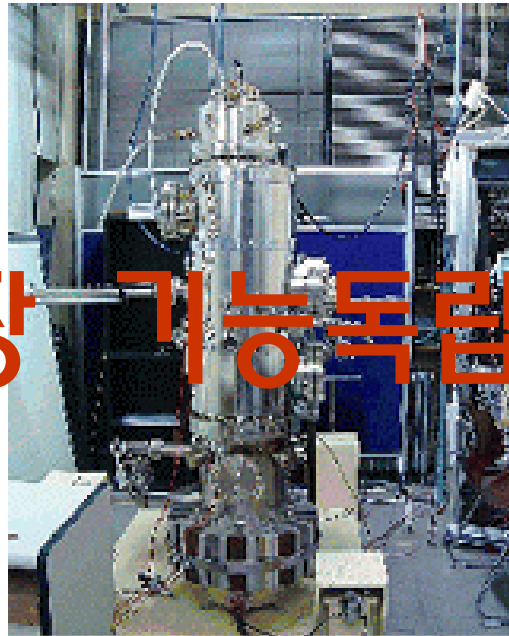


기계메카트로닉스공학과

## 정밀공학 (Precision Engineering)

# 제 2 장 기능독립성의 원리



## 제2장 수업내용

### ● 기능독립성의 원리 (Principle of Functional Independence)

#### ■ 기능 독립성의 원리

- 기능적 요구 (FR)의 특징
- 기능 독립성의 원리

#### ■ 기능적 독립성 원리의 만족시키지 못한 설계 예

- STM의 구동기구 설계
- 스트레인게이지에 의한 힘 측정 시스템

#### ■ 기능적 독립성의 원리를 만족시킨 설계 예

- 복합 베어링에 의한 주축의 고속·고강성화



# 기능적 요구(FR)의 특징



## □ Controllable FRs

- 시스템의 조작, 운용에 관련되어 결정되는 FR
- 자동차의 가속성능, 연비 (fuel consumption) 등
- 조작 인자 (operation parameter)에 의하여 달성
- 정밀도 등급은 설계 단계에서 결정

## □ Non-controllable FRs

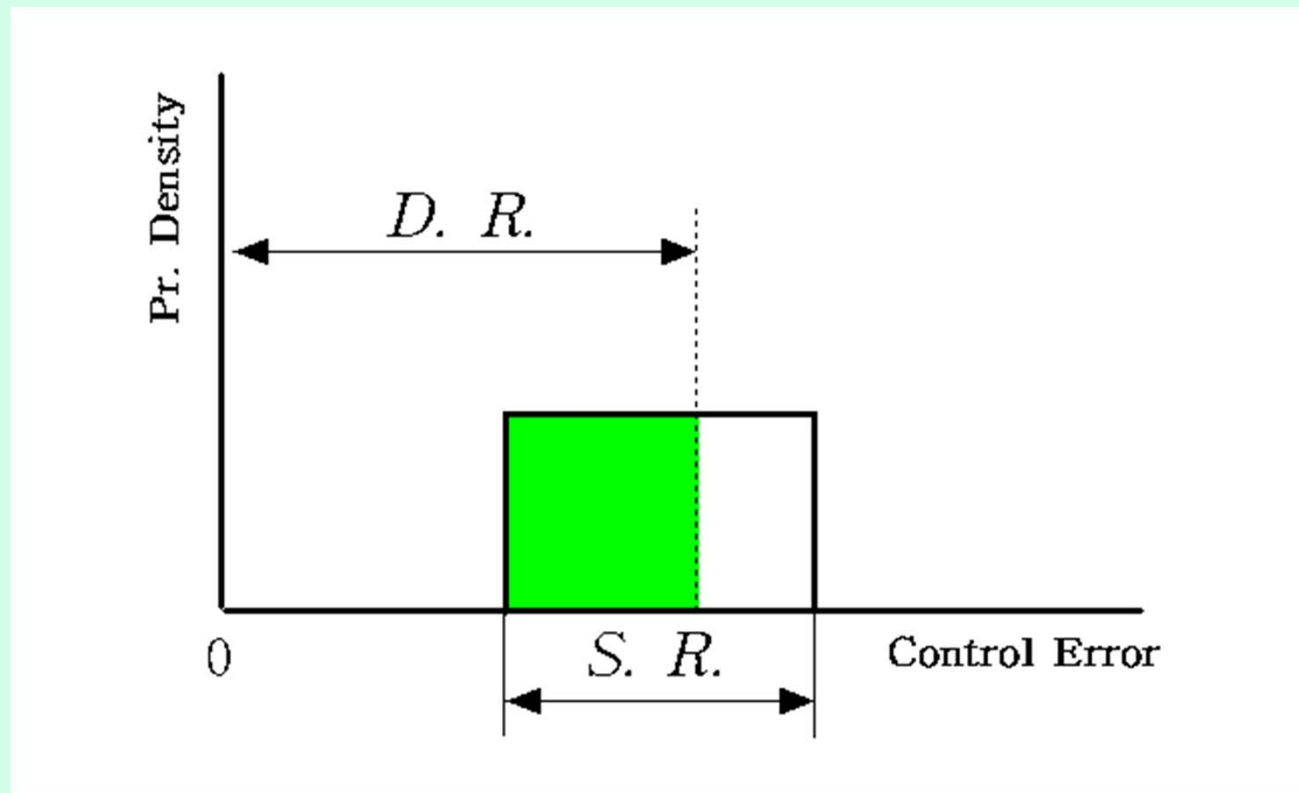
- 실체화 과정 (설계 및 제조) 중에 결정되는 FR
- 조작, 운용 중에 변경 불가
- 자동차의 크기, 생산비용 등



# 기능적 요구(FR)의 특징



- 최선의 설계란 시스템 범위가 설계 범위에 포함되도록 하는 것  
→ 시스템범위를 설계범위로 근접시켜 **정보량을 최소화**





# 기능 독립성의 원리



- [정의] 하나 또는 분할된 조작 인자에 의하여 각각의 기능적 요구가 제어되는 경우 시스템의 기능들은 독립되어 있다.
  - [정의] 구속조건에 관한 정의 : 시스템 범위와 설계 범위의 일치를 방해하는 제반 조건을 시스템 구속조건이라고 정의한다.
  - [THEOREM 2] 시스템의 구속조건을 제거하면 평가항목의 정보량을 줄일 수가 있다.  
proof) 구속조건은 시스템 범위와 설계 범위의 접근을 방해하는 기능을 하므로 이를 제거하면 두 범위사이의 접근성이 증가되고 이는 정보량의 감소로 귀결된다.
- ⇒ 구속조건을 최소화는 기능의 독립성의 실현과 같다.



# 기능 독립성의 원리



제어 가능한 기능적 요구가 있을 경우  
**독립적인 기능들을 가진 시스템이**  
그렇지 못한 시스템 보다 좋은 시스템이다.

- ⇒ 기능의 독립성은 최적의 설계를 위한 필요조건
- ⇒ 보다 좋은 설계를 위해서는 종합적 설계의 원리를 병행하여야 한다



# 기능 독립성의 원리



제어 가능한 기능적 요구가 있을 경우  
**독립적인 기능들을 가진 시스템이**  
그렇지 못한 시스템 보다 좋은 시스템이다.

- ⇒ 기능의 독립성은 최적의 설계를 위한 필요조건
- ⇒ 보다 좋은 설계를 위해서는 종합적 설계의 원리를 병행하여야 한다



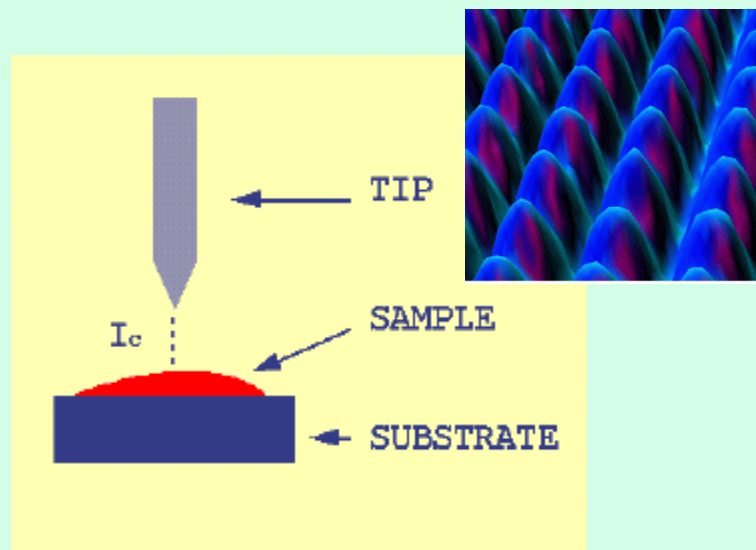
# STM의 구동기구 설계



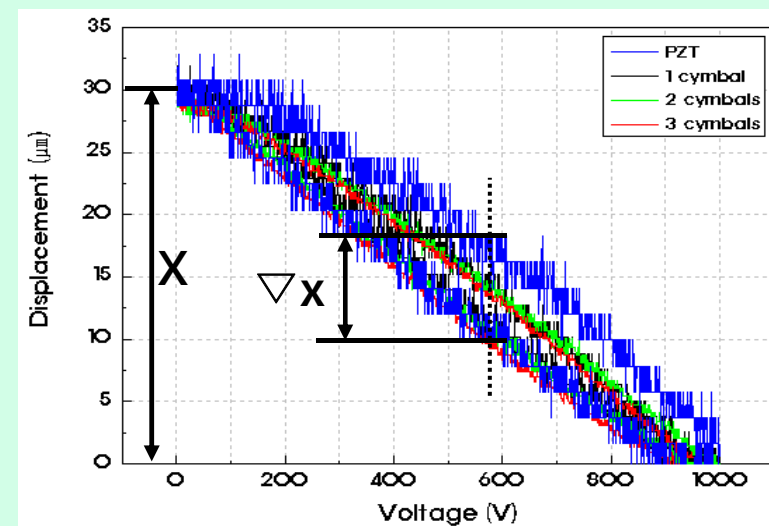
□ FR : “X, Y, Z 각 방향으로  $6\mu\text{m}$  변위될 것”

□ 문제점

- PZT스택의 이력현상(hysteresis)현상
- x방향의 이송기구가  $\gamma$ -z방향으로도 미소한 움직임을 가지고 온다  $\Rightarrow$  3방향 변위의 독립성(X).



작동원리 및 STM(Ni) 사진



PZT 스택 이력현상



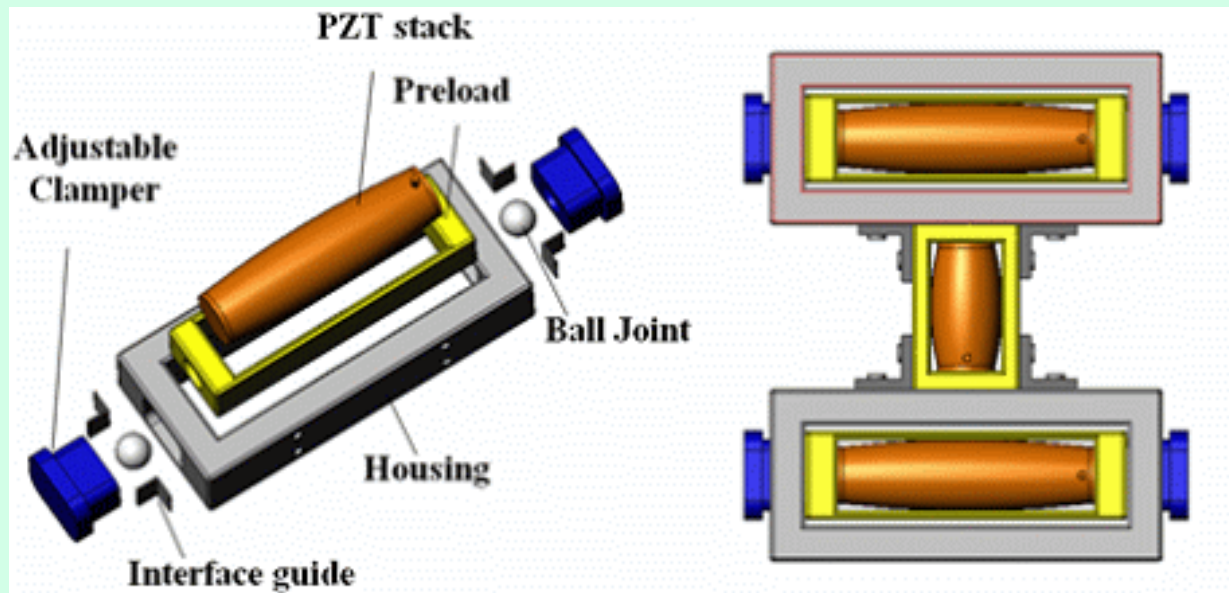


# STM의 구동기구 설계



## □ 해결방안

- 구동기구에 대한 FR의 명확한 표현: “x, y, z 각 방향으로 독립적으로  $6\mu\text{m}$  변위될 것”
- 점접촉을 방식의 힘 전달을 통한 이력현상 회피

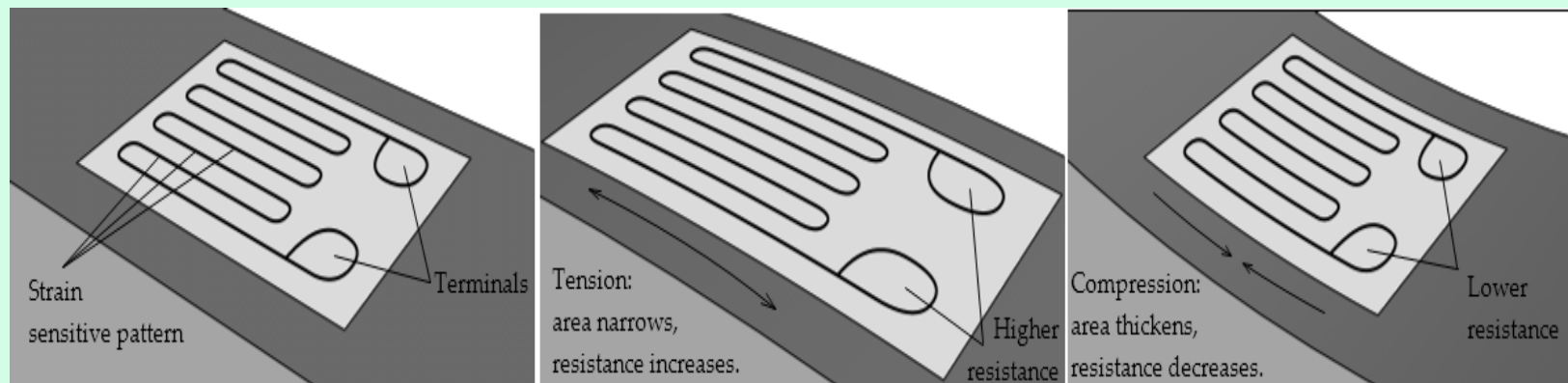


# 스트레인게이지에 의한 힘 측정 시스템

□ FR : “구조물에 작용하는 힘을 측정할 것”

□ 문제점

- 처짐 없이는 힘 측정 불가(컴플라이언스가 커야 감도가 좋다.)  
⇒ 기계 구조물의 강성을 저하
- 측정법이 구조물 설계에 구속으로 작용 ⇒ 기능의 독립성 (X).



스트레인게이지 작동원리

# 스트레인게이지에 의한 힘 측정 시스템

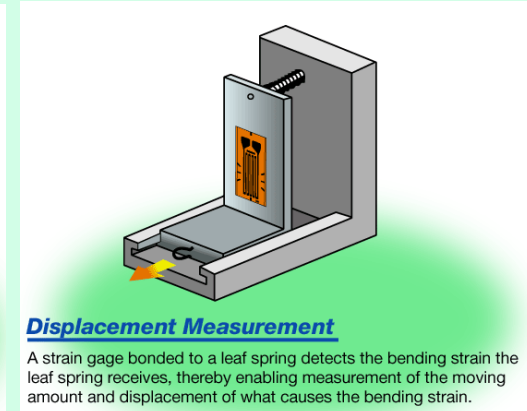
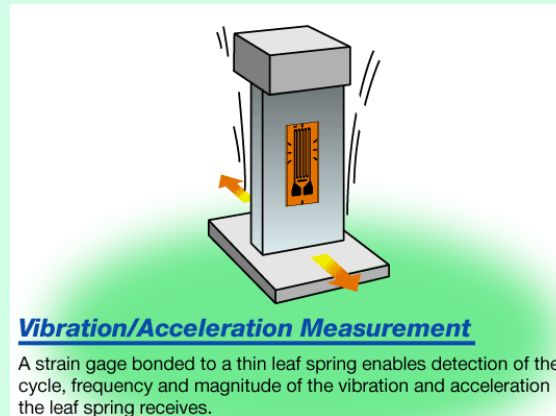
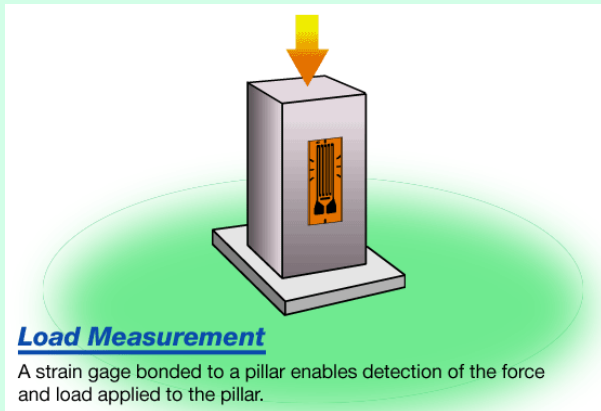
□ FR : “구조물에 작용하는 힘을 측정할 것”

□ 문제점

➤ 처짐 없이는 힘 측정 불가(컴플라이언스가 커야 감도가 좋다.)

⇒ 기계 구조물의 강성을 저하

➤ 측정법이 구조물 설계에 구속으로 작용 ⇒ 기능의 독립성 (X).



스트레인게이지 활용 예

# 스트레인게이지에 의한 힘 측정 시스템

## □ 해결방안

- 고강성의 압전소자 사용





# 복합 베어링에 의한 주축의 고속·고강성화



□ FR : “자유롭게 속도와 하중을 지지할 것”

□ 문제점

➤ 고속회전의 경우 강성이 저하 ⇒ 기능의 독립성 (X).

⇒ 두 개 이상의 베어링을 결합하여 사용해야 하는 결과

	저속, 고출력 주축		고속, 경부하, 고정밀주축	고속주축
	구름베어링	유정압베어링	공기베어링	자기베어링
회전수(DN)	35만	30만	200만	200 ~ 300만
강성	대	대(중)	소	중(대)
회전특성	보통	우수	탁월	우수
축방향 정밀도	0.2~1.0 $\mu\text{m}$	~0.05 $\mu\text{m}$	<0.05 $\mu\text{m}$	~0.5 $\mu\text{m}$
발열량	대	대	소	중(대)
평균온도	+10 ~ 20℃	+10 ~ 20℃	+2 ~ 5℃	+5 ~ 20℃

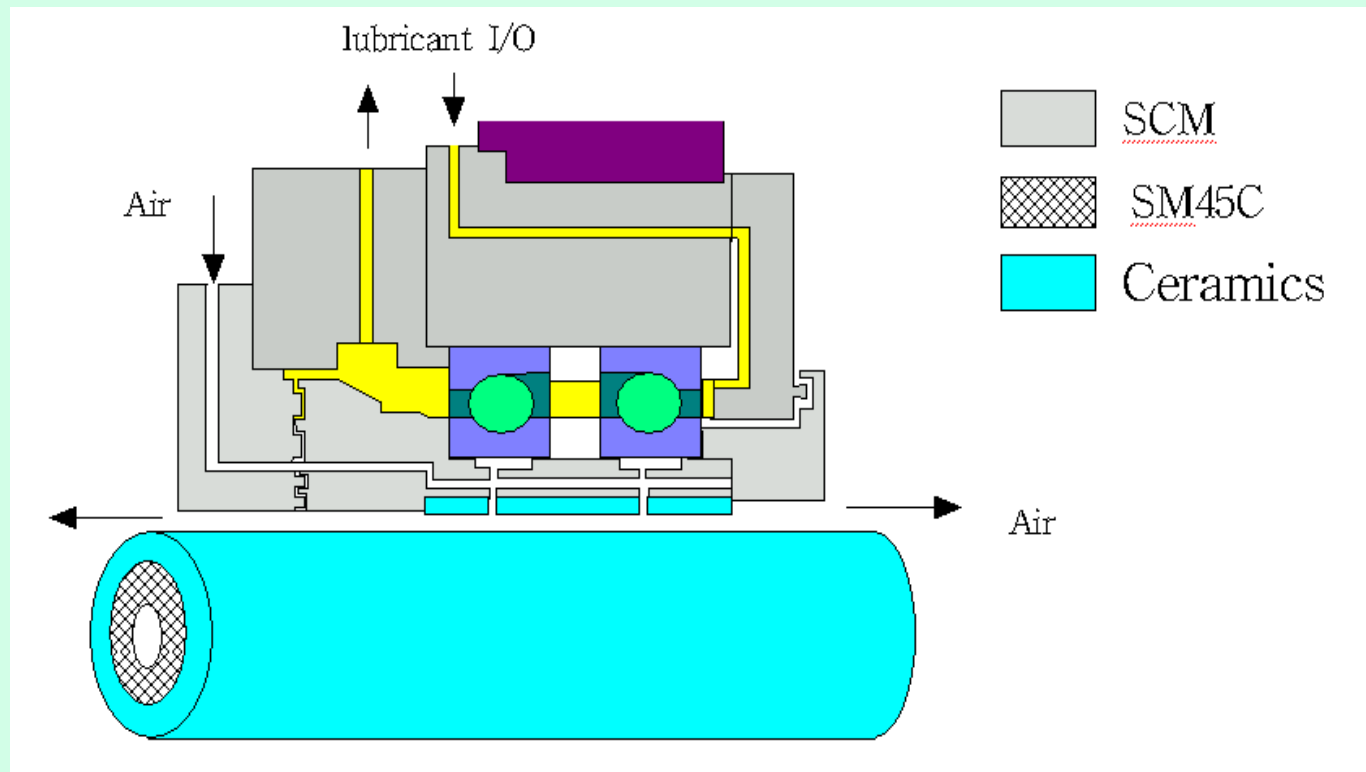
베어링의 종류와 특성



# 복합 베어링에 의한 주축의 고속·고강성화



- FR : “자유롭게 속도와 하중을 지지할 것”
- Hurukawa의 복합베어링





# 복합 베어링에 의한 주축의 고속·고강성화



□ FR : “자유롭게 속도와 하중을 지지할 것”

□ Hurukawa의 복합베어링

➤  $F_a < \text{Load capacity of air bearing}$

공기 베어링에 의한 윤활

비접촉

고속 경질삭에 적합

➤  $F_a \geq \text{Load capacity of air bearing}$

$T_{\text{slide}} < f_{\text{ball}}$

미끄럼 (저어널) 베어링에 의한 윤활

동압에 의한 작동

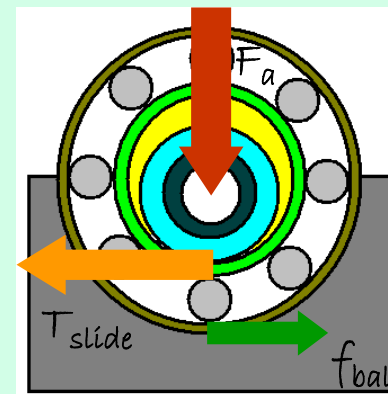
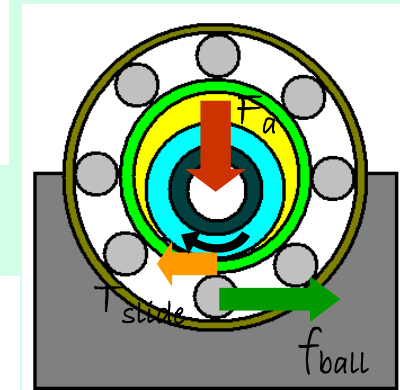
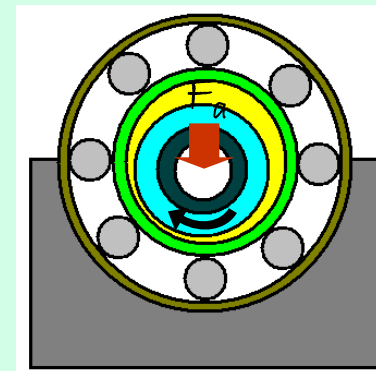
세라믹에 의한 마찰력과 마모 감소

➤  $F_a \geq \text{Load capacity of air bearing}$

$T_{\text{slide}} \geq f_{\text{ball}}$

볼 베어링에 의한 윤활

저속 중질삭에 적합





# 복합 베어링에 의한 주축의 고속·고강성화



- FR : “자유롭게 속도와 하중을 지지할 것”
- Hurukawa의 복합베어링

