

● 구름 베어링의 분류와 특징

1. 구름 베어링의 분류와 특징

1.1 구조

구름 베어링은 일반적으로 그림 1.1~1.8에 나타난 것과 같이, **궤도륜**(내륜과 외륜), **전동체**(볼 또는 로울러) 및 **케이지**로 구성되어 있다. 즉, 내륜과 외륜 사이에 여러 개의 전동체를 배치하여 서로 접촉하지 않게끔, 케이지에 의하여 일정한 간격을 유지하면서 원활한 구름운동이 될 수 있는 구조로 되어 있다.

궤도륜(내륜과 외륜) 또는 궤도반¹⁾

전동체가 구르는 표면을 **궤도면**이라 하고, 베어링에 걸리는 하중을 그 접촉면으로 지지하고 있다. 또한, 일반적으로 내륜은 축과, 외륜은 하우징과 조립하여 사용하고 있다.

주1) 새로운 JIS에서는 스러스트 베어링의 궤도륜을 궤도반이라 하며, 내륜을 축 궤도반, 외륜을 하우징 궤도반이라고 한다.

전동체

전동체는 크게 **볼**과 **로울러**로 구분하며, 로울러는 그 형상에 따라, **실린드릭럴 로울러**, **니들 로울러**, **테이퍼 로울러** 및 **스페리컬 로울러**가 일반적이다. 전동체와 내륜·외륜의 궤도면은 기하학적으로 **볼의 경우는 점**, **로울러의 경우는 선**으로 접촉하며, 이론적으로는 그 궤도면 위를 구름 운동하면서 공전한다.

케이지

베어링에 걸리는 하중을 직접 받지 않고, **전동체를 일정 간격의 정위치로 유지**하는 것 외에, 베어링을 취급할 때, 전동체의 탈락 방지역할도 하고 있다. 케이지는 제조방법에 따라 **프레스 케이지**, **기계가공 케이지**, **성형 케이지** 등이 있다.

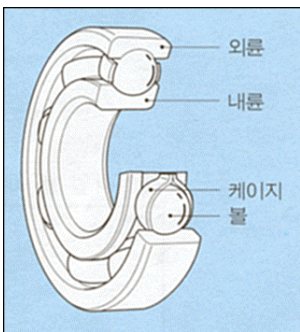


그림1.1 깊은 홈 볼 베어링

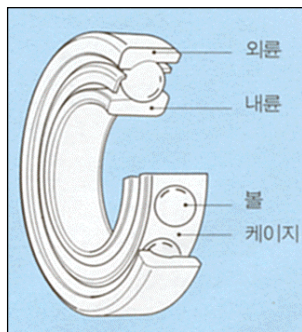


그림1.2 앵글러 볼 베어링

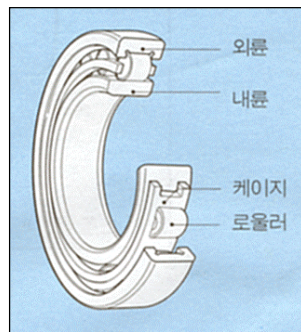


그림1.3 실린드릭럴 로울러 베어링

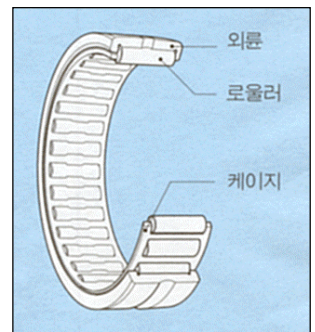


그림1.4 니들 로울러 베어링



그림1.5 테이퍼 로울러 베어링

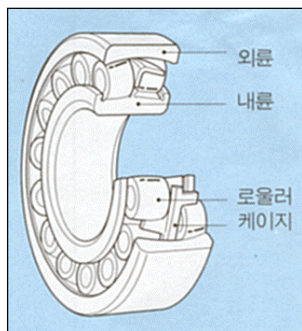


그림1.6 스페리컬 로울러 베어링

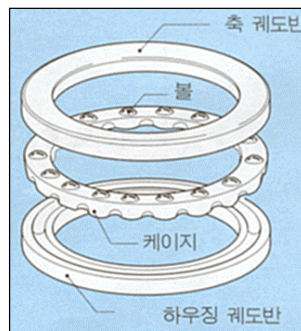


그림1.7 스러스트 볼 베어링

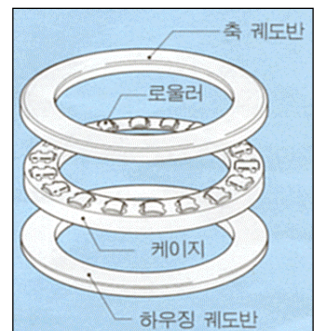


그림1.8 스러스트 로울러 베어링

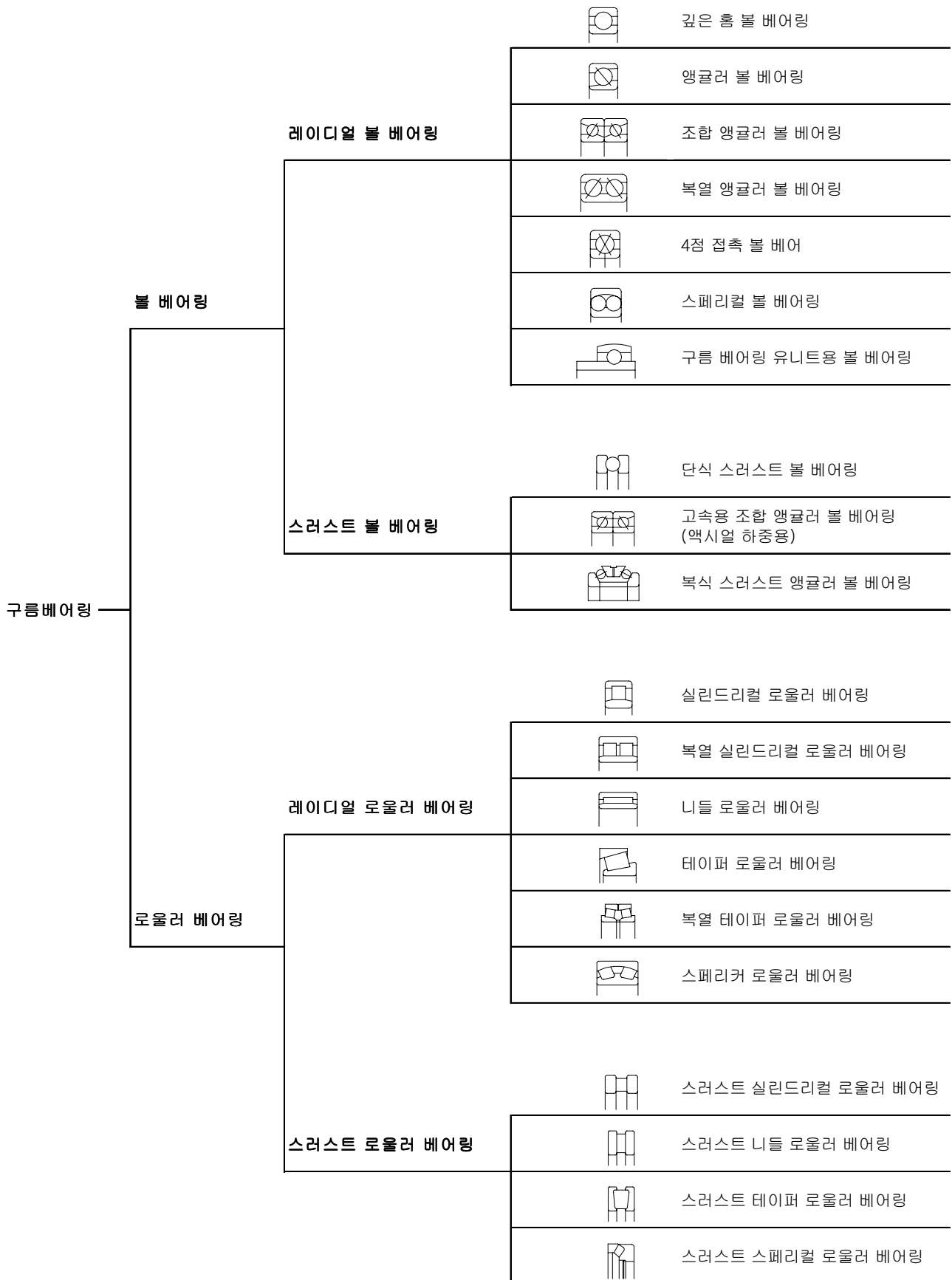
● 구름 베어링의 분류와 특징

1.2 분류




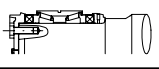








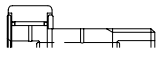
구름 베어링은 그 구조상, 사용되는 전동체에 따라 **볼 베어링**과 **로울러 베어링**으로 크게 구별한다. 볼 베어링은 궤도륜의 형상에 따라, **깊은 홈 볼 베어링**, **앵글러 볼 베어링**으로 구분되고, 로울러 베어링은 로울러의 형상에 따라, **실린드릭얼 로울러 베어링**, **니들 로울러 베어링**, **테이퍼 로울러 베어링**, **스페리컬 로울러 베어링**으로 분류된다. 더욱이, 기능상 부하되는 하중의 방향에 따라, 주로 레이디얼 하중을 받는 **레이디얼 베어링**과 액시얼 하중을 받는 **스러스트 베어링**으로 구분할 수도 있다. 또, 전동체의 열수에 따라, **단열**, **복열**, **4열 베어링**과 분리할 수 없는 **비분리형 베어링**으로 구분할 수 있다.

또한, 철도차량용 베어링, 볼 스크루 지지용 베어링, 턴 테이블 베어링 등, 특정 용도를 위하여 설계된 베어링과 리니어 볼 베어링, 리니어 로울러 베어링, 리니어 플레이트 로울러 등의 직선운동 베어링이 있다. 구름 베어링의 분류는 **그림 1.9**에, 대표적인 베어링 각부의 명칭은 **그림 1.10**에 나타냈다.

구름 베어링의 분류와 특징



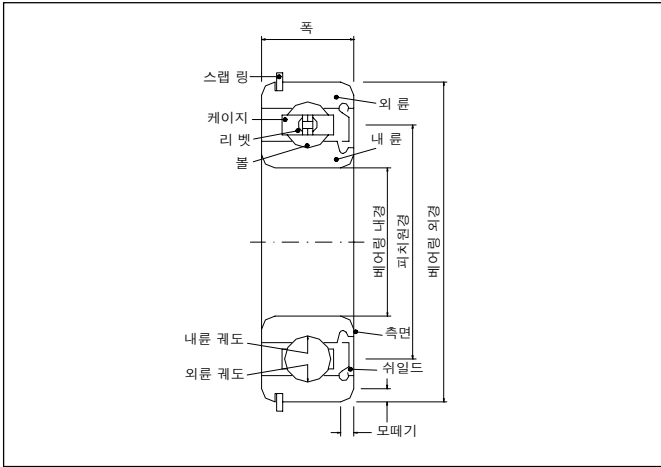
구름 베어링의 분류와 특징

특정 용도 베어링		초박형 볼 베어
		턴 테이블 베어링
		볼 스크루 지지용 베어링
		철도차량용 베어링
		울트라 클린 · 진공용 베어링
		SL 타입 실린드릭얼 로울러 베어링
		고무 몰드 베어링
		크로스 로울러 스러스트 베어링*
		특새 조정형 니들 로울러 베어링*
		복합형 베어링
		커넥팅 로드용 케이지타임 니들 로울러
		로울러 팔로워
		캠 팔로워

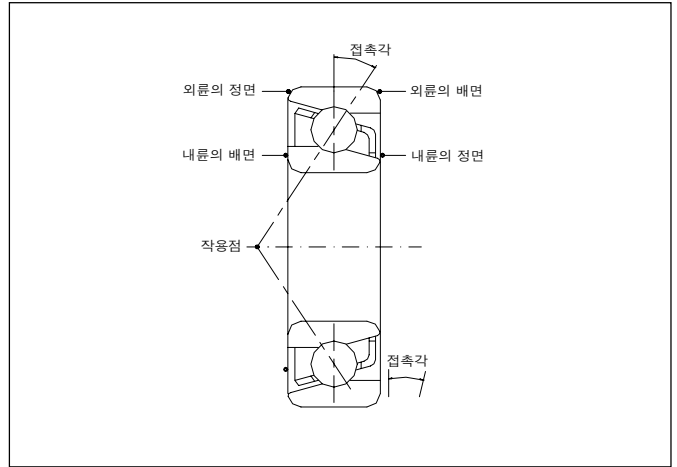
직선운동 베어링 (* 표시된 베어링 및 직선운동 베어링에 대해서는 이 카탈로그에 기재되어 있지 않으니, 전용 카탈로그를 참조바랍니다.)

그림 1.9 구름 베어링의 분류

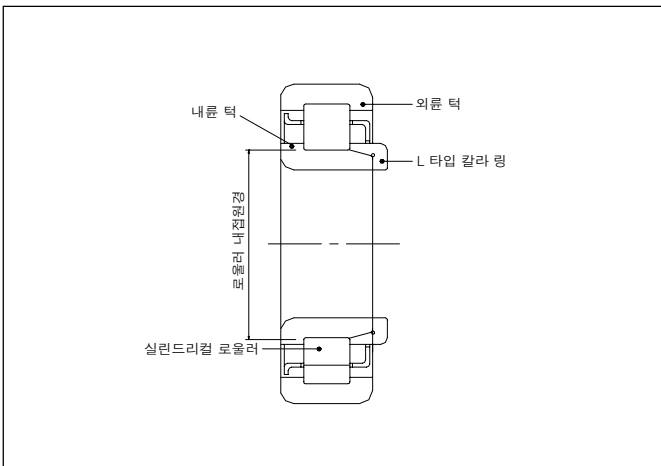
● 구름 베어링의 분류와 특징



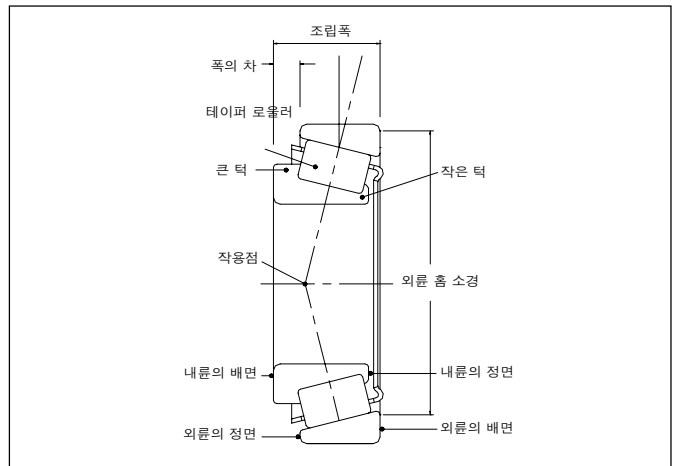
깊은 홈 볼 베어링



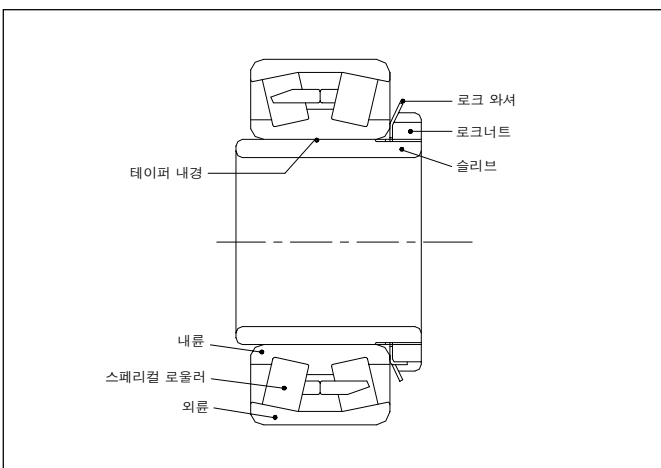
앵글러 볼 베어링



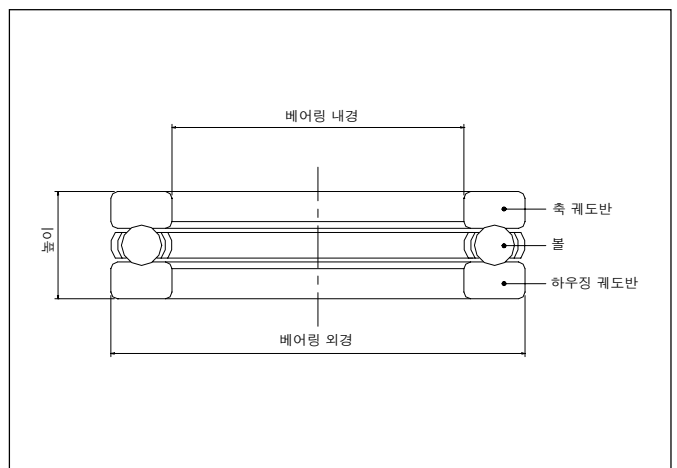
실린드릭 롤러 베어링



테이퍼 로울러 베어링



스페리컬 로울러 베어링



단식 스러스트 로울러 베어링

● 구름 베어링의 분류와 특징

1.3 특 징

1.3.1 구름 베어링의 장점

구름 베어링에는 많은 형식과 종류가 있고, 각각 고유의 특징을 갖고 있으며, 구름 베어링 공통의 장점을 미끄럼 베어링과 비교하여 예를 들면, 다음과 같다.

- (1) **기동마찰계수**가 작고 **동마찰계수**와의 차이가 적다.
- (2) 국제적으로 표준, 규격화되어 있기 때문에, **호환성** 있는 제품을 쉽게 구입할 수 있다.
- (3) **윤활**하기 쉽고 **윤활제**의 소모도 적다.
- (4) 일반적으로는 레이디얼 하중과 액시얼 하중을 동시에 **한 개의 베어링**으로 받을 수 있다.
- (5) 고온 또는 저온에서도 비교적 쉽게 사용할 수 있다.
- (6) **예압**을 주는 것에 의해, **베어링의 강성**을 높일 수 있다.

구름 베어링의 자세한 형식·종류와 특징은 치수표 해설에 기재되어 있다.

1.3.2 볼 베어링과 로울러 베어링

주요 치수가 같은 볼 베어링과 로울러 베어링을 비교하면, 일반적으로 **볼 베어링**은 마찰저항과 회전시의 축 흔들림 작기 때문에, **고속·고정밀도·저도오크 및 저진동**을 필요로 하는 용도에 적합하다. 이에 비해 **로울러 베어링**은 큰 부하용량을 갖고 있기 때문에, **중하중 또는 충격하중**을 받는 용도, 특히 장수명이 요구되는 용도에 적합하다.

1.3.3 레이디얼 베어링과 스러스트 베어링

구름 베어링 대부분의 형식은 레이디얼 하중과 액시얼 하중을 동시에 받을 수 있다. 일반적으로 **접촉각이 45°** 이하에서는 레이디얼 하중의 부하용량이 크기 때문에, **레이디얼 베어링**으로 분류하고, **45°를 초과**하면 액시얼 하중의 부하능력이 크기 때문에, **스러스트 베어링**으로 분류하고 있다. 레이디얼 베어링과 스러스트 베어링을 일체화 시킨 복합 베어링도 생산하고 있다.

1.3.4 표준 베어링과 특수 베어링

주요 치수 및 형식이 국제적으로 표준화된 표준 베어링은 호환성 있는 제품을 세계 어느 곳에서나 쉽고 경제적으로 구입할 수 있기 때문에, 기계장치에는 표준 베어링을 이용하여 설계하는 것이 바람직하다.

그러나, 그 기계의 성질, 용도, 베어링에 요구되는 기능에 따라 표준치수와 형식이 다른 특수 베어링을 적용하는 것이 바람직할 수 있다. 특정용도 베어링과 기계장치의 일부분을 베어링과 일체화 시킨 유니트 베어링 등도 특수 베어링에 해당된다.

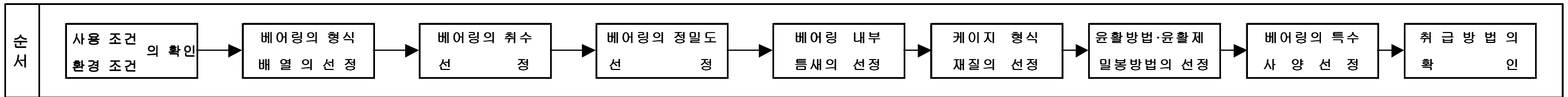
● 베어링의 선정

2. 베어링의 선정

구름 베어링의 종류, 형식 및 치수는 다종 다양하다. 이 중에서 가장 적합한 베어링을 선정하는 것은 기계장치 기능의 만족시키기 위한 가장 중요한 부분이다.

베어링을 선정하기 위해서는 많은 요인을 분석하고 다 각도에서 검토에서 검토, 평가할 필요가 있다. 각 베어링 형식의 성능비교를 표2.1에 나타냈다. 베어링의 선정을 하는 순서는 다음과 같다.

2.1 베어링의 선정순서



순서	사용 조건 환경 조건	베어링의 형식 배열의 선정	베어링의 치수 선정	베어링의 정밀도 선정	베어링 내부 특세의 선정	케이징 형식 재료의 선정	윤활방법·윤활제 밀봉방법의 선정	베어링의 특수 사양 선정	취급 방법의 확인
	<ul style="list-style-type: none"> 기계장치의 기능, 구조 베어링의 사용장소 베어링의 하중(크기·방향) 회전속도 진동·충격 베어링의 온도(주위온도·온도상승) 주위환경(부식성·청정성·윤활성) 	<ul style="list-style-type: none"> 베어링의 허용공간 A-26쪽 참조 베어링의 하중(크기·방향·진동·충격의 유무) A-18쪽 참조 회전속도 A-66쪽 참조 회전정밀도 A-31쪽 참조 강성 A-63쪽 참조 내륜·외륜의 기울기 A-81쪽 참조 토오크 A-67쪽 참조 베어링의 배열(자유축·고정축) A-13쪽 참조 조립·해체 A-82쪽 참조 시장성·경제성 	<ul style="list-style-type: none"> 기계장치의 설계수명 A-17쪽 참조 동등가 하중과 정등가 하중 A-22쪽 참조 안전계수 A-17쪽 참조 허용 회전수 A-66쪽 참조 허용 액시얼 하중 A-17, 23쪽 참조 허용 공간 A-18쪽 참조 	<ul style="list-style-type: none"> 회전축의 흔들림 정밀도 A-31쪽 참조 회전속도 A-66쪽 참조 토오크의 변동 	<ul style="list-style-type: none"> 축·하우징의 재질, 형상 A-79쪽 참조 끼워맞춤 A-45쪽 참조 내륜·외륜의 온도차 A-55쪽 참조 내륜·외륜의 기울기 A-81쪽 참조 하중(크기, 성질) A-18쪽 참조 예압량 A-62쪽 참조 회전속도 A-66쪽 참조 	<ul style="list-style-type: none"> 회전속도 A-66쪽 참조 음향 진동·충격 모멘트 하중 윤활방식 A-68쪽 참조 	<ul style="list-style-type: none"> 사용온도 A-68쪽 참조 회전속도 A-66쪽 참조 윤활방식 A-68쪽 참조 밀봉방식 A-75쪽 참조 보수·점검 A-82쪽 참조 	<ul style="list-style-type: none"> 조립관계치수 A-80쪽 참조 조립, 분해순서 A-82쪽 참조 고신뢰성 	
확인 사항									

베어링의 형식 배열의 선정에 대하여	<p>(1) 베어링의 허용공간 일반적으로 베어링에 허용되는 공간에는 제한이 있으며, 대부분이 설계상의 축경 즉, 베어링 내경으로 결정된다. 따라서, 베어링 내경을 기준으로 베어링의 형식과 치수를 결정한다. 그렇기 때문에, 베어링 치수표는 전부 내경기준으로 되어 있다. 베어링에는 상당수 표준화된 베어링 형식과 치수계열이 있으며, 이 중에서 가장 적합한 베어링 형식과 치수를 선정할 수 있다.</p>	<p>(3) 회전속도 베어링의 허용회전수는 베어링의 형식, 치수, 정밀도, 케이징의 종류, 하중, 윤활조건, 냉각조건에 따라 다르다. NTN 표준설계사양의 오일 윤활 및 그리스 윤활의 허용 회전수를 치수표에 기재하였으나, 일반적으로 고속 용도에 적합한 베어링 형식은 깊은 홈 볼 베어링, 앵글러 볼 베어링, 실린드릭 로울러 베어링이다.</p>	<p>(6) 내륜,외륜의 기울기 축의 힘, 축 및 하우징의 가공정밀도, 조립오차에 의해, 베어링의 내륜과 외륜에 기울기가 발생하는 경우가 있다. 이 경사각이 클 경우에는 스페리컬 볼 베어링, 스페리컬 로울러 베어링 또는 볼 베어링 유니트 등의 베어링이 적합하다.</p>	<p>(8) 조립,해체 정기검사, 수리 등으로 빈번히 베어링을 조립, 해체하는 기계장치에는 내륜, 외륜이 분리 가능한 실린드릭 로울러 베어링, 니들 로울러 베어링, 테이퍼 로울러 베어링, 스페리컬 로울러 베어링은 어댑터 슬리브를 사용하는 것에 의해, 쉽게 조립, 해체를 할 수 있다.</p>
	<p>(2) 베어링 하중 베어링에 작용하는 하중은 그 하중의 크기, 방향, 성질에 따라, 상당히 변화가 많다. 일반적으로는 베어링의 치수표에 기재되어 있는 기본 정격하중이 부하 능력임을 나타내고 있다. 그러나, 작용하는 하중이 레이디얼 하중만인지 액시얼 하중과의 합성하중인지를 고려하여 베어링 형식을 결정한다. 동일 치수계열의 경우, 볼 베어링보다 로울러 베어링은 부하능력이 크고, 진동, 충격하중에 대하여 유리하다.</p>	<p>(4) 회전정밀도 베어링의 치수 정밀도, 회전 정밀도는 ISO 규격, JIS 규격 등에서 규정되어 있다. 회전축의 흔들림 정밀도를 높게 요구하는 기계장치와 고속회전의 기계장치에는 정밀도등급 5급 이상의 베어링을 사용한다. 고속회전 정밀도의 베어링 형식은 깊은 홈 볼 베어링, 앵글러 볼 베어링, 실린드릭 로울러 베어링이다.</p>	<p>(7) 음향,토오크 구름 베어링은 정밀하게 가공, 제작되기 때문에 일반적으로는 소음과 토오크가 적다. 특히, 저소음, 저 토오크가 요구되는 기계장치에는 깊은 홈 볼 베어링, 실린드릭 로울러 베어링이 적합하다.</p>	<p style="text-align: center;">스페리컬 볼 베어링 스페리컬 로울러 베어링 그림 2.1</p>

● 베어링의 선정

2.2 형식과 성능비교

각종 베어링의 형식과 특성의 비교를 표2.1에 나타냈다.

표2.1 구름 베어링의 형식과 성능비교

베어링 형식	깊은 홈 볼베어링	앵글러 볼베어링	복열 앵글러 볼베어링	조합 앵글러 볼베어링	스페리컬 볼베어링	실린드릭 로울러 베어링	한쪽턱있는 실린드릭 로울러 베어링	양쪽턱있는 실린드릭 로울러 베어링	복열 실린드릭 로울러 베어링	니들 로울러 베어링	테이퍼 로울러 베어링	복열·4열 테이퍼 로울러 베어링	스페리컬 로울러 베어링	스러스트 볼베어링	복식 스러스트 앵글러 볼베어링	스러스트 실린드릭 로울러 베어링	스러스트 스페리컬 로울러 베어링	참조 페이지
특성																		
부하 능력																		
역시얼하중																		
고속 회전 ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆	☆	☆☆☆	☆	☆☆	A-66
고속 회전 정밀도 ¹⁾	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆☆		☆☆☆	☆☆	☆	☆☆☆		☆☆☆	☆		☆	☆☆☆			A-31
저소음·진동 ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆☆		☆		☆	☆	☆	☆	☆				☆				-
저마찰토크 ¹⁾	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆	☆												A-67
고강성 ¹⁾			☆☆	☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆		☆☆	☆☆☆	☆☆☆	A-54
내진동·충격성 ¹⁾			☆		★	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	☆☆☆		★	☆☆☆	☆☆☆	A-18
내륜·외륜의 허용기울기 ¹⁾	☆				☆☆☆	☆					☆		☆☆☆		★	★	☆☆☆	A-79
역시얼 방향의 고정 ²⁾	◎	○	◎	◎DB·DF 조합	◎			◎			○	◎	◎	★	◎	○	○	A-13
역시얼 방향의 이동 ³⁾			○	○DB조합	○	◎			◎	◎	○	○	○	○				A-13
내륜·외륜의 분리 ⁴⁾						○	○	○	○	○		○		○	○	○	○	-
내륜 테이퍼 내경 ⁵⁾					○	○			○				○					A-79
비고		2개를 대향하여 사용함				NU, N 타입	NJ, NF 타입	NUP, NP, NH 타입	NNU, NN 타입	NA 타입	2개를 조합하여 사용함					스러스트 니들로울러 베어링 포함		-
참조 페이지	B-5	B-41	B-72	B-41	B-77	B-89	B-89	B-89	B-89	E-2	B-131	B-131	B-225	B-261	B-261	E-48	B-261	

주 1) ☆표의 수가 많을수록 그 특성이 우수함을 나타낸다. ★표는 사용불가능함을 나타낸다.

2) ◎표는 양방향, ○표는 한 방향만의 역시얼 방향 고정이 가능함을 나타낸다.

3) ◎표는 궤도면에서, ○표는 내륜 또는 외륜의 끼워맞춤면에서 역시얼 방향이동이 가능함을 나타낸다.

4) ○표는 내륜과 외륜이 분리 가능한 베어링 형식임을 나타낸다.

5) ○표는 내륜의 내경을 테이퍼로 할 수 있는 베어링 형식임을 나타낸다.

● 베어링의 선정

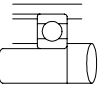
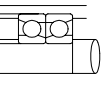
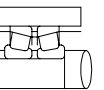
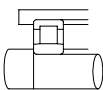
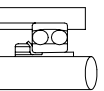
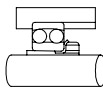
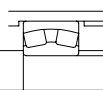
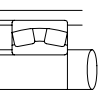
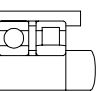
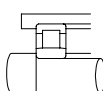
2.3 베어링 배열의 선정

일반적으로 축은 2개의 베어링으로 레이디얼 방향 및 액시얼 방향으로 지지된다. 이때, 축과 하우징의 상대적인 액시얼 하중 방향의 이동을 고정하는 쪽은 **고정축 베어링**, 상대적인 액시얼 방향의 이동을 가능하게 하는 쪽은 **자유축 베어링**이라고 한다. 온도변화에 의한 축의 신축과 베어링의 조립간격 오차를 흡수할 수 있다.

고정축 베어링에는 레이디얼 하중과 액시얼 하중을 받을 수 있고, 액시얼 방향의 이동을 양방향에 고정할 수 있는 베어링을 선정한다. 또, **자유축 베어링**에는 레이디얼 하중만 받고, 액시얼 방향의 이동이 가능한 베어링을 선정하는 것이 바람직하다. **실린드리 로울러 베어링**과 같이, 내륜과 외륜이 분리 가능한 것은 액시얼 방향의 **이동을 궤도면에서 행하고**, **깊은 홈 볼 베어링**과 같이 내륜과 외륜을 분리할 수 없는 것은 **끼워 맞춤면에서 행한다**.

베어링 간격이 짧을 경우는 온도변화에 의한 축의 신축이 적기 때문, 고정축과 자유축을 구별하지 않고 사용할 수 있다. 이 경우는 앵글러 볼 베어링과 같이, 액시얼 방향의 이동을 한 방향만 고정할 수 있는 베어링을 2개로 대향시켜 사용하는 경우가 많다. 표2.2(1)에 고정축과 자유축을 구별하는 경우와 표2.2(2)에는 고정축과 자유축을 구별하지 않는 경우의 대표적인 베어링 형식의 일반적인 배열 예를 나타냈다. 또한 세로축에 대한 배열 예를 표2.2(3)에 나타냈다.

표2.2(1) 베어링의 배열 예 (고정축·자유축을 구별하는 경우)

배열도		적요	사용예 (참고)
고정축	자유축		
		1. 소형기계의 일반적인 배열이다. 2. 레이디얼 하중외에 어느 정도의 액시얼 하중도 받을 수 있다.	소형펌프 자동차변속기 등
		1. 조립오차, 축의 휨이 짙을 경우 2. 축의 신축이 있더라도, 자유축 베어링에서 원활히 이동할 수 있다.	중형 전동기 송풍기 등
		1. 비교적 큰 양방향의 액시얼 하중과 레이디얼 하중을 받을 수 있다. 2. 조합 앵글러 볼 베어링 대신에 복열 앵글러 볼 베어링을 사용할 수도 있다.	워엄 기어 감속기
		1. 중하중을 받을 수 있다. 2. 고정축 베어링을 배면 조합하여 예압을 주면, 축의 강성을 높일 수 있다. 3. 축, 하우징의 정밀도를 좋게 하여 조립오차를 작게 할 필요가 있다.	일반 산업기계 감속기 등
		1. 조립오차, 축의 휨이 있을 때 적합하다. 2. 긴 축에 플랜지와 볼트를 사용하지 않고 베어링을 조립할 때, 어댑터를 이용하여 조립, 해체를 쉽게 할 수 있다. 3. 액시얼 하중을 변할 필요가	일반 산업기계
		1. 중하중, 충격하중용으로서 일반 산업기계에 많이 사용된다. 2. 조립오차, 축의 휨에 대해서는 어느 정도 허용할 수 있다. 3. 레이디얼 하중과 어느 정도의 양방향 액시얼 하중을 받을 수 있다.	일반 산업기계의 감속기 등
		1. 레이디얼 하중과 어느 정도의 양방향 액시얼 하중을 받을 수 있다. 2. 내륜, 외륜 모두 억지끼워맞춤을 필요로 할대에 적합하다.	일반 산업기계의 감속기 등
		1. 고속회전에서는 큰 레이디얼 하중과 액시얼 하중을 받을 수 있다. 2. 깊은 홈 볼 베어링에는 레이디얼 하중이 걸리지 않도록, 외경과 하우징과 내경사이에 틈새를 준다.	디젤 기관차 변속기 등

● 베어링의 선정

표2.2(2) 베어링의 배열 예 (고정축 · 자유축을 구별하지 않는 경우)

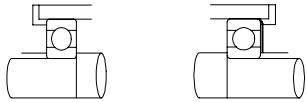
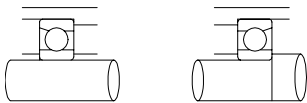
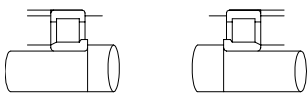
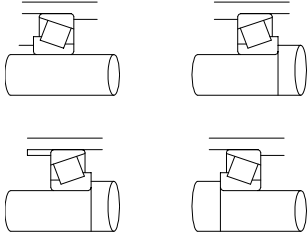
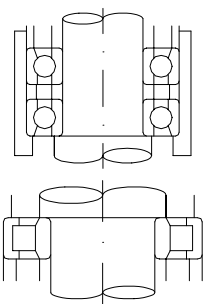
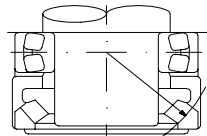
배열도	적요	사용예 (참고)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 소형기계의 일반적인 사용방법이다. 2. 외륜측면에 스프링 또는 조정된 심을 넣어 예압하는 경우가 있다. 	소형 전동기 소형 감속기 등
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 모멘트 하중이 작용할 때는 정면조립보다 배면조립이 적합하다. 2. 레이디얼 하중과 액시얼 하중을 받을 수 있고 고속회전에 적합하다. 3. 예압을 주어, 축의 강성을 높일 수 있다. 	공작기계의 주축 등
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 중하중, 충격하중을 받을 수 있다. 2. 내륜, 외륜 모두 억지끼워맞춤을 필요로 할때에 적합하다. 3. 운전중에 액시얼 틈새가 과소하지 않도록 주의를 요한다. 	건설기계 광산기계의 시브 진동기 등
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 중하중, 충격하중에 견딜수 있고 광범위하게 사용된다. 2. 예압을 주어, 축의 강성을 높일 수 있지만, 과대예압이 되지 않도록 주의를 요한다. 3. 배면조립은 모멘트 하중이 작용할 때, 또 정면조립은 조립오차가 있을 때 적합하다. 4. 정면조립은 내륜을 억지끼워맞춤으로 할 때, 조립하기가 쉽다. 	감속기 자동차 전 · 후륜의 차축 등

표2.2(3) 베어링의 배열 예 (세로축에 사용하는 경우)

배열도	적요	사용예 (참고)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 조합 앵글러 볼 베어링은 고정축에, 실린드릭얼 로울러 베어링은 자유축으로 한다. 	세로형 전동기 등
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 액시얼 하중이 큰 경우에 적합하다. 2. 스러스트 스페리컬 로울러 베어링의 구면중심을 스페리컬 로울러 베어링의 중심에 맞추는 것에 의해, 축의 휨과 조립오차를 흡수할 수 있다. 	크레인의 센터 축 등

● 정격하중과 수명

3. 정격하중과 수명

3.1 베어링의 수명

베어링은 정상적인 조건에서 사용되어도, 궤도륜과 전동체의 구름면은 반복된 압축응력을 받으면, 재료의 피로에 의한 **플레이킹**이 발생하여 사용할 수 없게 된다.

베어링의 수명이란, 이와 같은 플레이킹이 궤도면 또는 전동면에 발생하기까지의 **총 회전수로 정의**된다.

이 외, 타붙음, 마모, 깨짐, 녹 등에 의해서도 베어링은 사용할 수 없게 되지만, 이러한 현상은 베어링의 고장이라고 할 수 있기 때문, 수명과는 별도로, 베어링 선정의 실수, 조립불량, 부적절한 윤활 및 불완전한 밀봉 등이 그 원인이다. 이와 같은 원인을 없애므로써, 베어링의 고장을 피할 수 있게 된다.

3.2 기본정격수명과 기본동 정격하중

일군의 같은 베어링을 동일조건에서 회전시켜도 수명은 거의 일정하지 않다. 이것은 재료의 피로, 그 자체가 일정하지 않기 때문이다. 따라서, 수명이 일정하지 않은 것을 통계적으로 처리하여, 다음과 같이 정의한 **기본정격수명**을 이용한다.

기본정격수명이란, 일군의 같은 베어링을 동일조건에서 각각 회전시켰을 때, **90%(신뢰도 90%)가 구름피로에 의한 플레이킹을 일으키지 않고 회전할 수 있는 실질적인 총 회전수**를 말한다. 일정 회전속도로 회전시켰을 때는 그 총 회전 시간으로 표시한다.

기본동 정격하중이란, 구름베어링의 동적 부하능력을 나타내는 것으로 **100만 회전의 기본정격수명을 갖게끔 하는 일정 부하를 말한다**. 레이디얼 베어링은 순수 레이디얼 하중, 스러스트 베어링은 순수 액시얼 하중으로 나타내고 각각을 **기본동 레이디얼 정격하중(Cr)** 또는 **기본동 액시얼 정격하중(Ca)**라고 말한다.

이 카탈로그의 베어링 치수표에는 **NTN**이 이용하고 있는 표준적인 재료 및 제조방법에 의하여 제작된 베어링의 기본동 정격하중을 기재하였다.

기본정격수명, 기본동 정격하중 및 동등가 하중은 식 (3.1)의 관계가 있다. 또한, 기본정격수명을 회전시간으로 나타낼 경우에는 식 (3.2)에 의하여 구할 수 있다.

$$L_{10} = \left[\frac{C}{P} \right]^p \cdots \cdots \cdots (3.1)$$

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} \left[\frac{C}{P} \right]^p \cdots \cdots \cdots (3.2)$$

여기서

- L_{10} : 기본정격수명 10^6 회전
- L_{10h} : 기본정격수명 h
- C : 기본정격수명 N {kgf}
 - 레이디얼 베어링 C_r
 - 스러스트 베어링 C_a
- P : 동등가 하중 N {kgf}
 - 레이디얼 베어링 P_r
 - 스러스트 베어링 P_a
- n : 회전수
- p : 볼 베어링 ... $p = 3$
로울러 베어링 ... $p = 10/3$

정격하중과 수명

회전수 n 과 속도계수 f_n 의 관계 및 기본정격수명 L_{10h} 와 수명계수 f_h 의 관계를 그림3.1에 나타냈다.

$$L_{10h} = 500 f_h^P$$

$$f_h = f_n \frac{C}{P}$$

$$f_n = \left[\frac{33.3}{n} \right]^P$$

여기서

- f_h : 수명계수
- f_n : 속도계수

몇 개의 베어링을 조립한 기계장치에 있어서, 그 중 어느 쪽인가의 베어링이 구름피로에 의하여 파손될 때까지의 수명을 베어링 전체의 종합수명이라고 하면, 이것은 식(3.6)에 의하여 구할 수 있다.

$$L = \frac{1}{\left(\frac{1}{L_1^e} + \frac{1}{L_2^e} + \dots + \frac{1}{L_n^e} \right)^{1/e}} \dots\dots\dots (3.6)$$

여기서,

- L : 베어링 전체의 종합기본정격수명 h
- $L_1, L_2 \dots L_n$: 각각의 베어링 1,2 \dots n 의 기본정격수명 h
- e : 볼 베어링 $\dots\dots\dots e = 10/9$
로울러 베어링 $\dots\dots\dots e = 9/8$

일정한 시간적인 비율로 하중조건이 변화할 경우에는 식(3.7)으로 수명을 구할 수 있다.

$$L_m = (\sum \Phi_j / L_j)^{-1} \dots\dots\dots (3.7)$$

여기서,

- L_m : 베어링의 종합 수명
- Φ_j : 각 조건의 사용 빈도 ($\sum \Phi_j = 1$)
- L_j : 각 조건에 대한 수명

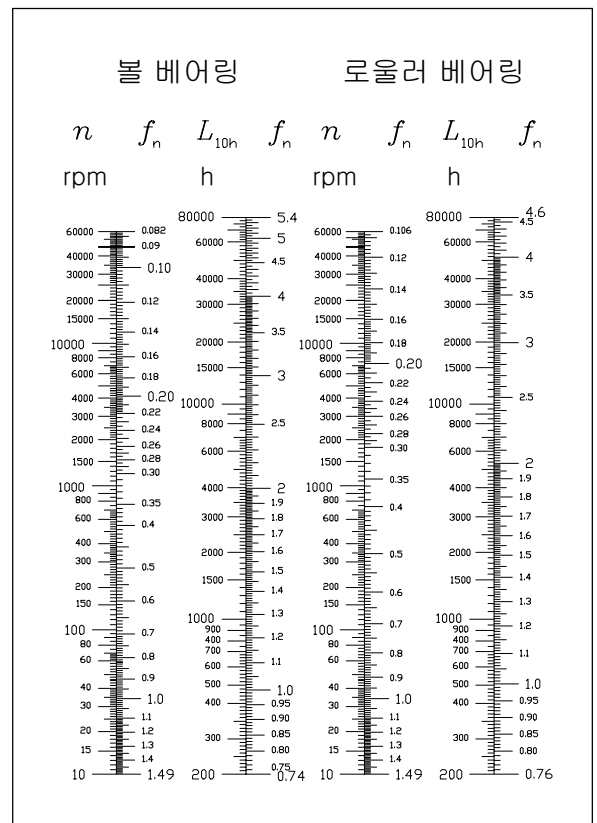


그림3.1 베어링 수명을 구하는 스케일

● 정격하중과 수명

3.3 보정정격수명

베어링의 기본정격수명(신뢰도 90%)은 3.2항에서 서술한 계산식에 의하여 구할 수 있지만, 용도에 따라서는 90% 이상의 신뢰도로 베어링 수명을 구할 필요가 있는 경우도 있다. 또한, 특별히 개선된 베어링 재료 및 제조방법을 이용하여 베어링의 수명을 연장시킬 수 있다. 더욱이, 사용조건(윤활, 온도, 속도 등)에 의하여 베어링 수명에 영향을 끼칠 수도 있다.

이것을 고려하여, 기본정격수명을 보정한 수명을 **보정정격수명**이라 하고 식(3.8)을 이용하여 구할 수 있다.

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot (C / P)^P \dots\dots\dots (3.8)$$

여기서,

- L_{na} : 보정정격수명 10° 회전
- a_1 : 신뢰도 계수
- a_2 : 베어링 특성 계수
- a_3 : 사용조건 계수

3.3.1 신뢰도 계수 a_1

신뢰도 계수 a_1 의 값은 90% 이상의 신뢰도에 대하여, **표3.1**에 나타냈다.

3.3.2 베어링 특성 계수 a_2

베어링 재료의 종류 및 품질, 제조공정 등이 특수한 경우는 수명에 관한 베어링 특성이 변화한다. 이러한 경우에는 **베어링 특성 계수 a_2** 로 수명을 보정한다.

베어링 치수표에 기재되어 있는 기본동 정격하중은 **NTN**에서 이용하고 있는 표준적인 재표 및 제조방법에 의한 것으로 일반적으로는 $a_2 = 1$ 로 한다.

표3.1 신뢰도 계수 a_1

신뢰도 %	L_n	신뢰도 계수 a_1
90	L_{10}	1.00
95	L_5	0.62
96	L_4	0.53
97	L_3	0.44
98	L_2	0.33
99	L_1	0.21

● 정격하중과 수명

NTN

더우기, 특별히 개선된 재료 및 제조방법에 의한 베어링에 대해서는 $a_2 > 1$ 로 할 경우도 있다. 이러한 경우는 NTN으로 문의바랍니다.

고탄소 크롬 베어링강의 베어링을 120℃이상에서 장기간 사용하면, 보통 열처리는 치수변화가 크기 때문, 최고 사용온도에 대하여 치수 안정화 처리(TS처리)를 한 베어링이 있다. 이 베어링은 치수 안정화 처리에 의하여 베어링의 경도가 저하되므로 수명에 영향이 있다. 이 베어링은 치수 안정화 처리에 의하여 베어링의 경도가 저하되므로 수명에 열량이 있다.

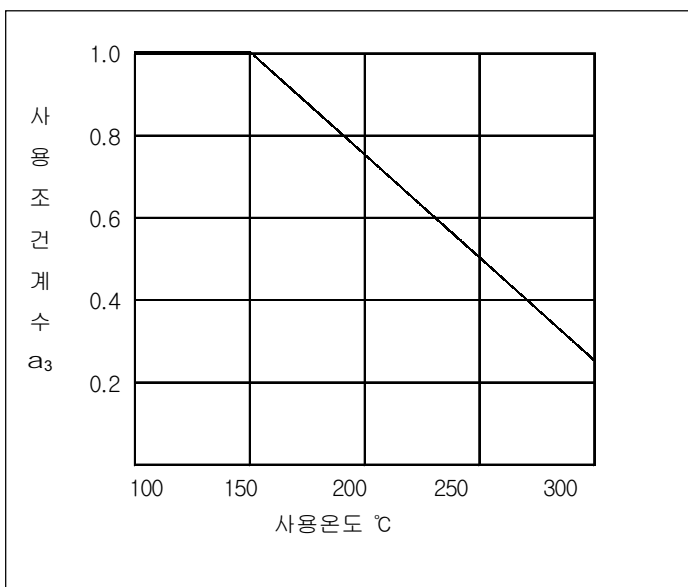
3.3.3 사용조건 계수 a_3

베어링의 사용회전속도 및 온도상승 등에 의한 윤활상태의 악화, 윤활제의 열화 또는 이물질의 혼입 등이 있을 경우의 보정은 사용조건 계수 a_3 을 이용한다.

일반적으로 윤활조건이 양호한 경우에는 $a_3 = 1$ 이고 특히, 윤활조건이 양호하고 베어링에 대한 그 외의 요인도 정상인 경우에는 $a_3 < 1$ 로 한다.

- 베어링 회전시의 온도에 대한 윤활유의 점도가 낮을 경우
(볼 베어링 13mm³/s 이하, 로울러 베어링 20mm³/s 이하)
- 회전수가 특히 낮을 경우
(회전속도 n rpm과 전동체의 피치원경 d_p mm의 곱이 $d_p \cdot n$ (10 000일 경우)
- 베어링의 사용온도가 높을 경우
베어링의 사용온도가 높으면, 궤도의 경도가 저하되어 수평이 감소하므로, 사용온도에 의한 사용조건 계수는 **그림3.2**에 나타낸 값을 곱하여 수명을 보정한다.
- 윤활제에 이물질이 혼입될 경우
특수한 사용조건일 경우에는 NTN으로 문의바랍니다.
특별히 개선된 재료 및 제조방법에 의한 베어링을 사용할 경우는 $a_2 > 1$ 이더라도, 윤활조건이 양호하지 않을 경우는 일정한 간적으로 $a_2 \times a_3 < 1$ 로 한다.

그림3.2 사용온도에 의한 사용조건 계수



● 정격하중과 수명

3.4 사용기계와 필요수명

베어링의 선정에 있어서, 사용조건에 대한 베어링의 필요수명을 설정해야 하지만, 필요수명은 주로 사용기계 요구하는 내구시간과 운전시의 신뢰도에 의해 결정된다. 일반적으로 기준이 되는 필요수명시간을 표3.2에 나타냈다.

베어링의 치수를 결정할 때, 베어링의 피로수명은 물론, 그 외에도 축과 하우징의 강도 및 강성도 고려해야 한다.

표3.2 사용기계와 필요수명기간 (참고)

사 용 구 분	사 용 기 계 와 필 요 수 명 시 간 L_{10h} × 10 ³ 시간				
	~4	4~12	12~30	30~60	60~
단시간 또는 가끔 사용하는 기계	가정용 전기기기 전동공구	농업기계 사무기계			
단시간 또는 가끔 사용하지 만, 확실한 운전이 필요한 기계	의료기기 계기	가정용 에어컨 건설기계 엘리베이터 크레인	크레인(시브)		
항상은 아니지만, 장시간 운 전되는 기계	승용차 이륜차	소형 모터 버스·트럭 일반 기어장치 목공기계	공작기계 스펀들 공장용 범용 모터 크렛서 진동 스크린	중요한 기어장치 고무·플라스틱용 카렌다 롤 운전 인쇄기	
1일 8시간 이상 운전되는 기 계		압연기 롤백 에스컬레이터 컨베어 원심분리기	객차·화물차(차축) 공조설비 대형 모터 컴프레서·펌프	기관차(차축) 트랙션 모터 광산 호이스트 프레스 플라이 휠	펄프·제지기계
1일 24시간 운전되고 사고에 의한 정지를 허용할 수 없는 기계					수도설비 광산 배수·환기설비 발전소 설비

3.5 기본정 정격하중

구름 베어링이 궤도와 전동체의 접촉면에 국부적인 영구변형이 발생하는 하중을 받으면, 하중의 증대에 따라 변형량이 커지며 어느 한도를 넘게 되면, 베어링이 원활한 회전을 못하게 된다.

최대 응력을 받는 궤도와 전동체의 접촉부 중앙에 전동체 직경의 0.0001배의 총 영구 변형량은 베어링의 원활한 회전을 방해하지 않는 한도라는 것이 경험적으로 알려져 있다.

기본정 정격하중이란, 이 한도의 영구 변형량이 발생하는 것과 같은 일정한 정 하중으로서 규정되며, 레이디얼 베어링은 순수 레이디얼 하중, 스러스트 베어링은 순수 액시얼 하중으로 나타낸다. 이러한 하중이 걸렸을 때, 최대 하중을 받는 궤도와 전동체의 접촉부 중앙에 대한 접촉응력은 다음과 같은 값이 된다.

볼 베어링	4 200MPa {428kgf/mm ² }
페리컬 볼 베어링	4 600MPa {469kgf/mm ² }
로울러 베어링	4 000MPa {408kgf/mm ² }

레이디얼 베어링의 기본정 정격하중은 **기본정 레이디얼 정격하중**, 스러스트 베어링의 기본정 정격하중은 **기본정 액시얼 정격 하중**이라 하고, 각각 Cor, Coa로 표시하여 베어링 치수표에 기재하였다.

● 정격하중과 수명

3.6 허용 정등가하중

허용할 수 있는 정등가하중(A-22쪽 참조)은 일반적으로 3.5항에 기재한 기본정 정격하중을 기준으로 하지만, 회전의 원활함 및 마찰에 대한 요구에 의해, 기본정 정격하중보다 크게 또는 작게 채택할 경우가 있다.

일반적으로는 식(3.9) 및 표3.3에 나타난 안전계수 S_o 를 고려하여 정한다.

$$S_o = C_o / P_o \cdots (3.9)$$

여기서,

S_o : 안전계수

C_o : 기본정 정격하중 N {kgf}

레이디얼 베어링 C_{or}

스러스트 베어링 C_{oa}

P_o : 정등가하중 N {kgf}

레이디얼 베어링 P_{or}

스러스트 베어링 P_{oa}

표3.3 안전계수 S_o 의 하한치

운 전 조 건	볼 베어링	로울러 베어링
높은 회전 정밀도가 필요할 경우	2	3
보통 회전 정밀도가 필요할 경우(범용)	1	1.5
다소의 회전 정밀도의 열화를 허용할 경우 (저속회전, 중하중용 등)	0.5	1

비고 1. 스러스트 스페리컬 로울러 베어링은 S_o 의 하한치를 4로 한다.

2. 쉘형 니들 로울러 베어링은 S_o 의 하한치를 3으로 한다.

3. 진동·충격하중이 걸리는 경우는 충격에 의한 하중계수를 고려한 P_o 를 구한다.

4. 깊은 홈 볼 베어링, 앵글러 볼 베어링에 큰 액시얼 하중이 작용하면, 볼이 궤도륜을 타넘는 현상이 있기 때문, **NTN**으로 문의 바랍니다.

● 베어링 하중의 계산

4. 베어링 하중의 계산

베어링 하중을 산정하기 위해서는 베어링이 지지하는 축에 작용하는 하중을 결정해야 한다. 축에 작용하는 하중에는 회전체의 자중, 기계가 작동하기 때문에 발생하는 하중 및 동력전달에 의한 하중 등이 있고, 이것들은 이론적으로 수치계산 가능한 것도 있지만, 계산이 곤란할 경우도 많다.

베어링의 주요 용도인 동력전달 축에 대하여 작동하는 하중의 계산방법을 나타냈다.

4.1 축에 작용하는 하중

4.1.1 하중계수

실제로 베어링이 사용되고 있는 기계에는 진동, 충격 등에 의해, 이론적으로 계산된 축 하중보다 일반적으로 커진다. 따라서, 표4.1에 나타난 하중계수를 곱하여 축에 작용하는 실제의 하중을 구하는 경우가 많다.

$$K = f_w \cdot K_e \cdot \dots \quad (4.1)$$

여기서,

K : 축에 작용하는 실제의 하중 N {kgf}

f_w : 하중계수 (표4.1)

표4.1 하중계수 f_w

충격의 종류	f_w	사 용 기 계
거의 충격이 없는 경우	1.0~1.2	전기기계, 공작기계, 계기류
가벼운 충격이 있는 경우	1.2~1.5	철도차량, 자동차, 압연기, 금속기계, 제지기계, 인쇄기계, 항공기, 섬유기계, 전장품, 사무기계
강한 충격이 있는 경우	1.5~3.0	분쇄기, 농업기계, 건설기계, 운반기계

4.1.2 기어에 작용하는 하중

기어에 작용하는 하중은 접선방향(K_t), 레이디얼 방향(K_s) 및 액시얼 방향(K_a)으로 나눌 수 있다. 그 크기 및 방향은 기어의 종류에 따라 다르다. 여기에서는 일반적으로 사용되는 평행 축 기어 및 교차 축 기어에 대하여 계산방법을 나타냈다.

(1) 평행 축 기어에 작용하는 하중

평행 축에 이용되는 스퍼어 기어 및 헬리컬 기어에 걸리는 하중을 그림4.1~4.3에 나타냈다. 그 하중의 크기는 식 (4.2)~(4.5)에 의해 구해진다.

$$\left. \begin{aligned}
 K_t &= \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \\
 &= \frac{1.95 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} N \\ \{kgf\} \end{array} \dots (4.2)$$

$$K_s = K_t \cdot \tan \alpha \quad (\text{스퍼어 기어}) \dots (4.3a)$$

$$= K_t \cdot \frac{\tan \alpha}{\cos \beta} \quad (\text{헬리컬 기어}) \dots (4.3b)$$

● 베어링 하중의 계산

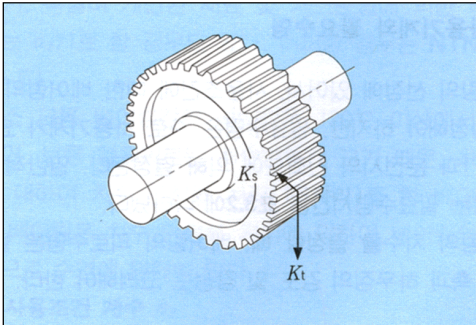


그림4.1 스피어 기어에 작용하는 하중

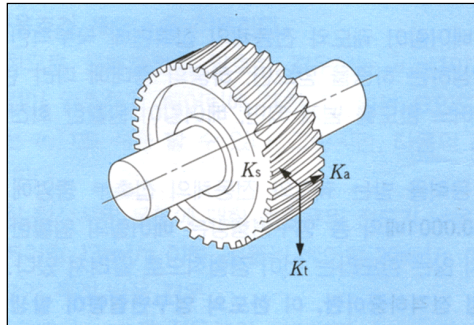


그림4.2 헬리컬 기어에 작용하는 하중

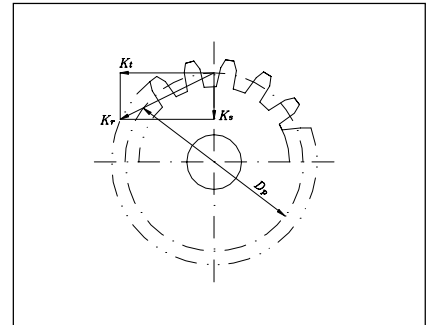


그림4.3 기어의 레이디얼 합성력

$$K_t = \sqrt{K_t^2 + K_s^2} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$K_a = K_t \cdot \tan \beta \text{ (헬리컬 기어)} \dots\dots\dots (4.5)$$

여기서,

- K_t : 기어의 접선방향 하중(접선력) N {kgf}
- K_s : 기어의 레이디얼 방향 하중(분리력) N {kgf}
- K_r : 기어 축에 직각인 하중(접선력과 분리력의 합력) N {kgf}
- K_a : 기어 축에 평행한 하중 N {kgf}
- H : 전달동력 kW
- n : 회전속도 rpm
- D_p : 기어의 피치원경 mm
- α : 기어의 압력각 deg
- β : 기어의 비틀림각 deg

실제의 기어하중은 상기의 계산식으로 구한 이론 하중에 진동, 충격이 가해지므로, 표4.2에 나타난 기어 계수 f_z 를 곱하여 구한다.

표4.2 기어 계수 f_z

기어의 종류	f_z
정밀연삭기어 (피치오차, 형상오차가 0.02mm 이하)	1.05~1.1
보통절삭기어 (피치오차, 형상오차가 0.1mm 이하)	1.1~1.3

● 베어링 하중의 계산

(2) 교차축 기어에 작용하는 하중

교차축에 이용되는 베벨기어 및 스파이럴 베벨 기어에는 그림4.4~4.5에 나타난 기어 하중이 작용한다. 계산식을 표4.3에 나타냈다.

여기서, 베벨 기어는 비틀림각 $\beta=0$ 으로 기어 하중을 구할수 있다.

표4.3에 이용되는 기호 및 단위는 다음과 같다.

- K_t : 기어의 접선방향 하중(접선력) N {kgf}
- K_s : 기어의 레이디얼 방향 하중(분리력) N {kgf}
- K_a : 기어 축에 평행한 하중 N {kgf}
- H : 전달동력 kW
- n : 회전속도 rpm
- D_{pm} : 평균 피치원경 mm
- α : 기어의 압력각 deg
- β : 기어의 비틀림각 deg
- δ : 기어의 피치원경 deg

일반적으로 2개의 축은 교차하기 때문, 피니언 및 기어의 기어 하중 사이에는 다음의 관계가 있다.

기어 하중 사이에는 다음의 관계가 있다.

$$K_{sp} = K_{ag} \dots\dots\dots (4.6)$$

$$K_{ap} = K_{sg} \dots\dots\dots (4.7)$$

여기서,

K_{sp}, K_{ag} : 피니언, 기어의 분리력 N {kgf}

K_{ap}, K_{sg} : 피니언, 기어의 액시얼 하중 N {kgf}

표4.3 베벨기어에 작용하는 하중의 계산식

하중의 종류	회전 방향 비틀림방향	시계 방향	반시계 방향	시계 방향	반시계 방향
		오른쪽	왼쪽	왼쪽	오른쪽
접선방향하중(접선력) K_t		$K_t = \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_{pm} \cdot n} \quad \left\{ \frac{1.95 \times 10^6 \cdot H}{D_{pm} \cdot n} \right\}$			
레이디얼 방향 하중 (분리력) K_s	구동 축	$K_s = K_t \left[\tan \alpha \frac{\cos \delta}{\cos \beta} + \tan \beta \sin \delta \right]$		$K_s = K_t \left[\tan \alpha \frac{\cos \delta}{\cos \beta} - \tan \beta \sin \delta \right]$	
	종동 축	$K_s = K_t \left[\tan \alpha \frac{\cos \delta}{\cos \beta} - \tan \beta \sin \delta \right]$		$K_s = K_t \left[\tan \alpha \frac{\cos \delta}{\cos \beta} + \tan \beta \sin \delta \right]$	
기어 축에 평행한 하중 (액시얼 하중) K_a	구동 축	$K_a = K_t \left[\tan \alpha \frac{\sin \delta}{\cos \beta} - \tan \beta \cos \delta \right]$		$K_a = K_t \left[\tan \alpha \frac{\sin \delta}{\cos \beta} + \tan \beta \cos \delta \right]$	
	종동 축	$K_a = K_t \left[\tan \alpha \frac{\sin \delta}{\cos \beta} + \tan \beta \cos \delta \right]$		$K_a = K_t \left[\tan \alpha \frac{\sin \delta}{\cos \beta} - \tan \beta \cos \delta \right]$	

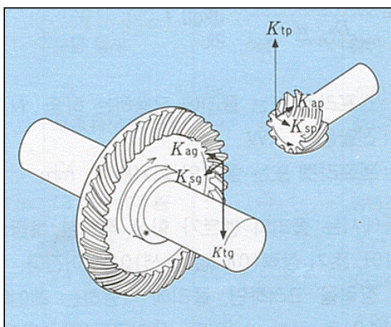


그림4.4 베벨 기어에 작용하는 하중

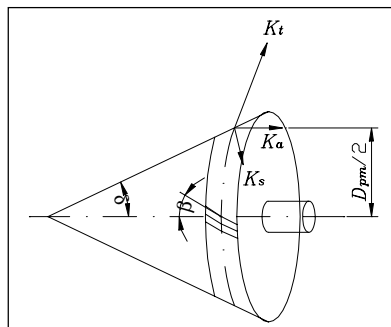


그림4.5 베벨 기어의 제원

● 베어링 하중의 계산

스파이럴 베벨 기어는 배틀림각의 방향, 회전방향 및 구동축 또는 피구동축에 의해 하중의 방향이 다르다. 분리력(Ks) 및 액시얼 하중(Ka)은 그림4.5에 나타난 방향을 정으로 한다. 회전방향과 비틀림각의 방향은 기어의 큰 단면에서 보고 정의하는 것으로, 그림4.5에 나타난 기어는 시계 회전방향인 오른쪽 비틀림 방향이다.

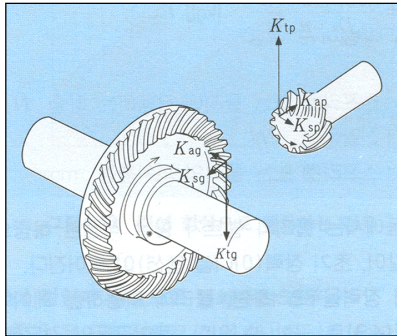


그림4.4 베벨 기어에 작용하는 하중

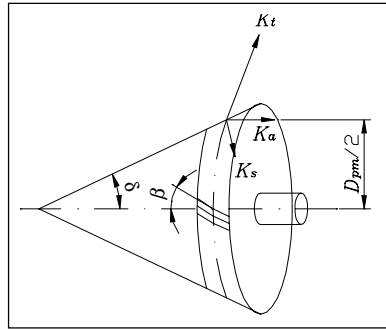


그림4.5 베벨 기어의 제원

4.1.3 체인·벨트 축에 작용하는 하중

그림4.6에 나타난 것과 같이, 체인·벨트에 의해 동력을 전달할 때, 스프라켓 또는 풀리에 작용하는 하중은 식(4.8)로 구할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} K_t &= \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \text{ N} \\ &= \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} \{ \text{kgf} \} \end{aligned} \right\} \dots\dots (4.8)$$

- 여기서,
 K_t : 스프라켓 또는 풀리에 작용하는 하중 N {kgf}
 H : 전달동력 kW
 D_p : 스프라켓 또는 풀리의 피치원경 mm

벨트구동에서는 풀리와 벨트가 항상 적정한 하중으로 늘리는 것과 같이, 초기 장력(이니셜 텐션)이 주어진다. 이 초기 장력을 고려하면, 풀리에 작용하는 레이디얼 방향 하중은 식(4.9)로 구할 수 있다. 체인구동의 경우에는 진동·충격을 고려하면, 같은 식을 이용하여 구할 수 있다.

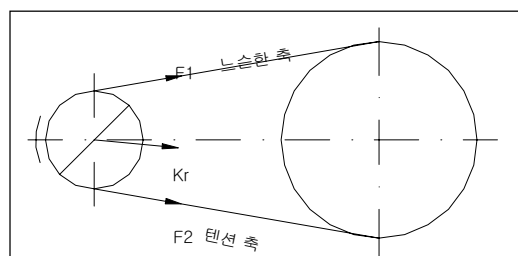
$$K_r = f_b \cdot K_r \dots (4.9)$$

- 여기서,
 K_r : 스프라켓 또는 풀리의 레이디얼 방향 하중 N {kgf}
 f_b : 체인·벨트 계수(표4.4)

표4.4 체인·벨트 계수 f_b

체인·벨트의 종류	f _b
체인(단열)	1.2~1.5
V 벨트	1.5~2.0
타이밍 벨트	1.1~1.3
평 벨트 (텐션 풀리 포함)	2.5~3.0
평 벨트	3.0~4.0

● 그림4.6 체인·벨트에 작용하는 하중



● 베어링 하중의 계산

4.2 베어링에 대한 하중분배

축을 베어링으로 지지하는 대들보라고 생각하여, 축에 작용하는 하중을 베어링에 분배한다. 예를 들면, **그림4.7**의 경우, 베어링 A, 베어링 B에 걸리는 레이디얼 하중은 식(4.10) 및 (4.11)에 나타냈다. 이 예는 간단한 경우이지만, 실제로 상당히 복잡한 설계가 될 경우도 많다.

$$F_{rA} = \frac{a+b}{b} F_{I} + \frac{d}{c+d} F_{II} \dots\dots\dots (4.10)$$

$$F_{rB} = -\frac{a}{b} F_{I} + \frac{c}{c+d} F_{II} \dots\dots\dots (4.11)$$

여기서,

F_{rA} : 베어링 A에 걸리는 레이디얼 하중 N {kgf}

F_{rB} : 베어링 B에 걸리는 레이디얼 하중 N {kgf}

F_{I}, F_{II} : 축에 걸리는 레이디얼 하중 N {kgf}

단, 레이디얼 하중의 방향이 다를 경우는 각각의 하중 벡터의 합을 구할 필요가 있다.

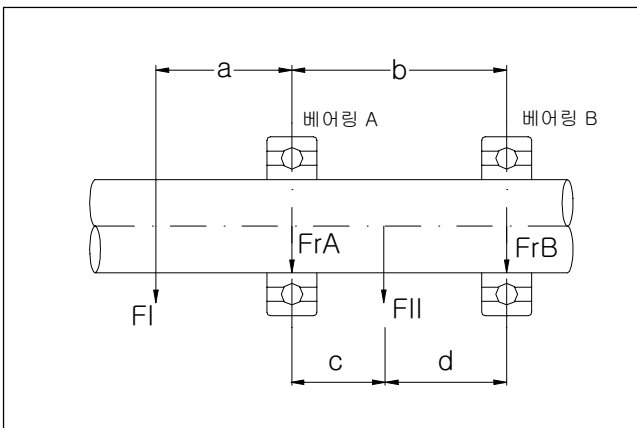


그림 4.7

● 베어링 하중의 계산

4.3 평균 하중

일반적으로 기계에 사용되는 베어링에 걸리는 하중은 일정한 주기, 또는 일정한 작업계획에 따라 변동하는 경우가 많다. 이 경우의 베어링 하중은 같은 수명을 주는 것과 같이 환산된 평균하중 F_m 을 이용한다.

(1) 하중이 계단형상으로 변화하는 경우

베어링 하중 $F_1, F_2 \dots F_n$ 이 작용할 때의 회전속도 및 시간이 각각 $n_1, n_2, \dots, n_n, t_1, t_2, \dots, t_n$ 일 경우의 평균하중 F_m 은 식(4.12)로 구한다.

$$F_m = \left[\frac{\sum(F_i^p \cdot n_i \cdot t_i)}{\sum(n_i \cdot t_i)} \right]^{1/p} \dots\dots\dots (4.12)$$

여기서,

- $p = 3$ 볼 베어링
- $p = 10 / 3$ 로울러 베어링

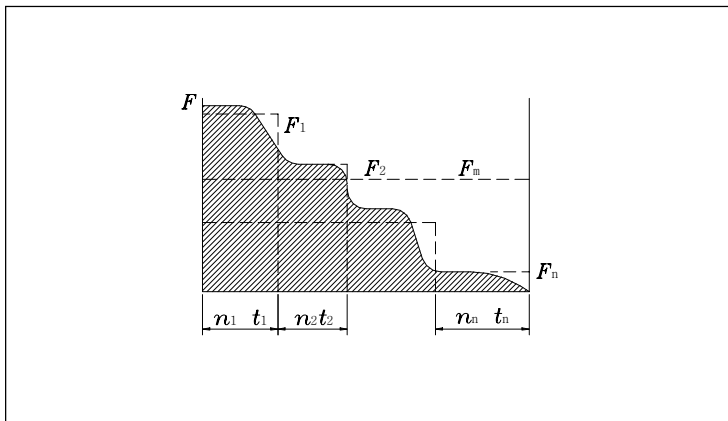


그림4.8 계단형상으로 변화하는 경우

(2) 하중이 연속적으로 변화하는 경우

하중이 주기 t_n 로 변화하는 경우, 시간 t 의 관수 $F(t)$ 로 나타낼 수 있으며, 평균하중은 식(4.13)으로 구한다.

$$F_m = \left[\frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} F(t)^p dt \right]^{1/p} \dots\dots\dots (4.13)$$

여기서,

- $P=3$ 볼 베어링
- $P=10/3$ 로울러 베어링

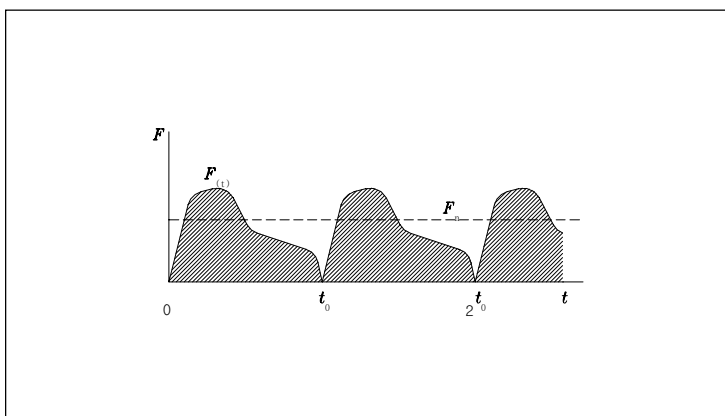


그림4.9 시간의 관수로서 변화하는 하중

● 베어링 하중의 계산

(3) 하중이 거의 직선형상으로 변화하는 경우

평균하중 F_m 은 근사적으로 식(4.41)로 구할수 있다.

$$F_m = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3} \dots (4.41)$$

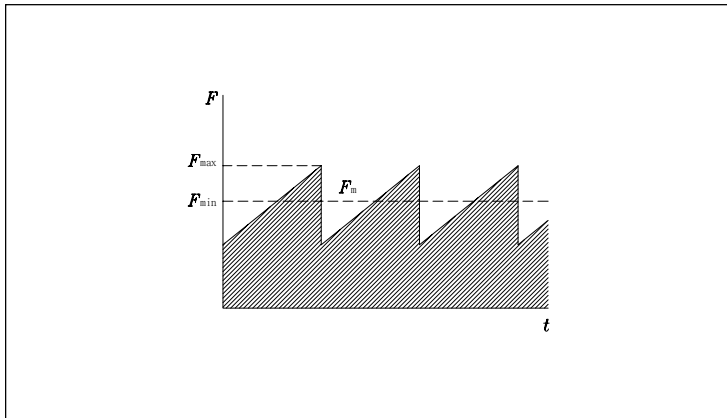


그림4.10 직선 형상으로 변화하는 경우

(4) 하중이 정현파 형상으로 변화하는 경우

평균하중 F_m 은 근사적으로 식(4.15) 및 (4.16)으로 구할수 있다.

(a)의 경우 $F_m = 0.75 F_{max} \dots (4.15)$

(b)의 경우 $F_m = 0.65 F_{max} \dots (4.16)$

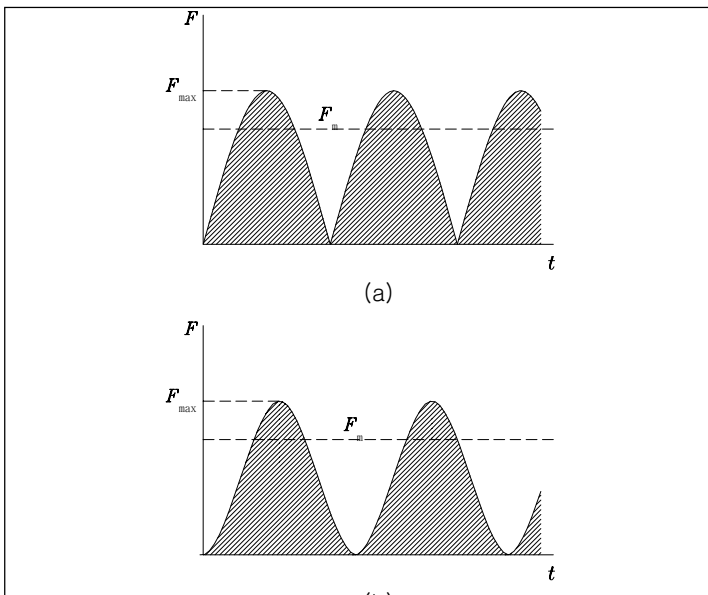


그림4.11 정현파 형상으로 변화하는 경우

● 베어링 하중의 계산

4. 4 등가하중

4.4.1 동등가하중

베어링에 레이디얼 하중과 액시얼 하중이 동시에 작용할 경우, 이것과 같은 수명을 갖게끔, 베어링 중심에 작용하는 가상 하중을 동등가 하중이라고 한다.

레이디얼 베어링은 순수 레이디얼 하중, 스러스트 베어링은 순수 액시얼 하중으로 나타내고 각각 동등가 레이디얼하중, 동등가 액시얼 하중이라고 한다.

(1) 동등가 레이디얼 하중

동등가 레이디얼 하중은 식(4.17)로 구한다.

$$P_r = X F_r + Y F_a \cdots (4.17)$$

여기서,

P_r : 동등가 레이디얼 하중 N {kgf}

F_r : 레이디얼 하중 N {kgf}

F_a : 액시얼 하중 N {kgf}

X : 레이디얼 하중계수

Y : 액시얼 하중계수

X, Y 값은 각각의 베어링 치수표에 기재되어 있다.

(2) 동등가 액시얼 하중

일반 스러스트 베어링(접촉각 $\alpha=90^\circ$)은 레이디얼 하중을 받을 수 없지만, 스러스트 스페리컬 로울러 베어링은 약간의 레이디얼 하중을 받을 수 있으며, 식(4.18)에 의해, 동등가 액시얼 하중을 구할 수 있다.

$$P_r = F_a + 1.2 F_r \cdots (4.18)$$

여기서,

P_a : 동등가 액시얼 하중 N {kgf}

F_a : 액시얼 하중 N {kgf}

F_r : 레이디얼 하중 N {kgf}

4.4.2 정등가하중

정등가하중이란, 베어링에 레이디얼 하중과 액시얼 하중이 동시에 작용할 경우, 최대 하중을 받는 전동체와 궤도의 접촉부 중앙에 발생하는 영구변형량과 등가의 변형량을 주는 것과 같은 가상하중을 말한다.

레이디얼 베어링은 순수 레이디얼 하중, 스러스트 베어링은 순수 스러스트 하중으로 나타내고 각각 정등가 레이디얼 하중, 정등가 액시얼 하중이라고 한다.

(1) 정등가 레이디얼 하중

레이디얼 베어링의 정등가 레이디얼 하중은 식(4.19) 및 식(4.20)으로 구한 값 중 큰쪽을 채택한다.

$$P_{or} = X_o F_r + Y_o F_a \cdots (4.19)$$

$$P_{or} = F_r \cdots (4.20)$$

여기서,

P_{or} : 정등가 레이디얼 하중 N {kgf}

F_r : 레이디얼 하중 N {kgf}

F_a : 액시얼 하중 N {kgf}

X_o : 정 레이디얼 하중 계수

Y_o : 정 액시얼 하중 계수

X_o, Y_o 의 값은 각각의 베어링 치수표에 기재되어 있다.

단, $F_r / F_a \leq 0.55$ 로 할 필요가 있다.

● 베어링 하중의 계산

4.4.3. 앵글러 볼 베어링 및 테이퍼 로울러 베어링의 하중 계산

앵글러 볼 베어링 및 테이퍼 로울러 베어링의 하중 작용점은 **그림4.12**에 나타난 것과 같은 위치에 있고, 각각의 베어링 치수표에 기재되어 있다.

이러한 베어링에 레이디얼 하중이 작용하면, 액시얼 방향의 분력이 발생하기 때문, 2개를 대향시켜 사용한다. 이 분력은 하중계산할 때, 고려하여야 한다. 그 크기는 식(4.22)로 구할 수 있다.

$$F_a = \frac{0.5F_r}{Y} \dots\dots\dots (4.22)$$

여기서,

F_a : 액시얼 방향 분력 N {kgf}

F_r : 레이디얼 하중 N {kgf}

Y : 액시얼 하중 계수

이 경우의 액시얼 하중, 동등가 레이디얼 하중을 **표4.5**에 나타냈다.

표4.5 베어링의 배열과 동가 하중

베어링 배열	하 중 조 건	액시얼 하중	동등가 레이디얼 하중
배면 	$\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} \leq \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a$	$F_{aI} = \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a$ $F_{aII} = \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}}$	$P_{rI} = XF_{rI} + Y_I \left[\frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a \right]$ $P_{rII} = F_{rII}$
정면 	$\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} > \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} + F_a$	$F_{aI} = \frac{0.5F_{rI}}{Y_I}$ $F_{aII} = \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} - F_a$	$P_{rI} = F_{rI}$ $P_{rII} = XF_{rII} + Y_{II} \left[\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} - F_a \right]$
배면 	$\frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} \leq \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} + F_a$	$F_{aI} = \frac{0.5F_{rI}}{Y_I}$ $F_{aII} = \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} + F_a$	$P_{rI} = F_{rI}$ $P_{rII} = XF_{rII} + Y_{II} \left[\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} + F_a \right]$
정면 	$\frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} > \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} + F_a$	$F_{aI} = \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} - F_a$ $F_{aII} = \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}}$	$P_{rI} = XF_{rI} + Y_I \left[\frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} - F_a \right]$ $P_{rII} = F_{rII}$

● 베어링 하중의 계산

4.5 실린드릭롤러 베어링의 허용 액시얼 하중

내륜 및 외륜에 턱이 있는 실린드릭롤러 베어링은 레이디얼 하중과 동시에 약간의 액시얼 하중을 받을 수 있다. 이 경우의 허용 액시얼 하중은 구름피로 현상에 의한 기본동 정격하중과는 달리, 로울러 단면과 턱 사이면의 발열, 타붙음, 마 등에 의해 한도가 정해진다. 중심 액시얼 하중이 걸릴 경우의 허용 액시얼 하중은 과거의 경험 및 실험에 의한 근사식(4.23)에 따라 구할 수 있다.

$$P_t = K \cdot d_2 \cdot P_2 \dots \dots \dots (4.23)$$

여기서,

- P_t : 회전시의 허용 액시얼 하중 N {kgf}
- k : 베어링 내부설계에 의해 정해진 계수(표4.6 참조)
- d : 베어링 내경 mm
- p₂ : 턱의 허용 면압 Mpa {kgf/mm²} (그림4.13 참조)

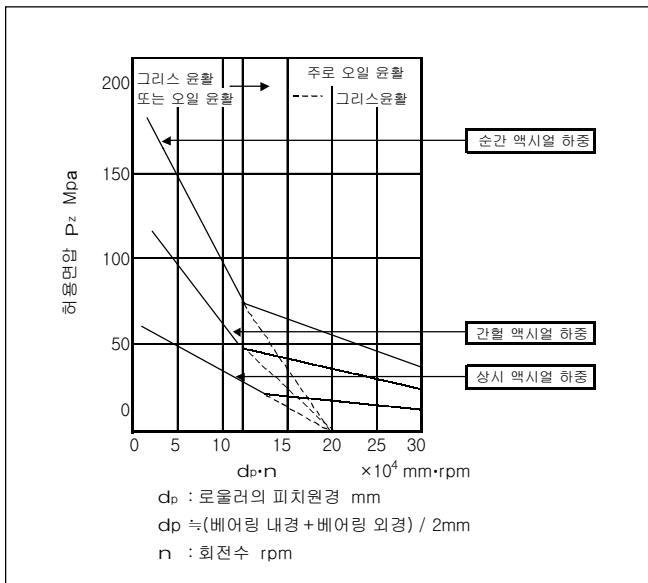
단, 레이디얼 하중에 비해 액시얼 하중이 크면, 로울러의 정상적인 구름운동이 어려워지기 때문에, 허용 액시얼 하중은 표 4.6에 나타난 Fa max를 초과한 값을 적용해서는 안된다.

그 외, 원활히 액시얼 하중을 부하시키기 위해서는 다음 사항이 중요하다.

- (1) 필요 이상의 레이디얼 내부틈새를 적용하지 않는다.
- (2) 극압 첨가제가 첨가된 윤활제를 이용한다.
- (3) 베어링의 턱에 대해, 축 및 하우징의 높이를 충분히 한다.
- (4) 과격한 액시얼 하중 조건에서 사용할 때, 특히 조립정밀도를 좋게 하고, 준비운전을 한다.

대형 실린드릭롤러 베어링(예를 들면, 베어링의 내경 300mm 정도 이상)에 액시얼 하중이 걸릴 때, 또는 모멘트 하중이 동시에 걸릴 때는 NTN 으로 문의바랍니다.

•그림4.13 턱의 허용 면압



•표4.6 계수 k 값 및 허용 액시얼 하중(Fa max)

베어링 계열	k	F _{a max}
NJ, NUP10	0.040	0.4F _r
NJ, NUP, NF, NH2, NJ, NUP, NH22		
NJ, NUP, NF, NH3, NJ, NUP, NH23	0.065	0.4F _r
NJ, NUP, NH2E, NJ, NUP, NH22E	0.050	0.4F _r
NJ, NUP, NH3E, NJ, NUP, NH23E	0.080	0.4F _r
NJ, NUP, NH4,	0.100	0.4F _r
SL01-48	0.022	0.2F _r
SL01-49	0.034	0.2F _r
SL04-50	0.044	0.2F _r

● 베어링 하중의 계산

4.6 베어링의 정격수명 및 허용하중의 계산 예

이 항목의 계산 예는, 전제된 하중과 계산결과 하중도 모두 하중계수 등의 계수를 포함한 값으로 간주한다.

(예1)

깊은 홈 볼 베어링 6208의 회전수 $n=650\text{rpm}$ 이고
레이디얼 하중 $F_r=3.2\text{kN}$ {326kgf}을 받을 경우, 베
어링의 수명 L_{10h} 은 얼마인가?

동등가 레이디얼 하중 P_r 은 식(4.17)에서,
 $P_r = F_r = 3.2\text{kN}$ {326kgf}

6208의 기본동 정격하중 C_r 은 B-12쪽에 기재되어 있는 29.1kN {2970kgf}, 회전수 $n=650\text{rpm}$ 에 대한 볼 베어링의 속도 수 f_n 은 그림3.1(A-15쪽)에서 $f_n=0.37$ 이기 때문, 수명계수 f_h 은 식(3.4)에 의해,

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P_r} = 0.37 \times \frac{29.1}{3.2} = 3.36$$

이 f_h 에 대한 베어링 수명 L_{10h} 은 그림3.1(A-15쪽)에서 약 19 000 시간이 된다.

(예2)

예1의 조건에 액시얼 하중 $F_a=1.8\text{kN}$ {184kgf}을 받
을 경우, 베어링의 수명 L_{10h} 은 얼마인가?

동등가 레이디얼 하중 P_r 을 계산하기 위해서는 레이디얼 하중 계수 X 및 액시얼 하중계수 Y 를 구한다.
베어링 6208의 기본정 정격 하중 C_{or} 은 B-12쪽에 기재되어 있는 것과 같이, 17.8kN {1820kgf}이기 때문,

$$\frac{F_a}{C_{or}} = \frac{1.8}{17.8} = 0.10$$

B-13쪽에 의해, $e=0.29$ 가 된다.

한편, 작용하는 레이디얼 하중과 액시얼 하중을 계산하면,

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{1.8}{3.2} = 0.56 > e = 0.29$$

따라서, B-13쪽에 의해, $X=0.56$, $Y=1.48$ 을 구할 수 있다.

다음에, 동등가 레이디얼 하중 P_r 을 식(4.17)로 구하면,

$$P_r = XF_r + YF_a = 0.56 \times 3.2 + 1.48 \times 1.8 \\ = 4.46 \text{ kN} \{455\text{kgf}\}$$

그림3.1(A-15쪽)과 식(3.4)에서, 수명 f_h 를 구하면,

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P_r} = 0.37 \times \frac{29.1}{4.46} = 2.41$$

이 f_h 에 대한 베어링 수명 L_{10h} 은 그림3.1(A-15쪽)에서 약 7 000시간이 된다.

● 베어링 하중의 계산

(예3)

실린드릭 로울러 베어링을 레이디얼 하중

$F_r = 200\text{kN}$ {20 400kgf}, 회전수 $n=450\text{rpm}$ 으로

사용할 때, 20 000시간 이상의 베어링 수명 L_{10h} 이

필요하다. 가장 적합한 형번을 선정하라.

베어링 수명 $L_{10h}=20\ 000$ 시간에 대하여, **그림3.1**(A-15쪽)에서, 수명계수 $f_h=3.02$ 이고 회전수 $n = 450\text{rpm}$ 에 대하여 **그림3.1**(A-15쪽)에서, 수명계수 $f_n=0.46$ 이기 때문, 필요한 기본동정격하중 C_r 은 식(3.4)에서

$$C_r = \frac{f_h}{f_n} P_r = \frac{3.02}{0.46} \times 200$$

B-106쪽에 의해, 조건을 만족하고 최소치수의 베어링은 **NU2336** ($C_r = 1\ 380\text{kN}$ {141 000kgf})임을 알 수 있다.

(예4)

그림4.14에 나타난 스퍼어 기어 축(피치원경 $D_p=150\text{mm}$,

압력각 $\alpha=20^\circ$)이 2개의 테이퍼 로울러 베어링 **4T-32206**

($C_r=54.6\text{kN}$ {5 600kgf})과 **4T-32205**($C_r=42\text{kN}$ {4 300kgf})

로 지지되어 있다. 기어의 전달동력 $H = 150\text{kW}$, 회전수

$n=2\ 000\text{rpm}$ 일때, 각 베어링의 정격수명을 구하라.

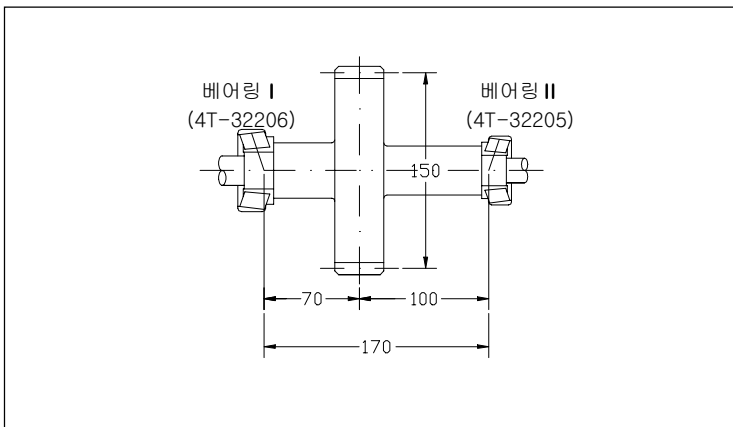


그림4.14 스퍼어 기어 축의 제원

기어에 작용하는 하중은 식(4.2), (4.3a) 및 (4.4)에서,

$$K_t = \frac{19.1 \times 10^6 \cdot H}{D_p \cdot n} = \frac{19\ 100 \times 150}{150 \times 2\ 000}$$

$$= 9.55\text{kN} \{974\text{kgf}\}$$

$$K_s = K_t \cdot \tan \alpha = 9.55 \times \tan 20^\circ$$

$$= 3.48\text{kN} \{355\text{kgf}\}$$

$$K_t = \sqrt{K_t^2 + K_s^2} = \sqrt{9.55^2 + 3.48^2}$$

$$= 10.16\text{kN} \{1\ 040\text{kgf}\}$$

베어링 I, II에 작용하는 레이디얼 하중은 $F_{r1} = \frac{100}{170} K_t = \frac{100}{170} \times 10.16 = 5.98\text{kN} \{610\text{kgf}\}$

● 베어링 하중의 계산

$$F_{rII} = \frac{70}{170} K_r = \frac{70}{170} \times 10.16 = 4.18 \text{ kN} \{426 \text{ kgf}\}$$

$$\frac{0.5F_{rI}}{Y_I} = 1.87 > \frac{0.5F_{rII}}{Y_{II}} = 1.31$$

동등가 레이디얼 하중은 표4.5에서,

$$P_{rI} = F_{rI} = 5.98 \text{ kN} \{610 \text{ kgf}\}$$

$$\begin{aligned} P_{rII} &= X F_{rII} + Y_{II} \frac{0.5F_{rI}}{Y_I} \\ &= 0.4 \times 4.18 + 1.67 \times 1.87 \\ &= 4.66 \text{ kN} \{475 \text{ kgf}\} \end{aligned}$$

베어링의 정격수명은 식(3.4) 및 그림3.1에서,

$$f_{hI} = f_n \frac{C_{rI}}{P_{rI}} = 0.293 \times 54.5 / 5.98 = 2.67$$

$$f_{hII} = f_n \frac{C_{rII}}{P_{rII}} = 0.293 \times 42.0 / 4.66 = 2.64$$

따라서, $a_2 = 1.4$ (4T 테이퍼 로울러 베어링 ... B-136쪽 참조)

$$\begin{aligned} L_{hI} &= 13\,200 \times a^2 \\ &= 13\,200 \times 1.4 \\ &= 18\,480 \text{ 시간} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_{hII} &= 12\,700 \times a^2 \\ &= 12\,700 \times 1.4 \\ &= 17\,780 \text{ 시간} \end{aligned}$$

이 기어 축의 종합 베어링 수명 L_h 는 식(3.6)에서,

$$\begin{aligned} L_h &= \frac{1}{\left[\frac{1}{L_{hI}^e} + \frac{1}{L_{hII}^e} \right]^{1/e}} \\ &= \frac{1}{\left[\frac{1}{18\,480^{9/8}} + \frac{1}{17\,780^{9/8}} \right]^{8/9}} \\ &= 9\,780 \text{ 시간} \end{aligned}$$

(예5)

스페리컬 로울러 베어링 **23932** ($C_r = 320 \text{ kN}$ {33 000 kgf})가 표4.7에 나타난 조건으로 사용할 때, 그 평균 하중을 구하라.

표 4.7

조건	사용빈도 f_i %	레이디얼하중 F_{rI} kN {kgf}	액시얼 하중 F_{aI} kN {kgf}	회전속도 n_i rpm
1	5	10 {1020}	2 {204}	1200
2	10	20 {1220}	4 {408}	1000
3	60	20 {2040}	6 {612}	800
4	15	25 {2550}	7 {714}	600
5	10	30 {3060}	10 {1020}	400

● 베어링 하중의 계산

각 조건에 대하여 동등가 레이디얼 하중 P_{ri} 은 A-22쪽의 식(4.17)으로 구하면 **표4.8**을 얻을 수 있다. 또한, 치수표에서 F_n 와 F_{ai} 값은 모두, $F_a / F_r > e=0.18$ 의 관계이기 때문, $X=0.67$, $Y_2=5.50$ 이 된다.

$$P_{ri} = X F_{ri} + Y_2 F_{ai} = 0.67 F_{ri} + 5.50 F_{ai}$$

표4.8

조건 I	동등가 레이디얼 하중 kN {kgf}
1	17.7 {1805}
2	30.0 {3060}
3	46.4 {4733}
4	55.3 {5641}
5	75.1 {7060}

평균하중은 A-21쪽의 식(4.12)에서

$$F_m = \left[\frac{\sum (P_{ri}^{10/3} \cdot n_i \cdot \Phi_i)}{\sum (n_i \cdot \Phi_i)} \right]^{3/10} = 48.1 \text{ kN } \{4\ 906 \text{ kgf}\}$$

(예6)

실린드릭 로울러 베어링 **NUP312**가 다음 조건에서 사용될 때의 정격수명시간과 허용 액시얼 하중의 한계치를 구하라. 액시얼 하중판 오일윤활로 한다.

레이디얼 하중 $F_r = 10 \text{ kN } \{1\ 020 \text{ kgf}\}$

회전수 $n = 2\ 000 \text{ r}$

레이디얼 하중 F_r 은 $10 \text{ kN } \{1\ 020 \text{ kgf}\}$ 이고,

$$P_r = F_r = 10 \text{ kN } \{1\ 020 \text{ kgf}\}$$

회전수 $n = 2\ 000 \text{ rpm}$ 에 대한 실린드릭 로울러 베어링의 속도계수 f_n 은 A-15쪽의 식(3.5)에서,

$$f_n = \left[\frac{33.3}{2\ 000} \right]^{3/10} = 0.293$$

f_n 에 대한 실린드릭 로울러 베어링의 수명계수 f_h 는 A-15쪽의 식(3.4)에서,

$$f_h = 0.293 \times \frac{124}{10} = 3.63$$

f_n 에 대한 실린드릭 로울러 베어링의 수명계수 f_h 는 A-15쪽의 식(3.3)에서,

$$L_{10h} = 500 \times 3.63 \approx 1\ 815 \text{ 시간 이 된다.}$$

다음에, 실린드릭 로울러 베어링의 허용 액시얼 하중은 4.5항을 참조하여 구한다.

식(4.23)에 있어서, k 는 **표4.6**에서 **NUP312**의 항목을 참조하여, $K=0.065$

$f_h = (60 + 130)/2 = 95 \text{ mm}$, $n=2\ 000 \text{ rpm}$ 에서, 간헐적인 액시얼 하중의 경우를 고려하여 $d_p \cdot n \times 10^4 = 19 \times 10^4$ 이 된다. 그림4.13에서, $d_p \cdot n = 19 \times 10^4$ 이고 간헐적인 액시얼 하중의 경우, 턱부 허용 면압 $P_t = 40 \text{ MPa}$ 가 된다.

따라서, 허용 액시얼 하중 P_t 는

$$P_z = 0.065 \times 60^2 \times 40 = 936 \text{ N } \{95.5 \text{ kgf}\}$$

가 된다.

또, **표4.6**에서 $F_{a \text{ max}} < 0.4 \times 10\ 000 = 4\ 000 \text{ N}$ 이라는 제한내이기 때문, $P_t < 936 \text{ N } \{95.5 \text{ kgf}\}$ 가 된다.

● 주요치수와 호칭번호

NTN

5. 주요치수와 호칭번호

5.1 주요치수

구름 베어링의 주요치수는 그림5.1~그림5.3에 나타난 것과 같이, 베어링의 윤곽을 나타내는 치수를 말한다. 국제적인 호환성과 경제적인 생산을 위하여, 국제표준화기구(ISO)로 표준화되어 있다. 일본에서는 JIS B 1512로 규정되어 있다.

그 주된 것은 베어링의 내경, 외경, 폭 또는 높이 및 조립치수이며, 베어링을 축 및 하우징에 조립할 때, 중요한 치수이다. 내부구조에 관한 치수는 원칙적으로 규정되어 있지 않다.

미터계열 구름 베어링의 내경(d)은 0.6~2 500mm의 범위에서 90종류의 표준치수가 정해져 있다.

이들의 표준 내경 치수에 대해, 레이디얼 베어링은 외경치수(D)를 직경계열, 폭치수(B)를 폭계열로 나타낸다. 또 스러스트 베어링은 폭 계열이 없고 높이 계열로 되어 있다. 이들의 각 계열을 조합한 것을 치수계열이라고 한다. 각 계열 기호를 표5.1에 나타냈다.

구름 베어링의 치수는 상당수로 규정되어 있지만, 이것은 표준화를 위한 것으로, 현재 실용화되어 있는 것은 이들의 치수준이 전부는 아니다.

또, 레이디얼 베어링(테이퍼 로울러 베어링은 제외)의 주요치수글 부록에 기재하였다.

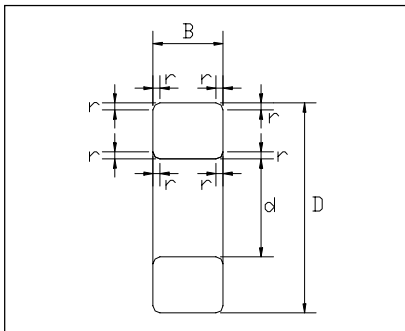


그림5.1 레이디얼 베어링
(테이퍼 로울러 베어링은 제외)

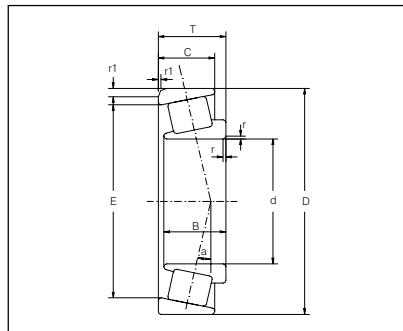


그림5.2 테이퍼 로울러 베어링

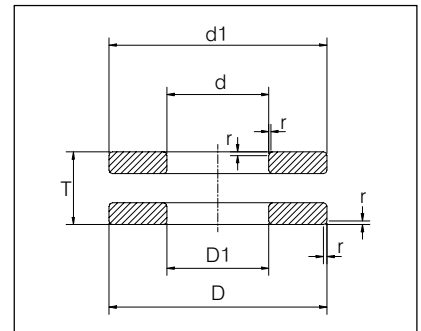


그림5.3 단식 스러스트 베어링

주요치수와 호칭번호

표5.1 치수계열기호

	치 수 계 열				참조 그림
	직경 계열 (외경 치수)	폭 계열 (폭 치수)	높이 계열 (높이 치수)		
레이디얼 베어링 (테이퍼 로울러 베어링은 제외)	기호	7,8,9,0,1,2,3,4	8,0,1,2,3,4,5,6	—	그림 5.4
	치수	소 ← → 대	소 ← → 대		
테이퍼 로울러 베어링	기호	9,0,1,2,3	0,1,2,3	—	그림 5.5
	치수	소 ← → 대	소 ← → 대		
스러스트 베어링	기호	0,1,2,3,4	—	7,9,1,2	그림 5.6
	치수	소 ← → 대		소 ← → 대	

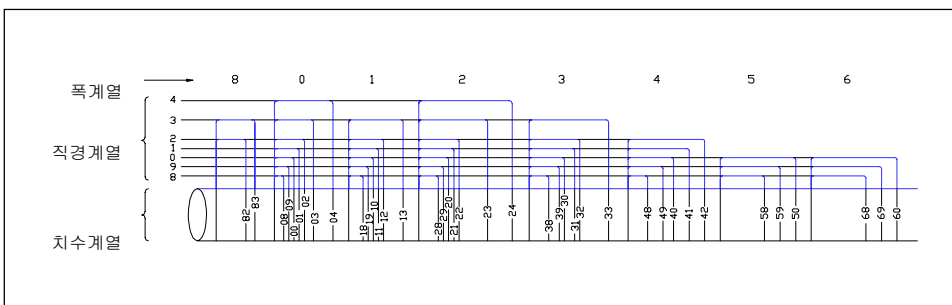


그림 5.4 레이디얼 베어링의 치수계열(테이퍼 베어링은 제외)

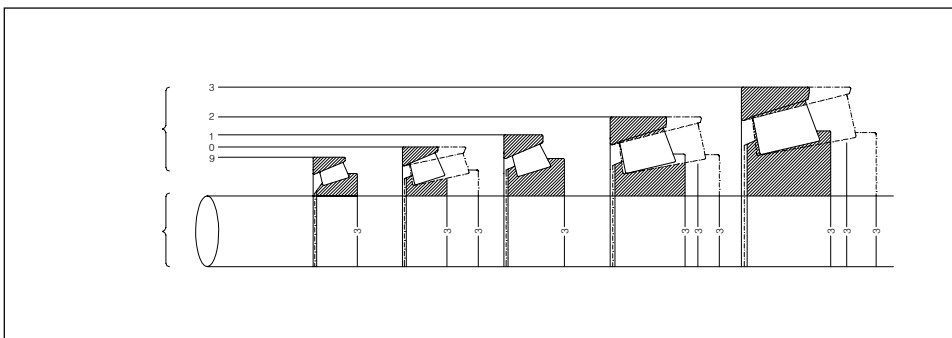


그림 5.5 테이퍼 로울러 베어링의 치수 계열

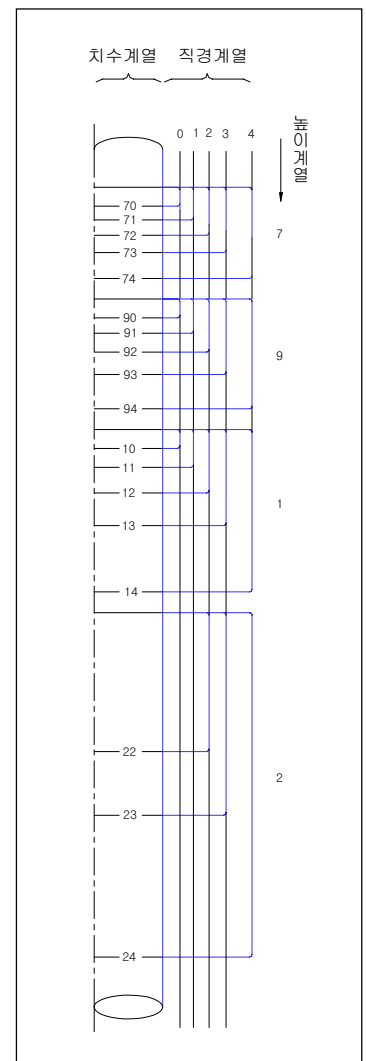


그림 5.6 스러스트 베어링의 치수 계열

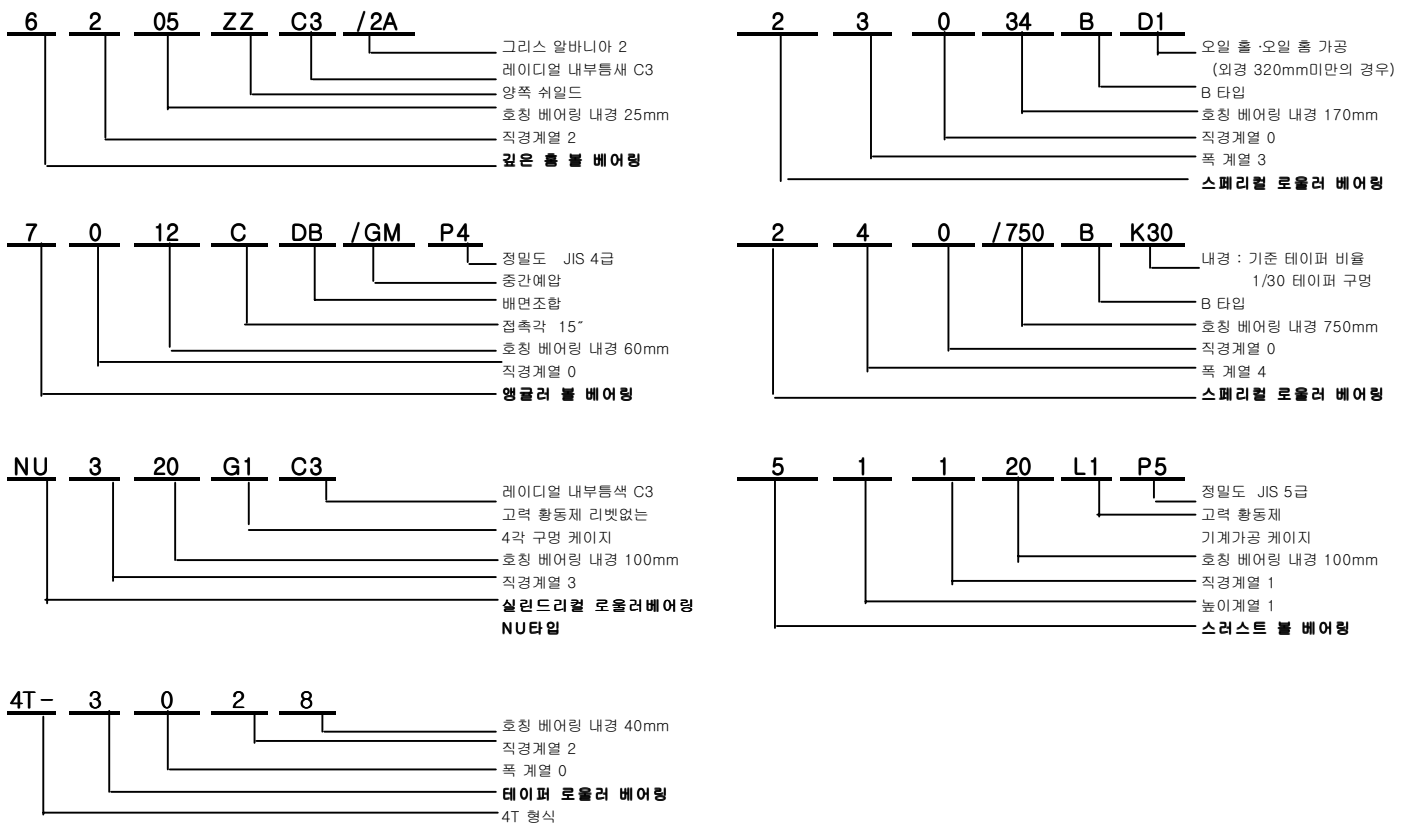
● 주요치수와 호칭번호

5.2 호칭번호

구름 베어링의 호칭번호는 베어링의 형식, 치수, 정밀도, 내부 구조 등을 나타낸 것으로, 기본번호와 보조기호로 구성된다. 호칭번호의 구성과 배열순서를 표5.2에 나타냈다.

기본번호는 베어링의 형식, 주요 치수 등 기본적인 내용을 나타낸 것으로, 베어링 계열기호, 내경번호 및 접촉각 기호로 구성되고, **보조기호**는 접두보조기호 및 접미보조기호로 구성되며, 베어링의 정밀도, 내부트름새 등의 베어링 형식을 나타낸다.

(호칭번호의 예)



주요치수와 호칭번호



표5.2 호칭번호의 구성과 배열순서

점두보조기호 특수형식·재료·열처리기호	기본번호						
	베어링 계열			내경번호		접촉각 기호	
	베어링 계열기호	치수계열기호		기호	내경 mm	기호 ¹⁾	접촉각도
		폭·높이계열 ¹⁾	직경계열				
4T - 4T 테이퍼 로울러 베어링	깊은 홈 볼 베어링 (형식기호 6)			/0.6	0.6		앵글러 볼 베어링
ET - ET 테이퍼 로울러 베어링	68	(1)	8	/1.5	1.5	(A)	표준접촉각 30°
E - 침탄강을 사용한 베어링	69	(1)	9	/2.5	2.5	B	표준접촉각 40°
F - 스텐레스강을 사용한 베어링	60	(1)	0			C	표준접촉각 15°
H - 고속도로강을 사용한 베어링	62	(0)	2	1	1		
M - 도금처리한 베어링	63	(0)	3	:	:		
5S - 세라믹 전동체를 사용한 베어링	앵글러 볼 베어링 (형식기호 7)			9	9	(B)	테이퍼 로울러 베어링
HL - HL 로울러를 사용한 베어링	78	(1)	8			C	접촉각 10°를 초과 17° 이하
TS2 - 치수안정화 처리한 고온용 베어링 160℃까지	79	(1)	9			D	접촉각 17°를 초과 24° 이하
TS3 - 치수안정화 처리한 고온용 베어링 200℃까지	70	(1)	0	00	10		접촉각 24°를 초과 32° 이하
TS4 - 치수안정화 처리한 고온용 베어링 250℃까지	72	(0)	2	01	12		
	73	(0)	3	02	15		
	스페리컬 볼 베어링 (형식기호 1, 2)			03	17		
	12	(0)	2				
	13	(0)	3	/22	22		
	22	(2)	2	/28	28		
	23	(2)	3	/32	32		
	실린드릭얼 로울러 베어링 (형식기호 NU, N, NF, NNU, NN 등)						
	NU10	1	0	04	20		
	NU2	(0)	2	05	25		
	NU22	2	2	06	30		
	NU3	(0)	3	:	:		
	NU23	2	3	:	:		
	NU4	(0)	4	88	440		
	NNU49	4	9	92	460		
	NN30	3	0	96	480		
	테이퍼 로울러 베어링 (형식기호 3)						
	329×	2	9	/500	500		
	320×	2	0	/530	530		
	302	0	2	/560	560		
	322	2	2		:		
	303	0	3	/2 360	2 360		
	303D	0	3	/2 500	2 500		
	313×	1	3				
	323	2	3				
	스페리컬 로울러 베어링 (형식기호 2)						
	239	3	9				
	230	3	0				
	240	4	0				
	231	3	1				
	241	4	1				
	222	2	2				
	232	3	2				
	213	1	3				
	223	2	3				
	단식 슬러스트 볼 베어링 (형식기호 5)						
	511	1	1				
	512	1	2				
	513	1	3				
	514	1	4				
	슬러스트 실린드릭얼 로울러 베어링 (형식기호 8)						
	811	1	1				
	812	1	2				
	893	9	3				
	슬러스트 스페리컬 로울러 베어링 (형식기호 2)						
	292	9	2				
	293	9	3				
	294	9	4				

주1) ()는 호칭번호에 표시하지 않는다.

비고: 표 이외의 베어링 계열기호·점두 및 점미 보조기호에 대해서는 NTN으로 문의바랍니다.

● 주요치수와 호칭번호

점 이 보 조 기 호							
내부변경기호	케이징 기호	시일·쉬일드 기호	궤도론 형상기호	조합기호	내부틈새 ¹⁾ 예압기호	정밀도 기호	윤 활
U 국제 호환성이 있는 테이퍼 로울러 베어링	L1 고력 황동제 기계가공 케이징	LLB 합성고무 시일 (비접촉형)	K 내경이 기준 테이퍼 비율 1/12 의 테이퍼 구멍	DB 배면조합 DF 정면 조합	C2 보통 틈새보다 적음 (CN) 보통 틈새	P6 JIS 급	알바니아 2
R 국제 호환성이 없는 테이퍼 로울러 베어링	F1 탄소강제 기계가공 케이징	LLU 합성고무 시일 (접촉형)	K30 내경이 기준 테이퍼 비율 1/30 의 테이퍼 구멍	DT 병렬조합	C3 보통 틈새보다 큼	P5 JIS 급 P4 JIS 급	알바니아 3 /8A 알바니아 EP2
ST 저토포크 형식의 테이퍼 로울러 베어링	G1 고력 황동제 리벳 없는 4각 구멍 케이징	LLH 합성고무 시일 저토포크 타입	N 스냅 링 홈 NR 스냅 링	D2 동일 베어링을 2개 조합한 것	C4 C3 틈새보다 큼	P2 JIS 급	/5K 멀램프 SRL
HT 고액시일 하중 용 형식의 실린드리컬 로울러 베어링	G2 핀 타입 케이징	ZZ 강판 시일	D 오일 홈 D1 오일 홈·오일 홈	G 플래서 그라운드 +a 스페이서 (+a는 스페이서의 기준치수를 나타낸다)	C5 C4 틈새보다 큼 CM 전동기용 레이디얼 내부틈새 /GL 경 예압 /GN 보통 예압 /GM 중간 예압 /GH 중 예압	-2 ABMA Class 2 -3 ABMA Class 3 -0 ABMA Class 3 -00 ABMA Class 00	/LX11 바리에르타 JFE552 /LP03 고체형 그리스 (폴리루우브 베어링용 그리스)
J 강판제 프레스 케이징	T2 수지성형 케이징						

● 베어링의 정밀도

6. 베어링의 정밀도

6.1 치수 정밀도와 회전 정밀도

구름 베어링의 정밀도, 즉 치수 정밀도 및 회전 정밀도는 ISO 규격 및 JIS B 1514 (구름 베어링의 정밀도)로 규정되어 있다. 치수 정밀도는 축 또는 하우징에 베어링을 조립할 때에 필요한 항목이고 회전 정밀도는 회전시의 흔들림을 규정하고 있다.

치수정밀도

내경, 외경, 조립, 폭, 모떼기 치수, 테이퍼 내경의 허용차 및 형상오차의 내경 부동, 평균 내경 부동, 외경 부동, 평균 외경 부동, 궤도륜의 폭 부동 또는 높이 부동(스러스트 베어링의 경우)의 허용치를 말한다.

회전 정밀도

내륜 및 외륜의 레이디얼 흔들림, 액시얼 흔들림, 내륜의 가로 흔들림 및 외륜 외경의 기울기 허용치를 말한다.

베어링의 정밀도 등급에는 보통 정밀도 JIS 0급부터 정밀도가 높아짐에 따라 JIS 6급, JIS 5급, JIS 4급 및 JIS 2급으로 규정되어 있다.

주된 베어링 형식에 대하여, 적용되는 규격 및 정밀도를 표6.1에 나타냈다. 또, JIS B 1514 에 규정한 정밀도와 그 외의 규격의 비교 대조표를 표6.2에 나타냈다. 또한, 적용란에 기재되어 있는 표6.3~6.9에 각각의 허용차 및 허용치, 표6.10에 모떼기 치수의 허용치, 표6.11에는 레이디얼 베어링의 테이퍼 내경 허용차 및 허용치를 나타냈다.

표6.1 베어링 형식과 적용규격 및 정밀도 등급

베어링 형식		적용규격	정밀도 등급					적용표
깊은 홈 볼 베어링	JIS B 1514(ISO492)		0급	6급	5급	4급	2급	표6.3
앵글러 볼 베어링			0급	6급	5급	4급	2급	
스페리컬 볼 베어링			0급	-	-	-	-	
실린드릭 로울러 베어링			0급	6급	5급	4급	2급	
니들 로울러 베어링			0급	6급	5급	4급	2급	
스페리컬 로울러 베어링			0급	-	-	-	-	
테이퍼 로울러 베어링	미터계열	JIS B 1514	0급, 6×급	6급	5급	4급	-	표6.4
	인치계열	ANSI/ABMA Std.19	Class 4	Class 2	Class 3	Class O	Class OO	표6.5
	J 계열	ANSI/ABMA Std.19.1	Class K	Class N	Class C	Class B	Class A	표6.6
스러스트 볼 베어링	JIS B 1514 (ISO199)		0급	6급	5급	4급	-	표6.7
스러스트 스페리컬 로울러 베어링			0급	-	-	-	-	표6.8
복식 스러스트 앵글러 볼 베어링	NTN 규격		-	-	5급	4급	-	표6.9

표6.2 정밀도 등급의 비교

규격		적용규격	정밀도 규격					베어링 형식
일본공업규격	(JIS)	JIS B 1514	0급, 6급	6급	5급	4급	2급	모든 형식
국제규격	(ISO)	ISO 492	Normal class Class 6×	Class 6	Class 5	Class 4	Class 2	레이디얼 베어링
		ISO 199	Normal Class	Class 6	Class 5	Class 4	-	스러스트 볼 베어링
		ISO 578	Class 4	-	Class 3	Class 0	Class 00	테이퍼 로울러 베어링 인치계열
		ISO 1224	-	-	Class 5A	Class 4A	-	계측용 정밀 베어링
독일규격	(DIN)	DIN 620	P0	P6	P5	P4	P2	모든 형식
미국규격	(ANSI)	ANSI/ABMA Std20 ^{※1)}	ABEC-1 RBEC-1	ABEC-3 RBEC-3	ABEC-5 RBEC-5	ABEC-7	ABEC-9	레이디얼 베어링 (테이퍼 로울러 베어링은 제외)
미국 베어링 공업회 규격	(ABMA)	ANSI/ABMA Std.19.1	Class K	Class N	Class C	Class B	Class A	테이퍼 로울러 베어링 미터 계열
		ANSI/ABMA Std.19	Class 4	Class 2	Class 3	Class 0	Class 00	테이퍼 로울러 베어링 인치 계열

주 1) ABEC는 볼 베어링, RBEC는 로울러 베어링에 적용한다.

비고 1. JIS B 1514, ISO 492, 199 및 DIN 620 은 동등하다.

2. JIS B 1514와 ABMA 규격은 허용차 및 허용치가 약간 다르다.

● 베어링의 정밀도

표 6.3 레이디얼 베어링(테이퍼 로울러 베어링은 제외)의 허용차 및 허용치
표 6.3 (1) 내륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 d mm	평면내 평균 내경의 치수차										외 경 부 동 ⁶⁾												평균 내경부동					레이디얼 흔들림					가로 흔들림			액시얼 흔들림			쪽 치수차										쪽 부 동								
	Δ_{dmp}										V_{dp}												V_{dmp}					K_a					S_d			$S_a^{2)}$			Δ_{Hs}										V_{Bs}								
											직경계열 9					직경계열 0, 1					직경계열 2, 3, 4																단열 베어링					조합 베어링 ³⁾															
	0급	6급	5급	4급 ¹⁾	2급 ¹⁾	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	5급	4급	2급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	0급	6급	5급	4급	2급												
0.6 ⁴⁾	2.5	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	10	9	5	4	2.5	8	7	4	3	2.5	6	5	4	3	2.5	6	5	3	2	1.5	10	5	4	2.5	1.5	7	3	1.5	7	3	1.5	0	-40	0	-40	0	-40	-	-	0	-250	12	12	5	2.5	1.5
2.5	10	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	10	9	5	4	2.5	8	7	4	3	2.5	6	5	4	3	2.5	6	5	3	2	1.5	10	6	4	2.5	1.5	7	3	1.5	7	3	1.5	0	-120	0	-40	0	-40	0	-250	0	-250	15	15	5	2.5	1.5
10	18	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	10	9	5	4	2.5	8	7	4	3	2.5	6	5	4	3	2.5	6	5	3	2	1.5	10	7	4	2.5	1.5	7	3	1.5	7	3	1.5	0	-120	0	-80	0	-80	0	-250	0	-250	20	20	5	2.5	1.5
18	30	0	-10	0	-8	0	-6	0	-5	0	-2.5	13	10	6	5	2.5	10	8	5	4	2.5	8	6	5	4	2.5	8	6	3	2.5	1.5	13	8	4	3	2.5	8	4	1.5	8	4	2.5	0	-120	0	-120	0	-120	0	-250	0	-250	20	20	5	2.5	1.5
30	50	0	-12	0	-10	0	-8	0	-6	0	-2.5	15	13	8	6	2.5	12	10	6	5	2.5	9	8	6	5	2.5	9	8	4	3	1.5	15	10	5	4	2.5	8	4	1.5	8	4	2.5	0	-120	0	-120	0	-120	0	-250	0	-250	20	20	5	3	1.5
50	80	0	-15	0	-12	0	-9	0	-7	0	-4	19	15	9	7	4	19	15	7	5	4	11	9	7	5	4	11	9	5	3.5	2	20	10	5	4	2.5	8	5	1.5	8	5	2.5	0	-150	0	-150	0	-150	0	-380	0	-250	25	25	6	4	1.5
80	120	0	-20	0	-15	0	-10	0	-8	0	-5	25	19	10	8	5	25	19	8	6	5	15	11	8	6	5	15	11	5	4	2.5	25	13	6	5	2.5	9	5	2.5	9	5	2.5	0	-200	0	-200	0	-200	0	-380	0	-380	25	25	7	4	2.5
120	150	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	0	-7	31	23	13	10	7	31	23	10	8	7	19	14	10	8	7	19	14	7	5	3.5	30	18	8	6	2.5	10	6	2.5	10	7	2.5	0	-250	0	-250	0	-250	0	-500	0	-380	30	30	8	5	2.5
150	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	0	-7	31	23	13	10	7	31	23	10	8	7	19	14	10	8	7	19	14	7	5	3.5	30	18	8	6	5	10	6	4	10	7	4	0	-250	0	-250	0	-300	0	-500	0	-380	30	30	8	5	4
180	250	0	-30	0	-22	0	-15	0	-12	0	-8	38	28	15	12	8	38	28	12	9	8	23	17	12	9	8	23	17	8	6	4	40	20	10	8	5	11	7	5	13	8	5	0	-300	0	-300	0	-350	0	-500	0	-500	30	30	10	6	5
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	-	-	-	-	44	31	18	-	-	44	31	14	-	-	26	19	14	-	-	26	19	9	-	-	50	25	13	-	-	13	-	-	15	-	-	0	-350	0	-350	-	-	0	-500	0	-500	35	35	13	-	-
315	400	0	-40	0	-30	0	-23	-	-	-	-	50	38	23	-	-	50	38	18	-	-	30	23	18	-	-	30	23	12	-	-	60	30	15	-	-	15	-	-	20	-	-	0	-400	0	-400	-	-	0	-630	0	-630	40	40	15	-	-
400	500	0	-45	0	-35	0	-	-	-	-	-	56	44	-	-	-	56	44	-	-	-	34	26	-	-	-	34	26	-	-	-	65	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-450	-	-	-	-	-	-	-	-	50	45	-	-	-
500	630	0	-50	0	-40	0	-	-	-	-	-	63	50	-	-	-	63	50	-	-	-	38	30	-	-	-	38	30	-	-	-	70	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-500	-	-	-	-	-	-	-	-	60	50	-	-	-
630	800	0	-75	-	-	-	-	-	-	-	-	94	-	-	-	-	94	-	-	-	-	55	-	-	-	-	55	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-750	-	-	-	-	-	-	-	-	70	-	-	-	-
800	1 000	0	-100	-	-	-	-	-	-	-	-	125	-	-	-	-	125	-	-	-	-	75	-	-	-	-	75	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-1 000	-	-	-	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-
1 000	1 250	0	-125	-	-	-	-	-	-	-	-	155	-	-	-	-	155	-	-	-	-	94	-	-	-	-	94	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-1 250	-	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-
1 250	1 600	0	-160	-	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	200	-	-	-	-	120	-	-	-	-	120	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-1 600	-	-	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-
1 600	2 000	0	-200	-	-	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	-	250	-	-	-	-	150	-	-	-	-	150	-	-	-	-	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-2 000	-	-	-	-	-	-	-	-	140	-	-	-	-

주 1) 4급, 2급에 적용하는 내경 치수차 Δ_{d6} 의 허용차는 평균 내경 치수차 Δ_{dmp} 의 허용차와 같다. 단, 4급에 대해서는 직경계열 0, 1, 2, 3, 4에 적용하고 2급에 대해서는 모든 직경계열에 적용한다.
2) 깊은 홈 볼 베어링, 앵글러 볼 베어링 등의 볼 베어링에 적용한다. 3) 조합 베어링으로 제작된 각각의 궤도륜에 적용한다. 4) 0.6mm는 이 치수 구분에 포함된다.

● 베어링의 정밀도

표 6.3 (2) 외륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 d mm	평면내 평균 내경의 치수차 Δ_{dmp}								내 경 부 동 V_{dp} 개 방 베 어 링												외경부동 $V_{dp}^{(6)}$ 시일·쉬일드 베어링 직경계열		평균 외경부동 V_{Dmp}					레이디얼 흔들림 K_{ea}					외경면 기울기 S_D			역시일 흔들림 $S_{ea}^{(7)}$			폭 치수차 Δ_{cs}	폭 부 동 V_{cs}										
	0급		6급		5급		4급 ⁵⁾		2급 ⁵⁾		직경계열 9 최대					직경계열 0, 1 최대					직경계열 2, 3, 4 최대					0급 6급		0급 6급 5급 4급 2급 최대					5급 4급 2급 최대			5급 4급 2급 최대			모든 등급	0,6급 5급 4급 2급 최대										
	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	0급	6급	5급	4급	2급	5급	4급	2급	5급	4급	2급		0,6급	5급	4급	2급									
2.5 ⁸⁾	6	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	10	9	5	4	2.5	8	7	4	3	2.5	6	5	4	3	2.5	10	9	6	5	3	2	1.5	15	8	5	3	1.5	8	4	1.5	8	5	1.5						
	6	18	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-2.5	10	9	5	4	2.5	8	7	4	3	2.5	6	5	4	3	2.5	10	9	6	5	3	2	1.5	15	8	5	3	1.5	8	4	1.5	8	5	1.5	동일 베어링	동일 베어링	5	2.5	1.5
	18	30	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	0	-4	12	10	6	5	4	9	8	5	4	4	7	6	5	4	4	12	10	7	6	3	2.5	2	15	9	6	4	2.5	8	4	1.5	8	5	2.5	d에 대한	d에 대한	5	2.5	1.5
	30	50	0	-11	0	-9	0	-7	0	-6	0	-4	14	11	7	6	4	11	9	5	5	4	8	7	5	5	4	16	13	8	7	4	3	2	20	10	7	5	2.5	8	4	1.5	8	5	2.5	ΔB_s 의 허용차에 의한	ΔB_s 의 허용차에 의함	5	2.5	1.5
	50	80	0	-13	0	-11	0	-9	0	-7	0	-4	16	14	9	7	4	13	11	7	5	4	10	8	7	5	4	20	16	10	8	5	3.5	2	25	13	8	5	4	8	4	1.5	10	5	4			6	3	1.5
	80	120	0	-15	0	-13	0	-10	0	-8	0	-5	19	16	10	8	5	19	16	8	6	5	11	10	8	6	5	26	20	11	10	5	4	2.5	35	18	10	6	5	9	5	2.5	11	6	5			8	4	2.5
	120	150	0	-18	0	-15	0	-11	0	-9	0	-5	23	19	11	9	5	23	19	8	7	5	14	11	8	7	5	30	25	14	11	6	5	2.5	40	20	11	7	5	10	5	2.5	13	7	5			8	5	2.5
	150	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	0	-7	31	23	13	10	7	31	23	10	8	7	19	14	10	8	7	38	30	19	14	7	5	3.5	45	23	13	8	5	10	5	2.5	14	8	5			8	5	2.5
	180	250	0	-30	0	-20	0	-15	0	-11	0	-8	38	25	15	11	8	38	25	11	8	8	23	15	11	8	8	-	-	23	15	8	6	4	50	25	15	10	7	11	7	4	15	10	7			10	7	4
	250	315	0	-35	0	-25	0	-18	0	-13	0	-8	44	31	18	13	8	44	31	14	10	8	26	19	14	10	8	-	-	26	19	9	7	4	60	30	18	11	7	13	8	5	18	10	7			11	7	5
	315	400	0	-40	0	-28	0	-20	0	-15	0	-10	50	35	20	15	10	50	35	15	11	10	30	21	15	11	10	-	-	30	21	10	8	5	70	35	20	13	8	13	10	7	20	13	8			13	8	7
	400	500	0	-45	0	-33	0	-23	-	-	-	-	56	41	23	-	-	56	41	17	-	-	34	25	17	-	-	-	-	34	25	12	-	-	80	40	23	-	-	15	-	-	23	-	-			15		
	500	630	0	-50	0	-38	0	-28	-	-	-	-	63	48	28	-	-	63	48	21	-	-	38	29	21	-	-	-	-	38	29	14	-	-	100	50	25	-	-	18	-	-	25	-	-			18		
	630	800	0	-75	0	-45	0	-35	-	-	-	-	94	56	35	-	-	94	56	26	-	-	55	34	26	-	-	-	-	55	34	18	-	-	120	60	30	-	-	20	-	-	30	-	-			20		
	800	1000	0	-100	0	-60	-	-	-	-	-	-	125	75	-	-	-	125	75	-	-	-	75	45	-	-	-	-	-	75	45	-	-	-	140	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-		
	1000	1250	0	-125	0	-	-	-	-	-	-	-	155	-	-	-	-	155	-	-	-	-	94	-	-	-	-	-	-	94	-	-	-	-	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-		
	1250	1600	0	-160	0	-	-	-	-	-	-	-	200	-	-	-	-	200	-	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	120	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-		
	1600	2000	0	-200	0	-	-	-	-	-	-	-	250	-	-	-	-	250	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-	-	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-		
	2000	2500	0	-250	0	-	-	-	-	-	-	-	310	-	-	-	-	310	-	-	-	-	190	-	-	-	-	-	-	190	-	-	-	-	250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			-		

주 5) 4급, 2급에 적용하는 내경 치수차 Δ_{ds} 의 허용차는 평균 내경 치수차 Δ_{dmp} 의 허용차와 같다. 단, 4급에 대해서는 직경계열 0, 1, 2

6) 스냅 링이 조립되어 있지 않을 때에 적용한다. 7) 깊은 홈 볼 베어링, 앵글러 볼 베어링등에 적합하다. 8) 2.5mm는 이 치수 구

● 베어링의 정밀도

표6.4 미터 계열 테이퍼 로울러 베어링의 허용차 및 허용치

표6.4 (1) 내륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 d mm	평면내 평균 내경 치수차 Δ_{dmp}						내 경 부 동 V_{dmp}				평균 내경 부동 V_{dmp}				레이디얼 흔들림 K_{ia}				가로 흔들림 S_d		액시얼 흔들림 S_{ia}	폭 치수차 Δ_{Bs}				단열 베어링 조립폭 치수차 Δ_{Ts}				복열 베어링 조합 폭 치수차 Δ_{B1s} Δ_{c1s}			4열 베어링 조합 폭 치수차 Δ_{B2s} Δ_{c2s}					
	0 급		5 급		4 급 ¹⁾		0 급		6 급		5 급		4 급		0 급		6 급		5 급		4 급		0 급		5 급		0 급		5 급		0 급		5 급					
	상	하	상	하	상	하	6×급	최대	6×급	최대	6×급	최대	6×급	최대	5급	4급	4급	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하					
10	18	0	-12	0	-7	0	-5	12	7	5	4	9	5	5	4	15	7	5	3	7	3	3	0	-120	0	-50	0	-200	+200	0	+100	0	+200	-200	-	-	-	-
18	30	0	-12	0	-8	0	-6	12	8	6	5	9	6	5	4	18	8	5	3	8	4	4	0	-120	0	-50	0	-200	+200	0	+100	0	+200	-200	-	-	-	-
30	50	0	-12	0	-10	0	-8	12	10	8	6	9	8	5	5	20	10	6	4	8	4	4	0	-120	0	-50	0	-240	+200	0	+100	0	+200	-200	+240	-240	-	-
50	80	0	-15	0	-12	0	-9	15	12	9	7	11	9	6	5	25	10	7	4	8	5	4	0	-150	0	-50	0	-300	+200	0	+100	0	+200	-200	+300	-300	-	-
80	120	0	-20	0	-15	0	-10	20	15	11	8	15	11	8	5	30	13	8	5	9	5	5	0	-200	0	-50	0	-400	+200	-200	+100	0	+200	-200	+400	-400	+500	-500
120	180	0	-25	0	-18	0	-13	25	18	14	10	19	14	9	7	35	18	11	6	10	6	7	0	-250	0	-50	0	-500	+350	-250	+150	0	+350	-250	+500	-500	+600	-600
180	250	0	-30	0	-22	0	-15	30	22	17	11	23	16	11	8	50	20	13	8	11	7	8	0	-300	0	-50	0	-600	+350	-250	+150	0	+350	-250	+600	-600	+750	-750
250	315	0	-35	-	-	-	-	35	-	-	-	26	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	0	-350	0	-50	-	-	+350	-250	+200	0	-	-	+700	-700	+900	-900
315	400	0	-40	-	-	-	-	40	-	-	-	30	-	-	-	70	-	-	-	-	-	-	0	-400	0	-50	-	-	+400	-400	+200	0	-	-	+800	-800	+1 000	-1 000
400	500	0	-45	-	-	-	-	45	-	-	-	34	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-	0	-450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+900	-900	+1 200	-1 200
500	630	0	-50	-	-	-	-	50	-	-	-	38	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	0	-500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1 000	-1 000	+1 200	-1 200
630	800	0	-75	-	-	-	-	75	-	-	-	56	-	-	-	105	-	-	-	-	-	-	0	-750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1 500	-1 500	+1 500	-1 500
800	1 000	0	-100	-	-	-	-	100	-	-	-	75	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-	0	-1 000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+1 500	-1 500	+1 500	-1 500

주1) 4급에 적용하는 내경 치수차 Δ_{ds} 의 허용차는 평균 내경 치수차 Δ_{dmp} 의 허용차와 같다.

표6.4 (2) 외륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm	평면내 평균 내경 치수차 Δ_{dmp}						내 경 부 동 V_{dp}				평균 내경 부동 V_{dmp}				레이디얼 흔들림 K_{ia}				가로 흔들림 S_d		액시얼 흔들림 S_{ia}	폭 치수차 Δ_{cs}						
	0 급		5 급		4 급 ¹⁾		0 급		6 급		5 급		4 급		0 급		6 급		5 급		4 급		0 급, 6급		5급, 4급		6×급 ⁴⁾	
	상	하	상	하	상	하	6×급	최대	6×급	최대	6×급	최대	6×급	최대	5급	4급	4급	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	
18	30	0	-12	0	-8	0	-6	12	8	6	5	9	6	5	4	18	9	6	4	8	4	5			0	-100		
30	50	0	-14	0	-9	0	-7	14	9	7	5	11	7	5	5	20	10	7	5	8	4	5	동일 베어링		0	-100		
50	80	0	-16	0	-11	0	-9	16	11	8	7	12	8	6	5	25	13	8	5	8	4	5	d에 대한		0	-100		
80	120	0	-18	0	-13	0	-10	18	13	10	8	14	10	7	5	35	18	10	6	9	5	6	Δ_{Bs} 의		0	-100		
120	150	0	-20	0	-15	0	-11	20	15	11	8	15	11	8	6	40	20	11	7	10	5	7	허용차에		0	-100		
150	180	0	-25	0	-18	0	-13	25	18	14	10	19	14	9	7	45	23	13	8	10	5	8	의함		0	-100		
180	250	0	-30	0	-20	0	-15	30	20	15	11	23	15	10	8	50	25	15	10	11	7	10			0	-100		
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	35	25	19	14	26	19	13	9	60	30	18	11	13	8	10			0	-100		
315	400	0	-40	0	-28	0	-20	40	28	22	15	30	21	14	10	70	35	20	13	13	10	13			0	-100		
400	500	0	-45	-	-	-	-	45	-	-	-	34	-	-	-	80	-	-	-	-	-	-			0	-100		
500	630	0	-50	-	-	-	-	50	-	-	-	38	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-			0	-100		
630	800	0	-75	-	-	-	-	75	-	-	-	56	-	-	-	120	-	-	-	-	-	-			-	-		
800	1 000	0	-100	-	-	-	-	100	-	-	-	75	-	-	-	140	-	-	-	-	-	-			-	-		
1 000	1 250	0	-125	-	-	-	-	125	-	-	-	84	-	-	-	165	-	-	-	-	-	-			-	-		
1 250	1 600	0	-160	-	-	-	-	160	-	-	-	120	-	-	-	190	-	-	-	-	-	-			-	-		

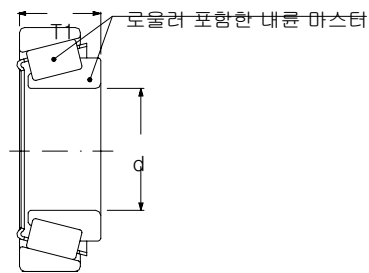
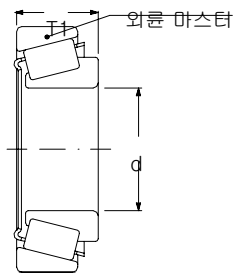
주2) 플랜지 타입의 베어링에는 적용하지 않는다. 3) 4급에 적용하는 외경 치수차 Δ_{Ds} 의 허용차는 평균 외경 치수차 Δ_{Dmp} 의 허용차와 같다. 4) d가 10mm를 초과하고 400mm 이하의 베어링에 적용한다.

● 베어링의 정밀도

표 6.4 (3) 로울러 포함한 내륜 및 외륜의 유효 폭

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		로울러 포함한 내륜의 유효폭 치수차 $\Delta r1s$				외륜의 유효폭 치수차 $\Delta r2s$			
초과	이하	0 급		6×급		0 급		6×급	
		상	하	상	하	상	하	상	하
10	18	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0
18	30	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0
30	50	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0
50	80	+100	0	+50	0	+100	0	+50	0
80	120	+100	-100	+50	0	+100	-100	+50	0
120	180	+150	-150	+50	0	+200	-100	+100	0
180	250	+150	-150	+50	0	+200	-100	+100	0
250	315	+150	-150	+100	0	+200	-100	+100	0
315	400	+200	-200	+100	0	+200	-200	+100	0



● 베어링의 정밀도

표6.5 인치 계열 로울러 베어링의 허용차 및 허용치

표6.5 (1) 내륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		내경 치수차 Δ_{ds}									
		Class 4		Class 2		Class 3		Class 0		Class 00	
		상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
—	76.2	+13	0	+13	0	+13	0	+13	0	+8	0
76.2	266.7	+25	0	+25	0	+13	0	+13	0	+8	0
266.7	304.8	+25	0	+25	0	+13	0	+13	0	—	—
304.8	609.6	+51	0	+51	0	+25	0	—	—	—	—
609.6	914.4	+76	0	—	—	+38	0	—	—	—	—
914.4	1 219.2	+102	0	—	—	+51	0	—	—	—	—
1 219.2	—	+127	0	—	—	+76	0	—	—	—	—

표6.5 (2) 외륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		내경 치수차 Δ_{ds}									
		Class 4		Class 2		Class 3		Class 0		Class 00	
		상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
—	266.7	+25	0	+25	0	+13	0	+13	0	+8	0
266.7	304.8	+25	0	+25	0	+13	0	+13	0	—	—
304.8	609.6	+51	0	+51	0	+25	0	—	—	—	—
609.6	914.4	+76	0	+76	0	+38	0	—	—	—	—
914.4	1 219.2	+102	0	—	—	+51	0	—	—	—	—
1 219.2	—	+127	0	—	—	+76	0	—	—	—	—

● 베어링의 정밀도

표6.5 (3) 단일 베어링의 조립폭, 4열 베어링의 조합 및 로울러 포함한 내륜의 유효폭, 외륜의 유효폭

단위 μm

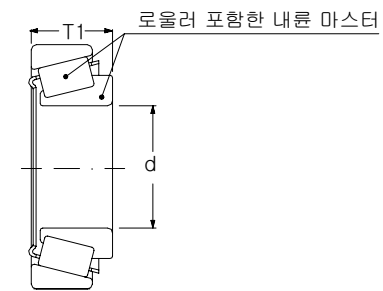
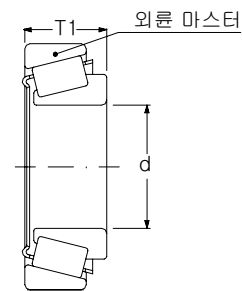
호칭 베어링 내경 d mm	호칭 베어링 내경 D mm	단일 베어링의 조립폭 치수차 ΔT_s									4열 베어링의 조합폭 치수차 $\Delta B_{2s}, \Delta C_{2s}$	로울러 포함한 내륜 유효폭의 치수차 ΔT_{1s}						외륜 유효폭의 치수차 ΔT_{2s}					
		Class 4		Class 2		Class 3		CI		Class 4,2,3,0		Class 4		Class 2		Class 3		Class 4		Class 2		Class 3	
		상	하	상	하	상	하	상	하			상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
-	101.6	+203	0	+203	0	+203	-203	+203	-203	+1 520	-1 520	+102	0	+102	0	+102	-102	+102	0	+102	0	+102	-102
101.6	304.8	+356	-254	+203	0	+203	-203	+203	-203	+1 520	-1 520	+152	-152	+102	0	+102	-102	+203	-102	+102	0	+102	-102
304.8	609.6	-	508.0	+381	-381	+381	-381	+203	-203	-	-	-	-	+178	-178 ¹⁾	+102	-102 ¹⁾	-	-	+203	-203 ¹⁾	+102	-102 ¹⁾
304.8	609.6	508.0	-	+381	-381	+381	-381	+381	-381	-	-	+1 520	-1 520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
609.6	-			+381	-381			+381	-381	-	-	+1 520	-1 520	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

주1) 호칭 베어링 내경 d치수가 406.400mm이하에 적용한다.

표6.5 (4) 내륜 및 외륜의 레이디얼 흔들림

단위 μm

호칭 베어링 내경 d mm	내륜의 레이디얼 흔들림 K_{ia} 및 외륜의 레이디얼 흔들림 K_{ea}					
	Class4		Class2		Class3	
	상	하	상	하	상	하
-	304.8	51	38	8	4	2
304.8	609.6	51	38	18	-	-
609.6	914.4	76	51	51	-	-
914.4	-	76	-	76	-	-



● 베어링의 정밀도

표6.6 J계열(미터 계열) 테이퍼 로울러 베어링의 허용차 및 허용치

표6.6 (1) 내륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm	단열 베어링의 조립폭 치수차								내경 부동				평균 내경 부동				레이디얼 흔들림				액시얼 흔들림 S_{ia} Class B 최대	조립폭의 치수차								
	Δ_{Ts}								V_{dp}				V_{dmp}				K_{ia}					Δ_{Ts}								
	Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class			Class		Class		Class		Class		
	K	N	C	B	K	N	C	B	K	N	C	B	K	N	C	B	K	N	C	B		K	N	C	B	K	N	C	B	
초과	이하	상	하	상	하	상	하	최대				최대				최대				최대	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
10 18	0	-12	0	-12	0	-7	0	-5	12	12	4	3	9	9	5	4	9	9	5	4	3	200	0	100	0	200	-200	200	-200	
18 30	0	-12	0	-12	0	-8	0	-6	12	12	4	3	9	9	5	4	9	9	5	4	4	200	0	100	0	200	-200	200	-200	
30 50	0	-12	0	-12	0	-10	0	-8	12	12	4	3	9	9	5	5	9	9	5	5	4	200	0	100	0	200	-200	200	-200	
50 80	0	-15	0	-15	0	-12	0	-9	15	15	5	3	11	11	5	5	11	11	5	5	4	200	0	100	0	200	-200	200	-200	
80 120	0	-20	0	-20	0	-15	0	-10	20	20	5	3	15	15	5	5	15	15	5	5	5	200	-200	100	0	200	-200	200	-200	
120 180	0	-25	0	-25	0	-18	0	-13	25	25	5	3	19	19	5	7	19	19	5	7	7	350	-250	150	0	200	-250	200	-250	
180 250	0	-30	0	-30	0	-22	0	-15	30	30	6	4	23	23	5	8	23	23	5	8	8	350	-250	150	0	200	-300	200	-300	

비고 Class A에 대해서는 NTN으로 문의 바랍니다.

표6.6 (2) 외륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm	평균 외경 치수차								외경 부동				평균 외경 부동				레이디얼 흔들림				액시얼 흔들림 S_{ea} Class B 최대
	Δ_{Dmp}								V_{Dp}				V_{Dmp}				K_{ea}				
	Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class		Class				
	K	N	C	B	K	N	C	B	K	N	C	B	K	N	C	B	K	N	C	B	
초과	이하	상	하	상	하	상	하	최대				최대				최대				최대	
18 30	0	-12	0	-12	0	-8	0	-6	12	12	4	3	9	9	5	4	18	18	5	3	3
30 50	0	-14	0	-14	0	-9	0	-7	14	14	4	3	11	11	5	5	20	20	6	3	3
50 80	0	-16	0	-16	0	-11	0	-9	16	16	4	3	12	12	6	5	25	25	6	4	4
80 120	0	-18	0	-18	0	-13	0	-10	18	18	5	3	14	14	7	5	35	35	6	4	4
120 150	0	-20	0	-20	0	-15	0	-11	20	20	5	3	15	15	8	6	40	40	7	4	4
150 180	0	-25	0	-25	0	-18	0	-13	25	25	5	3	19	19	9	7	45	45	8	4	5
180 250	-30	0	-30	0	-20	0	-15	30	30	6	4	23	23	10	8	50	50	10	5	6	
250 315	-35	0	-35	0	-25	0	-18	35	35	8	5	26	26	13	9	60	60	11	5	6	
315 250	0	-40	0	-40	0	-28	0	-20	40	40	10	5	30	30	14	10	70	70	13	5	6

비고 Class A에 대해서는 NTN으로 문의 바랍니다.

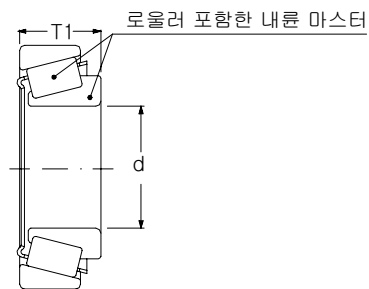
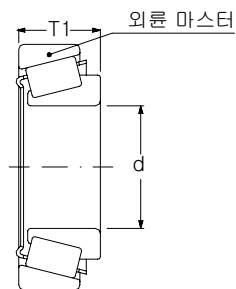
● 베어링의 정밀도

표 6.6 (3) 로울러 포함한 내륜 및 외륜의 유효폭

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		평균 외경 치수차 Δ_{T1s}								외륜 유효폭 치수차 Δ_{T2s}							
		Class K		Class N		Class C		Class B		Class K		Class N		Class C		Class B	
		상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
		초과	이하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하	상	하
10	80	+100	0	+50	0	+100	-100	*	*	+100	0	+50	0	+100	-100	*	*
80	120	+100	-100	+50	0	+100	-100	*	*	+100	-100	+50	0	+100	-100	*	*
120	180	+150	-150	+50	0	+100	-100	*	*	+200	-100	+100	0	+100	-150	*	*
180	250	+150	-150	+50	0	+100	-150	*	*	+200	-100	+100	0	+100	-150	*	*

비고 1. *표시는 조합 베어링용으로서만 제작하고 있다. 2. Class A에 대해서는 **NTN**으로 문의 바랍니다.



● 베어링의 정밀도

표6.7 스러스트 볼 베어링의 허용차 및 허용치
표6.7 (1) 축 궤도반

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		평균 내경 치수차 V_{Dip}				내경 부동 V_{dp}		궤도의 두께 부동 S_i			
초과	이하	0급, 6급, 5급		4급		0급, 6급, 5급, 4급		0급, 6급, 5급, 4급			
		상	하	상	하	최대		최대			
-	18	0	-8	0	-7	6	5	10	5	3	2
18	30	0	-10	0	-8	8	6	10	5	3	2
30	50	0	-12	0	-10	9	8	10	6	3	2
50	80	0	-15	0	-12	11	9	10	7	4	3
80	120	0	-20	0	-15	15	11	15	8	4	3
120	180	0	-25	0	-18	19	14	15	9	5	4
180	250	0	-30	0	-22	23	17	20	10	5	4
250	315	0	-35	0	-25	26	19	25	13	7	5
315	400	0	-40	0	-30	30	23	30	15	7	5
400	500	0	-45	0	-35	34	26	30	18	9	6
500	630	0	-50	0	-40	38	30	35	21	11	7

표6.7 (2) 하우징 궤도반

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		평균 외경 치수차 V_{Dmp}				외경 부동 V_{Dp}		궤도의 두께 부동 S_e					
초과	이하	0급, 6급, 5급		4급		0급, 6급, 5급, 4급		0급, 6급, 5급, 4급					
		상	하	상	하	최대		최대					
10	18	0	-11	0	-7	8	5	동일 베어링의 d에 대한 S_i 의 허용치에 의함.					
18	30	0	-13	0	-8	10	6						
30	50	0	-16	0	-9	12	7						
50	80	0	-19	0	-11	14	8						
80	120	0	-22	0	-13	17	10						
120	180	0	-25	0	-15	19	11						
180	250	0	-30	0	-20	23	15						
250	315	0	-35	0	-25	26	19						
315	400	0	-40	0	-28	30	21						
400	500		-45		-33	34	25						
500	630	0	-50	0	-38	38	29						
630	800	0	-75	0	-45	55	34						

표6.7 (3) 베어링의 높이

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm		단식 베어링 베어링 높이 치수차 ¹⁾ ΔT_s	
초과	이하	0급, 6급, 5급	4급
		상	하
-	30	0	-75
30	50	0	-100
50	80	0	-125
80	120	0	-150
120	180	0	-175
180	250	0	-200
250	315	0	-225
315	400	0	-300
400	500	0	-350
500	630	0	-400

주 1) 이 규격은 등급 0급의 평면자리 베어링에 적용하다.

● 베어링의 정밀도

표6.8 스러스트 스페리컬 로울러 베어링의 허용차 및 허용치

표6.8 (1) 축 계도반

단위 μm

호칭 베어링 내경 d		평균 내경 치수차 Δdmp		내경 부동 Vdp	가로흔들림 Sd	베어링 높이 치수차 ΔTs	
mm		상	하	최대	최대	상	하
초과	이하						
50	80	0	-15	11	25	+150	-150
80	120	0	-20	15	25	+200	-200
120	180	0	-25	19	30	+250	-250
180	250	0	-30	23	30	+300	-300
250	315	0	-35	26	35	+350	-350
315	400	0	-40	30	40	+400	-400
400	500	0	-45	34	45	+450	-450

표6.8 (2) 하우징 계도반

단위 μm

호칭 베어링 외경 D		평균 외경 치수차 ΔDmp	
mm		상	하
초과	이하		
120	180	0	-25
180	250	0	-30
250	315	0	-35
315	400	0	-40
400	500	0	-45
500	630	0	-50
630	800		-75
800	1 000	0	-100

표6.9 복식 스러스트 앵글러 볼 베어링의 허용차 및 허용치

표6.9 (1) 내륜 및 베어링 높이

단위 μm

호칭 베어링 내경 d		평균 내경 치수차 Δdmp 또는 내경 치수차 Δds				가로 흔들림 Sd		액시얼 흔들림 Sia		폭 부동 VBs		베어링 높이 치수차 ΔTs	
mm		5급		4급		5급	4급	5급	4급	5급	4급	5급	4급
초과	이하	상	하	상	하	최대	최대	최대	최대	최대	최대	상	하
18	30	0	-6	0	-5	8	4	5	3	5	2.5	0	-300
30	50	0	-8	0	-6	8	4	5	3	5	3	0	-400
50	80	0	-9	0	-7	8	5	6	5	6	4	0	-500
80	120	0	-10	0	-8	9	5	6	5	7	4	0	-600
120	180	0	-13	0	-10	10	6	8	6	8	5	0	-700
180	250	0	-15	0	-12	11	7	8	6	10	6	0	-800
250	315	0	-18	0	-15	13	8	10	8	13	7	0	-900
315	400	0	-23	0	-18	15	9	13	10	15	9	0	-1 000

표6.9 (2) 외륜

단위 μm

호칭 베어링 내경 D		평균 외경 치수차 ΔDmp 또는 외경 치수차 ΔDs		외경면의 기울기 SD		액시얼 흔들림 Sea		폭 부동 Vcs	
mm		5급, 4급		5급	4급	5급	4급	5급	4급
초과	이하	상	하	최대	최대	최대	최대	최대	최대
30	50	-30	-40	8	4	동일 베어링의 d 에 대한 Sia의 허용치에 의함.		5	2.5
50	80	-40	-50	8	4			6	3
80	120	-50	-60	9	5			8	4
120	150	-60	-75	10	5			8	5
150	180	-60	-75	10	5			8	5
180	250	-75	-90	11	7			10	7
250	315	-90	-105	13	8			11	7
315	400	-110	-125	13	10			13	8
400	500	-120	-140	15	13	15	10		

● 베어링의 정밀도

6.2 모떼기 치수와 테이퍼 내경의 허용차

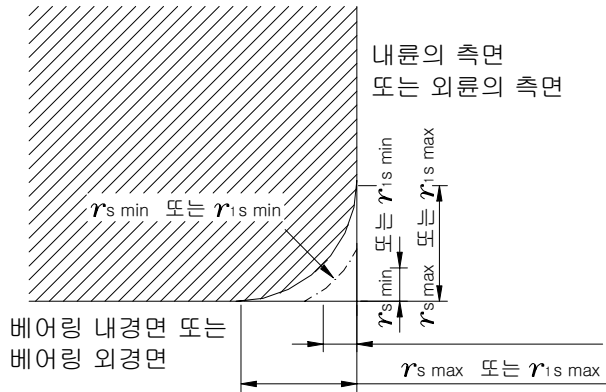


표6.10 모떼기 치수의 허용 한계치

표6.10 (1) 레이디얼 베어링 (테이퍼 로울러 베어링은 제외) 단위 mm

rs min ¹⁾ 또는 r1s min	호칭 베어링 내경 d		rs max 또는 r1s max	
	초과	이하	레이디얼 방향	액시얼 방향
0.05	-	-	0.1	0.2
0.08	-	-	0.16	0.3
0.1	-	-	0.2	0.4
0.15	-	-	0.3	0.6
0.2	-	-	0.5	0.8
0.3	-	40	0.6	1
	40	-	0.8	1
0.6	-	40	1	2
	40	-	1.3	2
1	-	50	1.5	3
	50	-	1.9	3
1.1	-	120	2	3.5
	120	-	2.5	4
1.5	-	120	2.3	4
	120	-	3	5
2	-	80	3	4.5
	80	220	3.5	5
	220	-	3.8	6
2.1	-	280	4	6.5
	280	-	4.5	7
2.5	-	100	3.8	6
	100	280	4.5	6
	280	-	5	7
3	-	280	5	8
	280	-	5.5	8
4	-	-	6.5	9
5	-	-	8	10
6	-	-	10	13
7.5	-	-	12.5	17
9.5	-	-	15	19
12	-	-	18	24
15	-	-	21	30
19	-	-	25	38

주1) 모떼기 치수 r1의 최소 허용치수이며, 치수표에 기재되어 있다.

표6.10 (2) 미터 계열 테이퍼 로울러 베어링 단위 mm

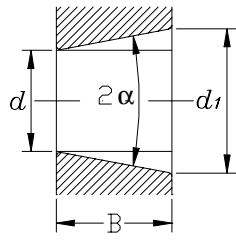
rs min ²⁾ 또는 r1s min	호칭 베어링 내경 d ³⁾ 또는 호칭 베어링 외경 D		rs max 또는 r1s max	
	초과	이하	레이디얼방향	액시얼방향
0.3	-	40	0.7	1.4
	40	-	0.9	1.6
0.6	-	40	1.1	1.7
	40	-	1.3	2
1	-	50	1.6	2.5
	50	-	1.9	3
1.5	-	120	2.3	3
	120	250	2.8	3.5
	250	-	3.5	4
2	-	120	2.8	4
	120	250	3.5	4.5
	250	-	4	5
2.5	-	120	3.5	5
	120	250	4	5.5
	250	-	4.5	6
3	-	120	4	5.5
	120	250	4.5	6.5
	250	400	5	7
	400	-	5.5	7.5
4	-	120	5	7
	120	250	5.5	7.5
	250	400	6	8
	400	-	6.5	8.5
5	-	180	6.5	8
	180	-	7.5	9
6	-	180	7.5	10
	180	-	9	11

주2) 모떼기 치수 D 또는 r1의 최소 허용치수이며, 치수표에 기재되어 있다

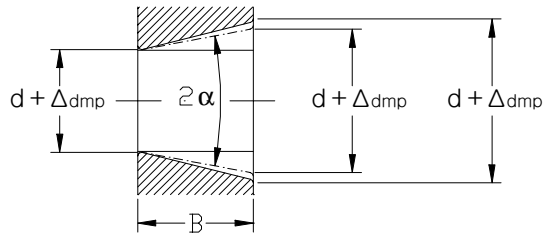
3) 내륜은 d의 구분에 의하고 외륜은 D의 구분에 의한다.

비고 이 규격은 ISO 355 또는 JIS B 1512에서 치수계열이 규정되어 있는 베어링 (치수표 참조)에 적용한다. 이 규정 이외의 베어링 및 인치계열 테이퍼 로울러 베어링에 대해서는 NTN으로 문의 바랍니다.

베어링의 정밀도



이론상의 테이퍼 내경



평면내 평균내경의 치수차를 갖는 테이퍼 내경

표6.10 (3) 스러스트 베어링 단위 mm

또는	또는 레이디얼 방향 및 액시얼 방향
0.05	0.1
0.08	0.16
0.1	0.2
0.15	0.3
0.2	0.5
0.3	0.8
0.6	1.5
1	2.2
1.1	2.7
1.5	3.5
2	4
2.1	4.5
3	5.5
4	6.5
5	8
6	10
7.5	12.5
9.5	15
12	18
15	21
19	25

주4) 모떼기 치수 r 또는 r1의 최대 허용 치수이며, 치수표에 기재되어 있다.

표6.11 (1) 레이디얼 베어링의 테이퍼 내경의 허용차 및 허용치 기준 테이퍼 비율 1/12의 테이퍼 내경(0급) 단위 μm

d mm	Δ dmp		Δ dmp-Δ dmp		Vdp ^{1) 2)} 최대
	초과	이하	상	하	
10	10	18	+ 22	0	9
18	18	30	+ 27	0	11
30	30	50	+ 33	0	13
50	50	80	+ 39	0	16
80	80	120	+ 46	0	19
120	120	180	+ 54	0	22
180	180	250	+ 63	0	22
250	250	315	+ 72	0	40
315	315	400	+ 81	0	46
400	400	500	+ 89	0	52
500	500	630	+ 97	0	57
630	630	800	+ 110	0	63
800	800	1000	+ 125	0	70
1000	1000	1250	+ 140	0	-
1250	1250	1600	+ 165	0	-
1600	1600	-	+ 195	0	-

표6.11 (2) 레이디얼 베어링의 테이퍼 내경의 허용차 및 허용치 기준 테이퍼 비율 1/30의 테이퍼 구멍(0급) 단위 μm

d mm	Δ dmp		Δ dmp-Δ dmp		Vdp ^{1) 2)} 최대
	초과	이하	상	하	
50	80	120	+15	0	19
80	120	180	+20	0	22
120	180	250	+25	0	40
180	250	315	+30	0	46
250	315	400	+35	0	52
315	400	500	+40	0	57
400	500	630	+45	0	63
500	630	-	+50	0	70

주1) 테이퍼 내경의 모든 레이디얼 평면에 적용한다.

주2) 직경

비고 양기호

기준 테이퍼 비율 $\frac{1}{12}$ 에서는 $d_1 = d + \frac{1}{12}B$

기준 테이퍼 비율 $\frac{1}{30}$ 에서는 $d_1 = d + \frac{1}{30}B$

Δ dmp : 테이퍼 내경의 이론상, 작은 단면에 대한 평면내 평균 내경의 치수차

Δ dmp : 테이퍼 내경의 이론상, 큰 단면에 대한 평면내 평균 내경의 치수차

Vdp : 평면내 내경 부동

B : 호칭 내륜 폭

α : 테이퍼 구멍의 호칭 테이퍼 각도의 $\frac{1}{2}$

기준 테이퍼 비율 $\frac{1}{12}$ 에서는 α = 2°23'9.4"

기준 테이퍼 비율 $\frac{1}{30}$ 에서는 α = 0°57'7.4"

● 베어링의 정밀도

6.3 정밀도의 측정방법

구름 베어링의 측정방법은 JIS B 1515에 참고로서 규정되어 있다.

여기에서는 회전 정밀도의 측정방법 가운데, 주된 것을 표6.12에서 나타냈다.

표6.12 회전 정밀도의 측정방법

정밀도의 특성	측 정 방 법	
내륜의 레이디얼 흔들림 (Kia)		내륜의 레이디얼 흔들림은 내륜을 1회전 시킬 때, 측정량의 최대치와 최소치의 차
외륜의 레이디얼 흔들림 (Kea)		외륜의 레이디얼 흔들림은 외륜을 1회전 시킬 때, 측정량의 최대치와 최소치의 차
내륜의 액시얼 흔들림 (Sia)		내륜의 액시얼 흔들림은 내륜을 1회전 시킬 때, 측정량의 최대치와 최소치의 차
외륜의 액시얼 흔들림 (Sea)		외륜의 액시얼 흔들림은 외륜을 1회전 시킬 때, 측정량의 최대치와 최소치의 차
내륜의 가로 흔들림 (Sd)		내륜의 가로 흔들림은 내륜을 테이퍼 맨드릴과 함께 1회전 시킬 때, 측정량의 최대치와 최소치의 차
외륜의 외경면 기울기 (SD)		외륜의 외경면 기울기는 받침쇠에 따라 1회전 시켰을 때, 측정량의 최대치와 최소치의 차

● 끼워맞춤

7. 끼워맞춤

7.1 끼워맞춤에 대하여

구름 베어링은 내륜 및 외륜을 베어링 또는 하우징에 고정하여 하중을 받았을 때, 궤도륜과 축 또는 하우징의 끼워맞춤 면에서 레이디얼 방향, 액시얼 방향 및 회전 방향에 상대적인 작용이 발생하지 않게끔 한다. 끼워맞춤에는 간섭량의 유무 따라, 『억지 끼워맞춤』, 『중간 끼워맞춤』, 『헐거운 끼워맞춤』이 있다.

베어링을 고정함에 있어서는 궤도륜과 축 또는 하우징과의 끼워맞춤면에 간섭을 주어, 억지 끼워맞춤으로 하는 것이 가장 좋은 방법이다. 또 이 방법은 얇은 두께의 궤도륜이 원주 전체에 균등한 하중을 받기 때문, 베어링의 하중 능력을 잃지 않는 잇점이 있다. 한편, 억지 끼워맞춤은 베어링의 조립, 해체작업이 어렵고 자유축 베어링으로서 비분리 베어링을 이용할 때에는 액시얼 방향의 이동이 불가능하기 때문, 모든 용도에 이용할 수만은 없다.

7.2 적절한 끼워맞춤의 필요성

부적절한 끼워맞춤의 베어링의 파손과 단수명이 될 경우가 있기 때문, 선정에는 충분한 검토가 필요하다. 부적절한 끼워맞춤이 기인되어, 다음과 같은 파손 사례가 있다.

- 궤도륜의 깨짐, 조기 플레이킹 및 궤도륜의 이동
- 크리이프, fretting에 의한 궤도륜 및 축, 하우징의 마모
- 내부 틈새의 과소로 인한 타붙음
- 궤도 그루우브의 변형에 의한 회전 정밀도 불량, 음향 불량

이들의 현상에 대해서는 A-89~A-90쪽에 기재되어 있으니, 참조 바랍니다.

7.3 끼워맞춤의 선정

적절한 끼워맞춤을 선정하기 위해서는 베어링의 사용조건을 충분히 검토할 필요가 있다.

- 축 및 하중의 재질, 두께, 마무리 정밀도 등
- 기계의 사용조건(하중의 성질과 크기, 회전수, 온도 등)

7.3.1 『억지 끼워맞춤』, 『헐거운 끼워맞춤』의 사용 구분

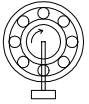
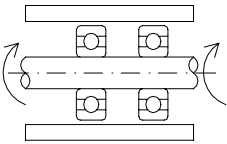
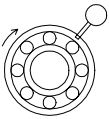
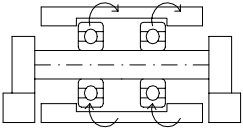
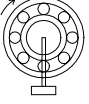
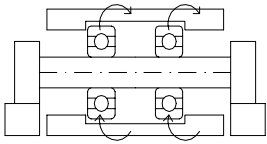

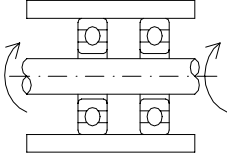
(1) 전 하중이 작용하는 궤도륜은 『억지 끼워맞춤』으로 할 필요가 있다(표7.1 참조). "회전 하중이 작용하는 궤도륜이란 대상으로 한 궤도륜에 대하여 레이디얼 하중이 작용하는 방향이 상대적으로 회전하는 것을 뜻한다.

<예> 내륜회전하중 : 내륜에 대하여 레이디얼 하중이 작용하는 방향이 상대적으로 회전한다.

(2) 깊은 홈 볼 베어링의 대표적인 비분리형 베어링은 내륜 또는 외륜의 어느 쪽 한쪽을 『헐거운 끼워맞춤』으로 하는 것이 일반적이다.

● 끼워맞춤

표 7.1 레이디얼 하중의 성질과 끼워맞춤

그림 예	회전의 구분	하중의 성질	끼워맞춤
정지 하중 	 내륜 회전 외륜 정지	내륜 회전 하중 외륜 정지 하중	내륜: 억지 끼워맞춤 외륜: 헐거운 끼워맞춤
불균형 하중 	 내륜 정지 외륜 회전		
정지 하중 	 내륜 정지 외륜 회전	내륜 정지 하중 외륜 회전 하중	내륜: 헐거운 끼워맞춤 외륜: 억지 끼워맞춤
불균형 하중 	 내륜 회전 외륜 정지		

● 끼워맞춤

7.3.2 추천 끼워맞춤

끼워맞춤은 축 외경 하우스 내경의 치수 공차를 선정하는 것으로 정해진다. **그림 7.1**에 자주 사용되는 축 외경 및 하우스 내경의 치수 공차와 정밀도 등급 0급 베어링과의 끼워맞춤 관계를 나타냈다.

각종 베어링의 각종 사용조건에 대한 끼워맞춤의 일반기준을 **표 7.2~7.7**에 나타냈다.

표 7.2: 레이디얼 베어링의 끼워맞춤

표 7.3: 스러스트 베어링의 끼워맞춤

표 7.4: 전동기용 베어링의 끼워맞춤

표 7.6: 인치계열 테이퍼 로울러 베어링(ANSI Class 4)의 끼워맞춤

표 7.7: 인치계열 테이퍼 로울러 베어링(ANSI Class 3, Class 0)의 끼워맞춤

또, **표 7.5**에 끼워맞춤 수치표를 기재했다.

특수한 사용조건에서의 끼워맞춤은 **NTN** 으로 문의 바랍니다.

7.3.3 간섭량의 하한치와 상한치

사용상, 간섭량을 필요로 할 경우에는 다음 항목을 고려하여 간섭량을 설정한다.

- 하한치는 ①레이디얼 하중에 의한 간섭량의 감소
②온도차에 의한 간섭량의 감소
③끼워맞춤면의 거칠기에 의한 간섭량의 감소를 예상하여 설정한다.
- 상한치는 축경의 1/1 000 이하를 목표로 한다.

필요한 간섭량의 계산식을 다음에 나타냈다.

(1) 레이디얼 하중과 필요 간섭량

베어링에 레이디얼 하중이 작용할 경우, 내륜과 축의 간섭량이 감소한다. 유효 간섭량의 확보를 위한 필요 간섭량을 식 (7.1), (7.2)에 나타냈다.

$$\begin{aligned} \Delta dF &= 0.08 (d \cdot Fr / B)^{1/2} \\ &= 0.25 (d \cdot Fr / B)^{1/2} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} N \\ \{kgf\} \end{array} \right\} \dots\dots (7.1)$$

Fr > 0.3 Cor のとき

$$\begin{aligned} \Delta dF &= 0.02 (Fr / B) \\ &= 0.2 (Fr / B) \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} N \\ \{kgf\} \end{array} \right\} \dots\dots (7.2)$$

여기에서,

Δdf : 레이디얼 하중에 의한 필요 유효 간섭량 μm

d : 베어링 내경 mm

B : 내륜 폭 mm

Fr : 레이디얼 하중 N {kgf}

Cor : 기본정 정격하중 N {kgf}

(2) 온도차와 필요 간섭량

베어링 회전시의 발열에 의하여 내륜과 축에 온도차가 발생할 경우, 내륜과 축의 간섭량이 감소한다. 여기서, 베어링의 온도와 주위온도의 차를 ΔT 라고 하면, 유효 간섭량의 확보를 위한 필요 간섭량을 식(7.3)에 나타냈다.

$$\Delta dT = 0.0015 \cdot d \cdot \Delta T \dots\dots\dots (7.3)$$

ΔdT : 온도차에 의한 필요 유효 간섭량 μm

ΔT : 베어링 온도와 주위 온도의 차 $^{\circ}C$

d : 베어링 내경 mm

● 끼워맞춤

(3) 끼워맞춤면의 면 거칠기와 필요 간섭량

끼워맞춤에 따라서는 끼워맞춤면이 매끄러워지기 때문에(면 거칠기가 작아진다), 간섭량이 감소한다. 간섭량의 감소량은 끼워맞춤면의 거칠기에 따라 달라지고 일반적으로는 다음에 나타난 감소량을 예상할 필요가 있다.

연삭축 : 1.0~2.5 μ m

선삭축 : 5.0~7.0 μ m

(4) 최대 간섭량

간섭량을 주어 조립된 퀘도륜에는 인장응력 또는 압축응력이 작용하기 때문에, 과도한 간섭량은 퀘도륜의 수명 저하의 원인이 된다. 앞에서 서술한 상한치를 목표로 하여 주십시오.

7.3.4 그 외

(1) 큰 간섭량을 필요로 할 경우

- 큰 진동과 충격하중이 작용할 때
- 중공축과 얇은 두께의 하우징을 사용할 때
- 경합금재 또는 수지재의 하우징을 사용할 때

(2) 간섭량을 작게 할 경우

- 높은 회전 정밀도가 요구될 때
- 소경 베어링 또는 얇은 두께의 베어링을 사용할 때

(3) 끼워맞춤의 선정은 베어링 내부틈새의 선정에 영향을 주기 때문에, 검토가 필요하다. (A-54쪽 참조)

(4) SL 타입 실린드릭얼 로울러 베어링에는 고유의 끼워맞춤을 추천한다. (C-40쪽 참조)

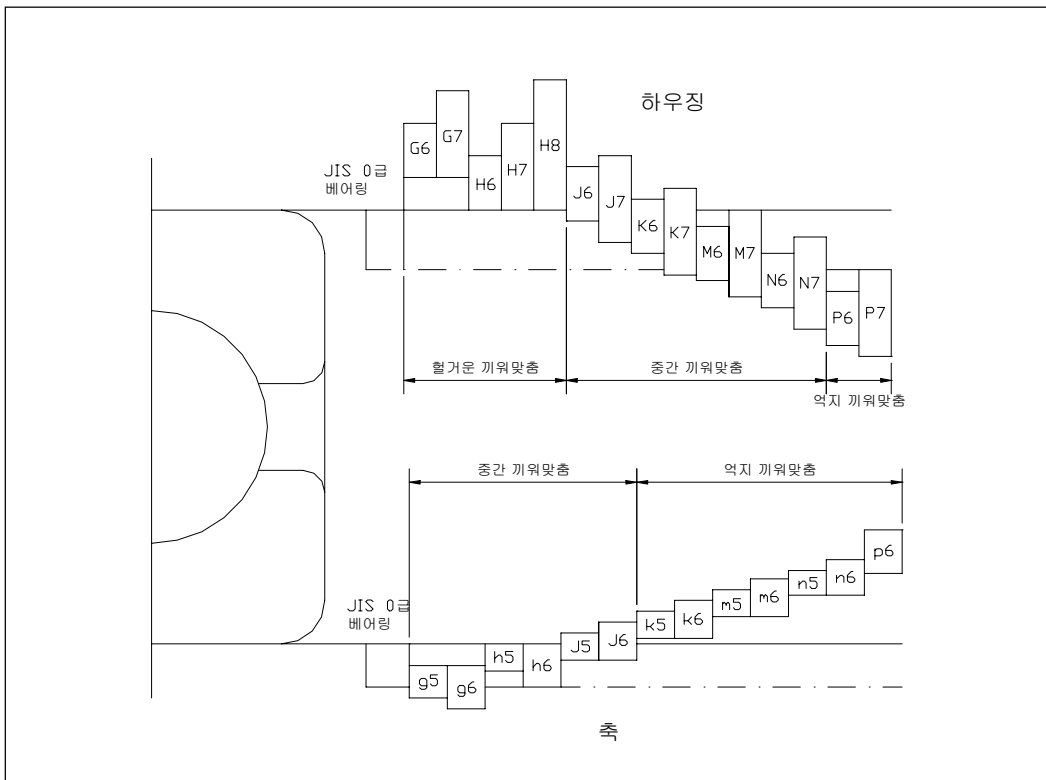


그림7.1 끼워맞춤의 상태

● 끼워맞춤

표7.2 레이디얼 베어링의 끼워맞춤 일반 기준 (JIS 0급, 6×급, 6급)

표7.2 (1) 레이디얼 베어링 (0급, 6×급, 6급)에 대하여, 상용하는 축의 공차역 등급

조	건	볼 베어링		실린드릭럴 로울러 베어링 테이퍼 로울러 베어링		스페리컬 로울러 베어링		축의공차역 등급	비 고			
		축경(mm)										
		초과	이하	초과	이하	초과	이하					
실린드릭럴 로울러 베어링 (0급, 6×급, 6급)												
내 륜 회 전 하 중 또는 방 향 부 정 하 중	경하중 ¹⁾ 또는 변동 하중	— 18 100 —	18 100 200 —	— — 40 140	— — — —	— — — —	— — — —	h5 js6 k6 m6	정밀을 요할 경우, js6, k6, m6 대신에 js5, k5, m6를 이용할 수 있다.			
	보통 하중 ¹⁾	18 100 140 200 — —	18 100 140 200 280 —	— — 40 100 140 200 —	— 40 100 140 200 —	— — 40 65 100 140 280 500	— — 40 65 100 140 280 500	js5 k5 m5 m6 n6 p6 r6		단열 앵글러 볼 베어링 및 테이퍼 로울러 베어링의 경우, 끼워맞춤에 의한 내부 틈새의 변화를 고려할 필요가 없기 때문, k5, m6를 k6, m6으로 해도 좋다.		
		중 하중 ¹⁾ 또는 충격 하중	— — —	— — —	50 140 200	140 200 —	50 100 140 140	100 140 200 200			n6 p6 r6	보통 틈새의 베어링보다 큰 내부 틈새의 베어링을 필요로 한다.
		내 륜 정 지 하 중	내륜이 축 위를 쉽게 이동할 필요가 있음	모든 축경							g6	
내 륜 정 지 하 중	내륜이 축 위를 쉽게 이동할 필요가 없음	모든 축경						h6	정밀을 요할 경우, h5를 이용한다.			
중심 액시얼 하중		모든 축경						js6				
테이퍼 내경 베어링(0급) (어댑터 타입 또는 해체 슬리브 타입)												
모든 하중		모든 축경						h9/IT5 ²⁾	전도축 등에는 h ₁₀ /IT7 ²⁾ 으로 해도 좋다.			

- 1) 경하중, 보통하중 및 중하중은 동등가 레이디얼 하중이 작용하는 베어링의 기본 동 레이디얼 정격하중을 각각 6% 이하, 6%를 초과하고, 12% 이하 및 12%를 초과하는 하중을 말한다.
 2) IT5 및 IT7은 축의 진원도 공차, 원통도 공차 등의 값을 나타낸다. 비고 상기의 표는 강제의 중실축에 적용한다.

표7.2 (2) 축과의 끼워맞춤 [테이퍼 내경 베어링(0급에서) 어댑터 포함/해체 슬리브 포함의 끼워맞춤]

모든 하중	모든 베어링 형식	모든 축경	공차역 등급	h9 / IT5 ²⁾	일반 용도
				h10 / IT7 ²⁾	전도축 등

- 주1) 경하중, 보통하중, 중하중의 목표
 중하중 동등가 레이디얼 하중 ≤ 0.06Cr
 보통하중 0.06Cr < 동등가 레이디얼 하중 ≤ 0.12Cr
 중하중 0.12Cr < 동등가 레이디얼 하중
 주2) IT5 및 IT7은 축의 진원도 공차, 원통도 공차 등의 값을 나타낸다.
 비고 상기의 표는 강제의 중실축에 적용한다.

● 끼워맞춤

표7.2 (3) 레이디얼 베어링 (0급, 6×급, 6급)에 대하여, 상용하는 하우징 내경의 공차역 등급

조 건			하우징 내경의 공차역 등급	비 고	
하 우 징	하중의 종류 등	외륜의 액시얼 방향 이동에 대하여 ³⁾			
일체형 하우징 또는 2분할형 하우징	외륜정지하중	모든 종류의 하중	H7	대형 베어링이나 외륜과 하우징의 온도차가 클 경우, G7이라도 좋다.	
		경하중 ¹⁾ 또는 보통하중 ¹⁾	H8	—	
		축과 내륜의 온도가 높아진다.	G7	대형 베어링이나 외륜과 하우징의 온도차가 클 경우, F7이라도 좋다.	
일체형 하우징	외륜회전하중	경하중 또는 보통하중에서 정밀회전을 요한다.	K6	주로, 로울러 베어링에 적용한다.	
			쉽게 이동할 수 있다.		JS6
		정속한 운전을 요한다.	H6	—	
	방향부정하중	경하중 또는 보통 하중	통상, 이동할 수 있다.	JS7	정밀을 요할 경우, JS7, K7 대신에 JS6, K6을 이용한다.
		보통하중 및 중하중 ¹⁾	운척적으로 이동할 수 없다.	K7	
		큰 충격하중	이동할 수 없다.	M7	—
	외륜회전하중	경하중 또는 변동하중	이동할 수 없다.	M7	—
		보통하중 또는 중하중	이동할 수 없다.	N7	주로, 볼 베어링에 적용한다.
		얇은 두께의 하우징에 중하중 또는 큰 충격하중	이동할 수 없다.	P7	주로, 볼 베어링에 적용한다.

1) 표8.2의 1에 의한다.

3) 비분리형 베어링에 대하여, 외륜이 액시얼 방향으로 이동이 가능한지, 불가능한지의 구별을 나타낸다.

비고1. 상기의 표는 강제 또는 주철제 하우징에 적용한다.

2. 중심 액시얼 하중만이 베어링에 걸릴 경우, 외륜에 레이디얼 방향의 틈새를 주계공, 공차역 등급을 선정한다.

● 끼워맞춤

표 7.3 스퍼스트 베어링의 끼워맞춤 일반기준(JIS 0급, 6급)

표 7.3 (1) 축과의 끼워맞춤

베어링 형식	하중조건		끼워맞춤	축경 mm		공차역 등급
				초과	이하	
스퍼스트 베어링 전반	중심 액시얼 하중만		중간 끼워맞춤	모든 축경		js6 또는 h6
스퍼스트 스페리컬 로울러 베어링	합	내륜 정지 하중	중간 끼워맞춤	모든 축경		js6
	성	내륜 회전 하중	중간 끼워맞춤	-	~200	k6 또는 js6
	하	또는	억지 끼워맞춤	200	~400	m6 또는 k6
중	방향 부정 하중	400		~	n6 또는 m6	

표 7.3 (2) 하우징과의 끼워맞춤

베어링 형식	하중조건		끼워맞춤	공차역 등급	비 고
스퍼스트 베어링 전반	중심 액시얼 하중만		헐거운 끼워맞춤	H8	외륜과 하우징에 틈새를 주게끔, 공차역 등급을 쟀 스퍼스트 볼 베어링에서 정밀도를 요할 경우 적용
스퍼스트 스페리컬 로울러 베어링	합	외륜정지하중		H7	
	성	방향부정하중	중간 끼워맞춤	K7	보통 사용조건에 적용
	하	또는		M7	비교적 레이디얼 하중이 클 경우에 적용
	중	외륜회전하중			

표 7.4 전동기용 베어링의 끼워맞춤

베어링 형식	축과의 끼워맞춤		하우징과의 끼워맞춤	
	축경 mm 초과	이하	공차역 등급	하우징 내경
깊은 홈 볼 베어링	~ 18		j5	모든 치수
	18~100		k5	
	100~160		m5	
실린드릭 로울러 베어링	~ 40		k5	모든 치수
	40~160		m5	
	160~200		n6	

● 끼워맞춤

표 7.5 (1) 축과의 끼워맞춤

단위 μm

호칭 베어링 내경 d mm	평균 내경 ¹⁾ 의 치수차 Δdmp		g5	g6	h5	h6	j5	js5	j6	js6	k5	k6	m5	m6	n6	p6	r6	호칭 베어링 내경 d mm			
	초과	이하	상	하	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축	베어링 축		초과	이하	
3	6	0	-8	4T~9L	4T~12L	8T~5L	8T~8L	11T~2L	10.5T~2.5L	14T~2L	12T~4L	14T~1T	17T~1T	17T~4T	20T~4T	24T~8T	28T~12T	-	-	3	6
6	10	0	-8	3T~11L	3T~14L	8T~6L	8T~9L	12T~2L	11T~3L	15T~2L	12.5T~4.5L	15T~1T	20T~6T	20T~6T	23T~6T	27T~10T	32T~15T	-	-	6	10
10	18	0	-8	2T~14L	2T~17L	8T~8L	8T~11L	13T~13L	12T~4L	16T~3L	13.5T~5.5L	17T~1T	23T~7T	23T~7T	26T~7T	31T~12T	37T~18T	-	-	10	18
18	30	0	-10	3T~16L	3T~20L	10T~9L	10T~13L	15T~4L	14.5T~4.5L	19T~4L	16.5T~6.5L	21T~2T	27T~8T	27T~8T	31T~8T	38T~15T	45T~22T	-	-	18	30
30	50	0	-12	3T~20L	3T~25L	12T~11L	12T~16L	18T~5L	17.5T~5.5L	23T~5L	20T~8L	25T~2T	32T~9T	32T~9T	37T~9T	45T~17T	54T~26T	-	-	30	50
50	80	0	-15	5T~23L	5T~29L	15T~13L	15T~19L	21T~7L	21.5T~6.5L	27T~7L	24.5T~9.5L	30T~2T	39T~11T	39T~11T	45T~11T	54T~20T	66T~32T	-	-	50	80
80	120	0	-20	8T~27L	8T~34L	20T~15L	20T~22L	26T~9L	27.5T~7.5L	33T~9L	31T~11L	38T~3T	48T~13T	48T~13T	55T~13T	65T~23T	79T~37T	-	-	80	120
120	140	0	-25	11T~32L	11T~39L	25T~18L	25T~25L	32T~11L	34T~9L	39T~11L	37.5T~12.5L	46T~3T	58T~15T	58T~15T	65T~15T	77T~27T	93T~43T	113T~63T	120	140	
140	160																	115T~65T	140	160	
160	180																	118T~68T	160	180	
180	200	0	-30	15T~35L	15T~44L	30T~20L	30T~29L	37T~13L	40T~10L	46T~13L	44.5T~14.5L	54T~4T	67T~17T	67T~17T	76T~17T	90T~31T	109T~50T	136T~77T	180	220	
200	225																	139T~80T	200	225	
225	250																	143T~84T	225	250	
250	280	0	-35	18T~40L	18T~49L	35T~23L	35T~32L	42T~16L	46.5T~11.5L	51T~16L	51T~16L	62T~4T	78T~20T	78T~20T	87T~20T	101T~34T	123T~56T	161T~94T	250	280	
280	315																	165T~98T	280	315	
315	355	0	-40	22T~43L	22T~54L	40T~25L	40T~36L	47T~18L	52.5T~12.5L	58T~18L	58T~18L	69T~4T	86T~21T	86T~21T	97T~21T	113T~37T	138T~62T	184T~108T	315	355	
355	400																	190T~114T	355	400	
400	450	0	-45	25T~47L	25T~60L	45T~27L	45T~40L	52T~20L	58.5T~13.5L	65T~20L	65T~20L	77T~5T	95T~23T	95T~23T	108T~23T	125T~40T	153T~68T	211T~126T	400	450	
450	500																	217T~132T	450	500	

주1) 테이퍼 로울러 베어링의 호칭 베어링 내경 d가 30mm 이하는 이 허용차와 다르다.

표 7.5 (2) 하우징과의 끼워맞춤

단위 μm

호칭 베어링 내경 D mm	평균 외경 ¹⁾ 의 치수차 ΔDmp		G7	H6	H7	J6	J7	Js7	K6	K7	M7	N7	P7	호칭 베어링 외경 D mm		
	초과	이하	상	하	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링	하우징 베어링		초과	이하
6	10	0	-8	5L~28L	0~17L	0~23L	4T~23L	7T~16L	7.5T~15.5L	7T~10L	10T~13L	15T~8L	19T~4L	24T~1L	6	10
10	18	0	-8	6L~32L	0~19L	0~26L	5T~14L	8T~18L	9T~17L	9T~10L	12T~14L	18T~8L	23T~3L	29T~3L	10	18
18	30	0	-9	7L~37L	0~22L	0~30L	5T~17L	9T~21L	10.5T~19.5L	11T~11L	15T~15L	21T~9L	28T~2L	35T~5L	18	30
30	50	0	-11	9L~45L	0~27L	0~36L	6T~21L	11T~25L	12.5T~23.5L	13T~14L	18T~18L	25T~11L	33T~3L	42T~6L	30	50
50	80	0	-13	10L~53L	0~32L	0~43L	6T~26L	12T~31L	15T~28L	15T~17L	21T~22L	30T~13L	39T~4L	52T~8L	50	80
80	120	0	-15	12L~62L	0~37L	0~50L	6T~31L	13T~37L	17.5T~32.5L	18T~19L	25T~25L	35T~15L	45T~5L	59T~9L	80	120
120	150	0	-18	14L~72L	0~43L	0~58L	7T~36L	14T~44L	20T~38L	21T~22L	28T~30L	40T~18L	52T~6L	68T~10L	120	150
150	180	0	-25	14L~79L	0~50L	0~65L	7T~43L	14T~51L	20T~45L	21T~29L	28T~37L	40T~25L	52T~13L	68T~3L	150	180
180	250	0	-30	15L~91L	0~59L	0~76L	7T~52L	16T~60L	23T~53L	24T~35L	33T~43L	46T~30L	60T~16L	79T~3L	180	250
250	315	0	-35	17L~104L	0~67L	0~87L	7T~60L	16T~71L	26T~61L	27T~40L	36T~51L	52T~35L	66T~21L	88T~1L	250	315
315	400	0	-40	18L~115L	0~76L	0~97L	7T~69L	18T~79L	28.5T~68.5L	29T~47L	40T~57L	57T~40L	73T~24L	98T~1L	315	400
400	500	0	-45	20L~128L	0~85L	0~108L	7T~78L	20T~88L	31.5T~76.5L	32T~53L	45T~63L	63T~45L	80T~28L	108T~0	400	500

주2) 테이퍼 로울러 베어링의 호칭 베어링 외경 D가 150mm 이하는 이 허용차와 다르다. 비교 끼워맞춤 기호 "L"은 틈새, "T"는 간섭량을 나타낸다.

● 끼워맞춤

표7.6 인치계열 테이퍼 로울러 베어링의 끼워맞춤 일반표준 (ANSI CLASS 4)

표7.6 (1) 축과의 끼워맞춤

단위 μm

사용 조건	호칭 베어링 내경 d mm 초과 이하	내경 치수차 Δd_s		축경의 치수 허용차		끼워맞춤 ¹⁾	비 고	
		상	하	상	하			
내 륜 회 전	보통 하중	~ 76.2	+13	0	+ 38	+ 25	38T~ 12T	작은 충격하중이 작용할 경우에도 적용할 수 있다.
		76.2~ 304.8	+25	0	+ 64	+ 38	64T~ 13T	
		304.8~ 609.6	+51	0	+127	+ 76	127T~ 25T	
		609.6~ 914.4	+76	0	+190	+114	190T~ 38T	
하 중	중 하 중 충격하중	~ 76.2	+13	0	+ 64	+ 38	38T~ 12T	내륜 내경 1mm당 0.5 μm 의 평균 간섭량으로 한다. 최소 간섭량은 25 μm 으로 하고 축의 치수 공차 범위는 베어링 내경 허용차 범위로 맞춘다.
		76.2~ 304.8	+25	0				
		304.8~ 609.6	+51	0				
		609.6~ 914.4	+76	0				
외 륜 회 전	보통 하중에서 내륜이 축 위를 이동할 필요가 없을 경우	~ 76.2	+13	0	+ 13	0	13T~ 13L	충격하중이 작용할 경우 에는 적용할 수 없다.
		76.2~ 304.8	+25	0	+ 25	0	25T~ 25L	
		304.8~ 609.6	+51	0	+ 51	0	51T~ 51L	
		609.6~ 914.4	+76	0	+ 76	0	76T~ 76L	
하 중	보통 하중에서 내륜이 축 위를 이동할 필요가 있을 경우	~ 76.2	+13	0	0	- 13	0~ 13L	
		76.2~ 304.8	+25	0	0	- 25	0~ 50L	
		304.8~ 609.6	+51	0	0	- 51	0~ 102L	
		609.6~ 914.4	+76	0	0	- 76	0~ 152L	

표7.6 (2) 하우징과의 끼워맞춤

단위 μm

사용 조건	호칭 베어링 외경 D mm 초과 이하	외경 치수차 ΔD_s		하우징 내경의 치수 허용차		끼워맞춤 ¹⁾	끼워맞춤의 종류	
		상	하	상	하			
내 륜 회 전	자유축 또는 고정축에 사용 할 경우	~ 76.2	+25	0	+ 76	+ 51	26L~ 76L	헐거운 끼워맞춤
		76.2~ 127.0	+25	0	+ 76	+ 51	26L~ 76L	
		127.0~ 304.8	+25	0	+ 76	+ 51	26L~ 76L	
		304.8~ 609.6	+51	0	+152	+102	51L~152L	
하 중	외륜을 액시얼 방향으로 조정 할 경우	~ 76.2	+25	0	+ 25	0	25T~ 25L	중간 끼워맞춤
		76.2~ 127.0	+25	0	+ 25	0	25T~ 25L	
		127.0~ 304.8	+25	0	+ 51	0	25T~ 51L	
		304.8~ 609.6	+51	0	+ 76	+ 26	25T~ 76L	
외 륜 회 전	외륜을 액시얼 방향으로 조정 하지 않을 경우	~ 76.2	+25	0	- 13	- 38	63T~ 13T	억지 끼워맞춤
		76.2~ 127.0	+25	0	- 25	- 51	76T~ 25T	
		127.0~ 304.8	+25	0	- 25	- 51	76T~ 25T	
		304.8~ 609.6	+51	0	- 25	- 76	127T~ 25T	
하 중	외륜을 액시얼 방향으로 조정 하지 않을 경우	609.6~ 914.4	+76	0	- 25	-102	178T~ 25T	
		~ 76.2	+25	0	- 13	- 38	63T~ 13T	
		76.2~ 127.0	+25	0	- 25	- 51	76T~ 25T	
		127.0~ 304.8	+25	0	- 25	- 51	76T~ 25T	
외 륜 회 전	외륜을 액시얼 방향으로 조정 하지 않을 경우	304.8~ 609.6	+51	0	- 25	- 76	127T~ 25T	
		609.6~ 914.4	+76	0	- 25	-102	178T~ 25T	
		~ 76.2	+25	0	- 13	- 38	63T~ 13T	
		76.2~ 127.0	+25	0	- 25	- 51	76T~ 25T	
하 중	외륜을 액시얼 방향으로 조정 하지 않을 경우	127.0~ 304.8	+25	0	- 25	- 51	76T~ 25T	
		304.8~ 609.6	+51	0	- 25	- 76	127T~ 25T	
		609.6~ 914.4	+76	0	- 25	-102	178T~ 25T	
		~ 76.2	+25	0	- 13	- 38	63T~ 13T	

주1) 끼워맞춤의 기호 "L"은 틈새, "T"는 간섭량을 나타낸다.

● 끼워맞춤

표7.7 인치계열 테이퍼 로울러 베어링의 끼워맞춤 일반표준 (ANSI CLASS 3, CLASS 0)

표7.7 (1) 축과의 끼워맞춤

단위 μm

사용 조건	호칭 베어링 외경 d mm 초과 이하	외경 치수차 Δds		축경의 치수 허용차		끼워맞춤 ¹⁾	
		상	하	상	하		
내 륜 회 전 중	정밀한	~ 304.8	+13	0	+ 30	+ 51	30T ~ 5T
	공작기계의	304.8~ 609.6	+25	0	+ 64	+ 51	64T ~ 13T
	주축	609.6~ 914.4	+38	0	+102	+152	102T ~ 26T
중	중하중	~ 76.2	+13	0	내륜 내경 1mm 당 0.25 μm 를 최소 간섭량으로 한다.		
	충격하중	76.2~ 304.8	+13	0			
	고속회전	304.8~ 609.6 609.6~ 914.4	+25 +38	0 0			
외 륜 회 전 하 중	정밀한	~ 76.2	+13	0	- 13	0	30T ~ 5T
	공작기계의	304.8~ 609.6	+25	0	- 25	0	64T ~ 13T
	주축	609.6~ 914.4	+38	0	- 25	0	102T ~ 26T

비고 CLASS 0의 경우는 베어링 내경 d를 241.3mm 이하로 적용한다.

표7.7 (2) 하우징과의 끼워맞춤

단위 μm

사용 조건	호칭 베어링 외경 D mm 초과 이하	외경 치수차 ΔDs		하우징 내경의 치수 허용차		끼워맞춤 ¹⁾	끼워맞춤의 종류
		상	하	상	하		
내 륜 회 전 하 중	자유축에	~ 152.4	+13	0	+38	+25	헐거운 끼워맞춤
	사용할 경우	152.4~ 304.8	+13	0	+38	+25	
		304.8~ 609.6 609.6~ 914.4	+25 +38	0 0	+64 +89	+38 +51	
중	고정축에 사용	~ 152.4	+13	0	+25	+13	0 ~ 25L 0 ~ 25L 0 ~ 51L 0 ~ 76L
	할 경우	152.4~ 304.4	+13	0	+25	+13	
		304.8~ 609.6 609.6~ 914.4	+25 +38	0 0	+51 +76	+25 +38	
외 륜 회 전 하 중	외륜을 액시얼	~ 152.4	+13	0	+13	0	13T ~ 13L 13T ~ 13L 25T ~ 25L 38T ~ 38L
	방향으로 조정	152.4~ 304.4	+13	0	+13	0	
		304.8~ 609.6 609.6~ 914.4	+25 +38	0 0	+25 +38	0 0	
외 륜 회 전 하 중	외륜을 액시얼	~ 152.4	+13	0	0	-13	26T ~ 0 38T ~ 0 50T ~ 0 76T ~ 0
	방향으로 조정	152.4~ 304.4	+13	0	0	-25	
		304.8~ 609.6 609.6~ 914.4	+25 +38	0 0	0 0	-25 -38	
외 륜 회 전 하 중	보통 하중	~ 152.4	+13	0	-13	-25	38T ~ 13T 51T ~ 13T 63T ~ 13T 89T ~ 13T
	외륜을 액시얼	152.4~ 304.4	+13	0	-13	-38	
	방향으로 조정	304.8~ 609.6 609.6~ 914.4	+25 +38	0 0	-13 -13	-38 -51	

주1) 끼워맞춤의 기호 "L"은 틈새, "T"는 간섭량을 나타낸다.

비고 CLASS 0의 경우는 베어링 외경 D를 304.8mm 이하로 적용한다.

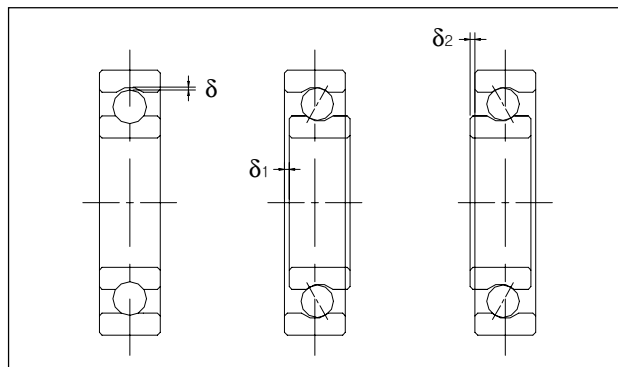
● 베어링의 내부틈새와 예압

8. 베어링의 내부틈새와 예압

8.1 베어링의 틈새

베어링 내부틈새란, 축 또는 하우징에 조립하기 전의 상태에서 **그림8.1**에 나타난 것과 같이 내륜 또는 외륜의 어느 쪽인가를 고정하여, 고정되어 있지 않은 궤도륜을 레이디얼 방향 또는 액시얼 방향으로 이동시켰을 때의 궤도륜의 이동량을 말한다. 이동시키는 방향에 따라, 각각 **레이디얼 내부틈새** 또는 **액시얼 내부틈새**라고 한다.

베어링 내부틈새를 측정할 경우는 측정치를 안정시키기 위하여 궤도륜에 측정하중을 가한다. 이 때문, 틈새의 측정치(측정 틈새)는 측정하중에 의한 탄성변형량 만큼 실제의 틈새치보다 커진다. 실제의 베어링 내부틈새는 이 탄성변형에 의한 틈새의 증가량을 **표8.1**에 의해 보정해야만 된다. 로울러 베어링에서는 이 탄성변형량은 무시할 수 있는 수치이다. 베어링 형식으로 베어링 내부틈새량을 **표8.3~8.11**에 나타냈다.



레이디얼 내부틈새= δ 액시얼 내부틈새= $\delta_1 + \delta_2$

그림8.1 베어링 내부틈새

표8.1 측정하중에 의한 레이디얼 내부틈새 보정량(깊은홈 볼 베어링) 단위

호칭 베어링 내경 d mm		측정하중 N {kgf}	내부틈새 보정량				
초과	이하		C2	CN	C3	C4	C5
10(을 포함)	18	24.5 {2.5}	3~4	4	4	4	4
18	50	49 {5}	4~5	5	6	6	6
20	200	147 {15}	6~8	8	9	9	9

표8.2 CN(보통) 틈새 이외의 틈새 적용 예

사용조건	적용 예	선정 내부틈새
중하중, 충격하중을 받으며, 간섭량이 크다.	철도차량용 차축	C3
	진동 스크린	C3, C4
방향 부정하중을 받으며, 내륜·외륜 모두 억지 끼워맞춤으로 한다.	철도차량 트랙션 모터	C4
	트랙터·중감속기	C4
축 또는 내륜이 가열된다.	제지기계·드라이어	C3, C4
	압연기 테이블 로울러	C3
회전시의 진동·소음을 낮춘다.	소형 전동기	C3, CM
축의 흔들림을 억제시키기 위해 틈새를 조정한다.	공작기계 주축(복열 실린드러)	C9NA,
	컬 로울러 베어링)	C0NA

● 베어링의 내부틈새와 예압

8.2 베어링의 내부틈새의 선정

베어링의 **운전상태에서의 틈새(운전틈새)**는 초기의 베어링 내부틈새 보다 끼워맞춤 및 내륜과 외륜의 온도차에 따라, **일반적으로는 작아진다**. 이 운전틈새도 베어링의 수명, 발열, 진동 또는 음향에도 영향을 주기 때문, 가장 적합하게 설정할 필요가 있다.

8.2.1 베어링 내부틈새의 선정기준

이론적으로 베어링의 **정상 운전상태에서의 운전틈새**가 약간 마이너스일 때 베어링 수명은 최대로 되지만, 실제로 이 최적조건을 항상 유지하는 것은 어렵다. 무엇인가의 사용조건에 변동에 의해, 마이너스의 틈새량이 커지면, 현저한 베어링 수명저하와 발열을 초래하게 되므로, 일반적으로는 **운전틈새가 0보다 약간 크게 되도록, 초기의 베어링 내부틈새를 선정한다**.

통상의 사용조건 즉, 보통 하중의 끼워맞춤을 이용하여 회전속도, 운전속도, 운전온도 등이 보통일 경우에는 보통틈새를 선정하는 것에 의해, 적절한 운전틈새를 얻을 수 있다.

표8.2에 CN(보통) 틈새 이외의 내부틈새를 적용하는 예를 나타낸다.

8.2.2 운전틈새의 계산

베어링의 운전틈새는 초기의 베어링 내부틈새와 간섭량에 의한 내부틈새의 감소량 및 내륜과 외륜의 온도차에 의한 내부틈새의 감소량으로 구할 수 있다.

$$\delta_{\text{eff}} = \delta_0 - (\delta_f + \delta_t) \cdots \cdots \cdots (8.1)$$

δ_{eff} : 운전틈새 mm

δ_0 : 베어링 내부틈새 mm

δ_f : 간섭량에 의한 내부틈새의 감소량 mm

δ_t : 내륜과 외륜의 온도차에 의한 내부틈새의 감소량 mm

(1) 간섭량에 의한 내부틈새의 감소량

간섭량을 주어, 베어링을 축 또는 하우징에 조립하면, 내륜은 팽창하고 외륜은 수축하기 때문, **베어링의 내부틈새는 감소 된다**.

내륜 또는 외륜의 팽창, 혹은 수축량은 베어링의 형식, 축 또는 하우징의 형상, 치수 및 재료에 따라 다르지만, 근사적으로는 **유효간섭량의 70~90%이다**.

$$\delta_t = (0.70 \sim 0.90) \Delta_{\text{deff}} \cdots \cdots \cdots (8.2)$$

δ_t : 간섭량에 의한 내부틈새의 간섭량 mm

Δ_{deff} : 유효간섭량 mm

● 베어링의 내부틈새와 예압

(2) 내륜과 외륜의 온도차에 의한 내부틈새의 감소량

베어링이 회전할 때는 일반적으로 외륜의 온도는 내륜 및 전동체의 온도보다 5~10°C 정도 낮아진다. 하우징으로부터의 방열이 클 때, 또는 축이 열원에 연결되어 있거나 증공축의 내부에 가열된 유체가 흐르면, 내륜과 외륜의 온도차는 더욱 커진다. 이 온도차에 의한 내륜과 외륜의 열팽창의 차이만큼, 내부틈새는 감소된다.

$$\delta t = \alpha \cdot \Delta T \cdot D_o \dots\dots\dots (8.3)$$

δt : 내륜과 외륜의 온도차에 의한 내부틈새의 감소량 mm

α : 베어링 재료의 선팽창 계수 $12.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

ΔT : 내륜과 외륜의 온도차 $^\circ\text{C}$

D_o : 외륜의 궤도경 mm

외륜의 궤도경 D_o 는 식(8.4), (8.5)로 근사치를 구할 수 있다. 볼 베어링 및 스피리컬 로울러 베어링에 대하여,

$$D_o = 0.20 (d + 4.0D) \dots\dots\dots (8.4)$$

로울러 베어링(스피리컬 로울러 베어링은 제외)에 대하여,

$$D_o = 0.25 (d + 3.0D) \dots\dots\dots (8.5)$$

d : 베어링 내경 mm

D : 베어링 외경 mm

표 8.3 깊은 홈 볼 베어링의 레이디얼 내부틈새

단위 μm

호칭 베어링 내경		C2		CN		C3		C4		C5	
d	mm	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
—	2.5	0	6	4	11	10	20	—	—	—	—
2.5	6	0	7	2	13	8	23	—	—	—	—
6	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140	160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	225	2	35	25	85	75	140	125	195	175	265
225	250	2	40	30	95	85	160	145	225	205	300
250	280	2	45	35	105	90	170	155	245	225	340
280	315	2	55	40	115	100	190	175	270	245	370
315	355	3	60	45	125	110	210	195	300	275	410
355	400	3	70	55	145	130	240	225	340	315	460
400	450	3	80	60	170	150	270	250	380	350	510
450	500	3	90	70	190	170	300	280	420	390	570
500	560	10	100	80	210	190	330	310	470	440	630
560	630	10	110	90	230	210	360	340	520	490	690

● 베어링의 내부틈새와 예압

표8.4 스페리컬 볼 베어링의 레이디얼 내부틈새

단위 μm

호칭 베어링 내경		스트레이트 내경 베어링										테이퍼 내경 베어링										호칭 베어링 내경	
d mm	mm 초과 이하	C2		CN		C3		C44		C5		C2		CN		C3		C4		C5		d mm 초과 이하	mm
		최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대		
2.5	6	1	8	5	15	10	20	15	25	21	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.5	6
6	10	2	9	6	17	12	25	19	33	27	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	10
10	14	2	10	6	19	13	26	21	35	30	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	14
14	18	3	12	8	21	15	28	23	37	32	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	18
18	24	4	14	10	23	17	30	25	39	34	52	7	17	13	26	20	33	28	42	37	55	18	24
24	30	5	16	11	24	19	35	29	46	40	58	9	20	15	28	23	39	33	50	44	62	24	30
30	40	6	18	13	29	23	40	34	53	46	66	12	24	19	35	29	46	40	59	52	72	30	40
40	50	6	19	14	31	25	44	37	57	50	71	14	27	22	39	33	52	45	65	58	79	40	50
50	65	7	21	16	36	30	50	45	69	62	88	18	32	27	47	41	61	56	80	73	99	50	65
65	80	8	24	18	40	35	60	54	83	76	108	23	39	35	57	50	75	69	98	91	123	65	80
80	100	9	27	22	48	42	70	64	96	89	124	29	47	42	68	62	90	84	116	109	144	80	100
100	120	10	31	25	56	50	83	75	114	105	145	35	56	50	81	75	108	100	139	130	170	100	120
120	140	10	38	30	68	60	100	90	135	125	175	40	68	60	98	90	130	120	165	155	205	120	140
140	160	15	44	35	80	70	120	110	161	150	210	45	74	65	110	100	150	140	191	180	240	140	160

표8.5 복열·조합 앵글러 볼 베어링의 레이디얼 내부틈새

단위 μm

호칭 베어링 내경		C1		C2		CN		C3		C4	
d mm	mm 초과 이하	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
		—	10	3	8	6	12	8	15	15	22
10	18	3	8	6	12	8	15	15	24	30	40
18	30	3	10	6	12	10	20	20	32	40	55
30	50	3	10	8	14	14	25	25	40	55	75
50	80	3	11	11	17	17	32	32	50	75	95
80	100	3	13	13	22	22	40	40	60	95	120
100	120	3	15	15	30	30	50	50	75	110	140
120	150	3	16	16	33	35	55	55	80	130	170
150	180	3	18	18	35	35	60	60	90	150	200
180	200	3	20	20	40	40	65	65	100	180	240

접촉각 기호	표준 접촉각	적용 틈새 ²⁾
C	15°	C1, C2
A ¹⁾	30°	C2, CN, C3
B	40°	CN, C3, C4

주1) 호칭번호에는 표시하지 않는다.

주2) 적용 틈새 이외에 대해서는 **NTN**으로 문의 바랍니다.

비고 상기 표는 베어링의 접촉각 크기에 따라, 아래 표와 같이 적용한다.

● 베어링의 내부틈새와 예압

표8.6 전동기용 베어링의 레이디얼 내부틈새 단위 μm

호칭 베어링 내경		CM 틈새				
		깊은 홈 볼 베어링		실린드릭얼 로울러 베어링		
		최소	최대	최소	최대	
d mm	초과	이하				
10(을 포함)	18		4	11	—	—
	18	24	5	12	—	—
	24	30	5	12	15	30
	30	40	9	17	15	30
	40	50	9	17	20	35
	50	65	12	22	25	40
	65	80	12	22	30	45
	80	100	18	30	35	55
	100	120	18	30	35	60
	120	140	24	38	40	65
	140	160	24	38	50	80
	160	180	—	—	60	90
	180	200	—	—	65	100

비고1. 틈새기호 "CM"은 베어링 호칭번호 뒤에 붙인다. 예: 6205ZZCM
 2. 실린드릭얼 로울러 베어링은 비 호환성 틈새이다.

표8.7 실린드릭얼 로울러 베어링 (스트레이트 내경)의 호환성 레이디얼 내부틈새 단위 μm

호칭 베어링 내경		C2		CN		C3		C4		C5		
		최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	
d mm	초과	이하										
—	10		0	25	20	45	35	60	50	75	—	—
	10	24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90
	24	30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95
	30	40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105
	40	50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125
	50	65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140
	65	80	10	45	40	75	65	100	90	125	130	165
	80	100	15	50	50	85	75	110	105	140	155	190
	100	120	15	55	50	90	85	125	125	165	180	220
	120	140	15	60	60	105	100	145	145	190	200	245
	140	160	20	70	70	120	115	165	165	215	225	275
	160	180	25	75	75	125	120	170	170	220	250	300
	180	200	35	90	90	145	140	195	195	250	275	330
	200	225	45	105	105	165	160	220	220	280	305	365
	225	250	45	110	110	175	170	235	235	300	330	395
	250	280	55	125	125	195	190	260	260	330	370	440
	280	315	55	130	130	205	200	275	275	350	410	485
	315	355	65	145	145	225	225	305	305	385	455	535
	355	400	100	190	190	280	280	370	370	460	510	600
	400	450	110	210	210	310	310	410	410	510	565	665
	450	500	110	220	220	330	330	440	440	550	625	735

● 베어링의 내부름새와 예압

표8.8 실린드릭얼 로울러 베어링의 비 호환성 레이디얼 내부름새

단위 μm

호칭 베어링 내경		스트레이트 내경 베어링																호칭 베어링 내경									
d mm	최소 최대	C1NA		C2NA		NA ¹⁾		C3NA		C4NA		C5NA		C9NA ²⁾		C0NA ²⁾		C1NA		C2NA		NA ¹⁾		C3NA		d mm	최소 최대
		최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대		
—	10	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	5	5	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	—	10		
10	18	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75	5	10	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	10	18
18	24	5	10	10	20	20	30	35	45	45	55	65	75	5	10	7	17	10	20	20	30	35	45	45	55	18	24
24	30	5	10	10	25	25	35	40	50	50	60	70	80	5	10	10	20	10	25	25	35	40	50	50	60	24	30
30	40	5	12	12	25	25	40	45	55	55	70	80	95	5	12	10	20	12	25	25	40	45	55	55	70	30	40
40	50	5	15	15	30	30	45	50	65	65	80	95	110	5	15	10	20	15	30	30	45	50	65	65	80	40	50
50	65	5	15	15	35	35	50	55	75	75	90	110	130	5	15	10	20	15	35	35	50	55	75	75	90	50	65
65	80	10	20	20	40	40	60	70	90	90	110	130	150	10	20	15	30	20	40	40	60	70	90	90	110	65	80
80	100	10	25	25	45	45	70	80	105	105	125	155	180	10	25	20	35	25	45	45	70	80	105	105	125	80	100
100	120	10	25	25	50	50	80	95	120	120	145	180	205	10	25	20	35	25	50	50	80	95	120	120	145	100	120
120	140	15	30	30	60	60	90	105	135	135	160	200	230	15	30	25	40	30	60	60	90	105	135	135	160	120	140
140	160	15	35	35	65	65	100	115	150	150	180	225	260	15	35	30	45	35	65	65	100	115	150	150	180	140	160
160	180	15	35	35	75	75	110	125	165	165	200	250	285	15	35	30	45	35	75	75	110	125	165	165	200	160	180
180	200	20	40	40	80	80	120	140	180	180	220	275	315	20	40	30	50	40	80	80	120	140	180	180	220	180	200
200	225	20	45	45	90	90	135	155	200	200	240	305	350	20	45	35	55	45	90	90	135	155	200	200	240	200	225
225	250	25	50	50	100	100	150	170	215	215	265	330	380	25	50	40	65	50	100	100	150	170	215	215	265	225	250
250	280	25	55	55	110	110	165	185	240	240	295	370	420	25	55	40	65	55	110	110	165	185	240	240	295	250	280
280	315	30	60	60	120	120	180	205	265	265	325	410	470	30	60	45	75	60	120	120	180	205	265	265	325	280	315
315	355	30	65	65	135	135	200	225	295	295	360	455	520	30	65	45	75	65	135	135	200	225	295	295	360	315	355
355	400	35	75	75	150	150	225	255	330	330	405	510	585	35	75	50	90	75	150	150	225	255	330	330	405	355	400
400	450	45	85	85	170	170	255	285	370	370	455	565	650	45	85	60	100	85	170	170	255	285	370	370	455	400	450
450	500	50	95	95	190	190	285	315	410	410	505	625	720	50	95	70	115	95	190	190	285	315	410	410	505	450	500

주1) CN 틸새기호는 "NA"이다. 예: NU310NA

2) C9NA, C0NA 및 C1NA 틸새는 JIS 5급 이상의 베어링에 적용한다.

● 베어링의 내부틀새와 예압

표8.9 복열 · 조합 테이퍼 로울러 베어링 (미터계열)의 액시얼 내부틀새

단위 μm

호칭 베어링 내경		접촉각 $\alpha > 27^\circ$ ($e > 0.76$)																호칭 베어링 내경	
		C2		CN		C3		C4		C2		CN		C3		C4			
d	mm	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	d	mm
초과	이하																	초과	이하
18	24	25	75	75	125	125	170	170	220	10	30	30	50	50	70	70	90	18	24
24	30	25	75	75	125	145	195	195	245	10	30	30	50	60	80	80	100	24	30
30	40	25	95	95	165	165	235	210	280	10	40	40	70	70	100	90	120	30	40
40	50	20	85	85	150	175	240	240	305	10	40	40	70	80	110	110	140	40	50
50	65	20	85	110	175	195	260	280	350	10	40	50	80	90	120	130	160	50	65
65	80	20	110	130	220	240	325	325	410	10	50	60	100	110	150	150	190	65	80
80	100	45	150	150	260	280	390	390	500	20	70	70	120	130	180	180	230	80	100
100	120	45	175	175	305	350	480	455	585	20	70	70	120	150	200	210	260	100	120
120	140	45	175	175	305	390	520	500	630	20	70	70	120	160	210	210	260	120	140
140	160	60	200	200	340	400	540	520	660	30	100	100	160	180	240	240	300	140	160
160	180	80	220	240	380	440	580	600	740	—	—	—	—	—	—	—	—	160	180
180	200	100	260	260	420	500	660	660	820	—	—	—	—	—	—	—	—	180	200
200	225	120	300	300	480	560	740	720	900	—	—	—	—	—	—	—	—	200	225
225	250	160	360	360	560	620	820	820	1 020	—	—	—	—	—	—	—	—	225	250
250	280	180	400	400	620	700	920	920	1 140	—	—	—	—	—	—	—	—	250	280
280	315	200	440	440	680	780	1 020	1 020	1 260	—	—	—	—	—	—	—	—	280	315
315	355	220	480	500	760	860	1 120	1 120	1 380	—	—	—	—	—	—	—	—	315	355
355	400	260	560	560	860	980	1 280	1 280	1 580	—	—	—	—	—	—	—	—	355	400
400	500	300	600	620	920	1 100	1 400	1 440	1 740	—	—	—	—	—	—	—	—	400	500

비고 1. 이 표는 카탈로그에 기재된 베어링에 적용하고 그 외의 베어링 및 인치계열 베어링에 대해서는 NTN으로 문의바랍니다.

2. 액시얼 내부틀새(Δr)의 관계는 $\Delta r = 0.667 \cdot e \cdot \Delta a$ 로 표시된다.

e : 정수(치수표 참조)

3. 베어링 계열 329x, 330, 322C, 323C에 대해서는 이 표를 적용하지 않는다.

● 베어링의 내부틈새와 예압

표8.10 스페리컬 로울러 베어링의 레이디얼 내부틈새

단위 μm

호칭 베어링 내경 d mm		스트레이트 내경 베어링										테이퍼 내경 베어링										호칭 베어링 내경 d mm	
		C2		CN		C3		C4		C5		C2		CN		C3		C4		C5			
초과	이하	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대	초과	이하
14	18	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	18
18	24	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75	15	25	25	35	35	45	45	60	60	75	18	24
24	30	15	25	25	40	40	55	55	75	75	95	20	30	30	40	40	55	55	75	75	95	24	30
30	40	15	30	30	45	45	60	60	80	80	100	25	35	35	50	50	65	65	85	85	105	30	40
40	50	20	35	35	55	55	75	75	100	100	125	30	45	45	60	60	80	80	100	100	130	40	50
50	65	20	40	40	65	65	90	90	120	120	150	40	55	55	75	75	95	95	120	120	160	50	65
65	80	30	50	50	80	80	110	110	145	145	180	50	70	70	95	95	120	120	150	150	200	65	80
80	100	35	60	60	100	100	135	135	180	180	225	55	80	80	110	110	140	140	180	180	230	80	100
100	120	40	75	75	120	120	160	160	210	210	260	65	100	100	135	135	170	170	220	220	280	100	120
120	140	50	95	95	145	145	190	190	240	240	300	80	120	120	160	160	200	200	260	260	330	120	140
140	160	60	110	110	170	170	220	220	280	280	350	90	130	130	180	180	230	230	300	300	380	140	160
160	180	65	120	120	180	180	240	240	310	310	390	100	140	140	200	200	260	260	340	340	430	160	180
180	200	70	130	130	200	200	260	260	340	340	430	110	160	160	220	220	290	290	370	370	470	180	200
200	225	80	140	140	220	220	290	290	380	380	470	120	180	180	250	250	320	320	410	410	520	200	225
225	250	90	150	150	240	240	320	320	420	420	520	140	200	200	270	270	350	350	450	450	570	225	250
250	280	100	170	170	260	260	350	350	460	460	570	150	220	220	300	300	390	390	490	490	620	250	280
280	315	110	190	190	280	280	370	370	500	500	630	170	240	240	330	330	430	430	540	540	680	280	315
315	355	120	200	200	310	310	410	410	550	550	690	190	270	270	360	360	470	470	590	590	740	315	355
355	400	130	220	220	340	340	450	450	600	600	750	210	300	300	400	400	520	520	650	650	820	355	400
400	450	140	240	240	370	370	500	500	660	660	820	230	330	330	440	440	570	570	720	720	910	400	450
450	500	140	260	260	410	410	550	550	720	720	900	260	370	370	490	490	630	630	790	790	1 000	450	500
500	560	150	280	280	440	440	600	600	780	780	1 000	290	410	410	540	540	680	680	870	870	1 100	500	560
560	630	170	310	310	480	480	650	650	850	850	1 100	320	460	460	600	600	760	760	980	980	1 230	560	630
630	710	190	350	350	530	530	700	700	920	920	1 190	350	510	510	670	670	850	850	1 090	1 090	1 360	630	710
710	800	210	390	390	580	580	770	770	1 010	1 010	1 300	390	570	570	750	750	960	960	1 220	1 220	1 500	710	800
800	900	230	430	430	650	650	860	860	1 120	1 120	1 440	440	640	640	840	840	1 070	1 070	1 370	1 370	1 690	800	900
900	1 000	260	480	480	710	710	930	930	1 220	1 220	1 570	490	710	710	930	930	1 190	1 190	1 520	1 520	1 860	900	1 000
1 000	1 120	290	530	530	780	780	1 020	1 020	1 330	1 330	1 720	530	770	770	1 030	1 030	1 300	1 300	1 670	1 670	2 050	1 000	1 120
1 120	1 250	320	580	580	860	860	1 120	1 120	1 460	1 460	1 870	570	830	830	1 120	1 120	1 420	1 420	1 830	1 830	2 250	1 120	1 250
1 250	1 400	350	640	640	950	950	1 240	1 240	1 620	1 620	2 080	620	910	910	1 230	1 230	1 560	1 560	2 000	2 000	2 470	1 250	1 400

표8.11 4점 접촉 볼 베어링의 액시얼 내부틈새

단위 μm

호칭 베어링 내경		C2		CN		C3		C4	
d	mm	최소	최대	최소	최대	최소	최대	최소	최대
초과	이하								
17	40	25	66	56	106	96	146	136	186
40	60	36	86	76	126	116	166	156	206
60	80	46	96	86	136	126	176	166	226
80	100	56	106	96	156	136	196	186	246
100	140	66	126	116	176	156	216	206	266
140	180	76	156	136	196	176	236	226	296
180	220	96	176	156	216	196	256	246	316

● 베어링의 내부틈새와 예압

8.3 베어링의 예압

일반적으로 베어링은 운전상태에서 약간의 내부틈새를 주어 사용하지만, 용도에 따라서는 미리 하중을 가하여, 베어링 내부틈새를 마이너스의 상태로 하여, 이용할 때도 있다. 이러한 베어링의 사용방법을 예압이라고 하며, 앵글러 볼 베어링, 테이퍼 로울러 베어링에 많이 적용된다.

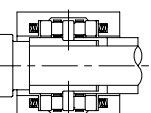
8.3.1 예압의 목적

베어링을 예압함에 따라, 전동체와 궤도면과의 접촉점에서 항상 탄성 압축력을 받으므로, 다음의 효과를 얻을 수 있다.

- (1) 하중을 받을 때에도 내부틈새가 발생하기 어렵고, 강성이 높아진다.
- (2) 축의 고유 진동수가 높아져, 고속회전에 적합하다.
- (3) 축의 흔들림이 억제되어, 회전정밀도 및 위치결정 정밀도가 향상한다.
- (4) 진동 및 소음이 억제된다.
- (5) 진동체의 공전 미끄럼, 자전 미끄럼 및 선회 미끄럼이 규제되어 스미어링이 경감된다.
- (6) 외부진동에 의해 발생하는 fretting을 방지한다.

단, 최대로 예압을 가하면, 수명저하, 이상 발열, 회전 토크 증대 등을 초래하기 때문에, 예압의 목적을 잘 고려하여 예압량을 결정해야 된다.

표8.12 예압의 방법과 특징

예압법	예압의 기본 패턴	적용 베어링	예압 목적	방법과 예압량	사용 예
정위치		앵글러 볼 베어링 볼 베어링	회전축의 정밀도 유지, 진동방지, 강성을 높인다.	내·외륜 폭의 평면차 또는 스페이서에 의해, 소정량을 예압한다. 표준 예압량 표8.13 참조	연삭반 선반 프라이스반 측정기
예압		테이퍼로울러베어링 스러스트 볼 베어링 앵글러 볼 베어링	베어링의 강성을 높인다.	나사의 조임을 가감하는 것에 의해, 예 압한다. 예압량은 베어링의 기동 토크 또는 궤도륜의 이동량을 측정하여 설정 한다.	선반 프라이스반 자동차 디프퍼니온 인쇄기 차륜
정압		앵글러 볼 베어링 깊은 홈 볼 베어링 테이퍼로울러베어링 (고속)	하중, 온도 등에 의해 예 압량이 변하지 않으며, 정밀도 유지, 진동 소음을 방지한다.	코일 스프링, 점시 스프링 등에 의해, 예압한다. 깊은 홈 볼 베어링 4-10 d N 0.4-1.0 d {kgf} d : 축경 mm 앵글러 볼 베어링 표8.13 참조	내면연삭반 전동기 소형고속축 텐션릴
예압		스러스트 페리컬 로울러 베어링 스러스트 실린드릭 로울러 베어링 스러스트 볼 베어링	주로 액시얼 하중을 받을 때, 반대 액시얼 부하축의 스미어링의 방지를 위해 예압하여 사용한다.	코일 스프링, 점시 스프링 등에 의해, 예압한다. 스러스트 볼 베어링의 예압량은 다음 식 의 큰쪽 값을 택한다. 스러스트 스페리컬 로울러 베어링, 스러스트 실린드릭 로울러 베어링	압연기 압출기

비고 T : 예압량 N {kgf}
n : 회전수 rp
Coa : 기본정격하중 N {kgf}

● 베어링의 내부틈새와 예압

8.3.2 예압 방법

베어링에 예압을 주는 일반적인 방법은 서로 마주보는 베어링 사이에 액시얼 방향의 하중을 주어, 베어링의 내륜과 외륜을 액시얼 방향으로 상대적인 변위를 시킴에 따라, 정위치 예압과 정압예압으로 나눌 수 있다.

베어링 예압의 기본 패턴과 목적 및 특징에 대하여, 표8.12에 나타냈다. 정위치 예압은 베어링간의 위치가 고정되므로, 강성을 높이는데 좋다. 정압예압은 스프링을 이용하여 예압하기 때문, 운전중의 열영향 및 하중의 영향에 의한 베어링간의 위치 변화가 있더라도 예압량을 일정하게 유지할 수 있다.

또 조합 베어링의 표준예압량을 표8.13에 나타냈다. 일반적으로 진동방지 목적에는 경예압.보통예압이 이용되며, 특히 강성을 필요로 할 경우는 중간예압.중예압을 이용한다.

8.3.3 예압과 강성

베어링의 예압에 의한 강성의 증가 효과를 그림8.2에 나타냈다. 그림에 나타낸 조합 앵글러 볼 베어링의 내륜을 액시얼 방향으로 조여서 밀착시키면, 베어링 1, 2는 각각 δ_0 만큼 액시얼 방향으로 변위하여 정위치 예압 F_0 를 준 것으로 된다. 이 상태에서 외부로부터 액시얼 하중 F_a 가 가해지면, 베어링 1에서는 δ_a 만큼 변위가 증가하고 베어링 2에서는 감소한다. 이때, 베어링 1, 2에 가해진 하중은 각각 F_1, F_2 이다. 예압되지 않은 상태에서 베어링 1에 액시얼 하중 F_a 를 가했을 의 변위를 δ_b 라고 하면, δ_a 는 δ_b 에 비해 작고, 강성이 높아진 것을 알 수 있다.

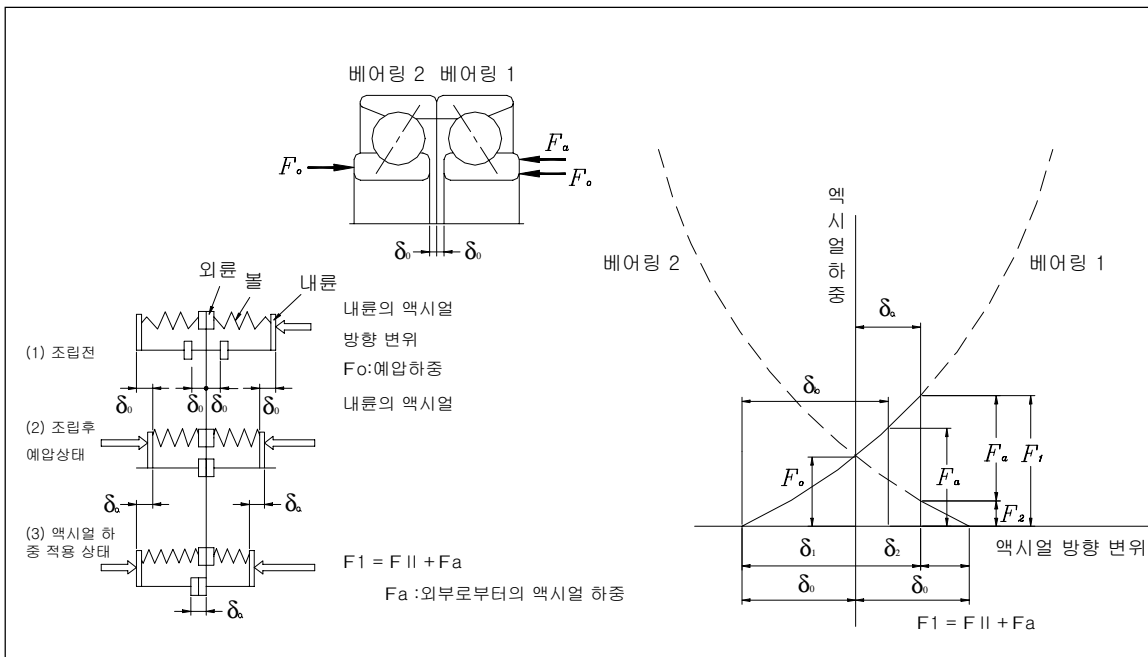


그림8.2 정위치 예압의 모델 그림 및 예압 그래프

● 베어링의 내부름새와 예압

표 8.13 조합 앵글러 볼 베어링의 표준 예압량

단위 N {kgf}

호칭 베어링 내경 d mm	베어링 계열																				
	78C				79C, HS89C				70C, BNT0, HSB0C				72C, BNT2				73C				
	경	보	중	중	경	보	중	중	경	보	중	중	경	보	중	중	경	보	중	중	
초과	이하	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예	예
12	-	-	-	-	-	-	-	-	20{ 2}	29{ 3}	98{ 10}	147{ 15}	20{ 2}	49{ 5}	98{ 10}	196{ 20}	29{ 3}	78{ 8}	147{ 15}	294{ 30}	
12	18	-	-	-	-	-	-	-	-	20{ 2}	29{ 3}	98{ 10}	196{ 20}	20{ 2}	49{ 5}	147{ 15}	294{ 30}	29{ 3}	78{ 8}	196{ 20}	390{ 40}
18	32	10{ 1}	29{ 3}	78{ 8}	147{ 15}	20{ 2}	49{ 5}	98{ 10}	196{ 20}	29{ 3}	78{ 8}	147{ 15}	294{ 30}	49{ 5}	98{ 10}	294{ 30}	490{ 50}	76{ 8}	147{ 15}	390{ 40}	685{ 70}
32	40	10{ 1}	29{ 3}	78{ 8}	147{ 15}	29{ 3}	78{ 8}	196{ 20}	294{ 30}	49{ 5}	147{ 15}	294{ 30}	590{ 60}	78{ 8}	196{ 20}	490{ 50}	785{ 80}	98{ 10}	294{ 30}	590{ 60}	980{ 100}
40	50	20{ 2}	49{ 5}	98{ 10}	196{ 20}	39{ 4}	98{ 10}	245{ 25}	490{ 50}	49{ 5}	147{ 15}	294{ 30}	685{ 70}	98{10}	294{ 30}	590{ 60}	980{ 100}	145{ 15}	390{ 40}	980{100}	1 960{ 200}
50	65	29{ 3}	98{10}	196{ 20}	390{ 40}	49{ 5}	118{ 12}	294{ 30}	590{ 60}	98{10}	196{ 20}	490{ 50}	980{100}	147{15}	390{ 40}	785{ 80}	1 470{ 150}	196{ 20}	590{ 60}	1 470{150}	2 940{ 300}
65	80	29{ 3}	98{10}	196{ 20}	390{ 40}	78{ 8}	196{ 20}	390{ 40}	785{ 80}	98{10}	294{ 30}	685{ 70}	1 470{150}	196{20}	490{ 50}	980{100}	1 960{ 200}	294{ 30}	785{ 80}	1 960{200}	3 900{ 400}
80	90	49{ 5}	147{15}	294{ 30}	590{ 60}	98{10}	245{ 25}	490{ 50}	980{100}	147{15}	390{ 40}	980{100}	1 960{200}	294{30}	685{ 70}	1 470{150}	2 940{ 300}	390{ 40}	980{100}	2 450{250}	4 900{ 500}
90	95	49{ 5}	147{15}	294{ 30}	590{ 60}	98{10}	245{ 25}	490{ 50}	980{100}	147{15}	390{ 40}	980{100}	1 960{200}	294{30}	685{ 70}	1 960{200}	3 900{ 400}	390{ 40}	980{100}	2 950{300}	5 900{ 600}
95	100	49{ 5}	147{15}	294{ 30}	590{ 60}	118{12}	294{ 30}	685{ 70}	1 470{150}	147{15}	390{ 40}	980{100}	1 960{200}	294{30}	685{ 70}	1 960{200}	3 900{ 400}	390{ 40}	980{100}	2 950{300}	5 900{ 600}
100	105	49{ 5}	147{15}	294{ 30}	590{ 60}	118{12}	294{ 30}	685{ 70}	1 470{150}	196{20}	590{ 60}	1 470{150}	2 450{250}	390{40}	980{100}	2 450{250}	4 900{ 500}	590{ 60}	1 470{150}	3 450{350}	6 850{ 700}
105	110	78{ 8}	196{20}	490{ 50}	980{100}	118{12}	294{ 30}	685{ 70}	1 470{150}	196{20}	590{ 60}	1 470{150}	2 450{250}	390{40}	980{100}	2 450{250}	4 900{ 500}	590{ 60}	1 470{150}	3 450{350}	6 850{ 700}
110	120	78{ 8}	196{20}	490{ 50}	980{100}	147{15}	390{ 40}	880{ 90}	1 960{200}	196{20}	590{ 60}	1 470{150}	2 450{250}	390{40}	980{100}	2 450{250}	4 900{ 500}	590{ 60}	1 470{150}	3 450{350}	6 850{ 700}
120	140	98{10}	294{30}	590{ 60}	1 270{130}	196{20}	490{ 50}	980{100}	2 450{250}	294{30}	785{ 80}	1 960{200}	3 900{400}	490{50}	1 470{150}	2 940{300}	5 900{ 600}	785{ 80}	1 960{200}	4 400{450}	8 800{ 900}
140	150	147{15}	390{40}	785{ 80}	1 470{150}	245{25}	685{ 70}	1 470{150}	2 450{250}	294{30}	785{ 80}	1 960{200}	3 900{400}	490{50}	1 470{150}	2 940{300}	5 900{ 600}	785{ 80}	1 960{200}	4 400{450}	8 800{ 900}
150	160	147{15}	390{40}	785{ 80}	1 470{150}	245{25}	685{ 70}	1 470{150}	2 940{300}	490{50}	980{100}	2 450{250}	5 900{600}	685{70}	1 960{200}	4 400{450}	7 850{ 800}	880{ 90}	1 960{200}	5 900{600}	9 800{1 100}
160	170	147{15}	490{50}	980{100}	1 960{200}	245{25}	685{ 70}	1 470{150}	2 940{300}	490{50}	980{100}	2 450{250}	5 900{600}	685{70}	1 960{200}	4 400{450}	7 850{ 800}	880{ 90}	1 960{200}	5 900{600}	9 800{1 100}
170	180	147{15}	490{50}	980{100}	1 960{200}	294{30}	880{ 90}	1 960{200}	3 900{400}	490{50}	980{100}	2 450{250}	5 900{600}	685{70}	1 960{200}	4 400{450}	7 850{ 800}	880{ 90}	1 960{200}	5 900{600}	9 800{1 100}
180	190	196{20}	590{60}	1 270{130}	2 450{250}	294{30}	880{ 90}	1 960{200}	3 900{400}	590{60}	1 470{150}	3 450{350}	6 850{700}	785{80}	2 450{250}	4 900{500}	9 800{1 000}	980{100}	2 450{250}	6 850{700}	11 800{1 200}
190	200	196{20}	590{60}	1 270{130}	2 450{250}	490{50}	1 270{130}	2 940{300}	5 900{600}	590{60}	1 470{150}	3 450{350}	6 850{700}	785{80}	2 450{250}	4 900{500}	9 800{1 000}	980{100}	2 450{250}	6 850{700}	11 800{1 200}

● 베어링의 내부름새와 예압

호칭 베어링 내경 d mm	베어링 계열															
	79. HSB9			70. HSB0				72. 72B				73. 73B				
	보통	중간	중예	경예	보통	중간	중예	경예	보통	중간	중예	경예	보통	중간	중예	
초과 이하	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	예압	
- 12	39{ 4}	78{ 8}	147{ 15}	29{ 3}	78{ 8}	147{ 15}	196{ 20}	29{ 3}	98{ 10}	196{ 20}	294{ 30}	49{ 5}	147{ 15}	294{ 30}	390{ 40}	
12 18	49{ 5}	147{ 15}	196{ 20}	29{ 3}	78{ 8}	147{ 15}	294{ 30}	29{ 3}	98{ 10}	294{ 30}	390{ 40}	49{ 5}	147{ 15}	390{ 40}	490{ 50}	
18 32	98{ 10}	196{ 20}	294{ 30}	49{ 5}	147{ 15}	294{ 30}	490{ 50}	78{ 8}	196{ 20}	490{ 50}	785{ 80}	98{ 10}	294{ 30}	590{ 60}	980{ 100}	
32 40	147{ 15}	294{ 30}	590{ 60}	78{ 8}	294{ 30}	590{ 60}	880{ 90}	98{ 10}	390{ 40}	880{ 90}	1 470{ 150}	147{ 15}	490{ 50}	980{ 100}	1 960{ 200}	
40 50	196{ 20}	390{ 40}	635{ 70}	78{ 8}	294{ 30}	590{ 60}	980{ 100}	147{ 15}	590{ 60}	980{ 100}	1 960{ 200}	196{ 20}	785{ 80}	1 470{ 150}	2 450{ 250}	
50 65	245{ 25}	490{ 50}	785{ 80}	147{15}	490{ 50}	880{ 90}	1 470{ 150}	196{ 20}	785{ 80}	1 470{ 150}	2 940{ 300}	294{ 30}	980{100}	2 450{ 250}	3 900{ 400}	
65 80	390{ 40}	785{ 80}	1 180{120}	147{15}	590{ 60}	1 470{150}	1 960{ 200}	294{ 30}	980{100}	2 450{ 250}	3 900{ 400}	390{ 40}	1 470{150}	3 450{ 350}	4 900{ 500}	
80 90	490{ 50}	980{100}	1 470{150}	196{20}	880{ 90}	1 960{200}	2 940{ 300}	490{ 50}	1 470{150}	2 940{ 300}	4 900{ 500}	590{ 60}	1 960{200}	3 900{ 400}	5 880{ 600}	
90 95	490{ 50}	980{100}	1 470{150}	196{20}	880{ 90}	1 960{200}	2 940{ 300}	490{ 50}	1 960{200}	3 900{ 400}	5 900{ 600}	590{ 60}	2 450{250}	4 900{ 500}	6 854{ 700}	
95 100	685{ 70}	1 274{130}	1 960{200}	196{20}	880{ 90}	1 960{200}	2 940{ 300}	490{ 50}	1 960{200}	3 900{ 400}	5 900{ 600}	590{ 60}	2 450{250}	4 900{ 500}	6 860{ 700}	
100 105	685{ 70}	1 274{130}	1 960{200}	294{30}	980{100}	2 450{250}	3 900{ 400}	590{ 60}	2 450{250}	4 900{ 500}	7 850{ 800}	685{ 70}	2 940{300}	5 900{ 600}	8 800{ 900}	
105 110	685{ 70}	1 274{130}	1 960{200}	294{30}	980{100}	2 450{250}	3 900{ 400}	590{ 60}	2 450{250}	4 900{ 500}	7 850{ 800}	685{ 70}	2 940{300}	5 900{ 600}	8 800{ 900}	
110 120	880{ 90}	1 780{180}	2 940{300}	294{30}	980{100}	2 450{250}	3 900{ 400}	590{ 60}	2 450{250}	4 900{ 500}	7 850{ 800}	685{ 70}	2 940{300}	5 900{ 600}	8 800{ 900}	
120 140	980{100}	1 960{200}	3 450{350}	490{50}	1 470{150}	3 450{350}	5 900{ 600}	785{ 80}	2 940{300}	5 900{ 600}	9 800{1 000}	880{ 90}	3 900{400}	7 850{ 800}	11 800{1 200}	
140 150	1 270{130}	2 450{250}	4 400{450}	490{50}	1 470{150}	3 450{350}	5 900{ 600}	785{ 80}	2 940{300}	5 900{ 600}	9 800{1 000}	880{ 90}	3 900{400}	7 850{ 800}	11 800{1 200}	
150 160	1 270{130}	2 450{250}	4 400{450}	685{70}	2 450{250}	4 900{500}	8 800{ 900}	880{ 90}	3 900{400}	7 850{ 800}	11 800{1 200}	980{100}	4 400{450}	8 800{ 900}	13 700{1 400}	
160 170	1 270{130}	2 450{250}	4 400{450}	685{70}	2 450{250}	4 900{500}	8 800{ 900}	880{ 90}	3 900{400}	7 850{ 800}	11 800{1 200}	980{100}	4 400{450}	8 800{ 900}	13 700{1 400}	
170 180	1 780{180}	3 450{350}	5 900{600}	685{70}	2 450{250}	4 900{500}	8 800{ 900}	880{ 90}	3 900{400}	7 850{ 800}	11 800{1 200}	980{100}	4 400{450}	8 800{ 900}	13 700{1 400}	
180 190	1 780{180}	3 450{350}	5 900{600}	880{90}	3 450{350}	6 850{700}	9 800{1 000}	980{100}	4 400{450}	8 800{ 900}	13 700{1 400}	1 470{150}	5 900{600}	11 800{1 200}	15 700{1 600}	
190 200	2 450{250}	4 900{500}	7 850{800}	880{90}	3 450{350}	6 850{700}	9 800{1 000}	980{100}	4 400{450}	8 800{ 900}	13 700{1 400}	1 470{150}	5 900{600}	11 800{1 200}	15 700{1 600}	

● 허용회전수

9. 허용 회전수

베어링의 회전속도가 커지게 되면, 베어링 내부에서 발생하는 마찰열에 의해, 베어링의 온도도 커지고, 타붙음 현상 등 손상이 발생하여, 베어링은 안정된 운전을 계속 할 수 없게 된다. 이와 같이, 한도 이상의 열이 발생하지 않고 베어링의 운전이 가능한 한계 회전수를 **허용 회전수 (rpm)**라고 하고 베어링의 형식, 치수, 케이지의 종류, 하중, 윤활조건 및 냉각조건에 따라 다르다.

베어링의 치수표에는 그리스 윤활 및 오일 윤활일 경우의 허용회전수에 대한 기준을 기재하였지만, 이 값은,

- NTN 표준설계기준으로 적절한 내부틈새의 베어링이 정확하게 조립되어 있을 것
- 양호한 윤활제를 사용하고 적절하게 보충 급유 및 교환을 할 것
- 보통의 하중조건($P \leq 0.09Cr$, $Fa / Fr \leq 0.3$)에서 통상의 운전온도일 것이 기준으로 되어 있다.

단, 하중이 $P \leq 0.04Cr$ 일때, 전동체가 원활한 구름운전을 하지 않을 경우가 있으니, **NTN** 으로 문의바랍니다. **접촉 시일 (LLU 타입) 및 저토포크 시일(LLH 타입) 타입의 깊은 홈 볼 베어링은 시일의 원주속도에 따라, 허용 회전수가 정해진다.** 보통의 하중조건을 초과하여 사용되는 베어링의 허용 회전수는 **그림9.1** 및 **9.2**에 나타난 보정계수 f_L 및 f_C 를 베어링 치수표에 기재된 값에 곱하여 구한다.

또, **세로축에 레이디얼 베어링을 사용할 경우는** 가로축의 경우에 비해, 윤활제의 유지와 케이지의 안내 등, 불리한 면도 있으므로, 허용회전수의 80% 정도로 제한하는 것이 적당하다.

이 외, 상기의 기준에 만족하지 못할 경우의 허용 회전수에 대해서는 **NTN** 으로 문의바랍니다.

회전속도가 치수표에 기재되어 있는 허용 회전수를 초과할 경우는 케이지의 형상, 내부틈새, 베어링 정밀도 등의 검토를 충분히 한 베어링을 사용하고 윤활 방법은 강제 순환 급유법, 제트 급유법 또는 분무 급유법을 이용하는 등, 특별한 배려를 할 필요가 있다.

이러한 속도조건에 대하여, 특별한 배려를 했을 경우에는 그 허용 회전수는 **표9.1**에 나타난 보정계수 f_B 를 베어링 치수의 기재값에 곱하여, 얻어지는 값까지 사용할 수 있다. 이와 같이, 허용 회전수를 초과하여 사용할 경우에는 **NTN** 으로 문의 바랍니다.

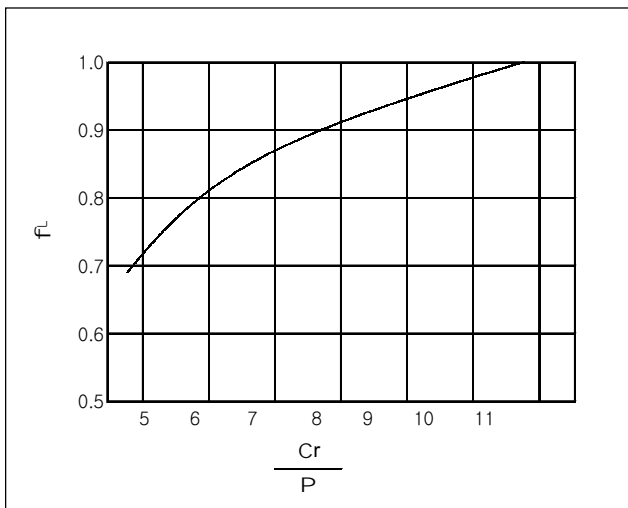


그림9.1 베어링 하중에 의한 보정계수 f_L 값

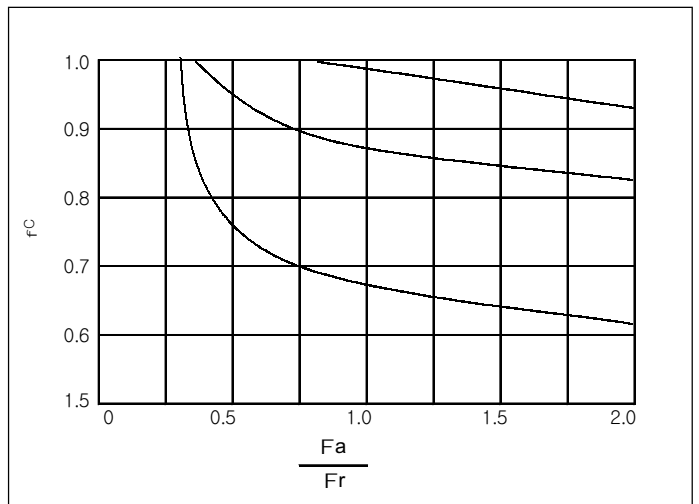


그림9.2 합성 하중에 의한 보정계수 f_C 값

표9.1 허용회전수의 보정계수 f_B 값

베어링형식	보정계수 f_B
깊은 홈 볼 베어링	3.0
앵글러 볼 베어링	2.0
실린드릭럴 로울러 베어링	2.5
테이퍼 로울러 베어링	2.0

● 마찰과 발열량

10. 마찰과 발열량

10.1 마찰

마찰이 작아야 하는 것은 베어링에 요구되는 기능중 하나이다. 일반적으로 구름 베어링은 미끄럼 베어링에 비하여 **마찰이 작고** 특히, **기동 마찰이 낮다**는 것이 특징이다.

미끄럼 베어링의 마찰계수는 식(10.1)에 나타냈다.

$$\mu = \frac{2M}{Pd} \dots\dots\dots (10.1)$$

여기서,

- μ : 마찰계수
- M : 마찰 모멘트 N·mm {kgf·mm}
- P : 베어링 하중 N {kgf}
- d : 베어링 내경 mm

구름 베어링의 동마찰 계수는 베어링 형식의 하중, 윤활 및 회전속도 등의 사용조건에 따라 다르지만, 거의 표10.1에 나타난 값을 적용한다.

표10.1 베어링 마찰계수 (참고)

베어링 형식	마찰계수 μ × 10 ⁻³
깊은 홈 볼 베어링	1.0~1.5
앵글러 볼 베어링	1.2~1.8
스페리컬 볼 베어링	0.8~1.2
실린드릭 로울러 베어링	1.0~1.5
니들 로울러 베어링	2.0~3.0
테이퍼 로울러 베어링	1.7~2.5
스페리컬 로울러 베어링	2.0~2.5
스러스트 볼 베어링	1.0~1.5
스러스트 로울러 베어링	2.0~3.0

10.2 발열량

베어링의 마찰손실은 대부분이 베어링 내부에서 열 에너지로 바뀌어, 베어링의 온도 상승을 초래한다. 마찰 모멘트에 의해 발생하는 열량을 식(10.2)으로 나타냈다.

$$\left. \begin{aligned} Q &= 0.105 \times 10^{-6} Mn \quad N \\ &= 1.03 \times 10^{-6} Mn \quad \{kgf\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10.2)$$

발생하는 열량과 방출되는 열량의 평형에 의해, 베어링의 온도는 결정된다. 일반적으로 베어링 온도는 운전 초기에는 급격히 상승하지만, 정상 상태에 달하여 거의 일정해진다. 정상상태에 달하기 까지의 시간은 발생하는 열량과 축 및 하우징의 열 용량, 열 방산과 윤활유량, 윤활방법에 따라 다르지만, 시간이 경과해도 정상상태에 달하지 않고 온도가 안정되지 않을 경우는 무엇인가의 이상이 있다고 판단해야 된다.

이상한 온도상승의 원인에는 베어링의 변형(모멘트 하중, 조립오차), 내부틈새의 과소, 예압의 과대, 윤활제의 과다 또는 부족 및 밀봉장치에서의 발열 등을 생각할 수 있기 때문, 기계장치를 점검하여 필요에 따라 베어링을 해체하여 조사한다.

11. 윤활

11.1 윤활의 목적

베어링을 윤활하는 목적은 구름면 및 미끄럼면에 얇은 유막을 형성하여, 금속과 금속이 직접 접촉하는 것을 방지하는 것이며, 윤활은 구름 베어링에 있어서 다음과 같은 효과가 있다.

- (1) 마찰 및 마모의 경감
- (2) 마찰열의 배출
- (3) 베어링 수명의 연장
- (4) 녹 방지
- (5) 이물질의 침입방지

이들의 효과를 발휘시키기 위해서는 사용조건에 적합한 윤활방법을 사용하는 동시에 양질의 윤활제 선정, 적절한 윤활제의 양 및 외부로부터의 이물질 침입과 윤활제의 누출을 방지하기 위한 적절한 밀봉구조의 설계가 필요하다. 베어링의 유량, 마찰손실, 온도관계 및 특징을 그림11.1과 표11.1에 나타냈다.

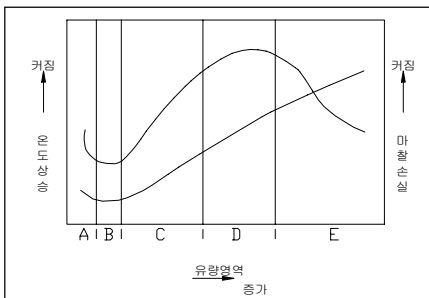


그림11.1

표11.1 유량과 마찰손실, 베어링 온도 (그림11.1 참조)

영역	특징	윤활방법 예
A	유량이 아주 적은 경우, 전동체와 궤도 면에 윤활제 부족으로 금속 접촉하여 베어링의 마모나 타붙음 현상이 발생	—
B	완전한 유막이 형성 온도도 낮다.	그리스 윤활 오일 미스트 에어 오일 윤활
C	유량이 증가한 경우로 발열과 냉각이 균형을 유지하고 있다.	순환 급유
D	온도상승은 유량에 관계없이 거의 일정.	순환 급유
E	유량을 더 늘리면, 냉각효과가 현저해져 베어링 온도가 내려간다.	강제 순환 급유 제트 윤활

11.2 윤활방법과 특성

베어링의 윤활방법은 크게 나누어, 그리스 윤활과 오일 윤활이 있으나, 각각 특징이 있으므로, 요구 기능에 맞는 적절한 윤활 방법을 선택할 필요가 있다.

표11.2에 그리스 윤활과 오일 윤활의 특성 비교를 나타냈다.

표11.2 그리스 윤활과 오일 윤활의 특성 비교

항목 \ 윤활방법	그리스 윤활	오일 윤활
취급	◎	△
신뢰성	○	◎
냉각 효과	×	○ (순환이 필요)
시일 구조	○	△
동력 손실	○	○
환경 오염	○	△
고속 회전	×	○

◎ : 특히 유리 ○ : 유리 △ : 약간 불리 × : 불리

11.3 그리스 윤활

그리스는 취급이 용이하고 밀봉장치의 설계도 간소화 할 수 있기 때문에, 구름 베어링의 윤활에 가장 많이 사용되고 있다. 그리스 윤활 방법에는 그리스를 미리 주입에 놓은 밀봉형(시일, 쉬일드 타입) 베어링을 사용하는 경우와 개방형 베어링을 사용하여, 하우징 및 베어링 내부에 적절량의 그리스를 주입하여 정기적으로 보충 급유 또는 교환하는 방법이 있다.

11.3.1 그리스에 대하여

그리스는 미네랄유와 합성유 등의 **윤활유(기본유)**를 **중주제로 유지**하여, 각종 **첨가제를 넣은 것**이다. 그리스의 성능은 기본유, 중주제 및 첨가제의 종류와 배합에 의해 정해진다. 일반적인 그리스의 종류와 그 특성을 표11.3에 나타냈다. 같은 종류의 그리스라도 제조회사에 따라 성능이 크게 다를 수 있으므로, **그리스의 선정에 있어서는 그리스 제조회사의 성분 데이터를 확인할 필요가 있다.**

(1) 기본유

그리스의 기본유에는 **미네랄유** 또는 **디에스터유** 등의 합성유가 사용된다.

주로 **기본유의 윤활성능**에 따라, **그리스의 윤활성능이 정해진다.** 일반적으로 저점도 기본유의 그리스는 저온특성, 고성능에 우수하며, 고점도의 기본유가 포함된 그리스는 고온, 고하중 특성에 우수하다.

표11.3 그리스의 종류와 특성

명칭	리튬 그리스			나트륨 그리스 (화이버 그리스)	칼슘 혼합 그리스	알루미늄 그리스	논 소프 그리스	
중주제	Li 비누			Na 비누	Ca+ Na 비누 Ca+ Li 비누	Al 비누	벤톤, 실리카겔, 우레아, 카본블랙, 불소화합물 등	
기본유	미네랄유	디에스터유	실리콘유	미네랄유	미네랄유	미네랄유	미네랄유	합성유
적점 ℃	170~190	170~190	200~250	150~180	150~180	70~90	250이상	250이상
사용온도범위 ℃	-30~+130	-50~+130	-50~+160	-20~+130	-20~+120	-10~+80	-10~+130	-50~+200
기계적 안정성	우수	양호	양호	우수-양호	우수-양호	양호-불가	양호	양호
내암성	양호	양호	불가	양호	우수-양호	양호-불가	양호	양호
내수성	양호	양호	양호	양호-불가	양호-불가	양호	양호	양호
용도	가장 용도가 넓다. 만능형의 구름 베어링용 그리스	저온특성, 마찰특성에 우수하다. 소경 베어링, 미니어처 베어링에 적합하다.	고온 및 저온에 적합하다. 유막강도가 낮고 고하중 용도에 부적합	수분의 흡입에 의해 유회되는 것도 있다. 비교적 고온특성이 우수하다.	내압성, 기계적 안정성에 우수하다. 충격하중을 받는 베어링에 적합하다.	점착성에 우수하다. 진동을 받는 베어링에 적합하다.	저온에서 고온까지 광범위하게 사용 가능. 기본유와 중주제를 적합하게 조합함에 따라 내열성, 내한성, 내약품성 등에 우수한 특성을 나타내는 것도 있다. 만능형의 구름 베어링용 그리스	

(2) 증주제

증주제는 기본유 안에 혼합 분산되며, 그리스를 반고체 상태로 유지하기 위한 재료이다. 증주제에는 리튬, 나트륨 또 칼슘 등의 금속 비누 외에, 실리카겔, 벤토나이트 등의 무기질 재료 및 우레아, 플로카본 등의 유기질 재료로 되어 있는 논 소프 증주제가 있다. 그리스의 **사용한계 온도, 기계적 안정성**, 내구성 등의 특성은 주로 **증주제에 의해 정해진다**. 나트륨 비누의 그리스는 내구성이 일반적으로 떨어진다. 벤토, 우레아 등의 논 소프의 증주제는 고온 특성이 우수하다.

(3) 첨가제

그리스에는 성능 향상을 위하여 각종 첨가제가 함유되어 있다. 예를 들면, 산화 방지제, 극압 첨가제(EP 첨가제), 방청제, 부식 방지제 등이 있다. 고하중 또는 충격하중을 받는 베어링에는 극압 첨가제를 함유한 그리스를 사용한다. 비교적 사용온도가 높고 장기간 보충 급유를 하지 않는 용도에는 산화 안정제가 함유된 그리스를 이용한다.

(4) 주도

주도는 그리스의 경도 또는 유동성을 나타내는 지표로 **수치가 클수록 부드럽다**. 주도는 증주제의 양과 기본유의 정도에 따라 정해진다. 구름 베어링의 윤활에는 보통 NLGI 주도 기호 1,2 도는 3이 이용된다. 그리스의 주도과 용도에 대한 일반적인 관계를 표11.4에 나타냈다.

표11.4 그리스의 주도

NLGI 주도 번호	JIS [ASTM] 60회 혼합 주도	용 도
0	355~385	집중 급지용
1	310~340	집중 급지용
2	265~295	일반용, 밀봉형 베어링용
3	220~250	일반용, 고온용
4	175~205	특수 용도

(5) 그리스의 혼합

다른 종류의 그리스를 혼합하면 주도가 변화하고(연해진다) 허용 사용온도가 낮아지는 등, 그리스의 성질과 상태가 변하기 때문, 원칙적으로 동일 제조회사의 그리스 이외는 혼합해서는 안된다. 다른 종류의 그리스 혼합을 피할 수 없을 경우에는 적어도 같은 종류의 증주제 및 유사한 기본유를 가진 그리스를 선정한다.

11.3.2 그리스의 충전량

그리스의 충전량은 하우징의 설계, 공간면적, 회전속도, 그리스의 종류 등에 따라 달라진다. 충전량의 기준은 베어링에 공간면적의 30~40%, 하우징에는 공간면적의 30~60% 로 한다. 회전속도가 높을 경우나 온도상승을 낮게 억제할 때에는 적게 한다. 그리스 충전량이 너무 과다하면, 온도상승이 커지고 그리스의 연화에 의한 누출, 또는 산화 등의 변질에 의해 그리스의 윤활 성능을 저하시킨다. 베어링 내부 공간면적의 개략치를 식(11.1)으로 구할 수 있다.

$$V = K \cdot W \dots\dots\dots (11.1)$$

여기서,

- V : 개방형 베어링의 공간 면적(개략치) cm³
- K : 베어링 공간계수(표11.5 K값 참조)
- W : 베어링의 질량 kg

표11.5 베어링 공간계수 K

베어링 형식	케이징 형식	K
깊은 홈 볼 베어링 ¹⁾	프레스 케이징	61
NU 타입 실린드릭얼	프레스 케이징	60
로울러 베어링 ²⁾	기계 가공 케이징	36
N 타입 실린드릭얼	프레스 케이징	56
로울러 베어링 ³⁾	기계 가공 케이징	37
테이퍼 로울러 베어링	프레스 케이징	46
스페리컬 로울러 베어링	프레스 케이징	36
	기계 가공 케이징	28

주1) 160계열의 베어링은 제외, 2)NU4계열의 베어링은 제외
 3) N4계열의 베어링은 제외.

11.3.3 그리스의 보충 급유

그리스는 사용시간의 경과와 함께 윤활성능이 저하되므로, 적당한 간격으로 새로운 그리스를 보충 급유해야만 된다. 그리스의 보충급유 간격은 베어링 형식, 치수, 회전속도, 베어링 온도 및 그리스의 종류 등에 따라 달라진다. **그림11.2**에 그리스의 보충 급유간격의 기준이 되는 그래프를 나타냈다. 이 그래프는 보충 급유간격을 나타낸 것이다. 베어링 온도가 높아짐에 따라, 그리스의 보충 급유간격을 짧게 한다. 대략의 목표로서는 베어링 온도가 80℃ 이상에서는 온도가 10℃ 올라갈 때마다 보충급유 간격을 1/1.5로 한다.

(예) 깊은 홈 볼 베어링 6206에서, 레이디얼 = 2.0kN {204kgf}, 회전수 한도를 구한다.

그림9.1에서 $C_r / P_r = 19.5/2.0kN = 9.8$ 에 대하여 $f_L = 0.96$ 치수표에서 6206의 허용 회전수는 11 000rpm이고, 레이디얼 하중 2.0kN {204kgf}에서의 허용 회전수 n_o 는,

$$n_o = 0.96 \times 11\,000 = 10\,560\text{rpm}$$

따라서,

$$\frac{n_o}{n} = \frac{10\,560}{3\,600} = 2.93$$

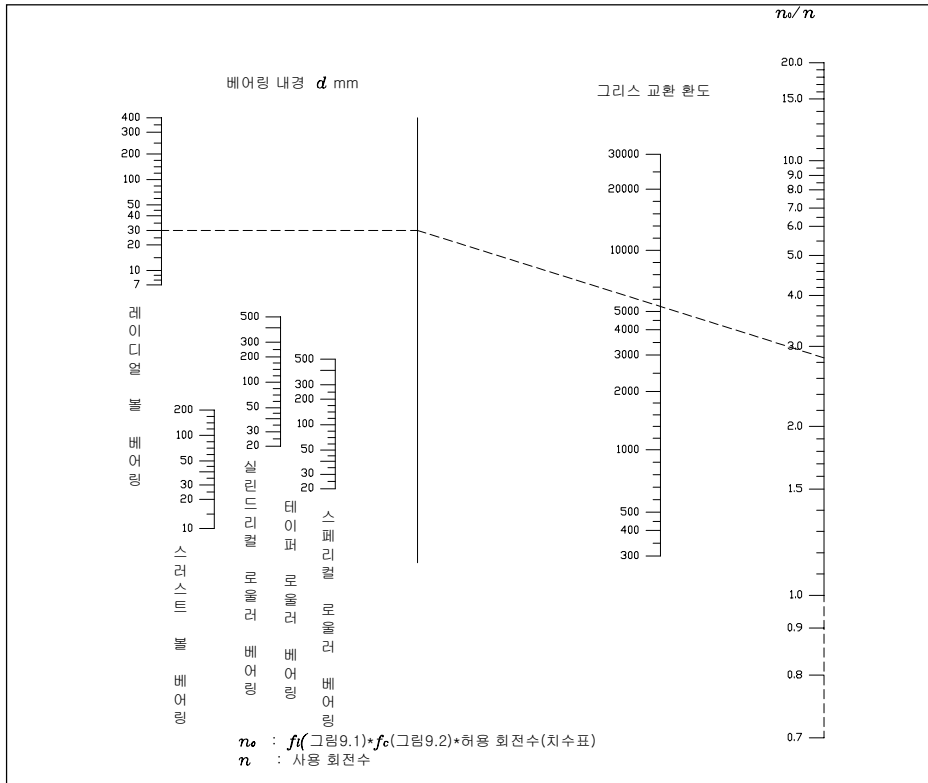


그림 11.2 그리스의 보충 급유간격을 구하는 그래프

그림 11.2의 레이디얼 볼 베어링의 $d=30$ 에 상당하는 점에서 가로선을 그어, 세로선 I 과의 교차점을 A로 한다. 세로선 II 의 $n_o/n=2.93$ 의 점 B와 A를 직선으로 연결하여 세로선 III과의 교차점 C를 구하면, 그리스의 수명은 약 5 500 시간 이 된다.

11.4 고체 그리스 (플리루우브 베어링용 윤활제)

고체 그리스란, 윤활 그리스와 초고분자량 폴리에틸렌을 주 성분으로 한 윤활제이다. 고체 그리스는 상온에서는 그리스 상태이지만, 한번 가열하여 냉각시키면(열성처리라 함). 다량의 윤활제가 유지된 상태에서 굳어진다. 그렇기 때문, 베어링에 강한 진동이나 큰 원심력이 작용할 경우라도 윤활제의 누출방지 및 장수명에 공헌한다.

플리루우브 베어링에는 케이지 사이에 주입한 스폿 팩 타입과 베어링 공간면적을 거의 가득 채운 풀 팩 타입이 있다. 깊은 홈 볼 베어링, 소경 볼 베어링, 스피리컬 로울러 베어링, 니들 로울러 베어링은 풀 팩 타입을 표준형으로 하고 있다. 주된 특징으로는

- (1) 윤활제의 누출이 적다.
- (2) 스폿 팩은 베어링의 토크가 작다.

자세한 내용은 카탈로그 NTN 플리루우브 베어링을 참조 바랍니다.

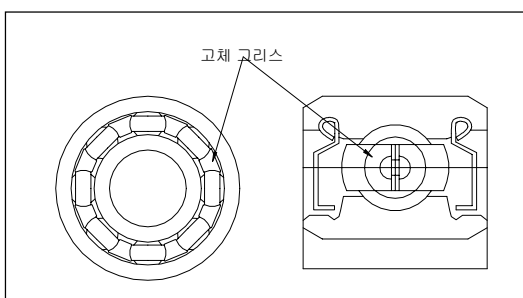


그림 11.3 깊은 홈 볼 베어링 스폿 팩 타입(Z슈워드 타입)
(깊은 홈 볼 베어링의 표준형)

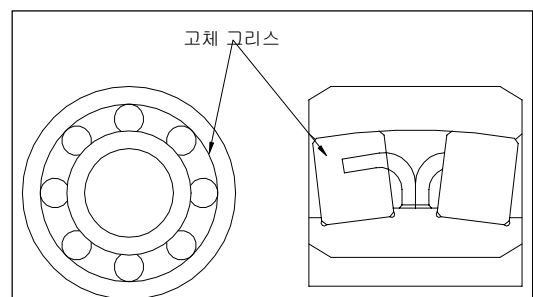


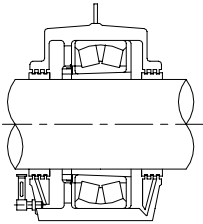
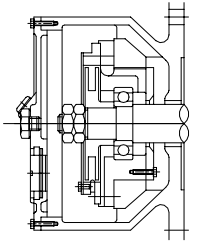
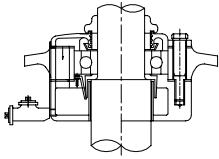
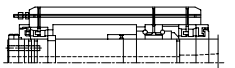
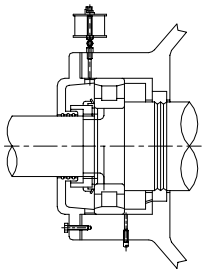
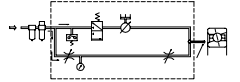
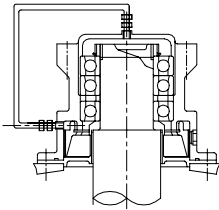
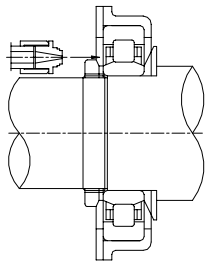
그림 11.4 스피리컬 로울러 베어링 풀 팩 타입
(스피리컬 로울러 베어링의 표준형)

11.5 오일 윤활

일반적으로 오일 윤활은 베어링에서 발생하는 열량 또는 베어링에 가해지는 열량을 외부로 배출할 필요가 있을 경우에 적합하다.

표11.6에 주된 오일 윤활의 윤활방법을 나타냈다.

표11.6 오일 윤활의 윤활 방법

윤활법	적용예	윤활법	적용예
<p>[유욕 윤활]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 오일 윤활의 가장 일반적인 방법, 저·중속의 회전속도에서 널리 사용되고 있다. · 유면은 오일 게이지로 확인한다. · 가로축 : 정지시에서 전동체 최하부의 중심임을 확인 · 세로축 : 전동체의 50~80%일 것을 확인 		<p>[디스크 급유]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 축에 조립된 디스크의 일부를 유면에 담그어, 오일을 튀어 오르게 하여 윤활하는 방법 	
<p>[비말 급유]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 축에 조립한 날개 등으로 오일을 비말상태로 하여 급유하는 방법, 상당한 고속에서도 사용 가능. 		<p>[분무 윤활(오일 미스트 윤활)]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 압축공기에 의해, 오일을 안개 상태로 하여 윤활하는 방법. 윤활유의 저항이 작으므로 고속회전에 적합하다. 	
<p>[적하 급유]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 상부에 오일 통을 설치하여, 오일 방울을 하우징 안의 회전체에 떨어뜨려 분무상태로 하여 윤활하든지, 소량의 오일이 베어링을 통과하게끔 한다. · 비교적 고속에서 중하중 이하의 경우에 이용한다. · 유량은 1분에 수방울 병도의 적하가 가장 널리 이용된다. 		<p>[에어 오일 윤활]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 최소한의 필요로 하는 윤활유를 각 베어링에 최적의 간격으로 계량하여, 압축공기로 급유하는 방법 · 항상 새로운 오일을 연속적으로 급유하므로 압축공기의 냉각효과도 있고 베어링의 온도상승을 억제시킬 수 있다. · 오일의 사용량은 극소량이기 때문, 주위를 오염시키지 않는다. · NTN에서는 에어 오일 윤활 유닛을 판매하고 있으니, 문의 바랍니다. 	
<p>[순환 급유]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 베어링을 냉각시키기 위해서나 급유 부위가 많아, 집중 자동급유할 때에 이용한다. · 급유 통로중에 쿨러를 설치하여 윤활유를 냉각시키거나 필터를 사용하면, 윤활유를 깨끗하게 유지할 수 있는 등의 장점이 있다. · 급유된 오일이 확실하게 베어링을 윤활하게끔, 오일의 입구와 출구를 베어링에 대하여 서로 반대쪽에 설치한다. 		<p>[제트 윤활]</p> <ul style="list-style-type: none"> · 베어링의 측면에서 윤활유를 고속 분사시키는 방법, 고속·고온 등 과격한 조건에서 신뢰성이 높다. · 제트 엔진과 가스 터빈의 주 베어링 등에 이용된다. · 공작기계 주축의 베어링에 사용되는 언더레스 윤활은 제트 윤활의 일종이다. 	

11.5.1 윤활유의 선정

구름 베어링의 윤활유에는 스피нды유, 머신유, 터빈유 등의 미네랄유가 많이 이용되지만, 150℃ 이상의 고온 또는 -30℃ 이하의 저온에서의 사용조건에는 디에스터유, 실리콘유, 플로로 카본유 등의 합성유를 이용한다.

윤활유에 있어서, 점도는 윤활성능을 결정하는 중요한 특성중 하나이다. 점도가 너무 낮으면, 유막형성이 불충분하여, 베어링 표면을 손상시키는 반면, 점도가 너무 높으면 점성저항이 커져, 온도상승, 마찰손실을 증대시킨다.

일반적으로 회전속도가 클수록 점도가 낮은 것을 이용하고 중하중일수록 고점도의 윤활유를 사용한다.

구름 베어링의 윤활에는 운전온도에 대하여 표11.7에 나타낸 점도가 필요하다. 그림11.5는 윤활유의 점도와 온도 그래프를 나타냈다. 이것은 운전온도에 대하여 적절한 점도를 가진 윤활유를 선정하는데 이용한다.

표11.8에 베어링의 사용조건에 따라, 윤활유 점도의 선정기준을 나타냈다.

표11.7 베어링의 필요점도

베어링 형식	동점도 mm ² /s
볼 베어링, 실린드릭얼 로울러 베어링, 니들 로울러 베어링	13
스페리컬 로울러 베어링, 테이퍼 로울러 베어링, 스러스트 니들 로울러 베어링	20
스러스트 스페리컬 로울러 베어링	30

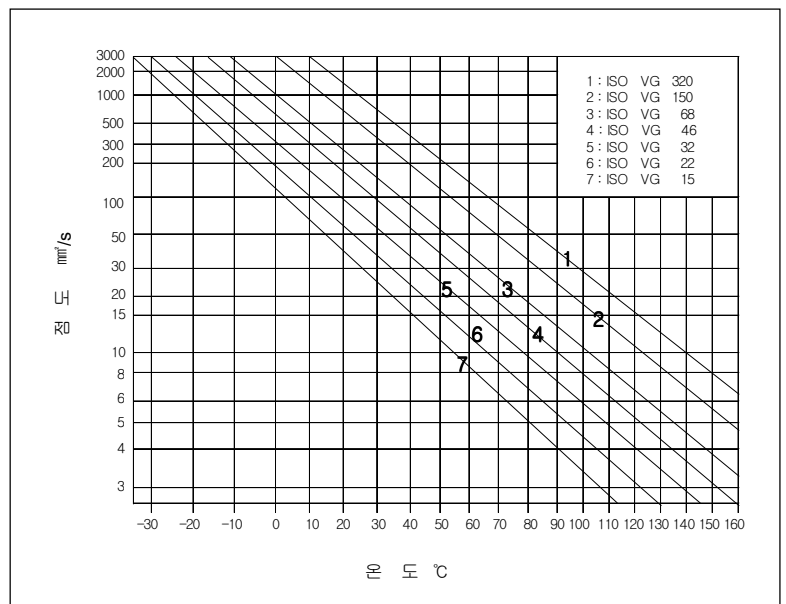


그림11.5 윤활유의 점도와 온도 그래프

표11.8 윤활유의 선정기준(참고)

베어링의 운전온도 ℃	dn치	윤활유의 ISO점도 등급(VG)		적용 베어링
		보통하중	중하중 또는 충격하중	
-30~ 0	허용회전수까지	22, 32	46	전종류
0 ~ 60	15 000 까지	46, 68	100	전종류
	15 000 ~80 000	32, 46	68	전종류
	80 000 ~150 000	22, 32	32	스러스트 볼 베어링은 제외
	150 000~500 000	10	22, 32	단열 레이디얼 볼 베어링, 실린드릭얼 로울러 베어링
60~100	15 000 까지	150	220	전종류
	15 000 ~80 000	100	150	전종류
	80 000 ~150 000	68	100, 150	스러슬 볼 베어링은 제외
	150 000~500 000	32	68	단열 레이디얼 볼 베어링, 실린드릭얼 로울러 베어링
100~150	허용회전수까지	320		전종류
0 ~ 60	허용회전수까지	46, 68		스페리컬 로울러 베어링
	60~100	150		

비고1. 윤활법은 유욕 또는 순환급유일 경우

2. 사용조건이 이 표에 기재된 범위 이외일 경우는 NTN으로 문의 바랍니다.

11.5.2 급유량

베어링에 강제적으로 급유할 경우, 베어링 등에서 발생하는 열량은 하우징 등에서 방산하는 열량과 오일이 갖고 있는 열량의 합과 비슷하다.

표준적인 하우징을 사용했을 때에 기준이 되는 급유량은 식(11.2)로 구할 수 있다.

$$Q = K \cdot q \dots\dots\dots (11.2)$$

여기서,

Q : 베어링 1개당 급유량 cm^3/min

K : 오일의 허용온도 상승에 의해 결정되는 계수(표11.9)

q : 그래프에 의해 구해지는 급유량 cm^3/min (그림11.4)

하우징의 형식에 따라, 방산열량은 다르므로, 실온점에 있어서는 식(11.2)로 구한 양의 1.5~2배 정도로 조정하여, 실기에 적용한 급유량을 구하는 것이 바람직하다.

또, 하우징에서 방열이 없고, 발생열량 전부를 오일이 보유하고 있다고 가정하여 계산할 경우는 그래프의 축경을 $d = 0$ 으로 구하면 좋다.

표 11.9 K 값

배유온도 - 급유온도 °C	K
10	1.5
15	1
20	0.75
25	0.6

(예) 플라이 휠의 테이퍼 로울러 베어링
 $F_r = 9.5\text{kN}\{969\text{kgf}\}$, $n = 1\,800\text{ rpm}$ 으로 운전하고
 급유온도에 대한 베어링의 온도상승을 15°C로 억제하고 싶을 때의 급유량 Q를 구한다.

$d = 100\text{mm}$,
 $Dn = 100 \times 1800 = 18 \times 10^4$

그림 11.4에서, $q = 180\text{cm}^3/\text{min}$
 베어링의 온도는 배유온도와 거의 같다고 가정하면,
 표 11.9에서, $K = 1$ 이므로
 $Q = 1 \times 180 = 180\text{cm}^3/\text{min}$

11.5.3 윤활유의 교환 한도

윤활유의 교환한도는 사용조건, 유량 및 윤활유의 종류 등에 따라 다르지만, 유욕윤활에서 50°C 이하로 사용할 경우에는 1년에 한번 정도, 80~100°C가 될 경우에는 적어도 3개월 마다 교환하는 것을 목표로 한다. 중요한 장치에서는 정기적으로 윤활유의 윤활성능, 청정도 등을 확인하여 교환한도를 정하는 것이 바람직하다.

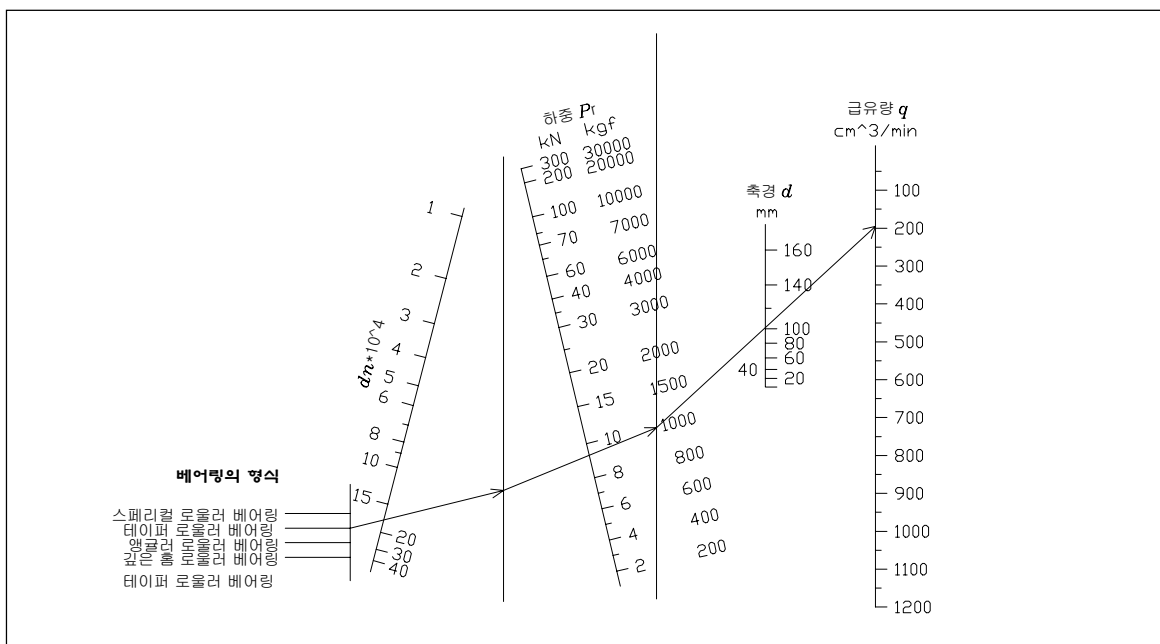


그림 11.4 급유량을 구하는 그래프

● 베어링의 밀봉장치

12. 베어링의 밀봉장치

밀봉장치(시일)의 목적은 베어링 부분에 유지되고 있는 윤활제가 외부로 누출되는 것을 방지하는 것과 외부로부터의 분진, 수분 등이 베어링 부분에 침입하는 것을 방지하는 것이다.

밀봉장치는 윤활제 종류(그리스 또는 오일), 시일부의 원주속도, 베어링의 조립오차, 수용 공간, 시일의 마찰과 그로 인한 온도상승 및 가격 등을 고려하여 선정한다.

구름 베어링의 밀봉장치는 크게 나누어, 비접촉 시일 및 접촉 시일이 있다.

• **비접촉 시일:** 비접촉 시일은 축과 하우징 커버와의 작은 틈새를 이용한 밀봉장치로 마찰이 거의 없어 고속회전에 적합하다.

밀봉 효과를 높이기 위해, 틈새 안에는 윤활제를 충전하는 경우가 많다.

• **접촉 시일:** 접촉 시일은 강판에 형성된 합성고무 등의 끝부분을 축에 끼워넣는 것에 의해 밀봉하는 시일형식이다. 비접촉 시일과 비교하여 밀봉성은 우수하지만, 마찰 토오크 및 온도상승이 커진다. 또, 시일의 끝부분이 축에 접촉되어 회전하기 때문, 시일형식에 따라 허용 가능한 원주속도가 정해져 있다.

시일의 끝부분과 축의 접촉면에는 윤활제가 필요하며, 일반적으로 베어링의 윤활제와 병용된다.

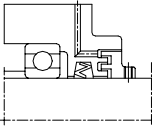
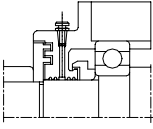
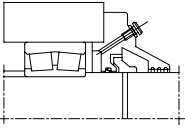
다음에 밀봉장치의 특징 및 선정시의 주의점을 나타냈다.

시일의 구조		명칭	시일의 특징 및 선정시의 주의점												
비 접 촉 시 일		틈새 시일	가장 간단한 시일형식으로 레이디얼 방향의 틈새를 작게하여, 시일을 형성하고 있다.	선정시의 주의 ・밀봉효과 가능한 한 작 접촉하지 않게끔 축의 강성, 베 주의한다. 오일의 틈새 (참고)											
		오일 홈 시일 하우징 측에 오일 홈 가공	동심의 오일 홈을 하우징 내경에 가공하여 밀봉효과를 높이는 시일형식, 오일 홈에 유지되는 윤활제가 외부로부터의 이물질 침입을 방지하는데 좋다.		<table border="1"> <thead> <tr> <th>축경 mm</th> <th>틈새 mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50 까지</td> <td>0.2~0.4</td> </tr> <tr> <td>50 이상</td> <td>0.5~1.0</td> </tr> </tbody> </table>	축경 mm	틈새 mm	50 까지	0.2~0.4	50 이상	0.5~1.0				
	축경 mm	틈새 mm													
	50 까지	0.2~0.4													
	50 이상	0.5~1.0													
		오일 홈 시일 축과 하우징 측에 오일 홈 가공	동심의 오일 홈을 축 외경과 하우징 내경 양쪽에 가공하여 밀봉효과를 높이는 시일 형식	・오일 홈의 폭 및 깊이(참고) 오일 홈의 폭 : 2~5mm 깊이 : 4~5mm ・오일 홈 수는 3개 이상으로 한다. ・오일 홈에 주도 150~200 정도의 그리스를 충전하면 밀봉효과는 더욱 기대된다. ・이 형식의 밀봉장치는 그리스 윤활로서, 저속 회전의 용도를 경우가 많다.											
	액시얼 래비린스 시일	래비린스 통로를 액시얼 방향으로 형성한 시일 형식	선정시 주의 ・밀봉효과를 높이기 위해 위하여 래비린스 통로의 틈새는 가능한 한 작게 한다. 단, 운전중에 래비린스 날개끼리 접촉하지 않게끔 축의 강성, 베어링의 강성과 끼워맞												
	레이디얼 래비린스 시일	래비린스 통로를 레이디얼 방향으로 형성한 시일 형식, 상하의 2분할 하우징에 사용된다. 액시얼 래비린스 시일보다 밀봉성이 좋다.			래비린스 틈새 (참고) <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">축경 mm</th> <th colspan="2">틈새 mm</th> </tr> <tr> <th>레이디얼방향</th> <th>액시얼방향</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>~ 50</td> <td>0.2~0.4</td> <td>1.0~2.0</td> </tr> <tr> <td>50~200</td> <td>0.5~1.0</td> <td>3.0~5.0</td> </tr> </tbody> </table>	축경 mm	틈새 mm		레이디얼방향	액시얼방향	~ 50	0.2~0.4	1.0~2.0	50~200	0.5~1.0
축경 mm	틈새 mm														
	레이디얼방향	액시얼방향													
~ 50	0.2~0.4	1.0~2.0													
50~200	0.5~1.0	3.0~5.0													
	열라이닝 래비린스 시일	래비린스 통로를 경사지게 형성한 시일 형식, 축이 하우징에 대하여 중심이 맞지 않더라도, 래비린스 날개가 접촉하지 않을 정도의 틈새가 설정되어 있다.	・래비린스 통로에 주로 150~200 정도의 그리스를 충전하면, 밀봉효과는 더욱 기대된다. ・이 형식의 밀봉장치는 고속회전의 용도에 사용된다.												

베어링의 밀봉장치

형식	시일의 구조	명 칭	시일의 특징 및 선정시의 주의점																											
비 접 속 시 일		<p>오일 림브 슬리브</p> <p>하우징 내부에 설치된 슬리브</p> <p>하우징 외부에 설치된 슬리브</p>	<p>축을 통해 나온 하우징 속의 윤활제가 튀는 방지하기 위하여, 돌기가 부착된 시일 형식</p> <p>슬리브를 하우징 안에 설치하여, 그 회전에 의한 원심력으로 윤활제의 누출을 방지하는 시일 형식.</p> <p>슬리브를 원심력으로 이물질들을 붙여 내는 시일 형식</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>선정시의 주의</p> <ul style="list-style-type: none"> 회전축에 조립된 슬리브의 원심력을 이용하는 시일 형식이다. 하우징 내부에 조립된 경우, 그 회전에 의한 원심력으로 윤활제의 밀물 이 형식의 밀봉장치가 많은 경우, 다른 밀봉장치와 병행된다. </div>																											
	접 속 시 일		<p>Z 시일</p> <p>V형 시일</p> <p>오일 시일</p>	<p>단면 형상이 Z 타입으로 된 접촉 시일이며, 공간부분에 그리스를 충전한 시일 형식. 풀러머 볼록(하우징)에 자주 사용되는 시일 형식.</p> <p>시일 림을 시일 면의 액시얼 하중 방향으로 접촉시켜, 밀봉효과를 높이는 시일 형식. 또, 원심효과에 의해, 이물질과 액체를 배출시키는 효과도 있다. 오일윤활, 그리스 윤활에 모두 사용할 수 있다. 풍속이 12m/s 를 초과할 경우에는 원심력 때문, 시일 림의 간섭량을 잃을 수 있기 때문, 고정 펀드에 의한 고정이 필요하다.</p> <p>오일 시일은 접촉시일로서 일반적으로 사용되고 있기 때문, 형식과 치수가 JIS B 2402에 표준화되어 있다. 오일 시일의 시일 림 부분에는 링 형상의 스프링이 조립되어 있으며, 이것에 의해 림 끝부분이 축의 표면에 눌러져, 밀봉효과를 높인다.</p> <p>베어링과 오일 시일이 근접해 있을 경우, 오일 시일의 발열에 의해, 베어링의 내부 틈새가 과소해질 경우가 있다. 원주속도에 의한 오일 시일의 발열에 주의하여 베어링 내부틈새를 선정한다.</p> <p>시일의 방향에 따라, 윤활제의 누출방지 외로부터의 이물질 침입방지, 2가지 효과를 갖는다.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>선정시의 주의점</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="3">축의 표면 거칠기 (참고)</th> </tr> <tr> <th>원주속도 m/s</th> <th colspan="2">표면 거칠기</th> </tr> <tr> <td></td> <th>Ra</th> <th>Rmax</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>~ 5</td> <td>0.8a</td> <td>3.2s</td> </tr> <tr> <td>5~10</td> <td>0.4a</td> <td>1.6s</td> </tr> <tr> <td>10~</td> <td>0.2a</td> <td>0.8s</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th colspan="2">축의 재료 (참고)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>재 질</td> <td>기계구조용강 저탄소 합금강 스텐레스 강</td> </tr> <tr> <td>표면경도</td> <td>HRC40 이상 필요 HRC55 이상이 바람직하다.</td> </tr> <tr> <td>마 무 리 방 법</td> <td>이송시키지 않는 연삭 마무리 또는 경질 크롬 도금후 버프 마무리</td> </tr> </tbody> </table> </div>	축의 표면 거칠기 (참고)			원주속도 m/s	표면 거칠기			Ra	Rmax	~ 5	0.8a	3.2s	5~10	0.4a	1.6s	10~	0.2a	0.8s	축의 재료 (참고)		재 질	기계구조용강 저탄소 합금강 스텐레스 강	표면경도	HRC40 이상 필요 HRC55 이상이 바람직하다.	마 무 리 방 법	이송시키지 않는 연삭 마무리 또는 경질 크롬 도금후 버프 마무리
		축의 표면 거칠기 (참고)																												
원주속도 m/s		표면 거칠기																												
	Ra	Rmax																												
~ 5	0.8a	3.2s																												
5~10	0.4a	1.6s																												
10~	0.2a	0.8s																												
축의 재료 (참고)																														
재 질	기계구조용강 저탄소 합금강 스텐레스 강																													
표면경도	HRC40 이상 필요 HRC55 이상이 바람직하다.																													
마 무 리 방 법	이송시키지 않는 연삭 마무리 또는 경질 크롬 도금후 버프 마무리																													
<p>시일 형식과 재료의 허용원주속도와 허용온도 (참고)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>시일형식과 재료</th> <th>허용 원주속도 m/s $V(m/s)=\pi \times d(mm) \times \pi (rpm) / 60000$</th> <th>허용온도 °C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">오일 시일</td> <td>니트롬 고무</td> <td>16 이하</td> <td>-25~+120</td> </tr> <tr> <td>아크릴 고무</td> <td>26 이하</td> <td>-15~+150</td> </tr> <tr> <td>폴소 고무</td> <td>32 이하</td> <td>-30~+200</td> </tr> <tr> <td>Z 시일</td> <td>니트롬 고무</td> <td>6 이하</td> <td>-25~+120</td> </tr> <tr> <td>V 링</td> <td>니트롬 고무</td> <td>40 이하</td> <td>-25~+120</td> </tr> </tbody> </table>			시일형식과 재료	허용 원주속도 m/s $V(m/s)=\pi \times d(mm) \times \pi (rpm) / 60000$	허용온도 °C	오일 시일	니트롬 고무	16 이하	-25~+120	아크릴 고무	26 이하	-15~+150	폴소 고무	32 이하	-30~+200	Z 시일	니트롬 고무	6 이하	-25~+120	V 링	니트롬 고무	40 이하	-25~+120							
시일형식과 재료	허용 원주속도 m/s $V(m/s)=\pi \times d(mm) \times \pi (rpm) / 60000$	허용온도 °C																												
오일 시일	니트롬 고무	16 이하	-25~+120																											
	아크릴 고무	26 이하	-15~+150																											
	폴소 고무	32 이하	-30~+200																											
Z 시일	니트롬 고무	6 이하	-25~+120																											
V 링	니트롬 고무	40 이하	-25~+120																											

● 베어링의 밀봉장치

형식	시일의 구조	명 칭	시일의 특징 및 선정시의 주의점
조 합 시 일		Z 시일 + 래비린스 시일	Z시일의 밀봉 성능을 높이기 위하여, 액시얼 래비린스 시일을 추가한 시일형식. 액시얼 래비린스 시일은 셋팅 볼트 등으로 축에 고정시킨다. 왼쪽 그림의 경우, Z시일의 방향에 따라 Z시일, 래비린스 시일 모두 이물질의 침입방지를 목적으로 한다.
		래비린스 시일+ 오일 홈 시일+ 슬링거	비접촉 시일을 3중으로 조합한 형식. 외부로부터의 이물질 혼입방지와 윤활제의 누출방지 2가지의 효과를 갖는다. 광산기계 등, 분진이 많은 장소의 플러머 블록은 시일로서 이용된다.
		오일 홈 시일 + 슬링거+ Z 시일	Z시일의 밀봉성능을 높이기 위해, 오일 홈 시일과 슬링거를 추가한 형식. 왼쪽 그림과 같이 Z시일의 방향에 따라, 이물질의 혼입방지를 위한 3중 시일 구조로 되어 있다. 광산기계 등, 분진이 많은 장소의 플러머 블록용 시일로서 이용된다.

● 베어링의 재료

13. 베어링 재료

13.1 궤도륜 및 전동체의 재료

구름 베어링은 궤도면과 전동체의 작은 접촉면으로 큰 하중을 받으면서, 높은 정밀도를 유지하여 회전할 필요가 있다. 이 때문, 궤도륜 및 전동체는 경도가 높을 것, 구름 피로가 강할 것, 내마모성이 있을 것 및 치수 안정성이 높을 것 등의 특성이 요구된다. 특히, 구름 피로수명에 큰 영향을 끼치는 것으로는 강에 비금속의 첨가물이 섞이는 것을 예로 들 수 있다. 비금속 첨가물 중에서도 경화 산화물 계열의 첨가물은 피로균열의 원인이 되기 쉽기 때문, 비금속 첨가물이 적은 청정한 강을 이용할 필요가 있다.

NTN 베어링에는 진공 탈 가스 처리 및 노외정련을 하는 것에 의해, 유해한 산화물 계열의 첨가물을 적게 한 청정한 강을 이용한다. 특히, 고신뢰성을 필요로 하는 베어링에는 더욱 청정도가 높은 진공 용해재(VIM.VAR, CEVM)와 전기 슬래그 용해재(ESR)를 사용하고 있다.

1) 고.중탄소 합금강

일반적으로 구름 베어링의 궤도륜 및 전동체는 이른바 「심층 열처리」에 의해, 표면만이 아니고 내부까지 경화된 재료가 사용된다. 고.중탄소 합금강으로서의 고탄소 크롬 베어링강이 널리 사용된다. 또 대형 베어링, 단면치수가 큰 베어링에 대해서는 망간과 몰리브덴의 첨가에 따라, 열처리 정도를 높인 베어링강이 사용된다. 그 외, 중탄소강에 실리콘, 망간을 첨가하여 고탄소 크롬강과 동등한 열처리 성질을 가진 재료도 사용한다.

2) 탄소강

탄소 열처리는 표면으로부터 적당한 깊이까지 경화시켜, 비교적 경도가 낮은 심부(코어)를 형성하는 것에 의해, 경도와 인성을 겸비하기 때문, 내충격성에 우수하다. NTN의 상당수의 테이퍼 로울러 베어링은 침탄강을 사용하고 있다. 침탄강으로서의 소.중형 베어링에는 크롬강, 크롬 몰리브덴강을 사용하고 대형 베어링에는 니켈 크롬 몰리브덴강을 사용한다.

3) 내열 베어링강

일반 고탄소 크롬강을 사용한 베어링은 120℃ 이상에서 장시간 사용하면, 표준 열처리로서는 비교적 큰 치수변화가 발생한다. 따라서, 그 최고 사용온도에 견딜 수 있는 치수안정화 처리(TS 처리)를 한 베어링이 사용된다. 치수 안정화 처리를 함에 따라, 경도가 저하되기 때문, 구름 피로수명은 저하된다(A-16쪽 3.3.2항 참조). 150~200℃ 정도의 준고온용 베어링에 사용되는 재료로는 실리콘을 첨가하여 내열성을 높인 재료가 있으며, 고온에서의 경도저하 및 치수변화가 작기 때문, 구름 피로수명이 길다.

더우기, 고온에서 사용되는 베어링에는 사용중의 연화 및 치수변화가 작은 내열강이 이용된다. 내열강으로서의 몰리브덴계의 고속도강과 텅스텐계의 고속도강을 사용하고 있다. 또, 내열성이 요구되고 고속회전에서 사용되는 베어링에는 몰리브덴계의 내열침탄강을 사용한다.

4) 내식 베어링강

내식성을 요구하는 용도에는 스테인레스 강이 이용된다. 내식성에 기여하는 합금원소인 크롬을 많이 함유한 마르텐사이트계의 스테인레스강을 사용한다.

5) 고주파 열처리강

침탄 열처리가 아닌 고주파 열처리로 궤도면을 경화시키는 베어링에는 심층 열처리강 보다는 탄소량이 작은 중탄소강을 주로 사용한다. 대형 베어링과 단면 치수가 큰 베어링으로서, 깊은 고주파 열처리의 층이 요구되는 경우는 크롬과 몰리브덴을 첨가한 중탄소강을 사용한다.

6) 그 외의 재료

초고속 회전과 내식성 용도에는 세라믹(Si₃N₄) 재료가 사용될 경우도 있다.

● 베어링의 재료

13.2 케이지의 재료

케이지의 재료는 회전중에 받는 진동과 충격하중에 견딜 수 있는 강도를 갖고, 전동체 및 궤도륜과의 마찰이 작고 경량이며, 베어링의 운전온도에 견딜 수 있어야 된다.

소형, 중형 베어링에 사용되는 프레스 케이지의 재료에는 0.1% 정도의 저탄소 냉간 또는 열간 압연 강판이 사용되며, 용도에 따라 오스테나이트계 스텐레스 강판을 사용한다.

대형 베어링에는 일반적으로 기계가공 케이지를 사용하며, 재료는 기계구조용 탄소강 및 고력황동 주물이 사용되는 경우가 많으나, 알루미늄 합금 등도 사용된다.

항공기용 베어링에는 고력황동 이외에, 중탄소의 니켈·크롬·몰리브덴강의 열처리·고온열풀림 처리한 것을 사용한다. 또, 윤활특성을 향상시키기 위하여, 이들의 재료에 온도금한 것이 많이 사용된다.

이 외에, 케이지에는 사출성형이 가능한 고분자 재료도 널리 사용된다. 일반적으로는 유리섬유로 강화시킨 내열성 폴리미드 수지를 사용한다. 고분자 재료의 케이지는 경량으로 내식성이 있으며, 감쇠성, 윤활성능에도 우수한 특성을 갖고 있다. 더우기, 내열성 폴리미드 수지의 케이지는 통상 -40°C ~ 120°C 까지의 고온에서 연속사용이 가능하다. 따라서, 120°C 를 초과하는 고온에서는 사용할 수 없다.

● 베어링 및 하우징의 설계

14. 축 및 하우징의 설계

베어링은 축 및 하우징의 설계에 따라, 편하중 등의 영향을 받아, 베어링 성능이 크게 변할 경우가 있다. 그 때문, 다음 사항에 주의하여 축 및 하우징의 설계를 할 필요가 있다.

- (1) 베어링 배열의 선정, 배열 예에 적응된 궤도륜의 고정 방법
- (2) 베어링에 적응된 축 및 하우징 틈새의 원통도와 턱의 높이 치수
- (3) 끼워맞춤부의 치수, 형상 정밀도와 턱의 흔들림 공차
- (4) 베어링의 허용경사각, 허용조심각에 적응한 축 및 하우징의 가공정밀도, 조립오차

14.1 베어링의 고정

구름 베어링을 축 또는 하우징에 고정하기 위해서는 끼워맞춤의 간섭량만으로는 충분하지 않을 수 있다. 액시얼 하중을 받는 베어링에 대해서는 궤도륜이 액시얼 방향으로 이동하지 않도록, 고정할 필요가 있다.

또, 액시얼 하중을 받지 않는 베어링(실린드릭얼 로울러 베어링 등)은 모멘트 하중에 의한 축의 휨에 따라, 궤도륜이 이동할 경우가 있으며, 베어링의 손상이 발생할 염려가 있기 때문, 액시얼 방향의 고정이 필요하다.

표14.1에 일반적인 고정방법과 표14.2에는 테이퍼 내경 베어링의 고정방법에 대하여 나타냈다.

표 14.1 일반적인 고정방법

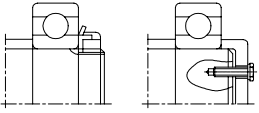
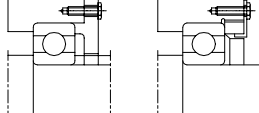
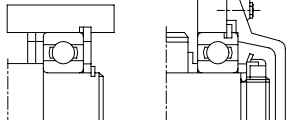
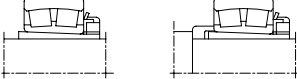
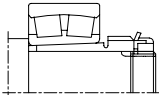
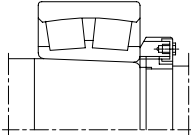
내륜의 고정	외륜의 고정	스냅 링을 이용한 고정
		
<p>가장 일반적인 고정방법은 체결너트 또는 볼트를 이용하여, 축의 턱 또는 하우징의 턱에 궤도륜을 체결하는 것이다.</p>		<p>JIS B 2804, 2806에서 규정되어 있는 것과 같이, 스냅링을 사용하면, 구조가 간단해진다. 단, 모떼기와외의 간섭 등, 베어링의 조립관계치수를 만족시켜야 된다.또, 큰 액시얼 하중이 스냅링에 적용할 경우와 고정밀도를 필요로 하는 경우에는 적합하지 않다.</p>

표 14.2 테이퍼 내경 베어링의 고정

어댑터 슬리브에 의한 고정	해체 슬리브에 의한 고정	분할 링에 의한 조립
		
<p>스트레이트 축에 조립 할 경우에는 어댑터슬리브 또는 해체 슬리브를 사용하여, 액시얼 방향으로 고정할 수 있다. 어댑터 슬리브는 슬리브 내경과 축의 마찰력에 의해 고정된다.</p>		<p>테이퍼 축에 조립할 경우에는 체결너트 및 외경에 나사를 2개로 나눈 분할 링을 축에 가공된 홈에 끼워넣어, 체결 너트로 고정시킨다.</p>

● 축 및 하우징의 설계

14.2 베어링의 조립관계치수

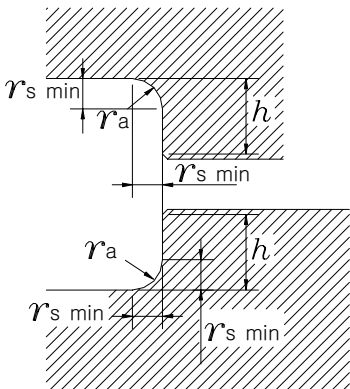
14.2.1 턱의 높이와 모서리의 라운드

축 및 하우징의 턱 높이(h)는 베어링의 모떼기 최대 허용치수($r_{s\ max}$) 보다 크게 하여, 베어링 단면이 평탄부에 접촉되도록 설계한다. 모서리의 라운드 (r_a)는 베어링의 모떼기 최소 허용치수 ($r_{s\ min}$) 보다 작게 하여, 간섭되지 않도록 한다.

일반적으로는 표14.3에 나타낸 턱의 높이(h) 및 모서리의 라운드(r_a)를 이용한다. 큰 액시얼 하중을 받는 베어링에는 턱의 높이(h)를 이 표에 나타낸 값보다 크게 한다.

표14.3 턱의 높이와 모서리의 라운드

rs min	ras max	단위 mm h (최소)	
		일반적인 경우 ¹⁾	특별한 경우 ²⁾
0.05	0.05	0.3	
0.08	0.08	0.3	
0.01	0.01	0.4	
0.15	0.15	0.6	
0.2	0.2	0.8	
0.3	0.3	1.25	1
0.6	0.6	2.25	2
1	1	2.75	2.5
1.1	1	3.5	3.25
1.5	1.5	4.25	4
2	2	5	4.5
2.1	2	6	5.5
2.5	2	6	5.5
3	2.5	7	6.5
4	3	9	8
5	4	11	10
6	5	14	12
7.5	6	18	16
9.5	8	22	20
12	10	27	24
15	12	32	29
19	15	42	38



주1) 큰 액시얼 하중이 걸릴 경우에는 이 값보다 큰 턱의 높이가 필요하다.

2) 액시얼 하중이 적을 경우에 이용한다. 이들의 값은 테이퍼 로울러 베어링과

앵글러 볼 베어링 및 스페리컬 로울러 베어링에는 적당하지 않다.

비고 : ras max라는 것은 모서리 라운드의 최대 허용치이다.

● 축 및 하우징의 설계

14.2.2 스페이서 및 연삭 언더컷을 이용할 경우

응력집중을 완화하고 축의 강도를 높이기 위하여, 모서리의 라운드 ($r_{s\ max}$)를 베어링의 모떼기 치수보다 크게 할 필요가 있을 때(그림 14.1a), 또는 축의 턱이 낮아 충분한 접촉면적을 얻을 수 없을 때(그림 14.1b)에는 축의 턱과 베어링 사이에 스페이서를 사용한다.

축 또는 하우징의 끼워맞춤면을 연삭 마무리 할 경우의 언더컷 치수를 표 14.4에 나타냈다.

그림 14.1 스페이서를 사용하는 방법

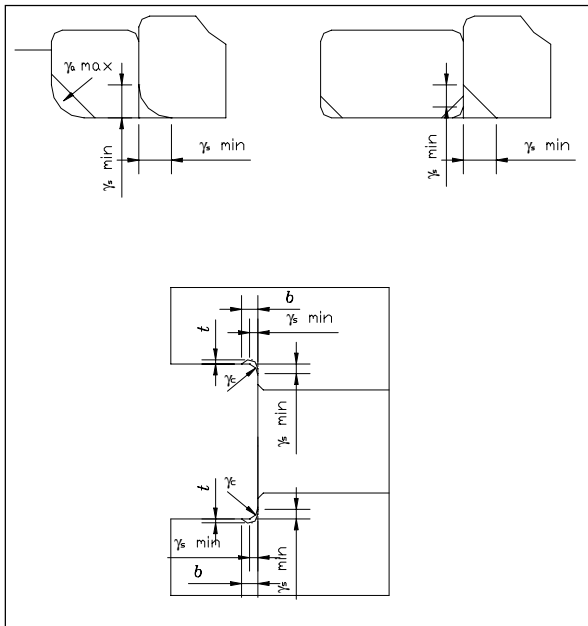


표 14.4 연삭 언더컷 치수

$r_s\ min$	언더컷 라운드 치수		
	b	t	r_c
1	2	0.2	1.3
1.1	2.4	0.3	1.5
1.5	3.2	0.4	2
2	4	0.5	2.5
2.1	4	0.5	2.5
2.5	4	0.5	2.5
3	4.7	0.5	3
4	5.9	0.5	4
5	7.4	0.6	5
6	8.6	0.6	6
7.5	10	0.6	7

● 축 및 하우징의 설계

14.2.3 스러스트 베어링의 조립관계치수

스러스트 베어링은 부하와 강성면에 있어서, 궤도반의 지지면을 충분히 넓게할 필요가 있으며, 치수표의 조립관계치수를 적용한다(그림14.2, 그림14.3)

따라서, **레이디얼 베어링보다 축 및 하우징의 턱 높이는 커진다**(각 스러스트 베어링의 조립관계치수에 대해서는 치수표에 기재되어 있다).

14.3 축 및 하우징의 정밀도

일반적인 사용조건에 대한 축 및 하우징의 끼워맞춤부 치수 정밀도,형상정밀도 및 표면 거칠기와 끼워맞춤면에 대한 턱의 흔들림 공차를 표14.5에 나타냈다.

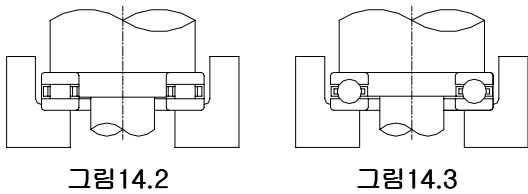


표14.5 축 및 하우징의 정밀도

항 목		축	하우징
치수 정밀도		IT6 (IT5)	IT7 (IT5)
진원도 (최대)			
원통도			
턱의 흔들림 공차		IT3	IT3
끼워맞춤 면의 거칠기	소형 베어링	0.8a	1.6a
	중형·대형 베어링	1.6a	3.2a

비고 : 정밀베어링(P4, P5 정밀도)의 경우, 진원도 ·원통도에 대해서는 이 표의 정밀도의 1/2 정도로 할 필요가 있으며, 상세한 내용은 **NTN** 공작기계용 정밀 구름베어링 카탈로그를 참조 바랍니다.

14.4 베어링의 허용 경사각

축의 휨, 축 및 하우징의 가공정밀도, 조립오차 등에 의하여 베어링의 내륜과 외륜은 다소 기울기가 발생하는 경우가 있다. 이 기울기가 클 경우에는 스페리컬 볼 베어링, 스페리컬 로울러 베어링 또는 구름 베어링 유니트 등, 조심성이 있는 베어링을 사용한다. 허용경사각은 베어링의 형식, 하중, 베어링 내부통새 등에 따라 다르지만, 수명저하 및 케이지의 파손영여가 있기 때문, 그 기준은 일반 용도의 경우, 표14.6에 나타난 경사각 이하에서 사용할 필요가 있다.

표14.6 베어링의 형식과 허용경사각·허용조심각

허 용 경 사 각			
깊은 홈 볼 베어링	1/1 000~1/300	실린드릭 로울러 베어링	
앵글러 볼 베어링		단열 및 배면조합	1/2 000
단열	1/1 000	정면조합	1/1 000
복열	1/10 000	니들 로울러 베어링	1/2 000
배면조합	1/10 000	스러스트 베어링	1/10 000
정면조합	1/1 000	[스러스트 스페리컬 로울러 베어링은 제외]	
실린드릭 로울러 베어링			
베어링계열 2, 3, 4	1/1 000		
베어링계열 22,23,49,20	1/2 000		
허 용 조 심 각			
스페리컬 볼 베어링	1/20	스러스트 스페리컬 로울러 베어링	1/30
스페리컬 로울러 베어링	1/50~1/30	볼 베어링 유니트	
		커버 없음	1/30
		커버 포함	1/50

● 베어링의 취급

NTN

15. 베어링의 취급

구름 베어링은 일반 기계부품에 비하여 정밀한 부품으로서, 그 정밀도를 유지하기 위해서는 신중하고 섬세한 취급이 필요하다. 베어링을 청결히 유지할 것, 강한 충격을 주지 않을 것, 녹을 방지할 것 등이 취급에 있어서, 특히 요구되는 사항이다.

15.1 베어링의 보관

베어링은 방청제를 도포 후, 포장하여 출하하고 있다. 베어링을 보관하기에는 실온에서 상대습도 60% 이하의 장소가 바람직하다.

15.2 베어링의 조립

베어링을 조립할 때, **그림 15.1**에 나타난 것과 같이, 베어링 단면을 망치로 직접 두드리거나, 드라이버 등을 이용하여 부분적으로 두드리서 궤도륜을 삽입하는 것은 베어링의 성능에 영향을 끼칠 수 있기 때문에, **궤도륜의 원주에 균등하게 압력을 가하여 삽입**하는 방법을 사용하여야 한다. 또, **그림 15.2**에 나타난 것과 같이, 궤도륜(예:외륜)에 압력을 가해, 전동체를 사이에 두고 다른 한쪽의 궤도륜(이 경우는 내륜)을 삽입하는 것은 궤도면에 압흔 또는 흠을 발생시키기 때문, 이러한 방법은 피해야 한다.

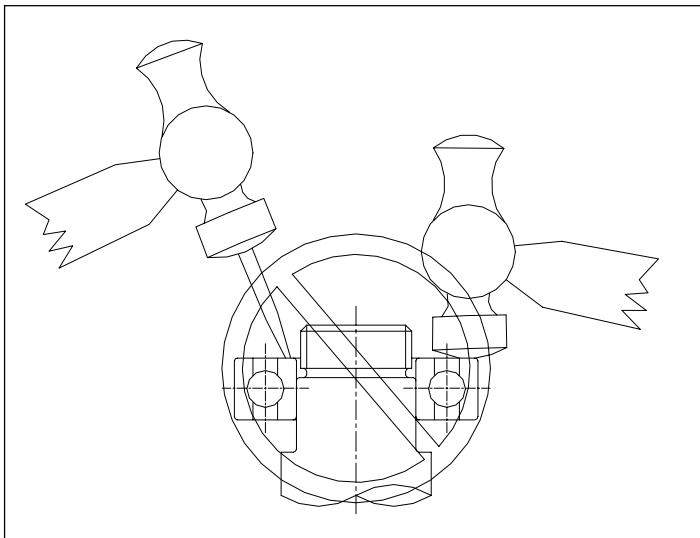


그림 15.1

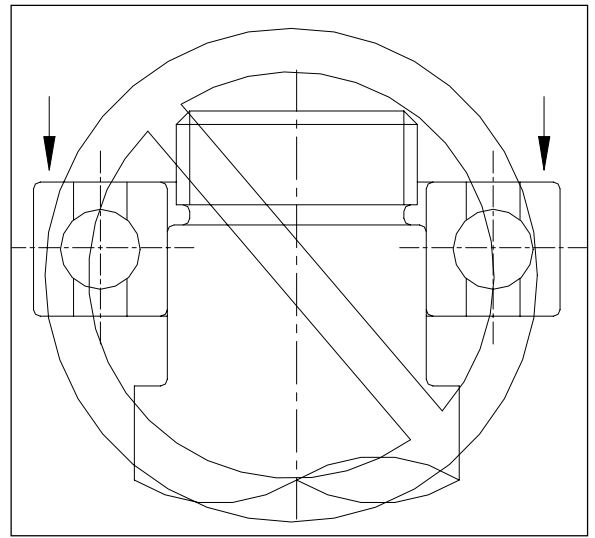


그림 15.2

15.2.1 조립하기 위한 준비

베어링을 조립하기 위해서는 청결하고 건조한 작업장을 준비한다. 특히, 미니어처·소경 볼 베어링의 조립은 이물질의 침입이 베어링의 성능에 큰 영향을 끼치기 때문에, 클린 룸에서 행하는 것이 바람직하다.

베어링을 조립하는 축, 하우징 관련부품 및 조립 치공구는 **이물질 등을 깨끗이 제거**한다. 또한, 베어링 조립부의 치수 정밀도, 형상 정밀도, 거칠기를 검사하여, 허용공차 안에 있는지를 확인한다.

베어링은 조립하기 바로 전에 개봉한다. 일반적으로 그리스 윤활로 사용할 경우에는 방청제를 세척하지 않고, 그대로 조립하는 것이 좋다. 그러나, 오일 윤활로 사용할 때 또는 그리스 윤활이더라도 그리스가 방청제와 혼합되는 것에 의해, 윤활 기능을 잃을 경우에는 방청제를 청정한 세정유로 제거한 다음에 조립한다. **양쪽 슈일드 및 시일 베어링은 세척해서는 안된다.**

● 베어링의 취급

15.2.2 스트레이트 내경의 조립

끼워맞춤 공차의 간섭량이 비교적 작은 베어링에는 **그림15.3**에 나타난 것과 같이, 상온상태에서 궤도륜 원주를 균등하게 압입할 수 있다. 통상, 슬리브를 망치로 두드려 압입하는데, 한번에 많은 베어링을 조립할 경우에는 메카니컬 또는 유압 프레스를 이용한다.

비분리형 베어링을 축 및 하우징에 동시 조립할 경우에는 **그림15.4**에 나타난 것과 같이, 강판을 이용하여 내륜과 외륜에 따뜻하게 내륜을 팽창시키는 방법이 이용된다. 내륜과 끼워맞춤면 사이에 필요한 온도차는 간섭량과 끼워맞춤면의 직경에 의해 결정된다. **그림15.5**에 베어링 내경의 온도차에 의한 팽창량의 관계를 나타냈다. 하지만, **베어링을 120℃ 이상으로 가열해서는 안 된다.**

베어링을 가열하는데는 가열한 청정한 오일에 베어링을 담그는 방법이 가장 일반적으로 이용된다. 이 방법은 그리스를 봉입한 쉬일드 및 시일 베어링에 사용해서는 안 된다.

이때, 베어링이 부분적으로 가열되는 것을 방지하기 위해서는 베어링을 금속 그물대 위에 올려 놓던가, 오일 속에 매달아 가열한다.

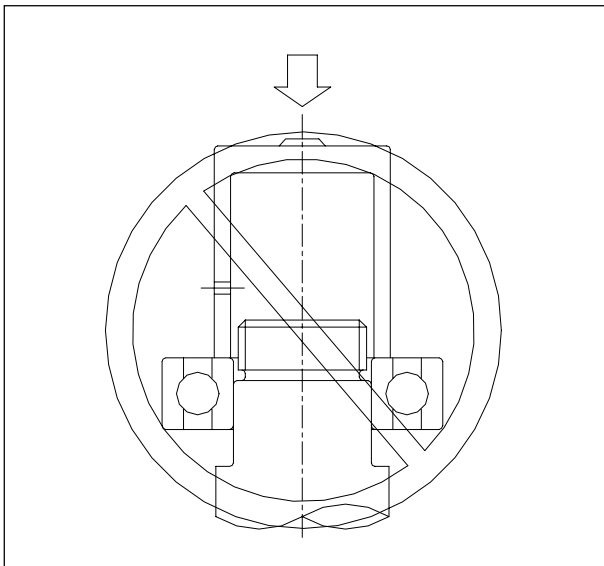


그림15.3 내륜의 압입

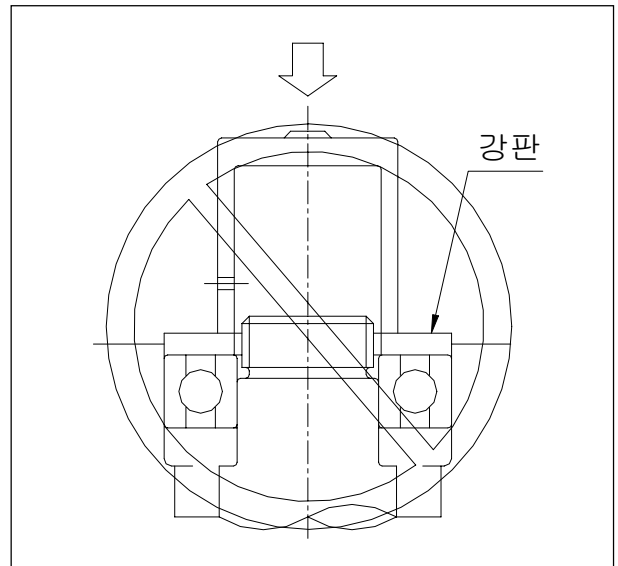


그림15.4 내륜·외륜의 동시 압입

● 베어링의 취급

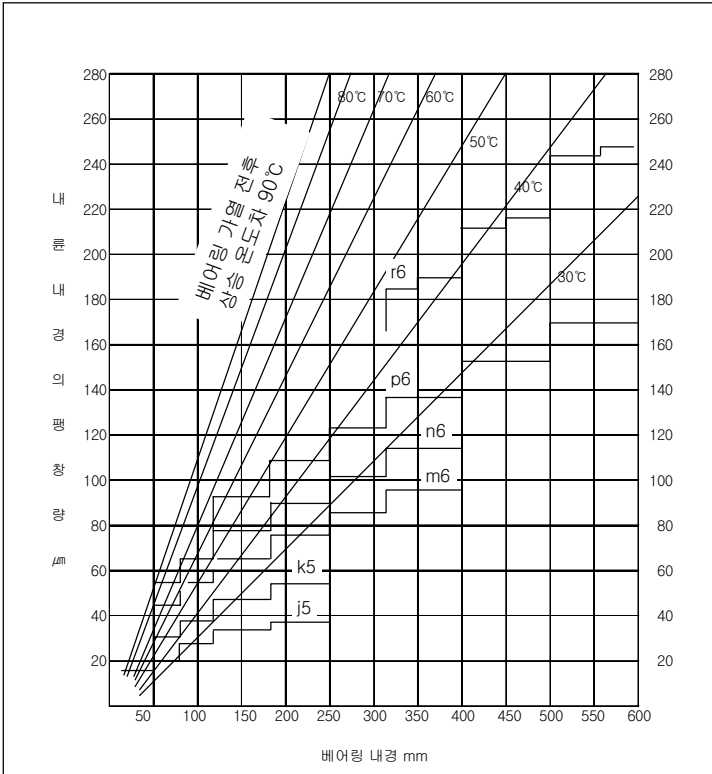


그림15.5 내륜의 열박음에 필요한 가열온도

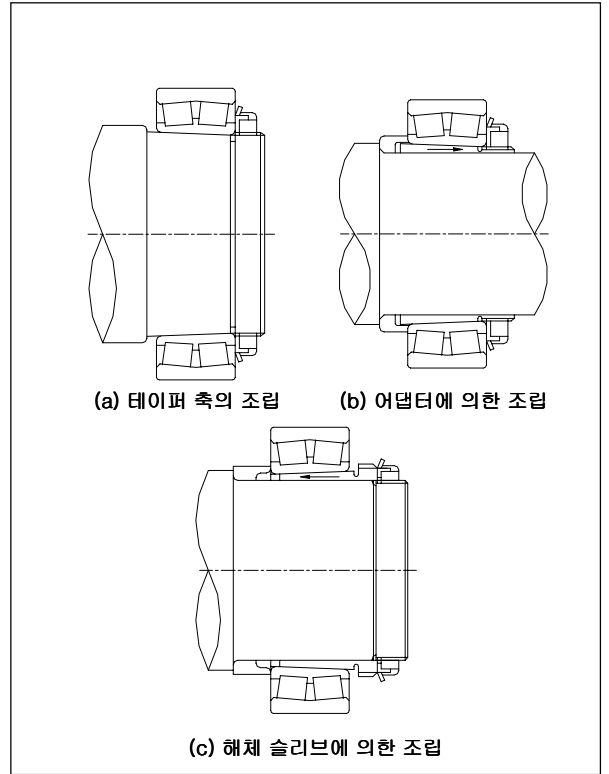


그림15.7 잠금 너트에 의한 조립

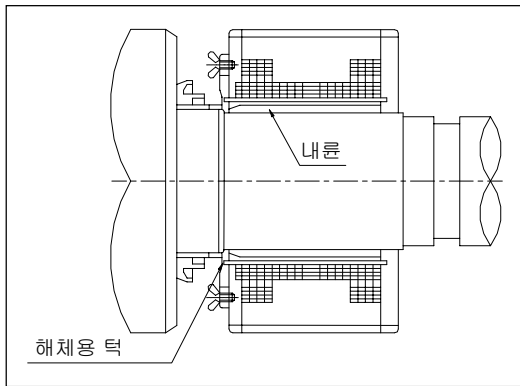


그림15.6 유도가열장치를 내륜의 해체에 이용한 경우

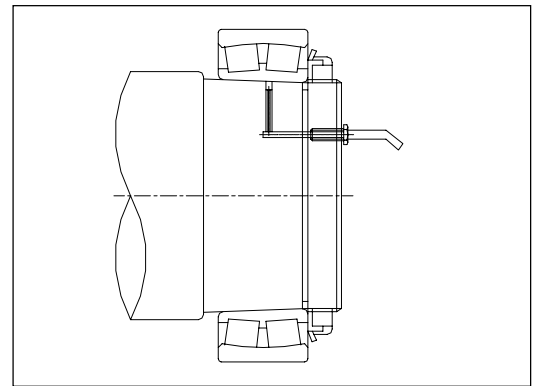


그림15.8 오일 인젝션에 의한 조립

항온조 등의 장치를 이용하여 공기중에서 베어링을 가열하는 방법은 베어링을 건조한 상태 그대로 취급할 수 있다. NU, NJ 또는 NUP 타입과 같이, 턱이 없는 것 또는 한쪽 턱의 실린드릭럴 로울러 베어링의 내륜을 가열할 때는 유도가열 장치를 이용하면, 베어링은 건조상태에서 단시간에 가열할 수 있다.

가열한 베어링을 축에 삽입한 후, 내륜과 축의 턱을 베어링이 냉각될 때까지 밀어넣어서 틈새가 생기는 것을 방지한다.

그림15.6에 나타난 것과 같이, 이 유도가열장치는 해체용 턱에 의해 내륜의 해체에도 이용할 수 있다.

15.2.3 테이퍼 내경 베어링의 조립

소형 베어링은 테이퍼 축이나 해체 슬리브 또는 어댑터 슬리브를 이용하여 베어링을 잠금 너트로 조여서 조립한다. 너트는 망치 또는 임팩트 스패너로 체결한다(그림15.7).

대형 베어링은 조임력이 크기 때문, 유압을 이용하여 조립한다.

그림15.8은 테이퍼 축에 베어링을 직접 조립할 경우인데, 끼워맞춤면에 고압의 오일을 보내어(오일 인젝션), 끼워맞춤면의 마찰을 작게하여, 잠금 너트의 체결 토오크를 작게하는 것이다.

● 베어링의 취급

NTN

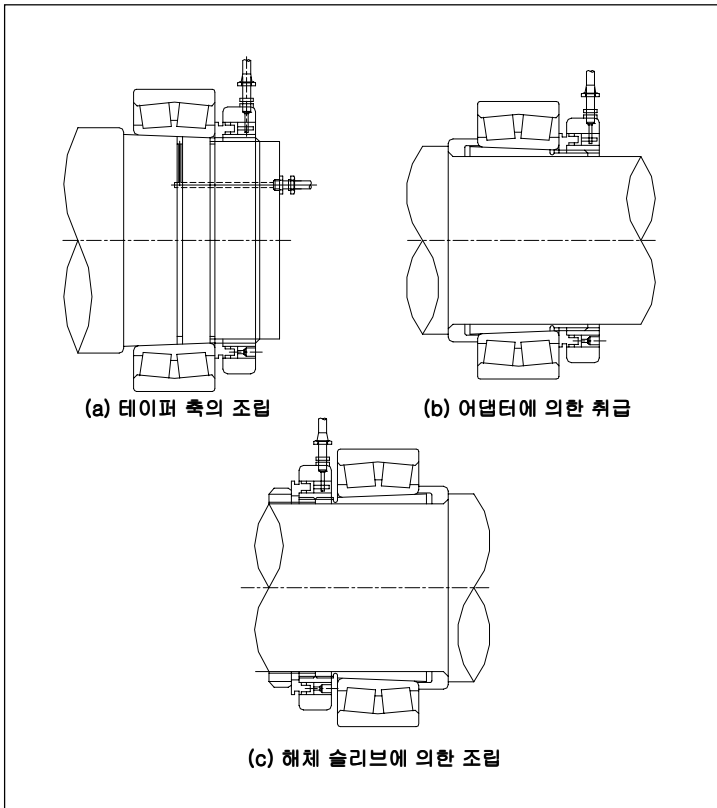


그림15.9 유압 너트에 의한 조립

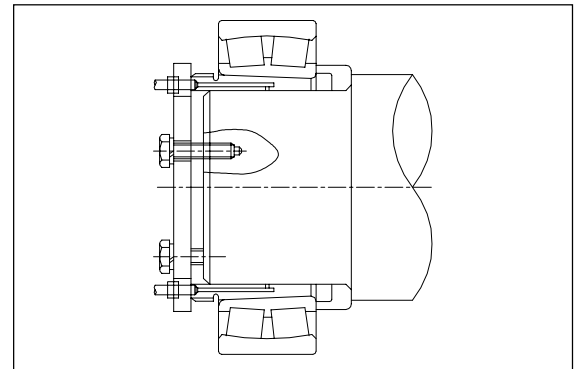


그림15.10 유압 슬리브에 의한 조립

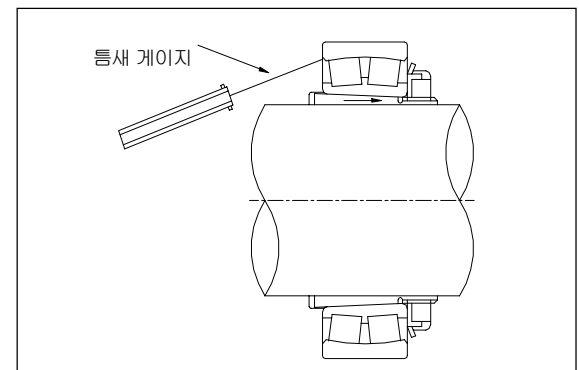


그림15.11 스페리컬 로울러 베어링의 틈새 측정 방법

그림15.9 (a)는 유압 너트를 이용하여 테이퍼 축에 조립하는 방법을 나타낸 것이다.

그림15.9 (b) 및 (c)는 어댑터 슬리브 및 해체 슬리브를 이용하여 조립할 경우, 유압 너트에 의한 조립을 나타낸 것이다.

그림15.10은 유압식 해체 슬리브를 이용한 방법을 나타낸 것이다.

네이퍼 내경 베어링은 내륜을 테이퍼 축과 어댑터 슬리브 또는 해체 슬리브의 위를 액시얼 방향으로 집어넣음에 따라, 간섭량이 증가하여 액시얼 내부틈새가 감소된다. 레이디얼 틈새의 측정은 그림15.11에 나타낸 것과 같이, 로울러를 정확한 위치에 안정시켜 무부하 상태에서 로울러와 외륜 사이에 틈새 게이지(시그네스 게이지)를 집어넣어 측정한다. 레이디얼 내륜 틈새의 감소량 대신에 액시얼 방향의 죄임량을 측정함에 따라, 끼워맞춤 간섭량을 추정할 수도 있다.

스페리컬 로울러 베어링은 표15.1에 나타낸 레이디얼 내부틈새의 감소량 또는 액시얼 방향의 압입량에 이르기까지 액시얼 방향으로 압입하는 것에 의해, 적당한 끼워맞춤 간섭량을 얻을 수 있다.

중하중이 작용할 때, 고속에 사용할 때, 또는 내륜과 외륜의 온도차가 클 때 등, 끼워맞춤 간섭량을 크게 할 필요가 있을 경우에는 베어링의 레이디얼 내부틈새가 C3 이상의 베어링을 사용하여 레이디얼 내부틈새의 감소량 또는 액시얼 방향의 압입량을 표15.1에 나타낸 최대치로 한다. 이때의 잔류틈새는 표15.1에 나타낸 최소잔류틈새 이상으로 할 필요가 있다.

● 베어링의 취급

15.2.4 외륜의 조립

외륜을 억지끼워맞춤(타이트.피트)으로 하우징에 조립할 경우, 소형 베어링은 상온에서 외륜을 압입하지만, 간섭량이 클 때에는 하우징을 가열하여 외륜을 삽입하는 방법과 외륜을 드라이 아이스 등의 냉각제를 사용하여 수축시키는 냉각박음이 이용된다. 냉각박음을 이용할 경우, 베어링 표면에는 공기중의 수분이 결로(이슬이 맺힘)되는 경우가 있기 때문, 적절한 녹지의 처리가 필요하다.

15.3 베어링 내부틈새의 조정

앵귤러 볼 베어링 및 테이퍼 로울러 베어링은 **그림15.12**에 나타난 것과 같이, 베어링을 조립할 때, 너트를 죄거나 푸는 것에 의해, 액시얼 내부틈새를 자유롭게 설정 할 수 있다. 적절한 액시얼 내부틈새 또는 예압량으로 베어링을 조정하기 위해서는 **그림15.13**에 나타난 것과 같이, 액시얼 내부틈새를 측정하면서 너트를 체결하는 방법, 축 또는 하우징을 회전시켜, 회전 토크를 확인하면서 너트를 체결하는 방법 및 적당한 두께의 스페이서를 삽입하는 방법이 있다(**그림15.14**).

● 베어링의 취급

표 15.1 테이퍼 내경 스페리컬 로울러 베어링의 조립

단위 mm

호칭 베어링 내경 d		레이디얼 내부 틸트량의 감소량		액시얼 방향의 죄임량				최소 잔류 내부 틸트		
초과	이하	최소	최대	테이퍼 1/12		테이퍼 1/30		CN	C3	C4
				최소	최대	Z 최소	최대			
30	40	0.02	0.025	0.35	0.4	—	—	0.015	0.025	0.04
40	50	0.025	0.03	0.4	0.45	—	—	0.02	0.03	0.05
50	65	0.03	0.035	0.45	0.6	—	—	0.025	0.035	0.055
65	80	0.04	0.045	0.6	0.7	—	—	0.025	0.04	0.07
80	100	0.045	0.055	0.7	0.8	1.75	2.25	0.035	0.05	0.08
100	120	0.05	0.06	0.75	0.9	1.9	2.25	0.05	0.065	0.1
120	140	0.065	0.075	1.1	1.2	2.75	3	0.055	0.08	0.11
140	160	0.075	0.09	1.2	1.4	3	3.75	0.055	0.09	0.13
160	180	0.08	0.1	1.3	1.6	3.25	4	0.06	0.1	0.15
180	200	0.09	0.11	1.4	1.7	3.5	4.25	0.07	0.1	0.16
200	225	0.1	0.12	1.6	1.9	4	4.75	0.08	0.12	0.18
225	250	0.11	0.13	1.7	2	4.25	5	0.09	0.13	0.2
250	280	0.12	0.15	1.9	2.4	4.75	6	0.1	0.14	0.22
280	315	0.13	0.16	2	2.5	5	6.25	0.11	0.15	0.24
315	355	0.15	0.18	2.4	2.8	6	7	0.12	0.17	0.26
355	400	0.17	0.21	2.6	3.3	6.5	8.25	0.13	0.19	0.29
400	450	0.2	0.24	3.1	3.7	7.75	9.25	0.13	0.2	0.31
450	500	0.21	0.26	3.3	4	8.25	10	0.16	0.23	0.35
500	560	0.24	0.3	3.7	4.6	9.25	11.5	0.17	0.25	0.36
560	630	0.26	0.33	4	5.1	10	12.5	0.2	0.29	0.41
630	710	0.3	0.37	4.6	5.7	11.5	14.5	0.21	0.31	0.45
710	800	0.34	0.43	5.3	6.7	13.3	16.5	0.23	0.35	0.51
800	900	0.37	0.47	5.7	7.3	14.3	18.5	0.27	0.39	0.57
900	1 000	0.41	0.53	6.3	8.2	15.8	20.5	0.3	0.43	0.64
1 000	1 120	0.45	0.58	6.8	8.7	17	22.5	0.32	0.48	0.7
1 120	1 250	0.49	0.63	7.4	9.4	18.5	24.5	0.34	0.54	0.77

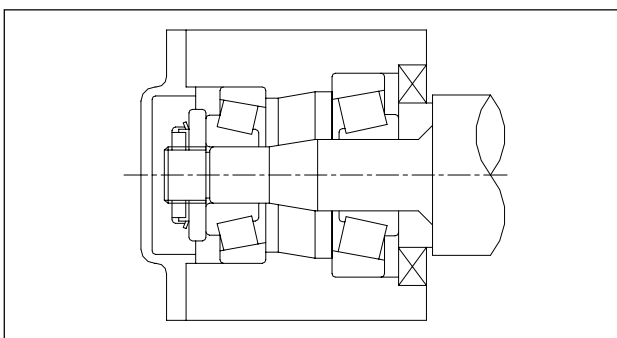


그림 15.12 액시얼 내부틈새의 조정

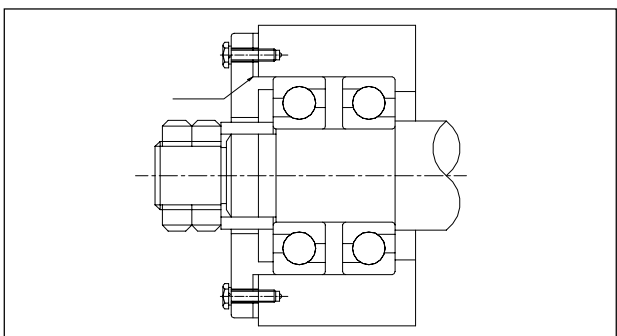


그림 15.14 스페이서에 의한 내부틈새의 조정

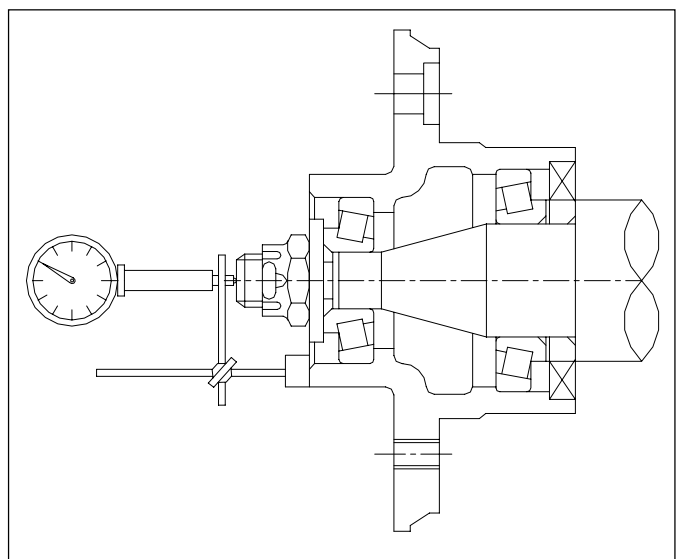


그림 15.13 액시얼 내부틈새의 측정

● 베어링의 취급

15.4 조립후의 회전검사

베어링을 조립후에는 베어링이 확실히 조립되었는지를 확인하기 위하여, 회전검사를 한다. 수동으로 축 또는 하우징을 회전시켜, 이상이 없으면 동력으로 무부하로 저속회전시켜 **회전상태를 확인하면서 점점 회전속도 및 부하를 높인다.** 회전의 소음, 진동 및 온도상승을 조사하여, 어떠한 이상을 발견하였을 때는 회전을 정지시켜, 기계장치를 점검하여 필요에 따라 베어링을 해체하여 조사한다.

베어링의 회전음은 청진기를 하우징에 대어 소리의 크기와 음질을 조사하여 맑은 음이면 정상이다. 높은 금속음 또는 불규칙적인 소리가 발생할 경우에는 무언가의 이상이 있음을 나타낸다. 또, 진동측정기를 이용하여 발생하는 진동의 진폭, 주파수의 특성을 측정하는 것에 의해, 이상원인의 추정도 가능하다.

베어링의 온도는 하우징 외부의 온도로 측정하는 것이 일반적이지만, 오일 홀 등을 이용하여 외륜의 온도를 직접 측정할 수 있으면, 보다 정확한 판단을 할 수 있다.

베어링의 온도는 하우징 외부의 온도로 측정하는 것이 일반적이지만, 오일 홀 등을 이용하여 외륜의 온도를 직접 측정할 수 있으면, 보다 정확한 판단을 할 수 있다.

베어링의 온도는 회전시간에 비례하여 상승하며, 일정시간 후에는 정상상태에 이르게 된다. 온도상승이 급격하던가, 온도가 계속 상승하던가, 또는 상당한 고온이 될 때에는 정상적인 상태가 아니므로, 점검할 필요가 있다.

15.5 베어링의 해체

정기점검 또는 부품을 교환할 때, 베어링을 해체하여야 하는데, 축·하우징은 거의 재사용하며, 베어링도 재사용하는 경우가 적지 않다. 이때, 베어링·축·하우징 및 그 외 부품을 손상시키지 않게끔, 베어링을 해체할 수 있도록 설계를 하여야 하며, 적절한 해체공구를 준비해 놓을 필요가 있다. 끼워맞춤의 간섭량이 있는 케도륜을 해체하기 위해서는 인발하중을 그 케도륜에만 주어 해체한다.

15.5.1 스트레이트 내경 베어링의 해체

소형 베어링을 해체하는데는 그림15.5(a),(b)에 나타난 것과 같이, 인발공구를 이용하지만, 그림15.6과 같이 적절한 해체공구를 사용하여 프레스에 의한 방법을 이용하면 작업능률이 좋고 베어링 등을 손상시키는 일은 없다.

인발작업을 쉽게하기 위하여, 그림15.17 및 그림15.18에 나타난 것과 같이, 인발공구의 다리를 걸수 있게끔 그루우브를 축의 턱 또는 하우징의 턱에 가공하던가, 외륜을 밀어내기 위한 볼트용의 나사구멍을 하우징의 턱에 미리 가공하여 놓는 방법이 있다(그림15.19).

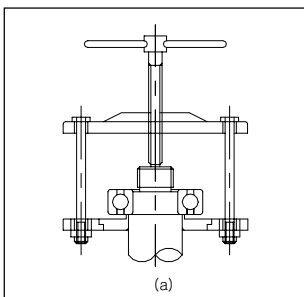


그림15.15 인발 공구에 의한 해체

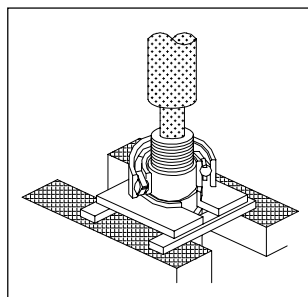
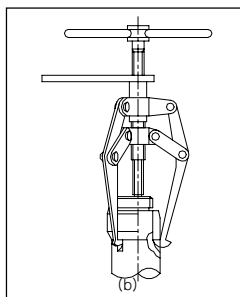


그림15.16 프레스에 의한 해체

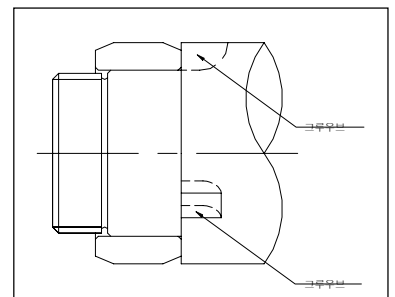


그림15.17 인발용 그루우브

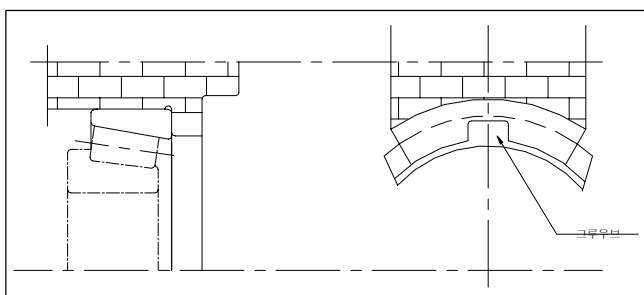


그림15.18 외륜 해체용 그루우브

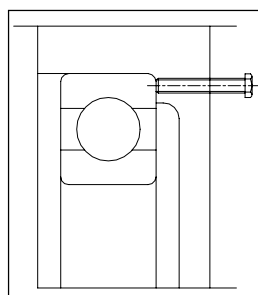


그림15.19 외륜 해체용 볼트

● 베어링의 취급

역지 끼워맞춤으로 조립된 대형 베어링을 장시간 사용한 뒤에 인발하기 위해서는 끼워맞춤면에 프릿팅 부식이 발생되어 있는 경우가 있기 때문, 큰 인발력이 필요하다. 그렇기 때문, **그림15.20**에 나타난 것과 같이, 고압의 오일을 보내서 내륜 끼워맞춤면 마찰력을 감소시켜 인발하는 방법을 이용한다.

NU, NJ 또는 NU 타입의 실린드릭얼 로울러 베어링은 전술한 **그림15.6**에 나타난 유도가열장치를 이용하여, 내륜을 가열 팽창하는 것에 의해, 해체할 수 있다. 동일 치수의 베어링을 빈번히 해체할 경우에는 이 방법은 상당히 능률이 높다.

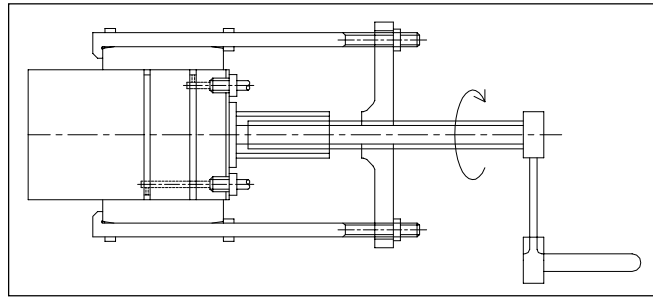


그림15.20 유압에 의한 해체

15.5.2 테이퍼 내경 베어링의 해체

어댑터를 이용하여 조립한 베어링은 잠금 너트를 풀은 뒤, **그림15.21**과 같이, 내륜단면에 메탈 블록을 대어, 망치 등으로 두드려 해체한다. 해체 슬리브에 조립된 베어링은 **그림15.22**에 나타난 것과 같이, 잠금 너트를 죄어서 해체 슬리브를 빼낸다.

테이퍼 축, 어댑터 및 해체 슬리브를 이용하여 조립된 대형 베어링은 유압을 이동하면, 해체작업이 용이하다. **그림15.23** 테이퍼 축에 조립된 베어링의 끼워맞춤면에 유압을 이용하여 해체하는 경우를 나타냈다.

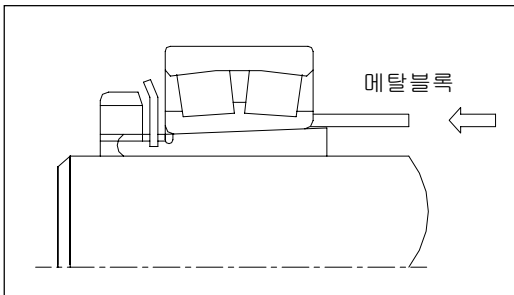


그림15.21 어댑터 타입 베어링의 해체

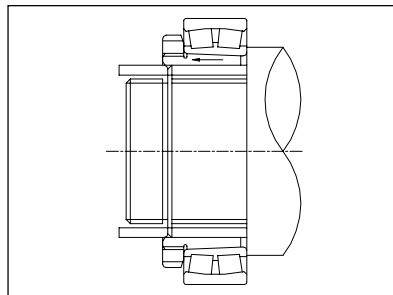


그림15.22 해체 슬리브의 인발

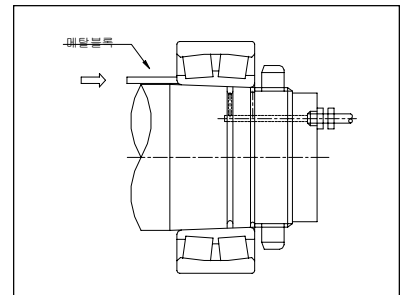


그림15.23 유압에 의한 베어링의 해체

● 베어링의 취급

그림 15.24는 유압너트를 이용하여 어댑터 슬리브 및 해체 슬리브에 조립된 베어링을 해체하는 경우를 나타낸다. 그림 15.25는 유압식 해체 슬리브에 유압을 보내, 너트에 의하여 슬리브를 빼내는 방법을 나타낸다.

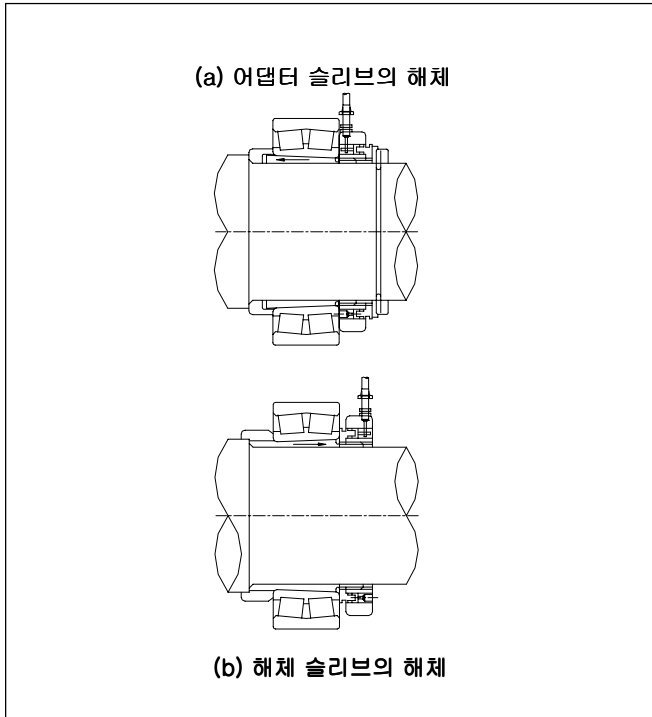


그림 15.24 유압너트에 의한 해체

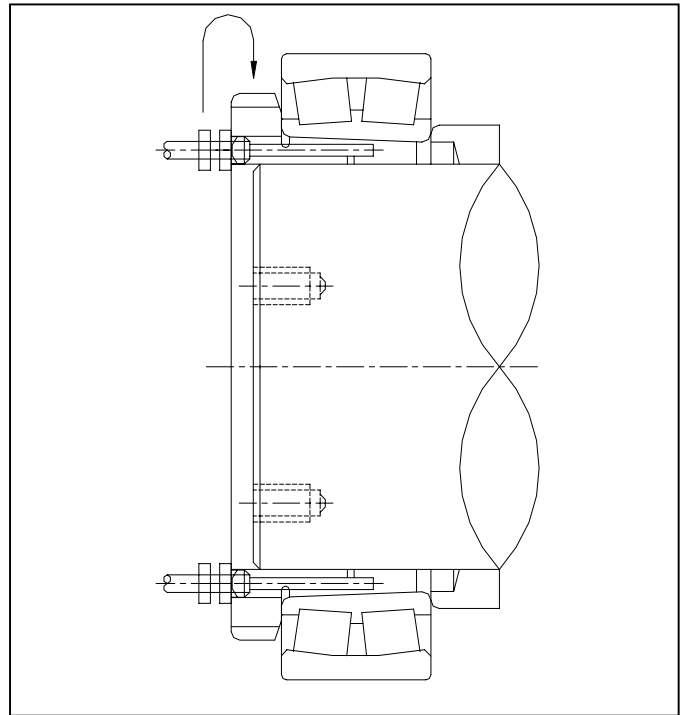


그림 15.25 유압식 해체슬리브의 인발

● 베어링의 손상과 대책

16. 베어링의 손상과 대책

일반적으로 베어링을 확실하게 취급하면, 베어링이 피로수명에 달하기까지 사용할 수 있지만, 예상외로 조기에 손상되는 경우에는 베어링의 선정, 취급, 윤활 등 무언가의 미비함이 원인이라고 생각할 수 있다. 베어링의 사용기계, 사용장소, 사용조건 및 베어링 주위의 구조 등을 잘 파악해 놓아줄 필요가 있다. 표16.1에 베어링의 손상과 주된 발생 원인 및 대책을 나타냈다.

표16.1 베어링의 손상과 대책

현상	원인	대책
플레이킹 궤도면과 전동체 표면이 생선비늘 모양처럼 벗겨진다. 벗겨진 후에 심한 요철이 생긴다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·과대한 하중, 피로수명, 취급 불량 ·조립 불량 ·축 또는 하우징의 정밀도 불량 ·내부틈새의 과소 ·이물질 침입 ·녹 발생 ·윤활 불량 ·이상온도 상승에 의한 경도 저하 	<ul style="list-style-type: none"> ·베어링의 재선정 ·내부틈새의 재검토 ·축, 하우징 가공정밀도의 재검토 ·사용조건의 재검토 ·조립방법·취급개선 ·베어링 주위의 확인 ·윤활제, 윤활방법의 재검토
사이징 (타붙음) 베어링이 발열하여 변색하고 타붙으며, 회전이 불가능해진다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·내부틈새의 과소(변형에 의한 부분적으로 내부틈새가 작아진 것도 포함) ·윤활 부족 또는 윤활제의 부적합 ·과대하중(과대예압) ·로울러의 스큐우 ·이상온도 상승에 의한 경도 저하 	<ul style="list-style-type: none"> ·윤활제의 재검토 및 양의 확보 ·내부틈새의 재검토 (내부틈새를 크게 한다) ·미스얼라이언트의 방지 ·사용조건의 재검토 ·조립방법·취급개선
크랙킹·노칭 부분적으로 깨져 떨어져 있다. 균열되어 있다. 깨져 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·최대한 충격하중의 작용 ·취급 불량(강제 망치의 사용, 큰 이물질의 물림) ·윤활불량에 의한 표면 변질층의 형성 ·끼워맞춤 간섭량의 과대 ·심한 플레이킹 ·상대 부품의 정밀도 불량 (모서리의 라운드가 크다) 	<ul style="list-style-type: none"> ·윤활제의 재검토 ·적절한 끼워맞춤의 간섭량 재검토, 재질의 재검토 ·사용조건의 재검토 ·조립방법·취급개선
케이지의 파손 리벳이 느슨해지거나 절단된다. 케이지가 파단된다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·과대한 모멘트 하중의 작용 ·고속회전 또는 심한 회전변동 ·윤활 불량 ·이물질의 물림 ·진동이 크다 ·조립불량(비뚤어진 상태에서 조립) 	<ul style="list-style-type: none"> ·윤활제·윤활방법의 재검토 ·케이징 선정의 재검토 ·사용조건의 재검토 ·조립방법·취급의 개선 ·축·하우징의 강성 재검토
궤도면의 지그재그모양 궤도면에 생기는 모양(전동체의 접촉면)이 지그재그 또는 사선으로 되어 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·축 또는 하우징의 정밀도 불량 ·조립불량 ·축 및 하우징의 강성 부족 ·내부틈새의 과대에 의한 축의 흔들림 회전 	<ul style="list-style-type: none"> ·내부틈새의 재검토 ·축·하우징의 가공 정밀도 재검토 ·축·하우징의 강성 재검토
스미어링·스커퍼링 표면이 거칠고 미소한 용해물질이 붙어 있다. 궤도면 턱의 단면이 거칠어지는 것을 일반적으로 스키핑이라고 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·윤활 불량 ·이물질의 침입 ·베어링의 기울기에 의한 로울러의 스큐우 ·액시얼 하중의 과대에 의해, 턱면의 윤활유 공급이 차단된다. ·면 거칠기가 크다. ·전동체의 미끄러짐이 크다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·윤활제·윤활방법의 재검토 ·밀봉성능의 강화 ·예압의 재검토 ·사용조건의 재검토 ·조립방법·취급의 개선
녹·부식 표면이 일부 또는 전면에 녹슬어 있다. 전동체의 피치 현상으로 녹스는 경우도 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ·보관상태의 불량 ·포장 불량 ·방청제의 부족 ·수분·산 등의 침입 ·맨손으로 취급 	<ul style="list-style-type: none"> ·보관중의 녹 방지 대책 ·윤활제의 정기검사 ·밀봉성능의 강화 ·조립방법·취급의 개선

● 베어링의 손상과 대책

표16.1 계속

현 상		원 인	대 책
 <p>프렛팅</p> <p>끼워맞춤면에 적색 녹의 마모분이 발생하는 것과 궤도면에 전동체의 피치에 줄린 자국이 발생한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 끼워맞춤 간섭량의 부족 • 베어링의 요동각이 작다. • 윤활 부족(무윤활 상태) • 변동 하중 • 운송중의 진동, 정지중의 진동 	<ul style="list-style-type: none"> • 베어링의 재선정 • 윤활제·윤활방법의 재검토 • 끼워맞춤 간섭량의 재검토 및 끼워맞춤면에 윤활제를 도포한다. • 내륜·외륜의 분리 포장(운송시) 	
 <p>마모</p> <p>표면이 마모되어, 치수변화를 일으킨다. 거칠고 흠집이 발생하는 경우가 많다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 윤활제속으로 이물질이 침입 • 윤활 부족 • 로울러의 스쿠우 	<ul style="list-style-type: none"> • 윤활제·윤활방법의 재검토 • 밀봉성능의 강화 • 미스얼라이먼트 방지 	
 <p>전류부식</p> <p>궤도면이 분화구 모양으로 파이고, 더 진전되면 파도형상이 된다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 궤도면에 전류가 통한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 전류가 통하지 않게 한다. • 베어링을 절연한다. 	
 <p>압흔·흠집</p> <p>딱딱한 이물질의 물림. 충격에 의한 표면의 파임 및 조립시의 흠집</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 딱딱한 이물질의 침입 • 플레이킹 조각의 물림 • 취급불량에 의한 타격, 낙하 • 비뿔어진 상태로 조립 	<ul style="list-style-type: none"> • 조립방법·취급의 개선 • 밀봉성능의 강화 (이물질 침입의 방지대책) • 베어링 주변의 확인 (금속조각이 원인일 때) 	
 <p>크리이프</p> <p>내경면·외경면의 미끄럼에 의해, 거울처럼 비친다. 변색과 스커핑 현상이 발생하는 경우도 있다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 끼워맞춤의 간섭량 부족 • 슬리브의 체결 부족 • 정상이 아닌 온도상승 • 과대하중의 작용 	<ul style="list-style-type: none"> • 끼워맞춤 간섭량의 재검토 • 사용조건의 재검토 • 축·하우징의 가공정밀도 재검토 	
 <p>반점</p> <p>궤도면의 광택이 없어지고 바둑판 모양의 반점처럼 거칠어진다. 미소한 눌린자국의 집합형상</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 이물질의 침입 • 윤활 불량 	<ul style="list-style-type: none"> • 윤활제·윤활방법의 재검토 • 밀봉장치의 재검토 • 윤활유의 청정화 (필터 등에 의한 여과) 	
 <p>피일링</p> <p>미소한 플레이킹(10μm 정도의 크기)이 집합된 부분을 말한다. 플레이킹에 달하지 않은 균열도 무수히 존재한다. (로울러 베어링에 발생하기 쉽다.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 이물질의 침입 • 윤활 부족 	<ul style="list-style-type: none"> • 윤활제·윤활방법의 재검토 • 밀봉성능의 강화 (이물질 침입의 방지대책) • 길들이기 운전을 실시 	

17. 기술 데이터

17.1 깊은 홈 볼 베어링의 레이디얼 내부틈새와 액시얼 내부틈새의 관계

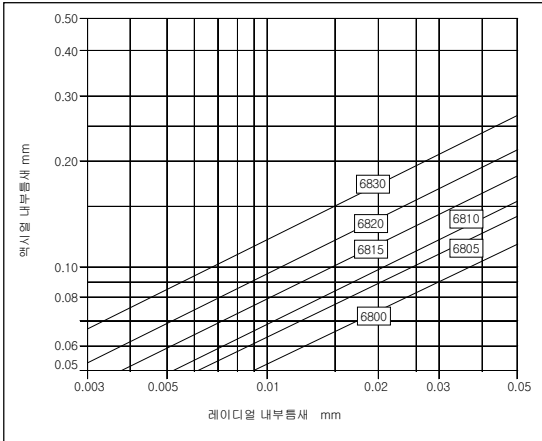


그림 17.1.1 68 계열의 레이디얼 내부틈새와 액시얼 내부틈새

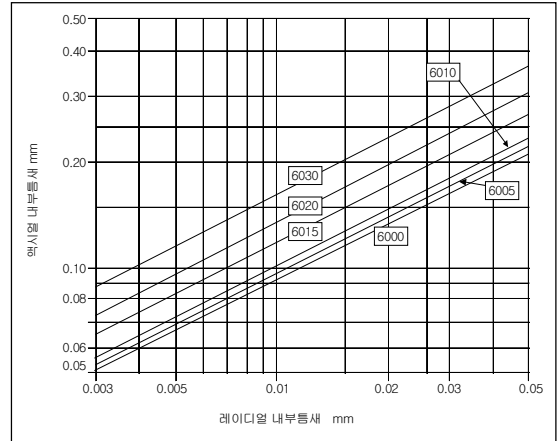


그림 17.1.2 69 계열의 레이디얼 내부틈새와 액시얼 내부틈새

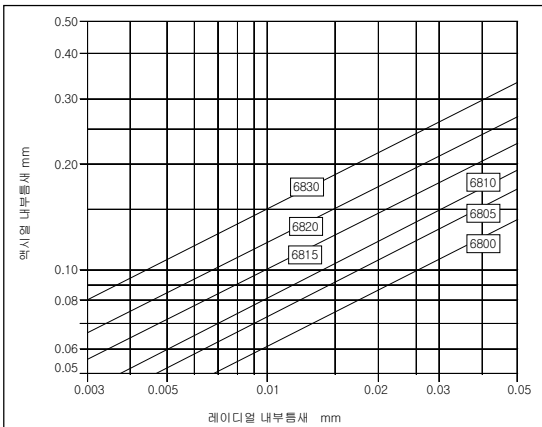


그림 17.1.3 60 계열의 레이디얼 내부틈새와 액시얼 내부틈새

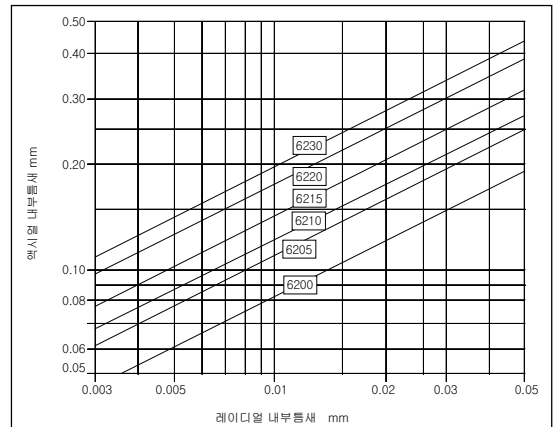


그림 17.1.4 62 계열의 레이디얼 내부틈새와 액시얼 내부틈새

17.2 앵글러 볼 베어링의 액시얼 하중과 액시얼 변위

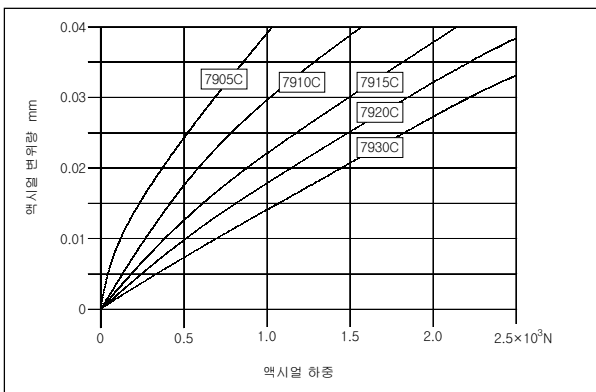


그림 17.2.1 70 계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

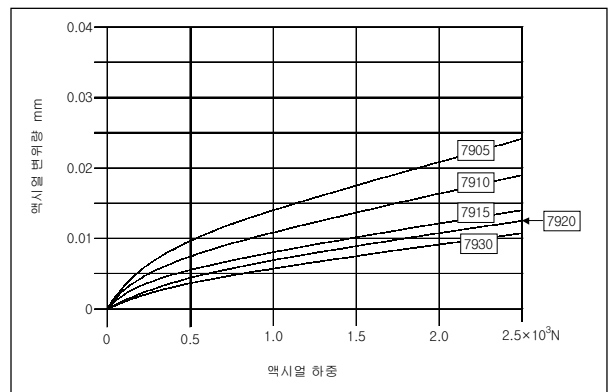


그림 17.2.2 79 계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

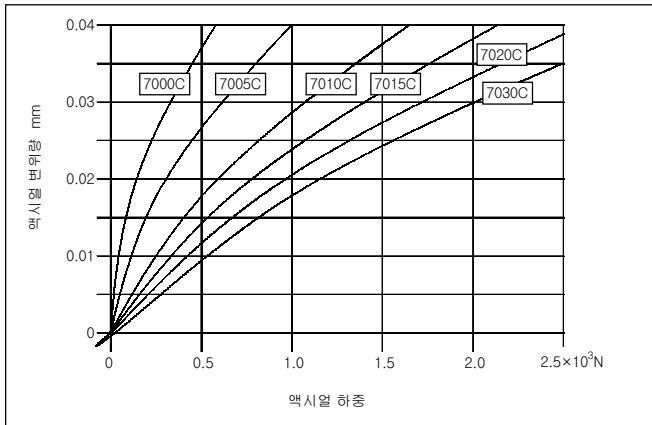


그림17.2.3 70C계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

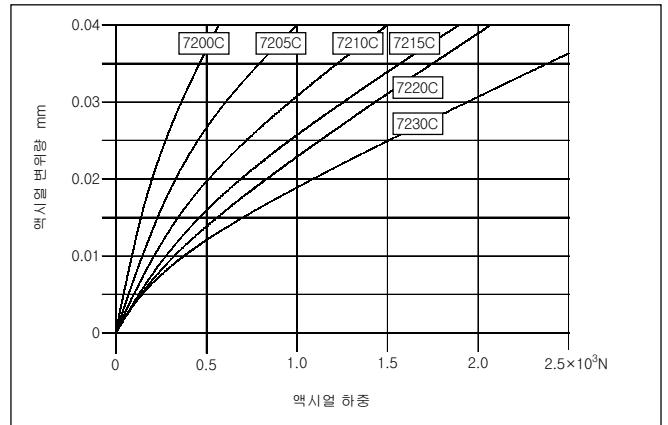


그림17.2.6 72C계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

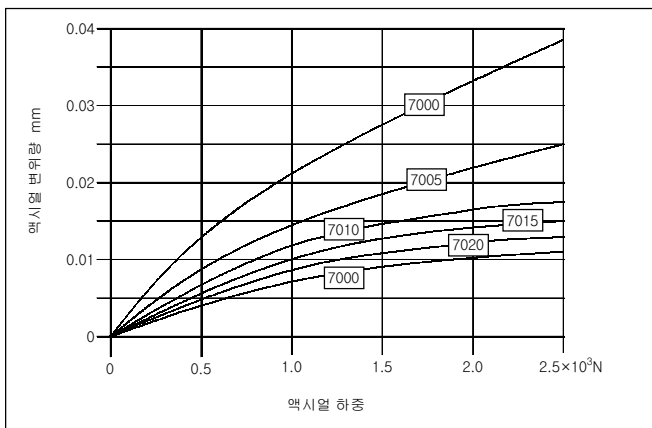


그림17.2.4 70계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

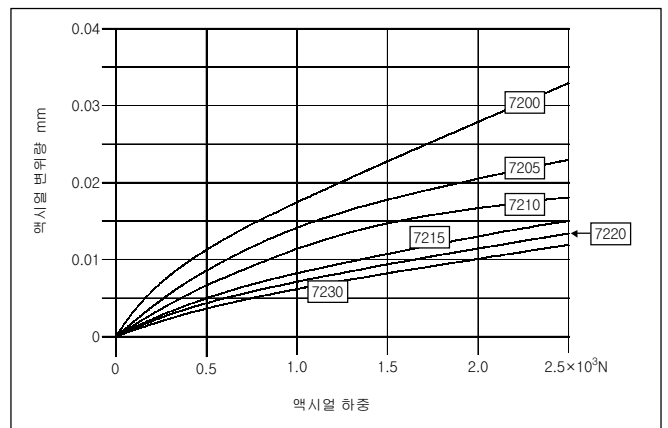


그림17.2.7 72계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

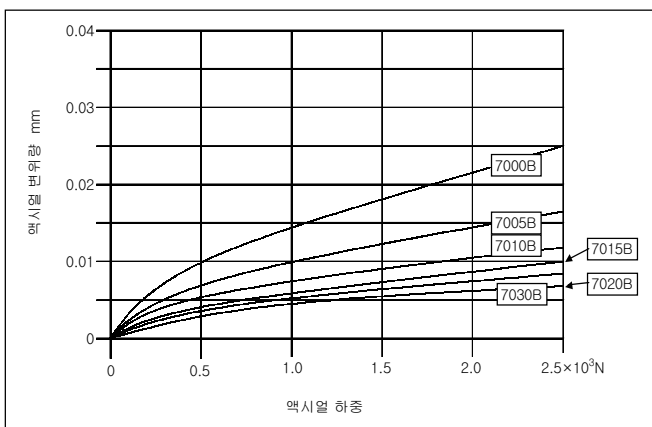


그림17.2.5 70B계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

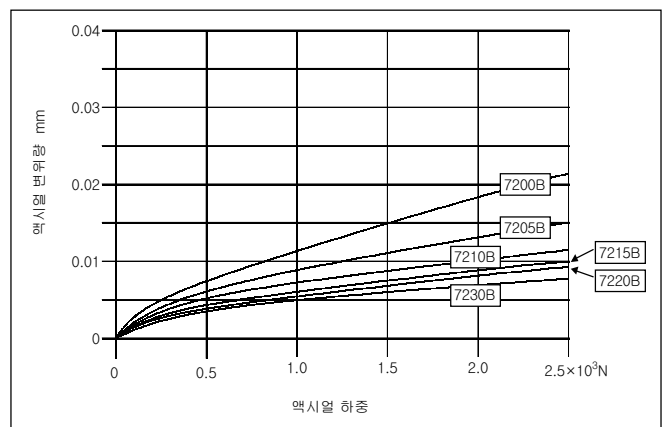


그림17.2.8 72B계열의 하중과 액시얼 변위량

17.3 테이퍼 로울러 베어링의 액시얼 하중과 액시얼 변위

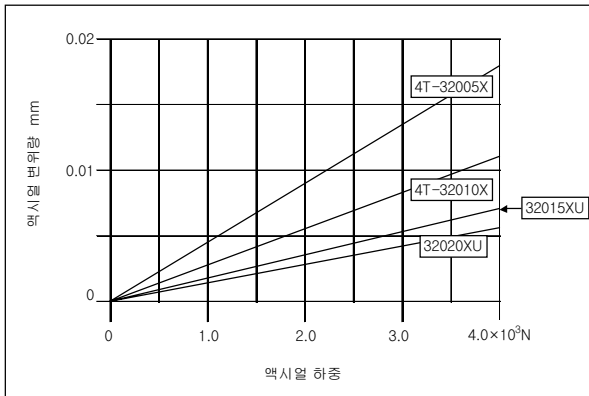


그림 17.3.1 320계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

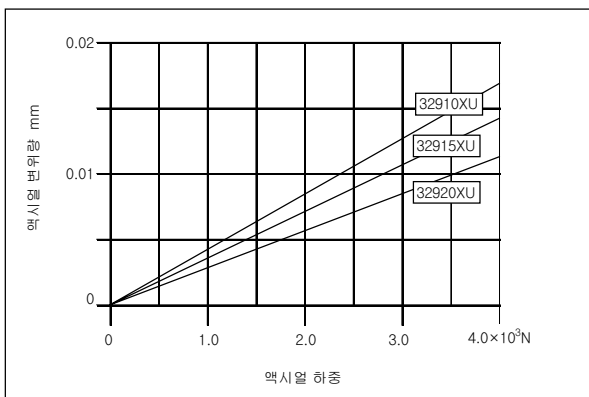


그림 17.3.2 329계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

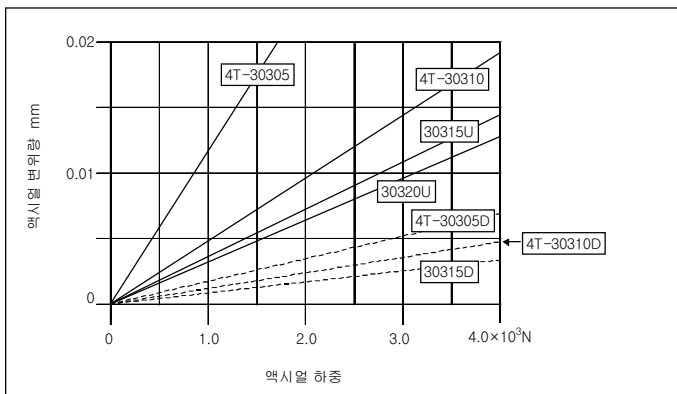


그림 17.3.3 303계열과 303D 계열의 액시얼 하중과 액시얼 변위량

● 기술 데이터

17.4 끼워맞춤면의 압력

끼워맞춤면에 발생한 압력 및 최대 응력의 계산식을 표17.41에 나타냈다.

베어링의 내륜, 외륜의 평균 홈 경은 근사적으로 표17.4.2로 구할 수 있다.

끼워맞춤 면압에 실제로 유하게 작용하는 끼워맞춤의 간섭량, 즉 유효간섭량 Δ_{def} 은 베어링 내경과 폭 치수의 측정치에 의해 계산한 간섭량(이론 간섭량)보다 작다. 이것은 주로 마무리 면의 거칠기 영향에 의한 것으로, 다음에 나타낸 감소량을 예상할 필요가 있다.

연산측 : 1.0~2.5 μ m

선삭측 : 5.0~7.0 μ m

표17.4.1 끼워맞춤면의 압력 및 최대응력

끼워맞춤 조건		계 산 식	기호(단위 N {kgf}, mm)
끼워맞춤면 압 Mpa {kgf/mm ² }	강제 중실축과 내륜의 끼워맞춤	$P = \frac{E}{2} \frac{\Delta_{def}}{d} \left[1 - \left(\frac{d}{D_i} \right)^2 \right]$	d : 축경, 내륜내경 do : 중공축 내경 Di : 내륜 평균 홈경 Δ_{def} : 유효 끼워맞춤 간섭량 E : 탄성계수 = 208 000MPa {21 200kgf/mm ² }
	강제 중공축과 내륜의 끼워맞춤	$P = \frac{E}{2} \frac{\Delta_{def}}{d} \frac{[1 - (d/D_i)^2] [1 - (d_o/d)^2]}{1 - (d_o/D_i)^2}$	
	강제 하우징과 외륜의 끼워맞춤	$P = \frac{E}{2} \frac{\Delta_{Def}}{d} \frac{[1 - (D_o/D)^2] [1 - (D/D_h)^2]}{1 - (D_o/D_h)^2}$	D : 하우징 내경, 베어링 외경 Do : 외륜 평균 홈경 Dh : 하우징 외경 Δ_{def} : 유효 끼워맞춤 간섭량
최대응력 Mpa {kgf/mm ² }	축과 내륜의 끼워맞춤	$\sigma_{\bar{r} \max} = P \frac{1 + (d/D_i)^2}{1 - (d/D_i)^2}$	내륜 내경면의 절선응력이 최대
	하우징과 외륜의 끼워맞춤	$\sigma_{\bar{r} \max} = P \frac{2}{1 - (D_o/D)^2}$	외륜 내경의 절선응력이 최대

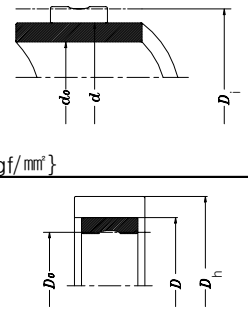


표17.4.2 평균 홈경

베어링 형식	평균 홈경	
	내륜 (Di)	외륜 (Do)
깊은 홈 볼베어링 전형식	$1.05 \frac{4d + D}{5}$	$0.95 \frac{d + 4D}{5}$
실린드릭 ¹⁾ 로울러 베어링 전형식	$1.05 \frac{3d + D}{4}$	$0.98 \frac{d + 3D}{4}$
스페리컬 로울러 베어링 전형식	$\frac{2d + D}{3}$	$0.97 \frac{d + 4D}{5}$

d : 내륜 내경 mm D : 외륜 외경 mm

주1) 평균 홈경은

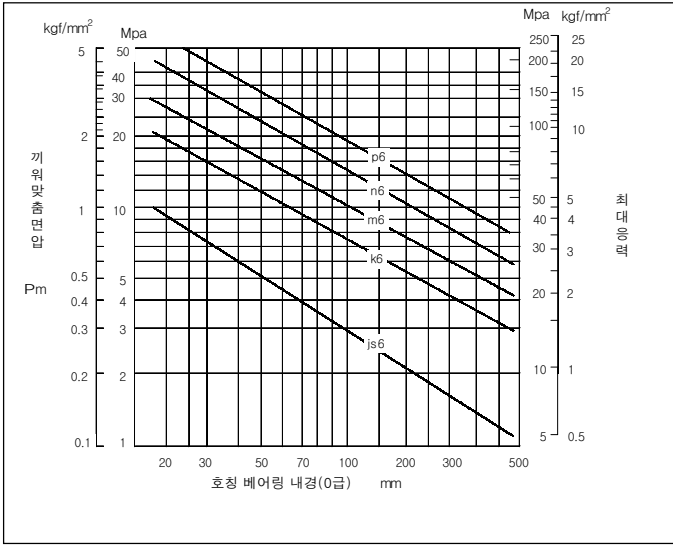


그림17.4.1 각 끼워맞춤¹⁾에 따른 평균 끼워맞춤 간섭량에 의한 면압 Pm과 최대 응력 σ tmax

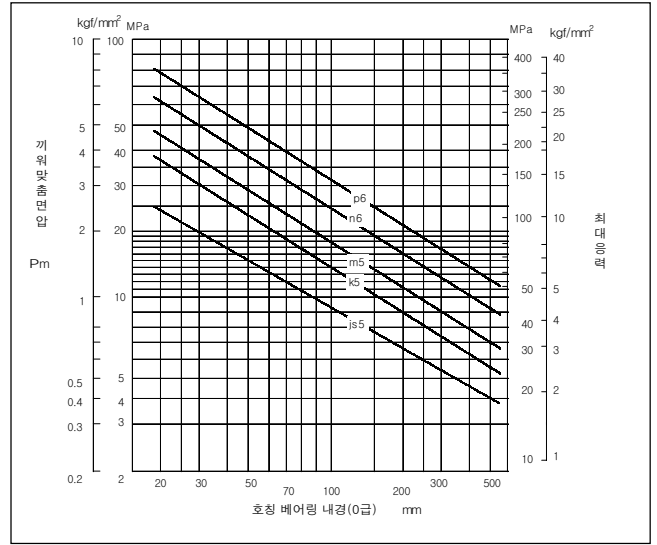


그림17.4.2 각 끼워맞춤¹⁾에 따른 최대 끼워맞춤 간섭량에 의한 면압 Pm과 최대 응력 σ tmax

17.5 압입 및 인발에 요하는 힘

축에 내륜을 또는 하우징에 외륜을 압입하거나, 인발할 경우에 요하는 힘은 식(7.1) (7.2)에 의해 구할 수 있다.
 축과 내륜의 경우

$$K_d = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot d \cdot B \dots \dots \dots (7.1)$$

하우징과 외륜의 경우

$$K_p = \mu \cdot P \cdot \pi \cdot D \cdot B \dots \dots \dots (7.2)$$

여기서,

- K_d : 내륜의 압입 또는 인발력 N {kgf}
- K_p : 외륜의 압입 또는 인발력 N {kgf}
- P : 끼워맞춤면의 면압 Mpa{kgf/mm²} (표17.4.1 참조)
- d : 축경, 내륜 내경 mm
- D : 하우징 내경, 외륜 외경 mm
- B : 내륜 또는 외륜의 폭
- μ : 미끄럼 마찰계수 (표17.5.1 참조)

표17.5.1 압입, 인발의 미끄럼 마찰계수

항 목	μ
내(외)륜을 스트레이트 축(내경)에 압입할 때	0.12
내(외)륜을 스트레이트 축(내경)에 인발할 때	0.18
내륜을 테이퍼 축 또는 슬리브에 압입할 때	0.17
내륜을 테이퍼 축 인발할 때	0.14
축, 베어링에 슬리브를 압입할 때	0.30
축, 베어링에서 슬리브를 인발할 때	0.33