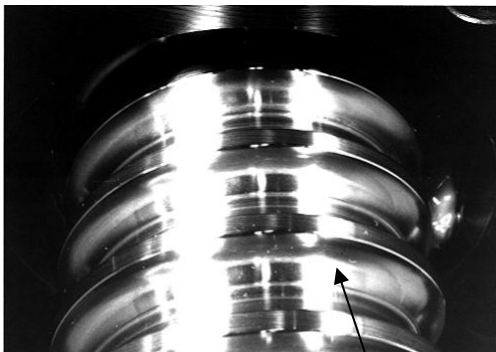
《 기본정정격하중 (**C_{0a}**) 》

정지 상태에서 강구와 볼홈과의 접촉부 영구변형량의 합이 강구 직경의 **0.01%**가 되는 축 방향 하중을 말합니다. 예를 들면 강구경 **10mm** 에 **0.001mm** 정도의 패인량으로 거의 알 수 없는 정도입니다.

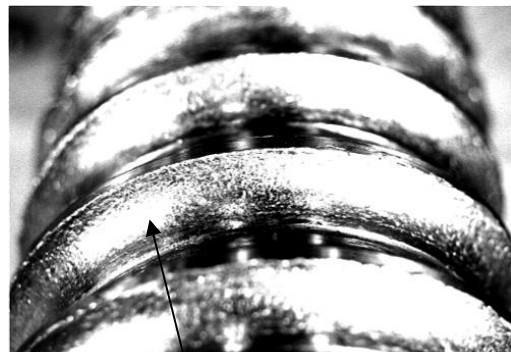
2 피로수명

볼스크류를 최적으로 설계하고 바르게 사용해도 볼홈(궤도면)은 강구가 하중을 받으면서 회전하고 있기 때문에 어느 정도 운전시간을 초과하면 볼홈의 표면부가 비늘처럼 떨어지는 플레이킹(박리)이라고 하는 현상이 발생합니다. 이러한 현상의 원인은 강구와의 접촉부에서의 반복 압축응력에 의한 재료적인 피로현상 때문입니다.

최초로 플레이킹이 발생하기까지의 총회전수(또는 시간, 주행거리)를 「피로수명」이라고 합니다.



정상궤도면



플레이킹이 진행된 궤도면

《 기본 동정격하중 (Ca) 》

일정수량의 볼스크류를 같은 조건으로 각각 회전시켰을 때 그 중의 90%가 플레이킹을 일으키지 않고 100 만 회전까지 회전할 수 있는 축방향 하중입니다. 카다로그 치수표에 기재되어 있습니다.

◆ 기본동정격하중, 축방향하중(Fa)과 피로수명(L)의 관계

$$L \propto \left(\frac{Ca}{Fa}\right)^3 \Rightarrow$$

- Ca 를 2 배 하면 피로수명은 8 배가 됩니다.
(반대로 Ca 가 1/2 배가 되면 피로수명은 1/8 배로 저하됩니다.)
 - Fa 가 2 배가 되면 피로수명은 1/8 배로 저하됩니다.
(반대로, Fa 가 1/2 배가 되면 피로수명은 8 배로 늘어납니다)
-
- 따라서, Ca 가 큰 볼스크류를 작은 축방향하중 하에서 사용하면 수명이 가장 좋아집니다.

◆ 평균하중(Fm)

볼스크류의 사용조건 중에는 축방향하중이나 이송속도가 여러 가지로 변하는 경우도 있습니다. (아래 예를 참조) 이런 경우에는 평균하중을 구하고 그 평균하중을 이용하여 수명계산을 합니다.

따라서 고객께서는 NSK 에 사용조건을 상세히 그리고 가능한 한 많은 정보를 제공하셔야 최적 볼스크류를 선정 받으실 수 있습니다.

또한 이는 트러블을 피하기 위해서도 필요합니다.

사용조건 예

축방향하중 (N)	회전수 (rpm)	사용시간 (또는 사용시간의 합계)
2000	1000	3 sec (5%)
3000	500	15sec (25%)
1500	2000	3 sec (5%)
0	0 (정지)	39 sec (65%)

◆ 참고자료 ◆

「볼스크류의 수명」에는 이하의 3 종류가 있습니다만, 일반적으로 “수명” 이라고 말하는 경우, 수명은 「피로수명」을 말합니다.

§ 정도열화수명 : 사용시간과 함께 회전부분이 미량의 마모가 계속되어 정밀도 저하로 기계의 성능적인 사용 한계에 이르는 경우를 말합니다만, 기계의 요구 정밀도나 구성부품과의 상관성 문제도 있어, 상당히 애매합니다.

§ 파손수명 : 장축의 좌굴에 의한 파손, 스크류축 설치부의 휘어짐, 비틀림 피로에 의한 파손, 회전축의 공진파손등.

§ 피로수명

Lesson 2 : 볼스크류 사용법

Section
1

볼스크류의 조립

볼스크류는 이송용으로 주로 사용됩니다. 간단하게 회전운동을 직선운동으로 변환하는 기계요소입니다. 따라서 볼스크류 만으로 장비가 만들어질 수 없습니다.

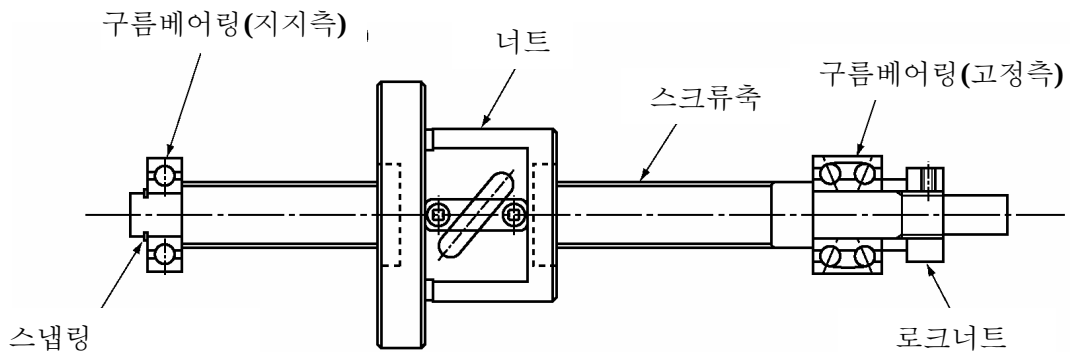
다른 여러 가지 기계요소부품과 일체화되어야 시스템이 이루어 집니다.

다음은 볼스크류가 다른 기계요소부품과 조립되는 방법에 대한 설명입니다.

(볼스크류의 조립순서에서 절대적인 규정은 없습니다.)

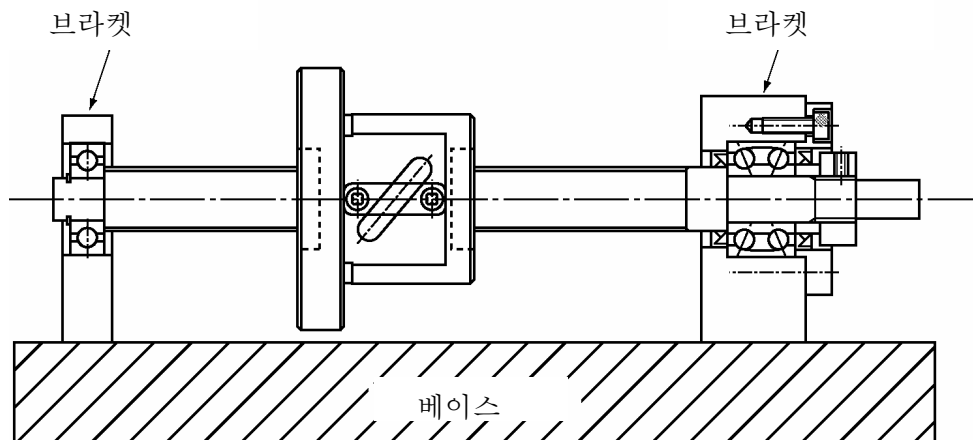
[1] 스크류축이 회전할 수 있도록 지지를 해야 합니다.

스크류축을 지지하는 기계요소로는 주로 구름베어링이 사용됩니다.

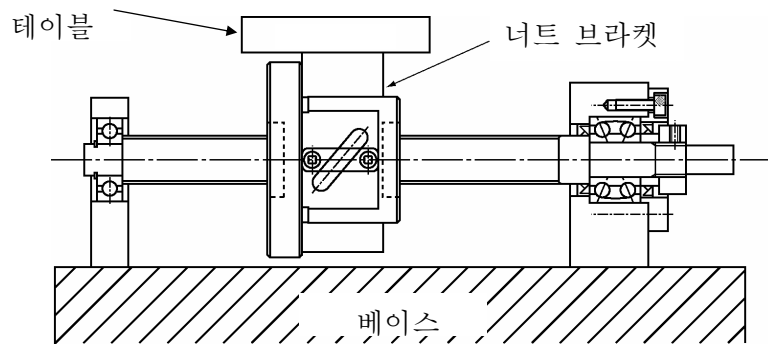


구름베어링은 로크 너트 등으로 확실히 고정시킵니다.

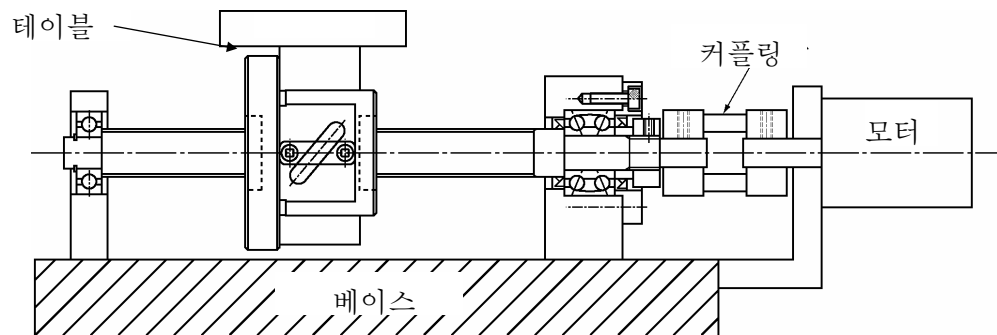
[2] 지지베어링을 지지하고 기계베이스에 고정하기 위해서 브라켓이 필요합니다. 여기서 스크류축의 위치가 결정됩니다.



[3] 너트를 테이블에 고정하기 위해서 너트 브라켓이 필요합니다.

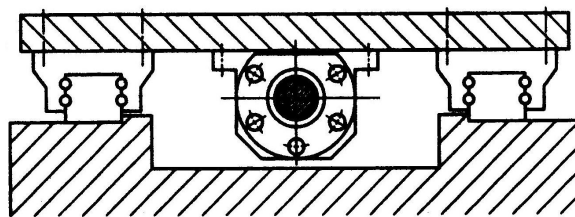


[4] 스크류축을 회전시키는 구동원이 필요합니다. 일반적으로 모터를 스크류축과 연결하여 사용합니다. 그 외에 모터를 구동하기 위해서 구동전원이나 위치제어용 엔코더 등이 필요한 경우도 있습니다.



그림은 커플링으로 모터를 직결한 방법을 나타내고 있습니다만, 풀리나 기어로 연결하는 방법도 있습니다.

[5] 또한, 테이블의 위치를 정확하게 유지하기 위해서는 안내부도 필요합니다. 최근에는 리니어가이드 등 구름안내를 사용하는 케이스가 늘어나고 있습니다.



이상, 볼스크류를 사용하기 위해서는,

1. 지지부 (베어링, 베어링브라켓)
2. 너트브라켓
3. 구동부 (커플링, 풀리, 모터 등)
4. 안내부

가 기본적으로 필요합니다.

Section
2

볼스크류 조립오차의 영향

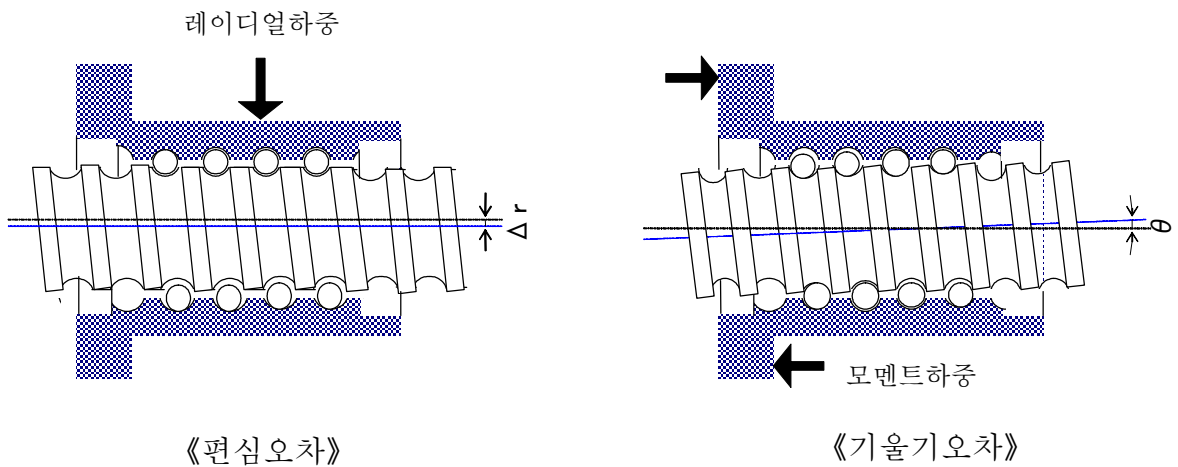
조립이 잘못되면 아래 그림과 같이 스크류축과 너트 사이에서 레이디얼하중, 모멘트 하중이 발생하고 다음과 같은 불량 원인이 됩니다.

- 수명저하
- 작동성 약화
- 이송정도의 영향
- 음·진동의 발생
- 스크류축단의 파손 등

따라서 조립정밀도에 대해서 충분한 검토가 필요합니다. 다음은 **NSK** 가 추천하는 조립오차 관리치(허용치)입니다.

w 기울기오차 : 1/2000 이하

w 편심오차 : 20 μ m 이하

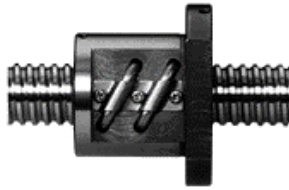
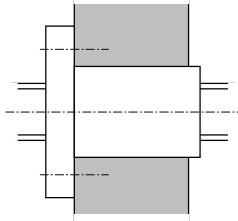


Section
3

너트의 외관형상

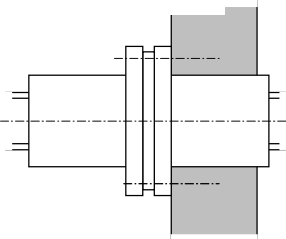
너트의 외관형상은 조립하는 하우징의 형상에 따라 다릅니다. 가장 조건이 좋은 「한쪽플랜지형」을 추천합니다.

한쪽플랜지형

한쪽플랜지형

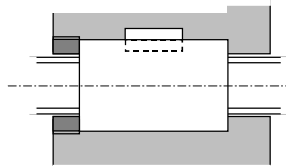
- 너트의 조립정도조정(편심조정)이 용이합니다.

양쪽플랜지형

양쪽플랜지형

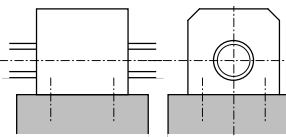
- 너트의 조립정도조정 (편심조정) 이 용이합니다.
- 조립은 플랜지부가 두꺼우므로 너트 조립볼트가 길고, (볼트의 신장으로 인한) 조립강성에 영향을 미치게 하는 경우도 있습니다.

원통형

원통형

- 예압을 주기 위해서 브라켓이 필요합니다.
- 예압설정작업이 힘듭니다.
- 이 형상은 가능하면 피하시는 것이 좋습니다.

각형(측면조립용)

각형 (측면조립용)

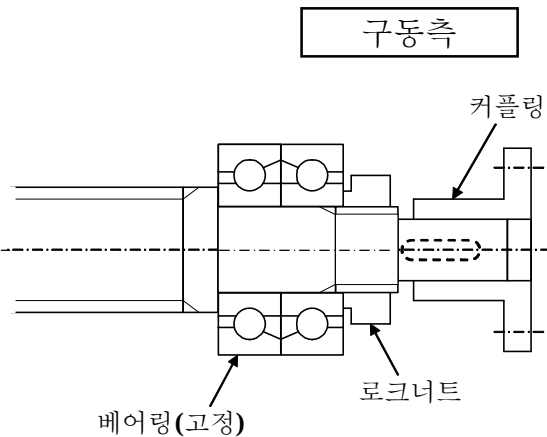
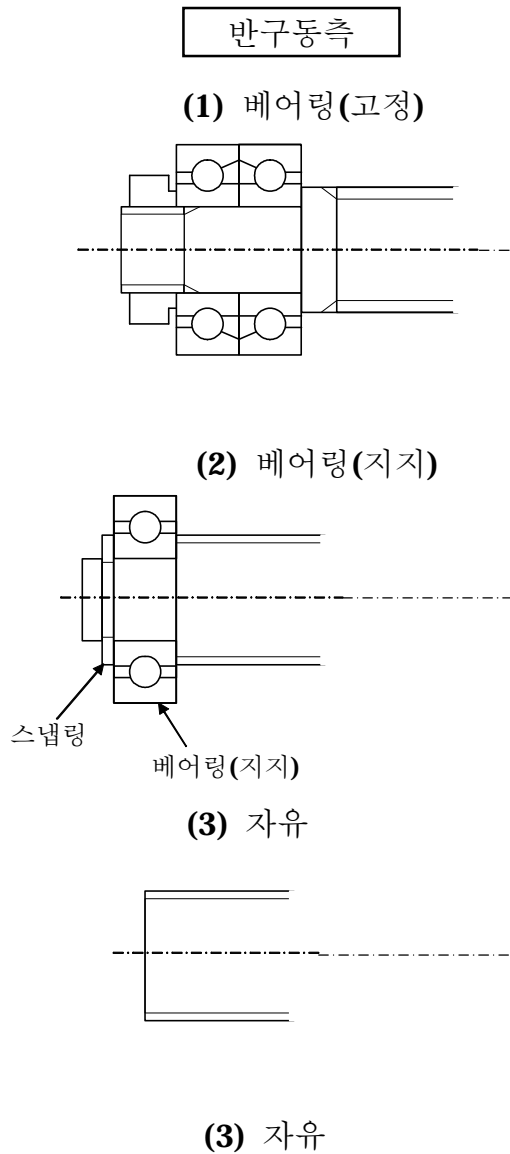
- 너트의 조립정도조정(편심조정)이 어렵습니다.
- 이 형상도 가능하면 피하시는 것이 좋습니다.

Section
4

스크류축단 형상

스크류축의 사이즈, 기계에 조립하는 방법, 구동방법, 운전조건 등에 따라 축단형상은 달라집니다. 표준형상이라고 특별히 정해진 것은 없습니다만, 카다로그에 기재된 **NSK** 서포트유닛 (**Lesson 2** 참조)를 사용할 경우의 축단형상의 예를 참조해 주십시오.

1 축의 고정방식



《 반구동축의 조립사양 》

(1) 고정

- 기능면(사용조건)에서 큰 축방향 강성, 부하 용량 및 고속운전(위험속도(제 4 장 **Lesson 2** 참조)에 대한 허용치 **UP**)가 필요할 경우, 사용되는 방식입니다.
- 베어링은 스러스트 앵글러 볼베어링이. 일반적으로 사용됩니다.

• **COST** : 高

(2) 지지

- 베어링은 일반적으로 깊은 홈 볼베어링이 사용됩니다.
- 쉽게 말하면, 「고정」과 「자유」의 중간 사양이라고 생각하시면 됩니다.

• **COST** : 中

(3) 자유

- 운전시 축진동이나 위험속도에 문제가 없을 경우에 사용됩니다.
- 이 방식이 사용되는 경우는 일반적으로 스크류축이 축경에 비해 짧고, 그다지 고속회전이 아닐 경우입니다.

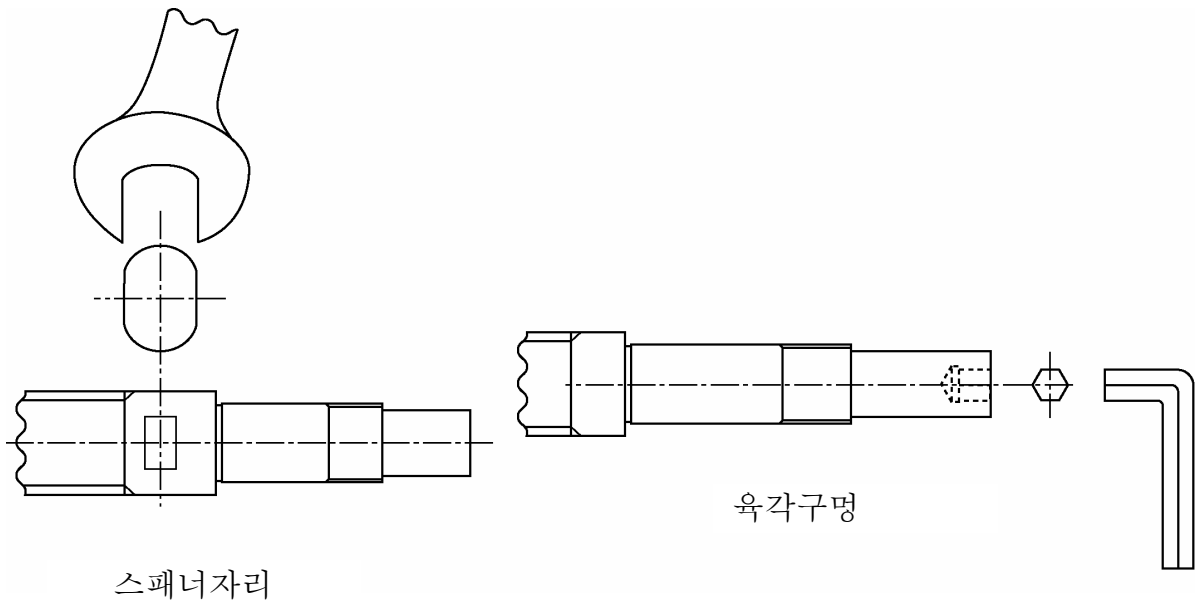
• **COST** : 低

2 스페너자리와 육각구멍

「고정」측 베어링을 고정하기 위해서 로크 너트를 조립합니다. 로크 너트를 체결할 때에는 스크류축이 같이 돌지 않도록 고정해야 할 필요가 있습니다. (볼트와 너트로 물체를 고정할 때, 한쪽을 같이 돌지 않도록 고정하는 것과 같습니다.)

따라서, 고정하기 스페너자리 또는 육각구멍(육각렌치용)을 만듭니다.

NSK에서는 경제적인 면에서 육각구멍을 추천합니다.



Lesson 3 : 볼스크류 취급상 주의점

Section
1

윤활

- 표준재고품의 경우, 시리즈에 따라 윤활상태가 다릅니다. 출하 시 그리스가 봉입되지 않은 제품은 급유해야 합니다.

시리즈 명	출하시 상태	사용시작시 윤활제 급유여부
MA, FA, V	그리스 봉입됨	불필요 (그대로 사용가능)
SA, KA, MS, FS, S SRMA, RMS, 전조	그리스 봉입되지 않음	필요 (그리스 또는 윤활유 공급 후 사용할 것)

- 「수주 볼스크류」의 경우, 그리스를 지정하지 않았을 경우, 방청유만 도포된 상태로 출하됩니다. 사용하실 때, 윤활제(그리스나, 윤활유)를 공급해야 합니다.
- 그리스 윤활과 윤활유의 장단점

항 목	그리스 윤활	오일윤활
하우징구조 밀봉장치	간단하게 할 수 있음.	다소 복잡하고 보수시 주의가 필요
냉각작용 냉각효과	없음	열을 효과적으로 방출할 수 있음. (순환급유법 등)
윤활제의 유동성	나쁨	상당히 좋음
윤활제의 교환	다소 번잡	비교적간단
이물질 여과	곤란	용이
윤활제의 누유로 인한 오염	누유로 인한 오염이 적음	누유로 인한 오염이 없어야 하는 곳에 사용은 부적합

윤활만 고려한다면 오일윤활이 우수하지만, 그리스 윤활은 ①복잡한 윤활설비 (배관, 펌프 등) 가 불필요하고, ②소량으로 사용이 가능하므로 일반적으로 그리스윤활이 많이 사용되고 있습니다.

Section
2

사용상 주의점

- 깨끗하지 못한 이물이 많은 환경에서 사용하는 경우, 이물의 부착 또는 너트 내부로의 이물 침입 등에 대한 방지 대책이 필요합니다.
사전에 사용환경을 잘 확인해 주십시오.
- 볼스크류마다 정해진 허용회전수가 있습니다.(자세한 내용은 4 장을 참조)
따라서, 볼스크류는 허용회전수 이내로 사용해 주십시오.
(순환부품의 손상, 스크류축의 진동→기계전체의 진동, 소음의 발생, 궤도면의 손상 등의 불량으로 이어집니다.)
- 사용온도한계는 80℃입니다.
따라서, 사용조건이 한계온도이상일 경우 특수한 설계가 필요합니다.

Section
3

보관

- NSK 의 원래 포장상태대로 보관해 주십시오. 내부포장을 찢게 되면 이물의 침입이나 발생의 원인이 될 수 있습니다.
- 스크류축이 휘어지지 않도록 다음과 같이 보관해 주시길 바랍니다.
 - NSK 의 원래 포장상태대로 수평으로 보관해 주십시오.
 - 깨끗한 장소에 침목을 대어 수평으로 보관해 주십시오.
 - 수평으로 보관할 수 없을 경우, 깨끗한 장소에 수직으로 매달아 보관해 주십시오.

제 5 장

볼스크류의 선정 <중급 선정>

Q Lesson 1 : 볼스크류 선정 [I]

- Section 1 : 선정 Flow Chart
- Section 2 : 사용조건
- Section 3 : 예제(1)
- Section 4 : 예제(2)

Q Lesson 2 : 볼스크류 선정 [II]

- Section 1 : 선정 Flow Chart
- Section 2 : 용도별 정도등급
- Section 3 : 선정시 주의점
- Section 4 : 스크류축 제작범위
- Section 5 : 이송 스크류계의 축방향 강성
- Section 6 : 볼스크류의 발열
- Section 7 : 예제

Q Lesson 3 : 볼스크류관련 용어

- Section 1 : 리드정도관련 용어
- Section 2 : 예압방식의 종류 및 특징, 예압량설정 기준
- Section 3 : 예압량 확인방법
- Section 4 : 정도등급과 축방향 클리어런스 조합

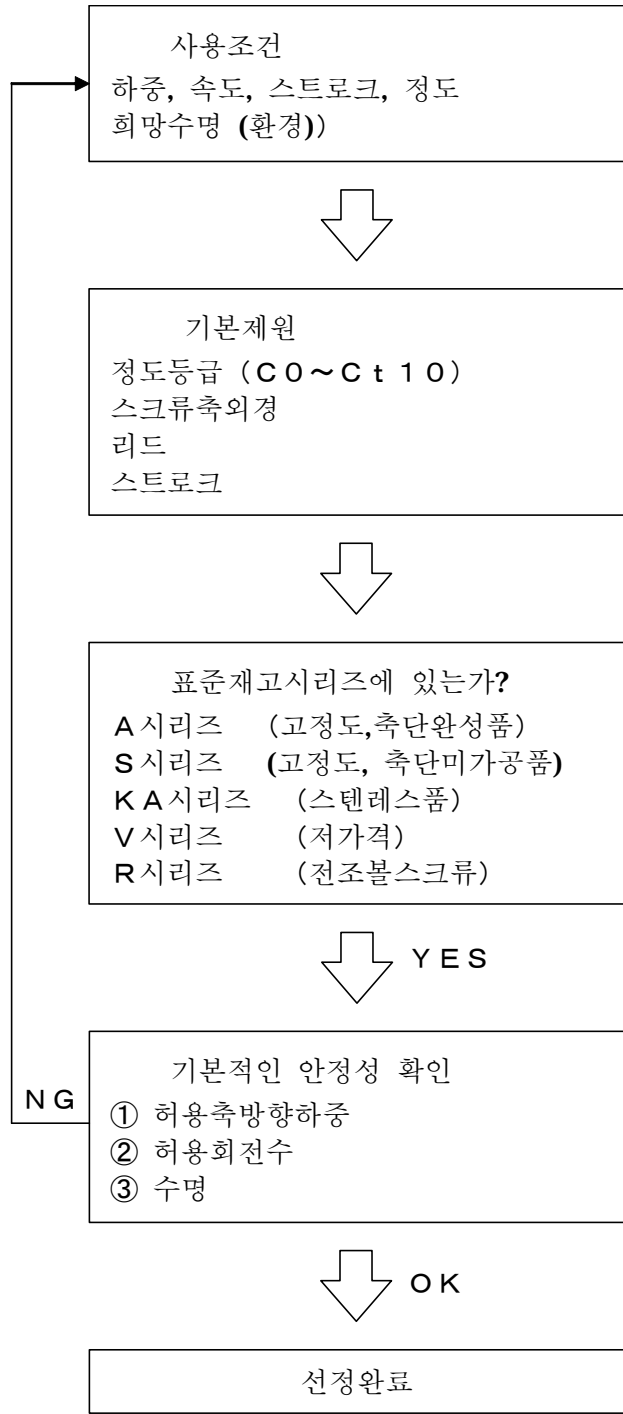
日本精工株式会社
精機技術センター

Lesson 1 : 볼스크류 선정[I]

Section
1

선정 Flow chart

다음은 납기 · 가격 등이 유리한 표준재고시리즈를 중심으로 선정하는 순서의 예입니다.

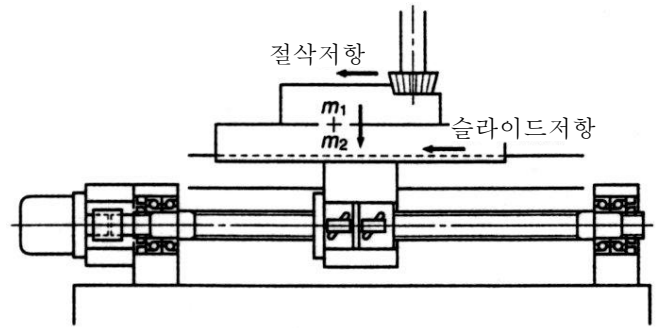


Section
2

사용조건

1. 하중(외부하중)

볼스크류에 작용하는 힘으로
가공시 절삭력이나 슬라이드부의
마찰저항력 등을 말합니다.

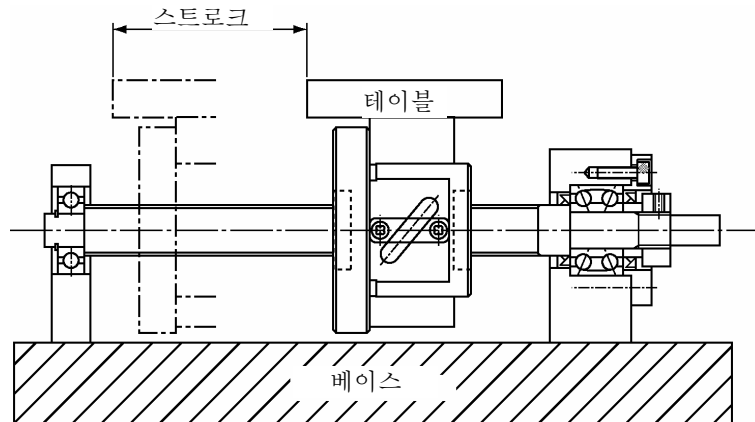


2. 속도

테이블(너트)의 이동속도로 예를 들면 $20\text{m}/\text{min}$ 등으로 나타냅니다.
스크류축의 회전속도(예를 들면 2000rpm 등)으로 나타내는 경우도 있습니다.

3. 스트로크(stroke)

너트에 장착된 테이블의 이동거리를 말합니다.



4. 정도

볼스크류 리드정도 등급으로 C3, C5 등으로 나타냅니다.

5. 희망수명

주행시간(예를 들면 20000 시간), 또는 주행거리(예를 들면 5000km) 으로 나타냅니다.

6. 기본제원

§ 스크류축 외경(mm) : 스크류부의 외경치수입니다. 「 $\phi 40$ 」등으로 나타냅니다.

§ 리드 (mm) : 「리드 10」등으로 나타냅니다.

Section
3

예제 (1)

1 사용조건

- 외부하중 : 1 0 0 0 N
- 속도 : Max. 2 0 m/min
- 스트로크 : 1 0 0 0 mm
- 정도등급 : C 5
- 스크류축 외경 : ϕ 3 2 mm
- 리드 : 1 0 mm
- 기타 : 시작기에 사용되므로 단납기 요청

2 선정

- 1) “단납기 요청” 이라고 했으므로 표준재고시리즈에서 찾습니다.
「제 3 장: 볼스크류의 분류」에서 A 시리즈 : 축단완성품을 확인하고
정기제품 카다로그 (No. 3154) B39 페이지의 일람표를 찾아봅니다.
- 2) 주어진 조건에서 스크류축외경 : ϕ 3 2 mm, 리드 : 1 0 mm이므로 해당되는
제품은 B125, B127 페이지를 찾아봅니다.
- 3) 정도등급은 C 5 이므로 요구조건에 만족합니다.
- 4) 너트형상이 2 종류입니다. (Z 예압과 D 예압)
너트의 크기가 작고 가격적으로도 유리한 Z 예압을 선정합니다.
- 5) 스크류축의 길이를 검토합니다.
요구스크로크 (1 0 0 0 mm) 에 가장 근사치인 「호칭스트로크 : 1 0 5 0 mm」인
WB211SA-5Z-C5Z10 을 선정합니다.
- 6) B125 페이지의 「비교」를 참조하여 서포트유니트 : WBK25DF-31 (양단) 도
선정합니다.

3 기본적인 안정성 확인

(1) 허용축방향 하중

스크류축의 파손(절단이나 신장)이나 강구와 볼홈(궤도면)이 접하는 부분에 영구 변형이 발생하지 않을 최대의 한계외부하중입니다.

선정한 제품이 표준재고시리즈라면 사용가능여부 판단기준으로 외부하중이 카다로그에 기재된 「기본정격하중-동정격 Ca」와 비교했을 때 Ca 값 이하라면 문제가 없다고 판단할 수 있습니다.

예제에서 B 126페이지의 표「볼스크류 사양」을 보면 Ca=25500 N 입니다.
사용조건에서 외부하중이 1000 N 이므로 문제가 없습니다.

(2) 허용회전수

- 볼 순환부의 파손에 영향을 주는 「 $dm \cdot n$ 치」
- 스크류축 진동에 영향을 주는 「위험속도」

위 두 항목에 대해 검토하여 사용가능여부를 판단합니다.

U $dm \cdot n$ 치

(dm : 볼피치원경 [mm] (제 2 장 Lesson 1 참조) , n : 분당회전수 [rpm])

dm 과 n 을 곱하여 구한 값으로 순환하는 볼의 속도를 나타냅니다. 볼의 순환속도가 지나치게 빨라지면 볼 순환 시 발생하는 충격에 의해 순환부(튜브)가 파손되어 더 이상의 작동이 불가능하게 됩니다.

그러므로 $dm \cdot n$ 치 이하에서 사용해 주십시오.

정도등급 : C0 ~ C5, Ct7	표준사양	$dm \cdot n \leq 70000$
	고속사양	$dm \cdot n \leq 100000$
	초고속사양	$dm \cdot n \leq 180000$
정도등급 : Ct10 (전도볼스크류 등)		$dm \cdot n \leq 50000$

《 주 》 「고속사양」은 주문제작 볼스크류입니다.

「초고속사양」은 BSS 시리즈입니다.

U 위험속도

볼스크류는 가늘고 긴 스크류축의 양단을 지지하여 사용하므로 회전수가 높으면 공진에 의해 큰 진동이 발생합니다. 그리고 그 진동에 의해 기계의 큰 진동발생, 소음의 발생, 볼과 웨도면의 손상 그리고 최악의 경우, 축이 절단되는 등의 문제가 발생합니다.

예제의 사용조건에서 속도가 **Max. 20 m / min** 이므로 스크류축의 회전수는 **Max. 2000rpm** 입니다. (제 1 장·Lesson 1·Section 2 의 「참고자료」참조)
B126 페이지를 보면 허용회전수는 **2120rpm** 이므로 문제가 없습니다.

(3) 수명

희망수명은 사용조건에 제시되지 않았으므로 예제 1에서는 검토하지 않겠습니다.

이상의 검토결과로 다음 제품이 선정되었습니다.

- 볼스크류 : **W3211SA- 5Z- C5Z10**
- 서포트유니트 : **WBK25DF- 31** (양단)

Section

4

예제 (2)

1 사용조건

예제(1)에 대한 다음 추가조건에 대해 재선정 해보겠습니다.

- 볼스크류에는 문제가 없지만 축단형상에 문제가 있습니다.
- 원하는 축단형상의 제품을 단납기로 요구합니다.

2 선정

1) “ 단납기 ” 요구가 있었으므로 표준재고시리즈에서 찾습니다.

「Lesson 1 : 볼스크류의 분류」를 보면 **S** 시리즈 : 축단미가공품을 확인하고, 정기제품카드로그 (No.3154) **B181** 페이지의 일람표를 확인합니다.

2) 스크류축외경 : ϕ 32 mm, 리드 : 10 mm에 해당되는 제품이 **B215, B217, B219** 페이지에 있다는 것을 알 수 있습니다.

3) 너트형상이 예제(1)의 것과 같은 제품이 **B217**에 있습니다.

4) 「호칭번호」로부터 정도등급이 C5라는 것을 확인할 수 있습니다.

5) 스크류축 길이를 검토합니다.

요구스트로크 (1000 mm)를 확보할 수 있는 「최대 스트로크」가 1300 mm인 **W3214SS-1Z-C5Z10**를 선정합니다.

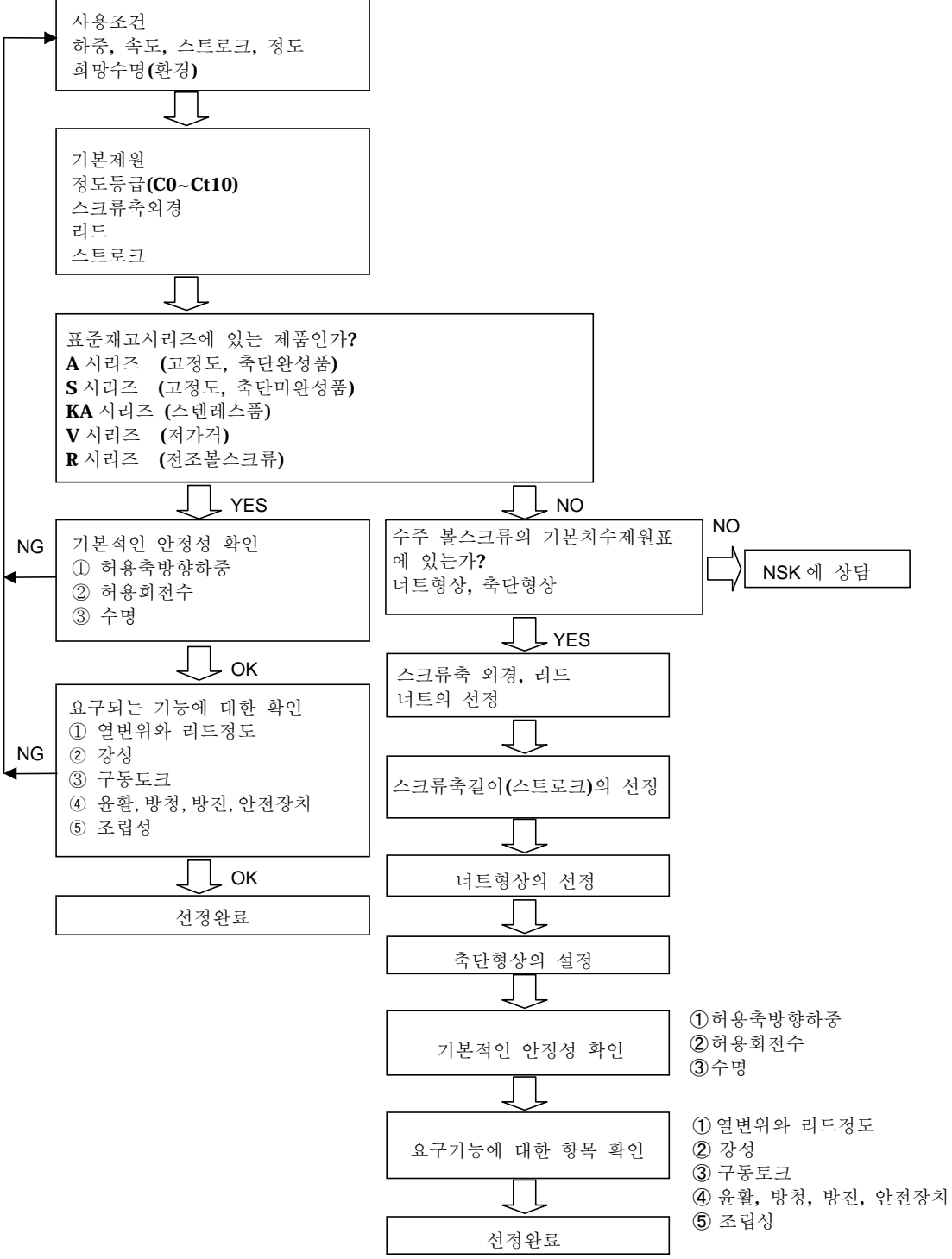
6) 원하는 축단형상으로 추가가공을 합니다. (NSK 또는 고객)

Lesson 2 : 볼스크류 선정[Ⅱ]

Section 1

선정 Flow Chart

다음은 주문제작 볼스크류도 포함하여 선정하는 순서의 예입니다.



Section 2

용도별 정도등급

아래의 표는 **NSK**의 실적에 근거한 용도별 정도등급의 예를 나타낸 것입니다.

○표기는 사용하는 정도 등급 범위를, ◎표기는 그 중에서도 사용빈도가 많은 정도 등급을 나타냅니다. 이 표를 통해 개략적인 볼스크류 정도등급이 선정 가능합니다.

볼스크류의 용도별 정도 등급표

용도	NC 공작기계																						
	선반		선보링기		머시닝센터		드릴링머신		지그보링기		연삭반		방전가공기		와이어커팅기		방전가공기		편칭프레스		레이저가공기		목공기
축	X	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	Z	XY	XY	Z				
정노드등급	C0	○								○	○	○											
	C1	○		○		○				◎	◎	○	○	○		○	○						
	C2	○		○	○	○	○					◎	○	○	○	◎	○						
	C3	◎	○	◎	○	○	○	○					◎	◎	◎	◎	◎	○	○	○			
	C5	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎						◎		○	◎	◎	◎	◎		◎
	Ct7							○															◎
	Ct10																						○

용도	범용기·전용기	반도체 프린트기판 제조장비						산업용 로봇						원자력		항공기							
		로광장치	화학처리장치	와이어본더	프로머	전자부품삽입기	PCB 드릴머신	직교좌표형		수직다관절형		원통좌표형	철강설비기계	사출성형기	삼차원측정기		사무기기	화상처리장치	제어봉		미케니컬 스프레더		
						조립	기타	조립	기타														
정노드등급	C0		○			○										○		○					
	C1		◎		◎	◎		○								◎		◎					
	C2				○	◎	○	○	○							○							
	C3	○		○			○	◎	○		○		○							○		○	
	C5	◎		○			◎	○	◎	○	◎	○	○		○		○		○		◎		◎
	Ct7	◎		◎					○	◎	○	◎	◎	○	◎	○	◎		◎		○	◎	
	Ct10	○		○						○					◎	○		○				○	

Section
3

선정시의 주의점

다음은 볼스크류를 선정 시, 특히 주의가 필요한 내용입니다.

1) 요동운동이 있는 경우

볼이 반 회전도 하지 않는 미소한 스트로크의 반복운동(요동운동)시에는, 볼과 볼홈의 접촉부에 윤활유가 제거되어(유막이 끊어짐) 금속끼리 직접 접촉하게 되어 플레이킹이라는 조기 마모현상을 일으키게 됩니다.

사용조건이 주어진 경우, 요동운동의 유무도 확인합니다.

○ 완벽한 대책은 없습니다만 완화하는 것은 가능합니다.

- 내 플레이킹용 그리스를 사용한다.
- 표준 그리스를 사용할 경우 수천 사이클에 1회 정도는 스트로크를 길게 하여 이송운동 (권수의 2배 이상의 회전 (예를 들면 권수가 2.5이면 5회전 이상))을 시킨다.

2) 스트로크 중 극단적으로 큰 하중이 작용하는 경우

스트로크 중 어느 일정한 위치에서 극단적으로 큰 하중의 조건하에서 사용되는 경우, 통상 계산된 피로수명보다 수명이 극단적으로 짧아지는 경우가 있습니다.

이것은 고하중에 의해 볼과 볼홈의 접촉면에 큰 응력(면압)이 발생해서 피로수명에 악영향을 주기 때문입니다.

○

- 발생하는 면압의 크기를 고려해서 수명을 검토 합니다.

Section
5

이송 스크류 계의 축방향강성

볼스크류 주위의 강성이 약하면 원하는 위치결정 정도를 얻을 수 없거나 진동을 유발하는 원인이 되기도 합니다. 볼스크류의 입장에서 보면 너트의 강성, 스크류축의 강성을 어떻게 설정하는 지가 중요합니다. 하지만 이송 스크류 시스템 전체적으로 볼 때, 각 구성 요소 각각의 축방향 강성 밸런스를 잘 맞추어야 좋은 설계가 됩니다.

1 이송 스크류 계의 축방향강성

이송 스크류 계의 축방향강성(전체강성)은 다음 식으로 구할 수 있습니다.

$$\frac{1}{K_t} = \frac{1}{K_s} + \frac{1}{K_n} + \frac{1}{K_b} + \frac{1}{K_h} \quad (\text{N}/\mu\text{m})$$

여기서, K_t : 이송 스크류 계의 축방향강성(전체강성) ($\text{N}/\mu\text{m}$)

K_s : 스크류 축방향강성 ($\text{N}/\mu\text{m}$)

K_n : 너트 축방향강성 ($\text{N}/\mu\text{m}$)

K_b : 지지 베어링 축방향강성 ($\text{N}/\mu\text{m}$)

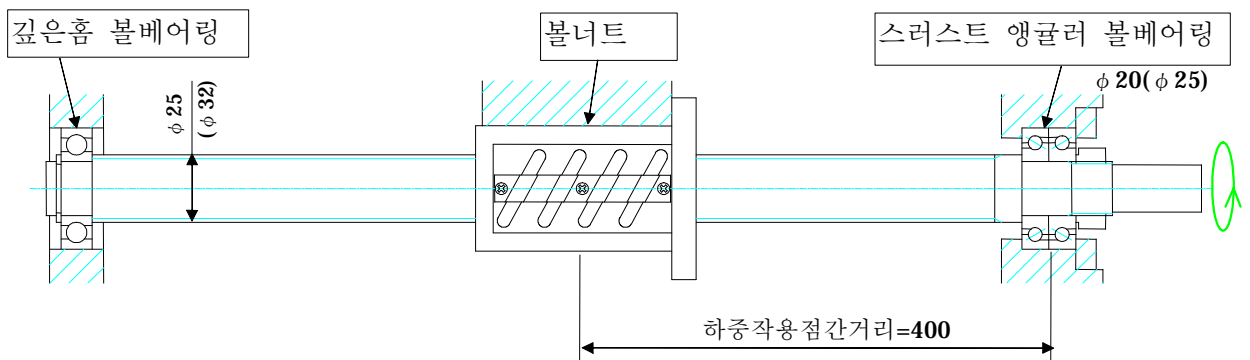
K_h : 너트 및 베어링 설치부 축방향 강성 ($\text{N}/\mu\text{m}$)

2 축방향강성의 계산 예

다음은 각 구성요소의 축방향 강성의 밸런스가 좋은 설계의 예입니다.

[볼스크류의 사양]

- 스크류 축경 : $\phi 25$ (및 $\phi 32$) , 리드 : 5
- 권수 x 열수 : 2.5 권 \times 2 열
- 축지지 : 고정 - 지지



[이송 스크류 계의 축방향 강성의 계산과정]

이송 스크류 계의 축방향 강성 (단위=N/μm)

	①	②	③
지지 베어링 (앵글러 볼베어링)	내경Φ 20	내경Φ 20	내경Φ 25
볼스크류 : 축경	Φ 25	Φ 25	Φ 32
볼스크류 : 너트 예압량	1670N (Ca×0.1)	2450N (Ca×0.15)	1670N (Ca×0.09)
스크류축강성 Ks	176	176	294
너트강성 Kn	873	1000	1020
지지 베어링 강성 Kb	735	735	980
하우징 강성 Kh	980	980	980
이송스크류계의강성 Kt	109	111	156

Ca : 기본동정격하중

2%

43%

- 표에서 ①과 ②는 축경이 Φ 25 에 예압하중을 바꾸었을 경우의 차이를 나타내고 ③은 축경을 Φ 32 로 올렸을 경우를 나타내고 있습니다.
- 표에 의하면, 스크류 축강성이 다른 구성요소의 강성과 비교해 극단적으로 낮은 것이 판명됩니다. (대개의 경우, 이송 스크류 계의 강성을 좌우하는 것은 스크류 축 강성입니다.) 본 예에서는 축경을 크게 하여 전체 강성을 43% 올렸습니다.
- 이송 스크류 계의 강성을 올리려고 하면 너트나 지지베어링의 예압을 올리는 것을 생각하는 것이 일반적입니다. 그러나 본 예에서는 예압하중을 1.5 배로 해도 전체의 강성은 거의 올라가고 있지 않습니다.
- 강성을 올리기 위해 너트나 지지베어링의 예압을 올리는 것은 위의 예와 같이 효과가 지극히 작은 반면, 마찰 토크의 증대에 의한 제어 계의 악영향, 발열에 의한 스크류 축의 열팽창 등의 문제를 남기게 되어 오히려 위치 결정 정도 떨어지게 됩니다.

Section
6

볼스크류의 발열

볼스크류를 가동시키면 발열에 의한 온도상승에 의해 스크류축이 신장합니다.(열변위) 볼스크류의 리드가 고정도로 가공되어 있어도 열변위에 의해 리드가 늘어나기 때문에 정도가 떨어집니다. 고속화가 진행되는 가운데 볼스크류의 열변위의 영향은 더욱 더 중요한 문제가 되고 있습니다. 볼스크류를 선정할 때, 조건에 따라서 열변위 대책의 배려가 필요합니다. (참고 : 1℃의 온도상승하면 스크류축은 길이 1 m당 12μ m 이 늘어납니다.)

1 열변위 대책

발열량은 실제 기계에선 모터나 지지베어링에서도 발열이 크므로 볼스크류의 발열량만 고려하여 구할 수는 없습니다만, 만약 볼스크류의 발열량을 계산한다면 마찰 토크와 회전정도의 곱에 비례한다고 할 수 있습니다.

열변위 대책을 정리하면, 다음과 같습니다.

① 발열량의 억제

- 회전수를 줄임 → 리드를 크게 한다.
- 볼스크류, 지지 베어링 예압의 적정화
- 윤활제의 올바른 선정과 공급

② 강제냉각에 의한 방열

- 스크류축의 중공냉각 → 중공 볼스크류
- 윤활제, 공기 등의 외주냉각

③ 온도상승의 열변위의 영향회피

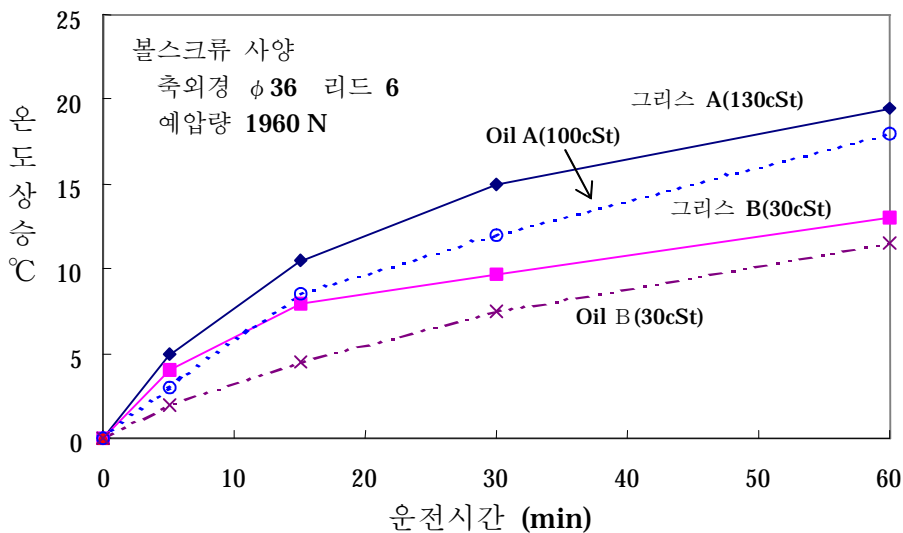
- 스크류축을 축방향으로 당겨서 설치(예장력)
- 기준 이동량의 목표치를 마이너스로 한다
- **Closed Loop** 제어

2 윤활제의 온도상승 특성

윤활제의 점성저항이나 교반저항은 속도에 따라 크기가 증가하기 때문에 마찰 토크의 증대와 발열의 요인이 됩니다. 때문에 윤활제의 선택도 매우 중요합니다.

다음 그래프는 윤활제 별로 시간에 따른 온도상승변화를 측정한 예입니다.

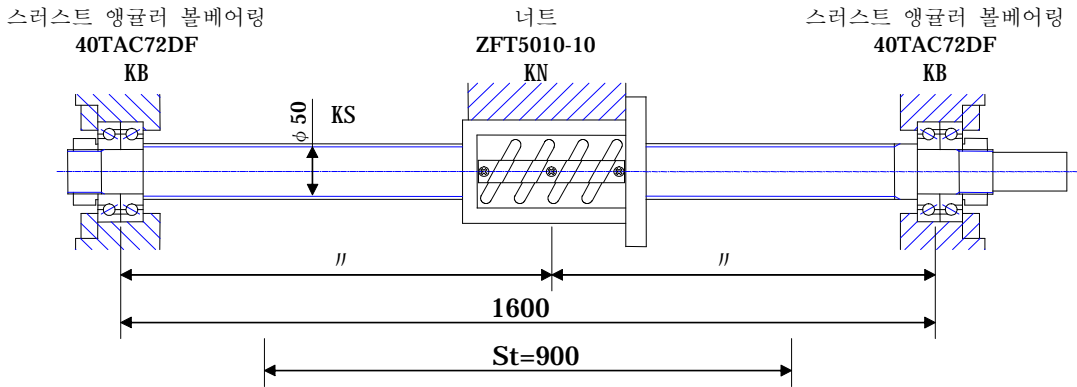
그래프를 보시면 알겠지만 윤활제의 기유동점도가 낮은 것을 선정하는 것이 발열에 대해 유리합니다.



윤활제의 온도상승 특성

3 볼스크류의 예압과 온도상승

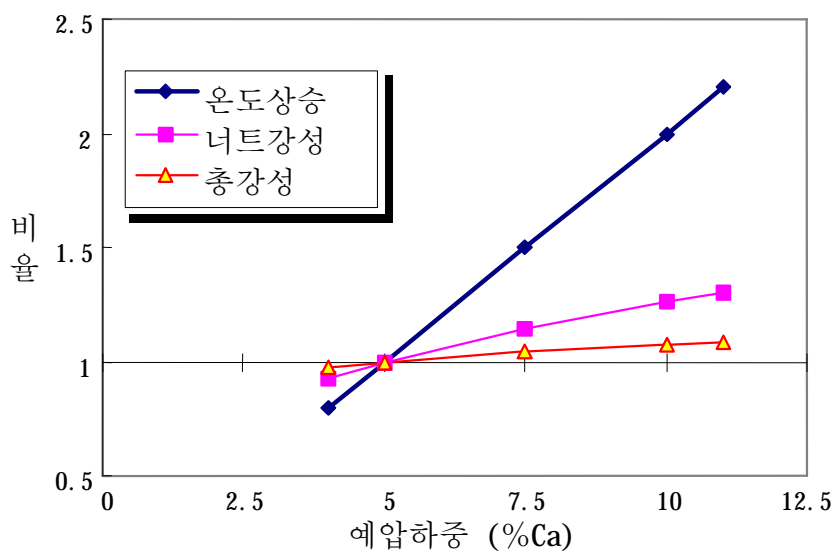
예압량은 크기에 따라 온도상승(열팽창)에 큰 영향을 줍니다. 다음 예를 참고해 주십시오.



- $Ks=794 \text{ N}/\mu\text{m}$, $Kb=2 \times 1225=2450\text{N}/\mu\text{m}$
- 이송평균속도 : Nm 은 5 또는 10m/min

예압하중 (%Ca) N	너트강성 KN N/ μm	총강성 N/ μm	예압토크 N·cm	온도상승치 Nm (rpm)	
				500	1000
5880 (10%Ca)	1677	441	187	29°C	40°C
4410 (7.5%Ca)	1524	431	140	22°C	30°C
2940 (5%Ca)	1331	412	94	15°C	20°C

이상의 결과에서 예압량 **5% Ca** 일 때를 1로 봤을 때 비율로 나타내면 아래의 표와 같이 됩니다. 예압의 크기가 온도 상승(열팽창)에 크게 영향을 미치는 반면, 강성을 늘리는 효과는 작다는 것을 분명히 알 수 있습니다.

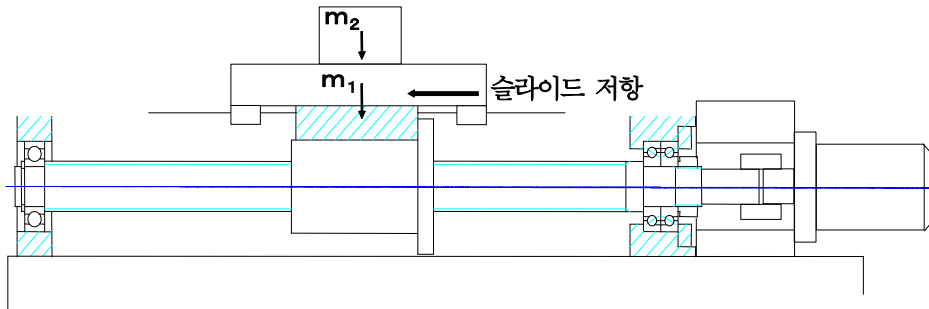


예압에 의한 강성-온도상승 특성

Section 7

선정 예

볼스크류를 사용한 고속반송장치에 대하여 볼스크류의 선정을 실제로 해 봅시다.



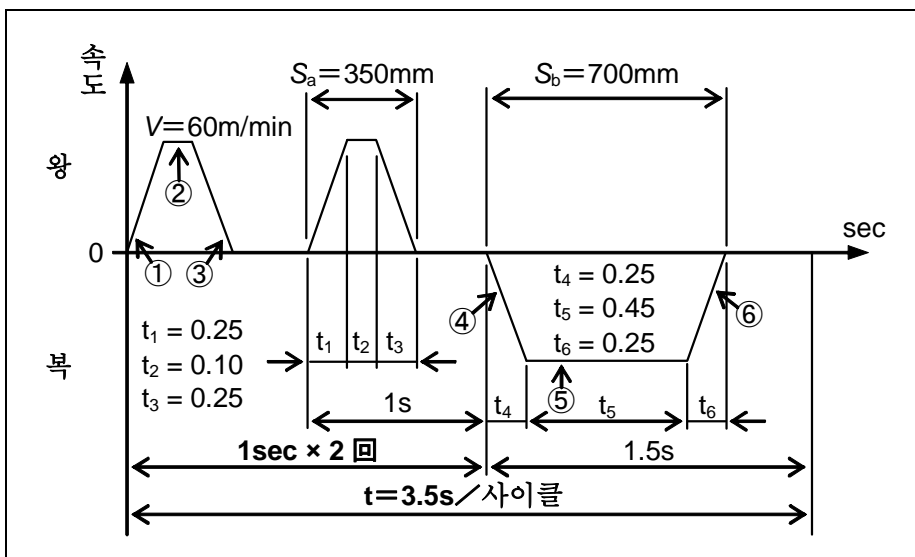
고속반송장치의 구조도

1 설계조건

① 테이블 설계 사양

- 테이블 질량 $m_1=40\text{kg}$
- 이송물 질량 $m_2=20\text{kg}$
- 최대 스트로크 $S_{\text{max}}=700\text{mm}$
- 급이송속도 $V_{\text{max}}=1000\text{mm/sec}$ (60m/min)
- 위치결정정도 $\pm 0.10/700\text{mm}$ (0.01mm/pulse)
- 반복정도 $\pm 0.010\text{mm}$
- 요구수명 $L_t=25000\text{h}$ (5년)
- 마찰계수 $m=0.01$ (구름마찰)
- 구동모터 AC 모터 ($N_{\text{max}}=3000\text{rpm}$)

② 운전조건



2 기본 제원의 선정

(1) 정도 등급의 선정

제 5 장 Lesson 2 「볼스크류의 용도별 정도 등급표」를 보면, 이송장치의 정도등급은 C5~Ct10 정도 입니다.

설계조건에서

반복위치결정정도 : ±0.010 (mm)

최소분해능 : 0.01mm/pulse

따라서, 축방향 클리어런스는 T 클리어런스 (0.005(mm)이하) 이하가 됩니다.

아래 표에 나타난 정도등급과 클리어런스의 조합으로부터 정도등급은 C5, 축방향 클리어런스는 T 급(0.005(mm)이하)를 선정합니다.

<정도등급과 축방향 클리어런스의 조합>

축방향	Z	T	S	N	L
클리어런스	0	0.005mm	0.020mm	0.050mm	0.3mm
정도등급	(예압)	이하	이하	이하	이하
C0	C0Z	C0T	—	—	—
C1	C1Z	C1T	—	—	—
C2	C2Z	C2T	—	—	—
C3	C3Z	C3T	C3S	—	—
C5	C5Z	C5T	C5S	C5N	—
Ct7	—	—	C7S	C7N	C7L

(2) 리드의 선정

AC 모터의 최고회전수에서

$$l \geq \frac{V_{\max}}{N_{\max}} = \frac{1000 \times 60}{3000} = 20(\text{mm})$$

리드 20mm 이상인 것으로 선정합니다.

(3) 스크류축경의 선정

카타로그 『정기제품 3154』의 B19 페이지 표 I -4-5 표준재고 시리즈의 「축외경과 리드의 조합」에서, 리드가 20mm 이상인 축경은 15~32mm 가 됩니다. 최소인 15mm 를 선정합니다.

(4) 스트로크의 선정

카타로그 『정기제품 3154』의 B20 페이지 표 I -4-6 의 표준재고 A,S 시리즈/최대 스트로크 범위에서 축경 15mm, 리드 20mm 은 최대 스트로크가 700mm 입니다.

제 1 차 선정 : 축경	15(mm)
리드	20(mm)
스트로크	700(mm)
정도등급	C5
축방향 클리어런스	T 클리어런스

3 표준재고 시리즈에 있는가를 확인

납기·가격을 고려해서, 표준재고품 A 시리즈(축단완성품)에서 선정합니다.
카타로그 『정기제품 3154』의 B71 페이지에서 다음을 선정합니다.

제 1 차 선정 : W1507FA-4G-C5T20

(여기서 표준재고 시리즈에 해당되는 제품이 없을 경우에는 주문제작품 볼스크류를 검토해야 됩니다)

4 기본적인 안정성 확인

(1) 허용 축방향 하중 확인

① 축방향 하중의 계산

가감속시 가속도는

$$\alpha_1 = \frac{V_{\max}}{t_1} = \frac{1000}{0.25} = 4000(\text{mm/s}^2) = 4(\text{m/s}^2)$$

• 가속시 ①④

$$F_1 = m(m_1+m_2) \times g + (m_1+m_2) \times \alpha_1 \\ = 0.01 \times (40+20) \times 9.80665 + (40+20) \times 4 = 246(\text{N})$$

• 정속시 ②⑤

$$F_2 = m(m_1+m_2) \times g = 0.01 \times (40+20) \times 9.80665 = 6(\text{N})$$

• 감속시 ③⑥

$$F_3 = -m(m_1+m_2) \times g + (m_1+m_2) \times \alpha_1 = 234(\text{N})$$

② 좌굴하중

$P=246(\text{N})$, $L=804(\text{mm})$ (카타로그 『정기제품 3154』의 B71 페이지의 치수표에서)에 의해 검토합니다. 베어링 지지구조(고정-지지)와 하중방향으로부터 설치조건은 고정-고정으로 합니다.

카탈로그 『정기제품 (3154) B501』 페이지 (Ⅱ-2) 식에서

$$dr \geq \left(\frac{P \cdot L^2}{m} \times 10^{-4} \right)^{1/4} = \left(\frac{246 \times 804^2}{19.9} \times 10^{-4} \right)^{1/4} \\ = 5.3(\text{mm})$$

치수표에 dr 은 나와있지 않습니다만, 주문 볼스크류의 기본 치수제원표 (카타로그 『정기제품 3154』 B401 페이지) 같은 너트형식이 기재되어 있습니다. 이것을 참조하면 dr 은 12.2mm 이고, 조건을 만족하고 있습니다.

결과 : OK

(2) 허용회전수 확인

치수표 (카타로그 『정기제품 3154』의 B71 페이지) 에 기재되어 있는 허용회전수는 3000rpm 입니다. 모터의 최고회전수가 3000rpm 이므로 허용 회전수 이하의 운전이 됩니다.

결과 : OK

(3) 수명 확인

• 가속시 ①④

축방향 하중의 계산에서

$$F_1 = 246(\text{N})$$

$$N_1 = \frac{n}{2} = \frac{3000}{2} = 1500(\text{rpm})$$

$$t_a = 2 \times t_1 + t_4 = 0.75(\text{s})$$

• 정속시 ②⑤

$$F_2 = 6(\text{N})$$

$$N_2 = 3000(\text{rpm})$$

$$t_b = 2 \times t_2 + t_5 = 0.65(\text{s})$$

• 감속시 ③⑥

$$F_3 = 234(\text{N})$$

$$N_3 = 1500(\text{rpm})$$

$$t_c = 2 \times t_3 + t_6 = 0.75(\text{s})$$

운전조건	축방향하중 (N)	회전수(평균) (rpm)	사용시간 (s)
① ④	$F_1 = 246$	$N_1 = 1500$	$t_a = 0.75$
② ⑤	$F_2 = 6$	$N_2 = 3000$	$t_b = 0.65$
③ ⑥	$F_3 = 234$	$N_3 = 1500$	$t_c = 0.75$

① 평균하중 F_m , 평균회전수 N_m

카타로그 『정기제품 3154』 B511 페이지 (Ⅱ-11) (Ⅱ-12) 식에서

$$F_m = \left(\frac{F_1^3 \cdot N_1 \cdot t_a + F_2^3 \cdot N_2 \cdot t_b + F_3^3 \cdot N_3 \cdot t_c}{N_1 \cdot t_a + N_2 \cdot t_b + N_3 \cdot t_c} \right)^{1/3}$$

$$= 195(\text{N})$$

$$N_m = \left(\frac{N_1 \cdot t_a + N_2 \cdot t_b + N_3 \cdot t_c}{t} \right)$$

$$= 1200(\text{rpm})$$

②수명계산

카탈로그 『정기제품 3154』 B511 페이지 (Ⅱ-8) (Ⅱ-9) 식에서
(여기서, T 클리어런스 $C_a = 5070\text{N}$)

$$\begin{aligned} L_t &= \left(\frac{C_a}{F_m \cdot f_w} \right)^3 \times \frac{1}{60N_m} \times 10^6 \\ &= \left(\frac{5070}{195 \times 1.2} \right)^3 \times \frac{1}{60 \times 1200} \times 10^6 \\ &\approx 141200 \geq 25000(\text{h}) \end{aligned}$$

결과 : OK

5 요구 기능에 따른 항목체크

(1) 정도 · 클리어런스 확인

요구 위치 결정 정도 $\pm 0.10/700(\text{mm})$

카탈로그 『정기제품 3154』 B496 페이지의 리드 정도의 허용치 (표 Ⅱ-1·2) 에서
정도등급 C5

$$e_p = \pm 0.035/800(\text{mm})$$

$$v_u = 0.025(\text{mm})$$

으로, 요구사양에 만족합니다.

클리어런스 확인은 기본제원의 선정에서 검토했으므로 생략합니다.

선정결과는

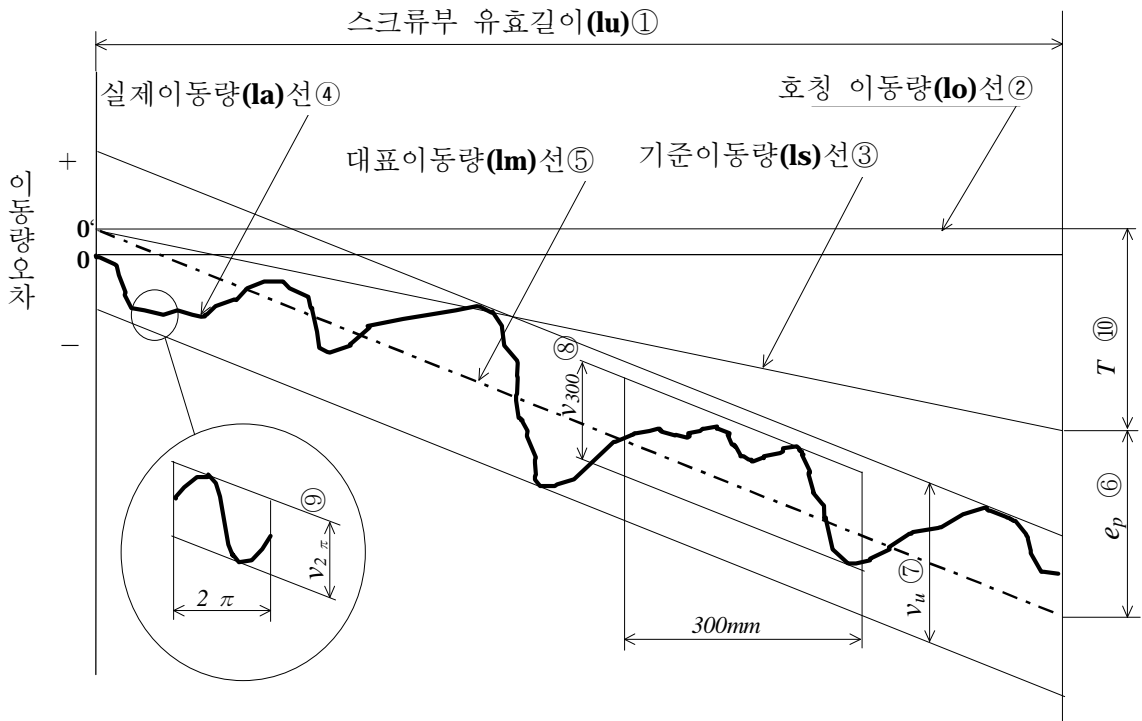
- 볼스크류 : **W1507FA- 4G- C5T20**
- 서포트 유니트 : **WBK12- 01A** 또는 **WBK12- 11** (고정측)
WBK12S- 01 (단순지지측)

Lesson 3 : 볼스크류관련 용어

Section
1

리드정도

NSK 볼스크류(C0 ~ C5 급)의 리드정도는 JIS 규격에 따라 4 개의 특성항목(기호 e_p , V_u , V_{300} , $V_{2\pi}$) 으로 규정됩니다. 다음은 각 특성의 정의와 관련용어에 대해 설명합니다.



- ① 스크류부 유효길이 (l_u) : 스크류축의 유효 스크류부 길이, 이 길이의 범위 내에서 볼스크류의 축방향 이동량 오차가 설정 됩니다.
- ② 호칭이동량 (l_o) : 호칭 리드(볼스크류의 사이즈를 나타내기 위해 공차를 갖지 않는 리드)에 따라 임의의 회전을 몇 차례 했을 때의 축 방향 이동량
- ③ 기준이동량 (l_s) : 기준 리드(온도상승 또는 하중에 따라 발생하는 변화량의 보정을 위해 호칭 리드에 대해 약간의 보정을 한 리드)에 따라 임의의 회전을 몇 차례를 했을 때의 축방향 이동량
- ④ 실제이동량 (l_a) : 실제 측정된 이동량
- ⑤ 대표이동량 (l_m) : 실제 이동량의 경향을 대표하는 직선으로 실제 이동량의 곡선에서 최소 자승법 또는 그것과 비슷한 근사치에 의해 구해진 직선
- ⑥ 대표이동량오차 (e_p) : 대표이동량 (l_m)과 기준이동량 (l_s)의 차. 위치 결정 정도와 관계가 있습니다.

- ⑦ 변동(v_u) : 스크류부 유효 길이 범위에서 대표 이동량(I_m)선에 평행한 2 개의 직선 사이의 실제 이동량(I_a)곡선의 최대폭.
- ⑧ 변동(v_{300}) : 스크류부 유효길이 범위의 임의의 300mm 범위에 있어서 대표 이동량(I_m)선에 평행한 2 개의 직선 사이의 실제 이동량(I_a)곡선의 최대폭.
- ⑨ 변동($v_{2\pi}$) : 스크류부의 유효길이 사이에 임의의 1 회전 범위 내에서 대표이동량(I_m)선에 평행한 2 개의 직선 사이의 실제 이동량(I_a)곡선의 최대폭
- ⑩ 기준이동량의 목표치(T) : 이 값을 근거로 하여 기준 리드 (온도상승 또는 하중에 따라 발생하는 변형량의 보정을 위해, 호칭 리드에 약간의 보정을 한 리드)가 설정됩니다. 실험 또는 경험에 의한 값입니다.

◆ 참고자료 ◆ 기준 이동량의 목표치(T)

§ 일반적으로 볼스크류 기준이동량은 호칭이동량과 같습니다만($T = 0$), 운전시의 온도상승에 의한 팽창이나 외부하중에 의한 축의 신축을 보정하는 경우에는, 스크류축의 기준 리드를 마이너스 또는 플러스 값으로 설정합니다. 다음 표는 그 예로 NC 공작기계의 기준이동량의 목표치 입니다.

§ 표준재고 시리즈 가운데 S A 시리즈 및 S S 시리즈의 기준 리드는 마이너스 축으로 설정되어있고, 기준이동량의 목표치(T)가 치수표에 기재되어 있습니다.

기준	축	기준이동량의 목표치 (1 m당)
NC 선반	X	-0.02~-0.05mm
	Z	-0.02~-0.03mm
머시닝센터	X,Y	-0.03~-0.04mm
	Z	구조에 따라 다르다

Section
2

예압방식에 따른 주요특징과 예압량 설정기준 및 용도

◆ 각 예압방식의 주요 특징, 설정예압량의 기준 및 용도

예압방식	주요특징					설정예압량의 기준(N)	주요 용도
	강성	사이즈	작동성	내구성	가격		
더블너트 예압	◎	△	○	○	△	3~10% × Ca	·中· 重하중, 중형-대형기 ·대형공작기계
스프링 더블너트 예압	△	△	◎	◎	△	3~10% × Ca	·한방향으로 하중을 받는 경우 ·작동특성이 필요한 경우 ·내마찰성이 필요한 경우 ·연삭기(미니어처 BS)
읍셋예압	◎	○	○	○	○	3~7% × Ca	·경중하중, 소형-중형기 ·중형공작기계
오버사이즈 볼예압	○	◎	○	○	◎	~5% × Ca	·경하중, 소형기 ·소형공작기계, 방전가공기 ·반도체제조장치

◎우수하다 ○보통 △약간 뒤떨어진다
(N)

Ca : 볼스크류의 기본동정격하중

◆ 볼스크류 사이즈에 따른 예압방식

스크류축 외경(mm)	스크류부길이(mm)							
	~ 200	350	500	800	1250	2000	3150	4000 ~
6	P							
10	P	P						
12	P	P	P					
16	P, D	P, D	P, D	P, D	P, D			
20	P, D	P, D	P, D	P, D	P, D			
25	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D		
32	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	
40	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	
50	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D
63	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D	P, Z, D
80		D	D	D	D	D	D	D
100		D	D	D	D	D	D	D
125		D	D	D	D	D	D	D

P : 오버사이즈 볼 예압, Z : 읍셋 예압, D : 더블너트 예압

[주] 스크류부 길이는 제작한계를 표현한 것은 아닙니다.

Section 3

예압량 확인방법

- 예압 동토크로 평가, 확인합니다.
- 예압 동토크는 **NSK** 연속 토크 측정 장치에서 측정, 관리하고 있습니다.
- 예압 동토크는 **JIS** 에서 관리되고 있고 **NSK** 에서도 그 기준에 맞추어 관리를 실시하고 있습니다.

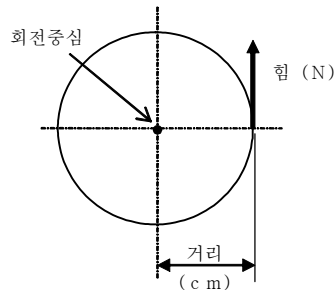
《용어》

예압 동토크 : 어느 정도의 예압을 준 볼스크류를 외부에서 하중의 작용이 없는 상태에서 스크류축에 대해 너트를 회전시키는데 필요로 하는 동토크 또는 너트에 대해 스크류축이 회전되는데 필요한 동토크.

◆ 참고자료 ◆

(1) 동토크란?

축 등을 연속해서 회전시키는데 필요한 힘(회전력)으로 단위는 $N \cdot cm$ 입니다
회전체의 중심에서부터 어느 정도 거리에서 얼마만큼의 힘이 작용하고 있는지를 나타내는 수치입니다.



토크 = [거리] × [힘]

(2) 왜 「예압동토크」로 관리하는가?

필요한 강성을 확보하기 위해 예압을 설정합니다. 그리고 필요한 강성 값으로 설정하기 위해 강성을 측정해야 합니다. 하지만 강성을 전 스트로크에 걸쳐 측정하는 것이 어렵고, 시간도 많이 필요하므로 현실적으로 거의 불가능합니다. 그러므로 **NSK**에서는 풍부한 강성측정 데이터와 예압동토크 데이터로부터 동토크 값을 예압량으로 환산하는 방법을 확립하여 생산에 이용하고 있습니다.

▲참고자료▼

(1) 예압량(하중)과 예압동토크의 관계

$$T = k \frac{F_{a0} \cdot l}{2p}$$

T : 예압동토크 ($N \cdot cm$)

F_{a0} : 예압하중 (N)

l : 리드 (cm)

k : 볼스크류의 토크계수



예압하중 2 배로 하면 예압동토크도 2 배가 됩니다.

(2) 볼스크류의 예압하중과 강성의 관계

볼스크류의 강성 \propto (예압하중)^{1/3}



예압하중을 2 배로 해도 강성은 1.26 배 밖에 안됩니다.

Section
4

정도 등급과 축방향 클리어런스의 조합

정도등급과 축방향 클리어런스의 조합은 다음표를 참조하여 설정하십시오.
요구되는 위치결정 정도에 맞는 조합을 선정하는 것이 중요합니다.

단위 : mm

정도등급 \ 축방향 클리어런스	Z	T	S	N	L
	0 (예압)	0.005 이하	0.020 이하	0.050 이하	0.3 이하
C0	C0Z	C0T	—	—	—
C1	C1Z	C1T	—	—	—
C2	C2Z	C2T	—	—	—
C3	C3Z	C3T	C3S	—	—
C5	C5Z	C5T	C5S	C5N	—
Ct7	—	—	C7S	C7N	C7L

※ 높은 정도 등급의 볼스크류를 클리어런스를 크게 하여 사용하는 것은 의미가 없습니다. 반대로, 큰 클리어런스를 사용할 때는, 높은 리드 정밀도는 필요 없다는 의미입니다.