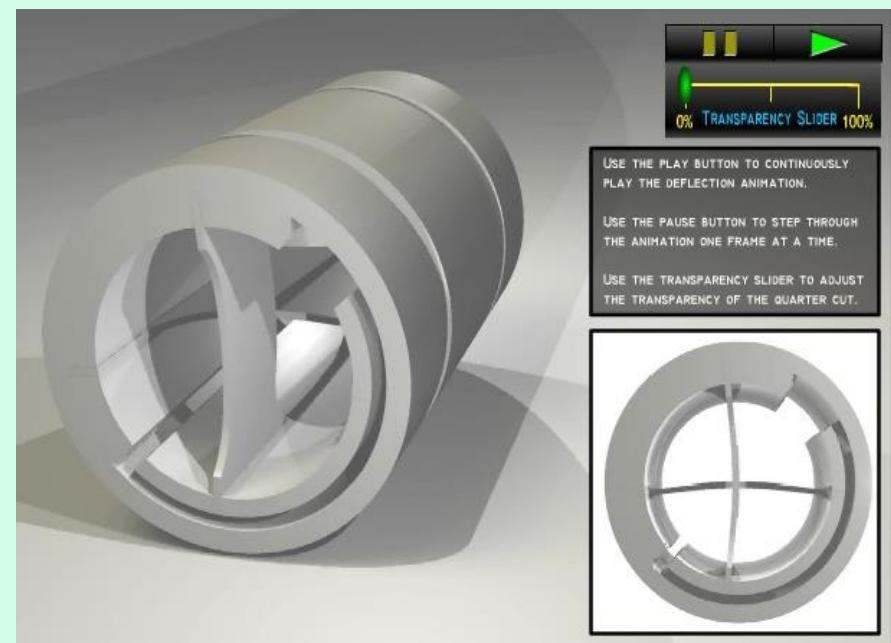
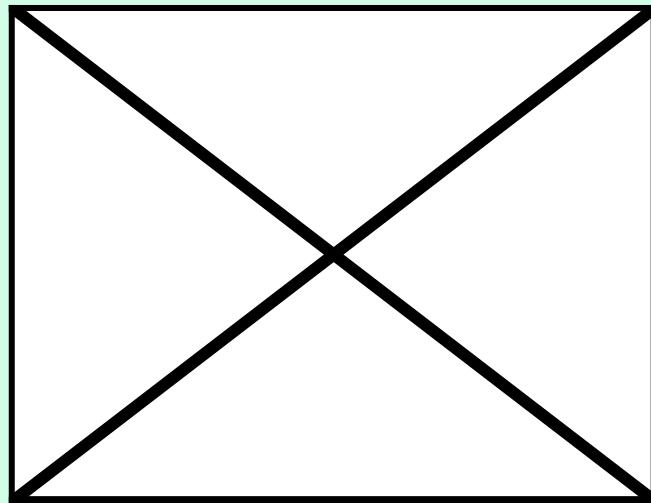
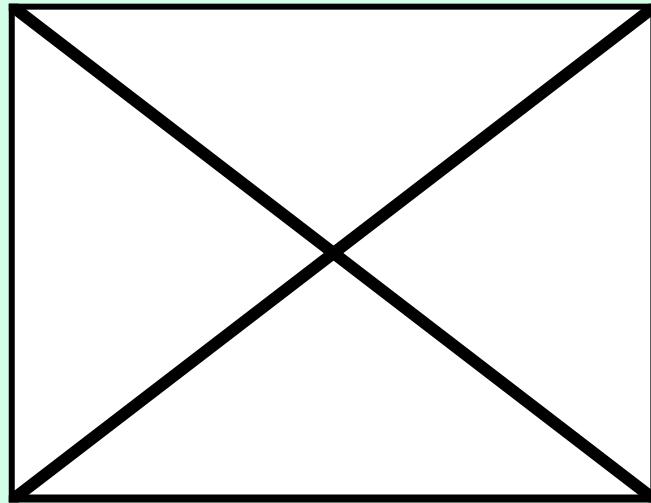


# 정밀공학 (Precision Engineering)

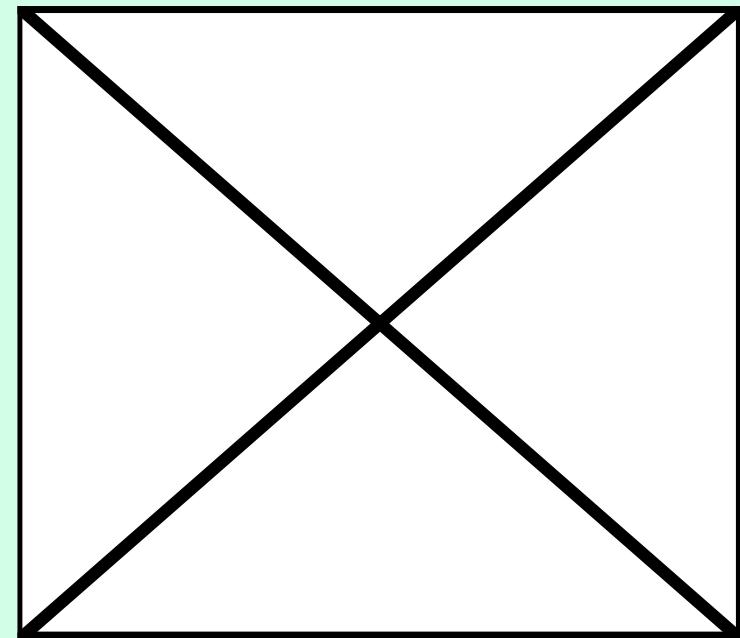
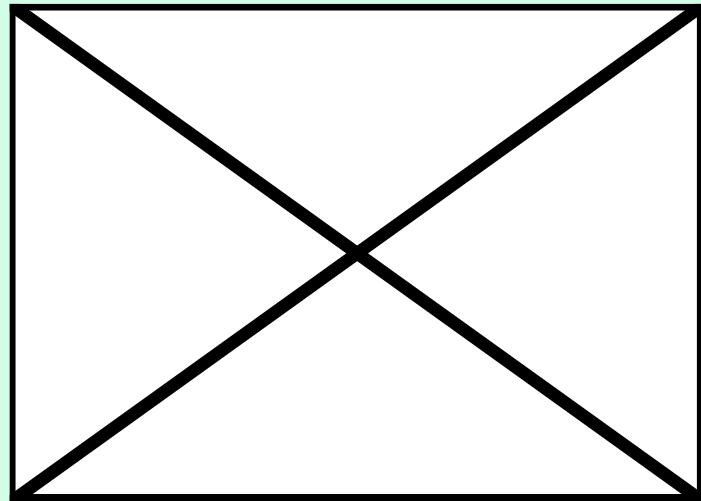
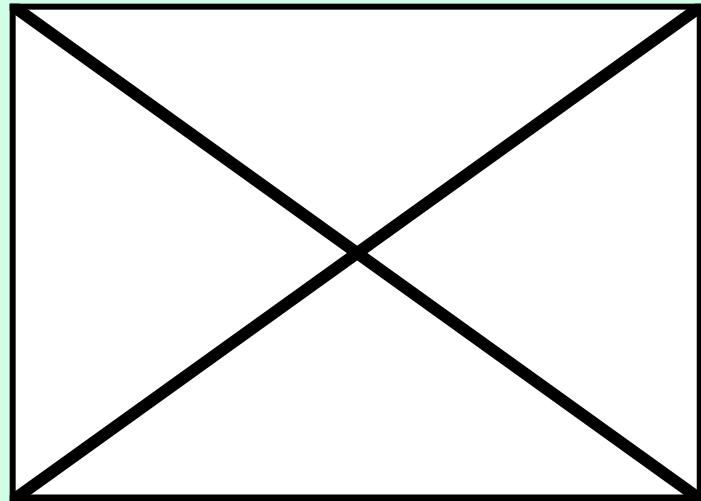
제8장 운동원활화의 원리



# Averaging → Axiom → Total



# Averaging → Axiom → Total



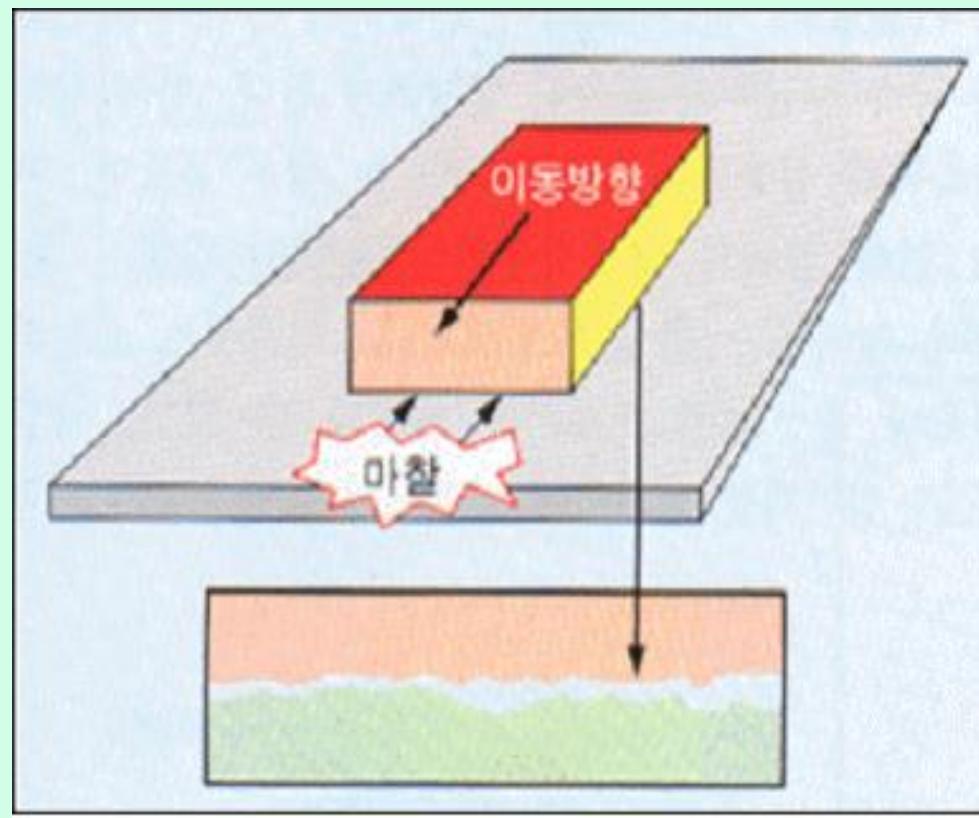
# 제 8 장 수업내용

## ● 운동원활화의 원리(The Principle of Smooth Motion)

- 마찰(friction)의 원리
  - 마찰의 정의
  - 경하중시의 미끄럼 안내(Lightly Loaded Sliders)
  - 중하중시의 미끄럼 안내(Heavily Laoded Sliders)
- 운동원활화의 원리
- 안내의 방식
  - 미끄럼 안내
  - 정압안내
  - 구름안내
  - 자기 안내

# 마찰(friction)의 원리

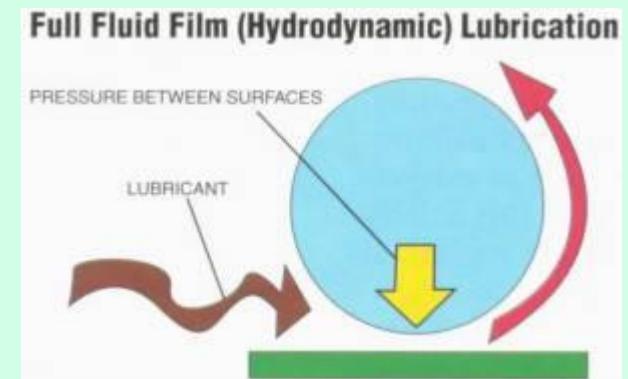
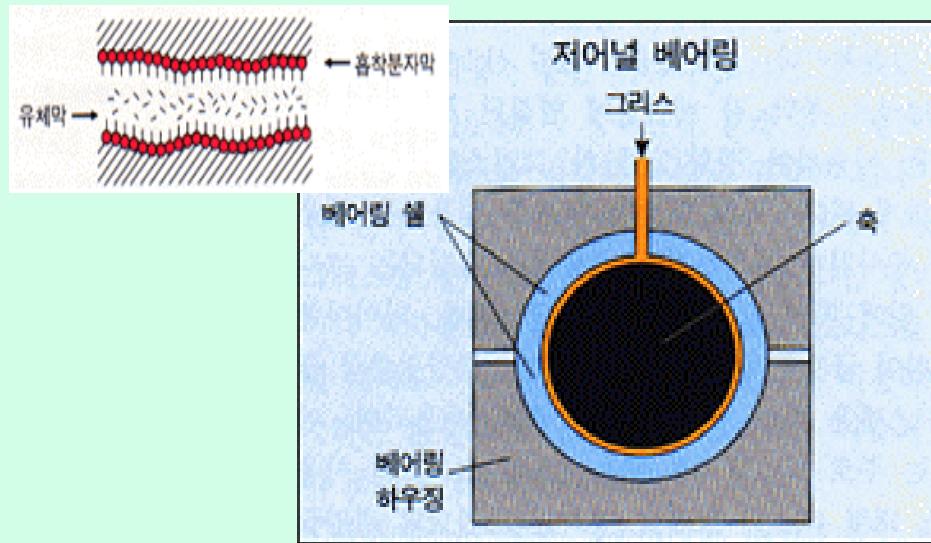
- 마찰의 정의 : 임의의 물체가 상대물체 위를 미끄러져갈 때 상대속도 방향의 반대 방향으로 작용하는 저항력



# 마찰(friction)의 원리

## □ 경하중 시의 미끄럼 안내

➤ 미끄럼 안내의 형태: 유체막 윤활 (fluid film lubrication)

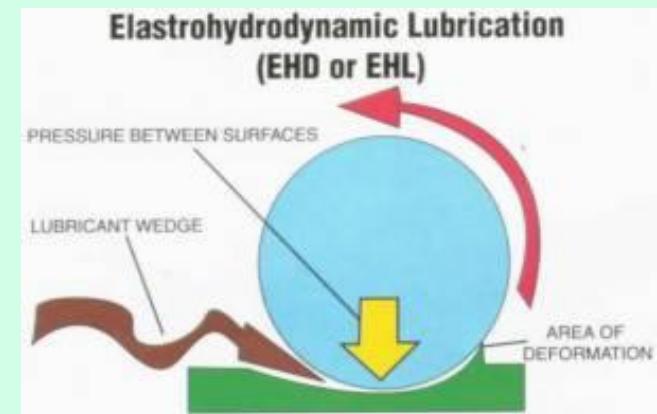
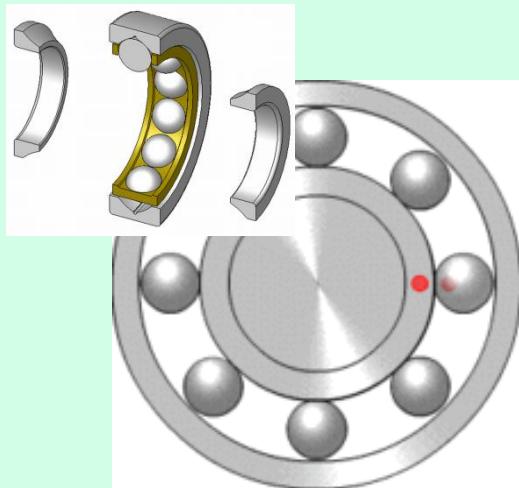


- 이상적인 윤활 상태, 동수압 윤활(hydrodynamic lubrication)
- 두 재료간의 직접적인 접촉이 없다.
- 압축유체막이 압력을 지지, 점성이 중요한 물리인자
- 유체역학 이론으로 하중지지용량과 표면의 마찰특성을 계산
- 미끄럼 베어링이 대표적인 예

# 마찰(friction)의 원리

## □ 중하중 시의 미끄럼 안내

- 미끄럼 안내의 형태: 탄성동수압적 윤활(Elastohydrodynamic lubrication)



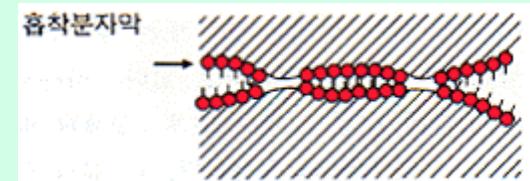
- 베어링 표면 등의 국부적인 응력이 높을 경우  
    → 표면 탄성 변형 → 접촉면의 증가 → 윤활 효과 감소
- 표면의 형상, 유체의 유효점성이 변화
- 기어지 윤활, 캠(cam) 표면윤활, 구름 베어링

# 마찰(friction)의 원리

## □ 고하중 시의 미끄럼 안내

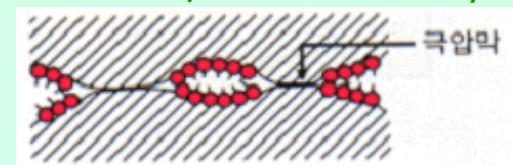
➤ 미끄럼 안내의 형태: 경계 윤활(boundary lubrication)

- 윤활막 형성 불안정 → 상호작용 발생
- 점성 외에 표면상태(거칠기/물리화학적성질 등)가 마찰에 영향
- 유효 경계 윤활 : 표면 흡착물이 두 재료간의 직접적인 접촉을 방해



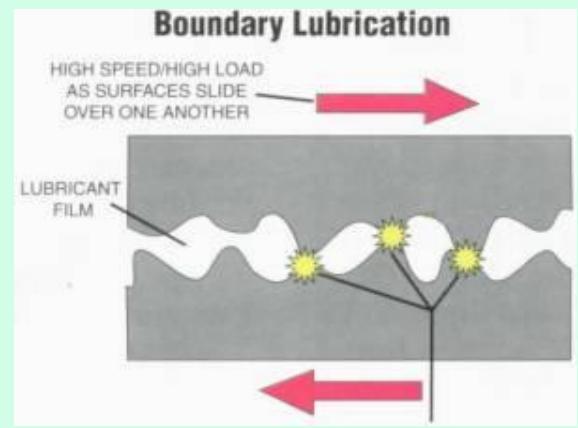
➤ 미끄럼 안내의 형태: 극경계 윤활(extreme boundary lubrication)

- 극심한 미끄럼 조건에서 발생  
→ 고하중 저속 베어링의 표면
- 재료 하나와 표면 흡착물이 화학적으로 반응하여 무기물 형성 (극압막)  
→ 직접접촉, 용접, 마모 등을 방해
- 이 무기물은 고용점 → 고온 윤활막으로 효과적
- 하이포이드기어 윤활, 중절삭 시 윤활



➤ 청정 금속면 접촉(clean metal surface)

- 극단적인 경우, 용접이 발생
- 경도, 전단력, 표면거칠기 등이 마찰에 큰 영향



# 마찰(friction)의 원리

## □ 실접촉 면적

- 표면거칠기와 waviness에 의하여 실제 접촉면적은 줄어든다.
- 연마된 1 in<sup>2</sup>의 면적을 가진 두 개의 블록을 접촉
  - 이론적인 접촉면적 : 1 in<sup>2</sup> (645mm<sup>2</sup>)
  - 실제적인 접촉면적 :  $< 1 \times 10^{-4}$  in<sup>2</sup> ( $< 0.1\text{mm}^2$ )
    - ⇒ 거의 0에 근접
    - ⇒ 실 접촉 면적은 이론적인 접촉면적이나 표면거칠기에 무관
- 하중이 증대 ➔ 접촉점의 소성변형 ➔ 실 접촉 면적의 증가
- 실 접촉 면적 :  $A_R = P(\text{하중})/H(\text{표면경도})$

## □ 건마찰계수의 원리

- 마찰계수는 하중에 무관
- 마찰계수는 미끄럼 속도에 무관
- 마찰계수는 표면거칠기에 무관
- 마찰계수는 표면적에 무관
- 마찰계수는 미끄럼면의 온도에 무관

# 마찰(friction)의 원리

## □ 경하중시 마찰의 원인(origin of friction)

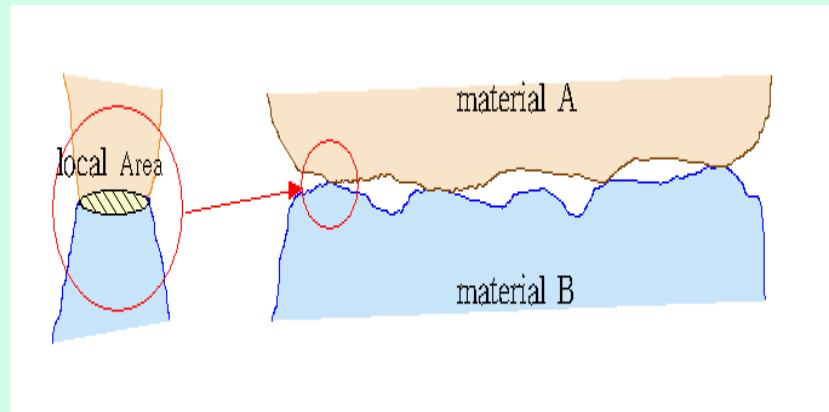
### ➤ 응착(adhesion)

$$\text{응착마찰력} : F = \tau A_R$$

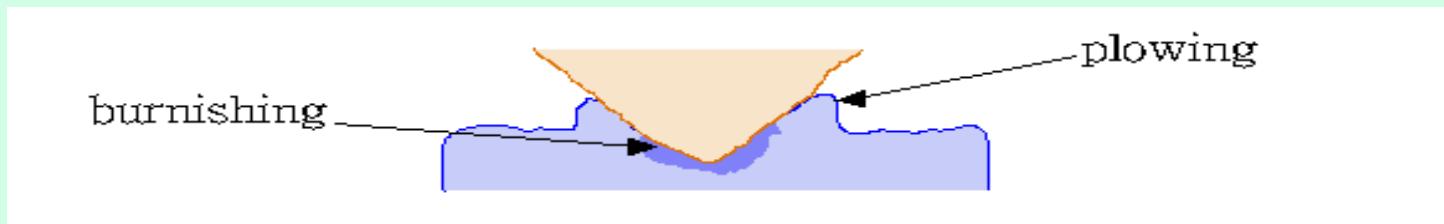
$$\text{마찰계수} : \mu = F/P$$

$$= \tau A_R / H A_R$$

$$= \tau (\text{전단강도}) / H (\text{경도})$$



### ➤ Plowing과 Burnishing



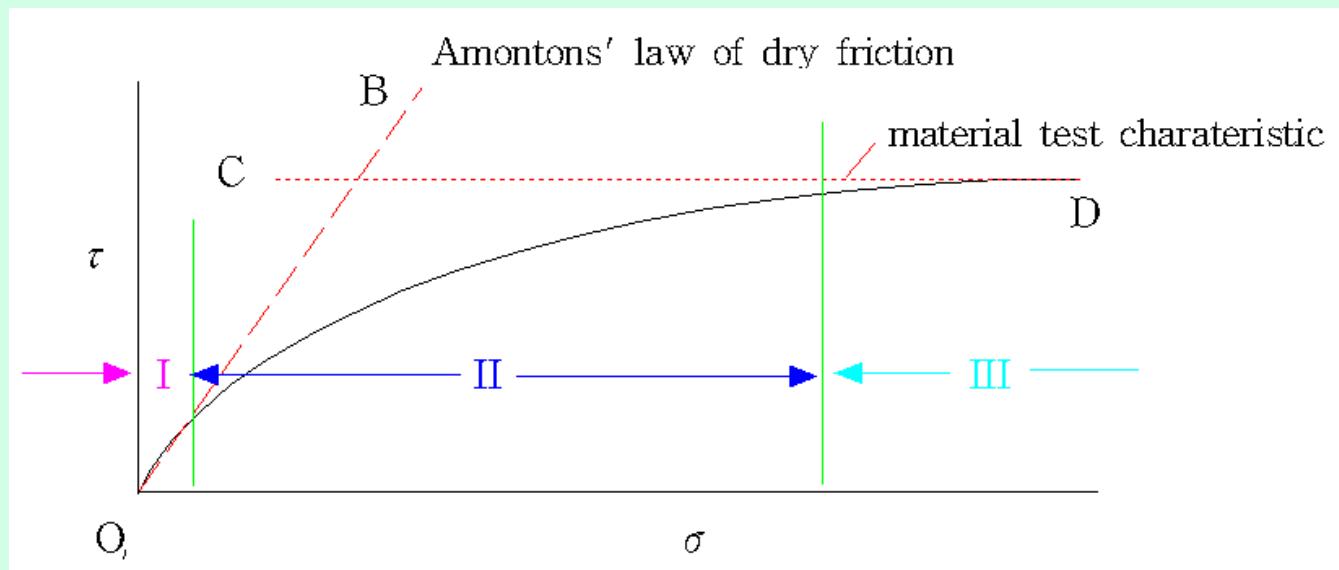
➤ Abrasion: 연삭과 유사한 형태로 한 재료 상대재료의 일부를 제거

➤ Transverse displacement : 표면에 국부적으로 경도가 높은 부분이 있을 경우 그 부분이 가해진 힘의 반대방향으로 이동하는 현상

# 마찰(friction)의 원리

## □ 중하중 시의 미끄럼 안내(Heavily Loaded Sliders)

### ➤ 고체마찰의 세 가지 영역



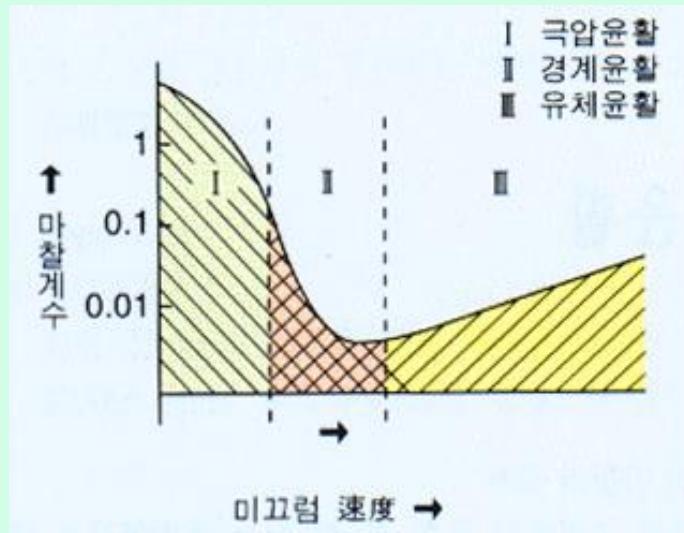
- I 영역: Amontons의 법칙을 만족( $A_R/A \ll 1$ ),  $\mu = \tau/\sigma =$  일정  
표면거칠기에 의한 마찰력 발생
- II 영역: 과도영역( $A_R/A < 1$ ), 마찰계수가 하중이 증가함에 따라 감소  
절삭공구면의 마찰, 표면부 소성층 발생으로 소성유동 발생
- III 영역:  $\tau$  가  $\sigma$ 의 변화에 무관( $A_R/A = 1$ ), 완전한 소성유동

# 운동원활화의 원리

“안내운동을 원활히 하기 위해서는  
마찰력을 최소화해야 한다.”

- 미끄럼 안내
- 정압 안내
- 구름 안내
- 자기 안내

# 안내의 방식

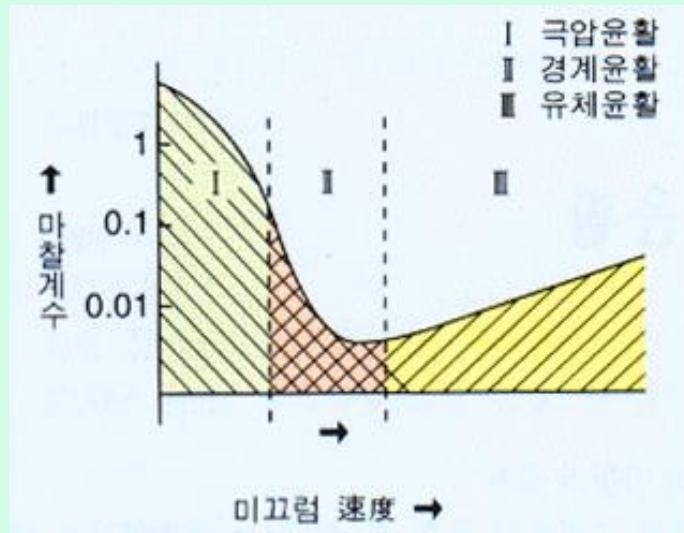


- I 영역 : 안내막의 두께 < 표면거칠기  
극경계(극압)윤활  
미끄럼속도가 0 근접 → 용접현상
- II 영역 : 경계윤활/탄성동수압 윤활 영역
- III 영역 : 안내막의 두께 > 표면거칠기  
유체막 윤활

## □ 미끄럼 안내

- 일반적인 저어널 베어링
- I(II) 영역 윤활조건
- 특징
  - 유동 제로의 원칙을 만족시키기 쉽다.
  - 마찰계수가 크다 (부하변동에 영향을 받는다)
  - 마모 발생, Stick slip, 저비용

# 안내의 방식

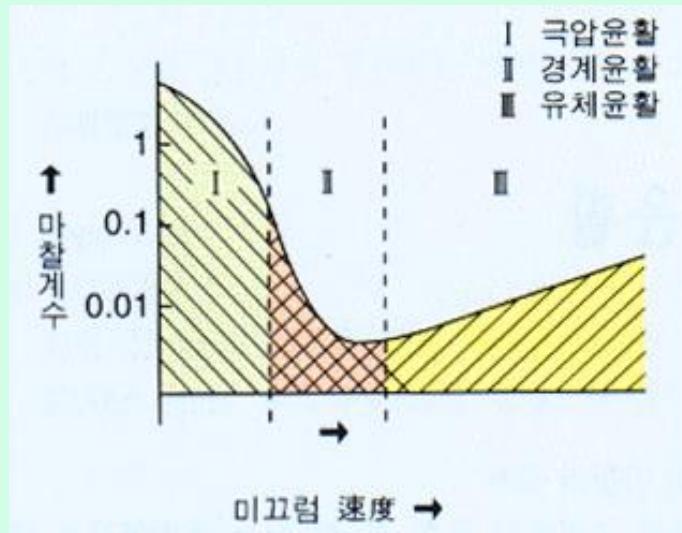


- I 영역 : 안내막의 두께 < 표면거칠기  
극경계(극압)윤활/경계윤활  
미끄럼속도가 0 근접 → 용접현상
- II 영역 : 경계윤활/탄성동수압 윤활 영역
- III 영역 : 안내막의 두께 > 표면거칠기  
유체막 윤활

## □ 정압안내

- 유정압, 공기정압 베어링
- III영역 윤활 조건
- 특징
  - 유동이 존재 ⇒ 무한 강성시스템으로 보완. 마모가 적다(유<공)
  - 마찰계수는 유체의 점성에 의하여 결정(유>공)
  - 평균화원리에 의하여 안내오차가 작아진다. 스틱슬립이 없다.
  - 진동감쇠능력이 크다.(유정압 > 공기정압)

# 안내의 방식

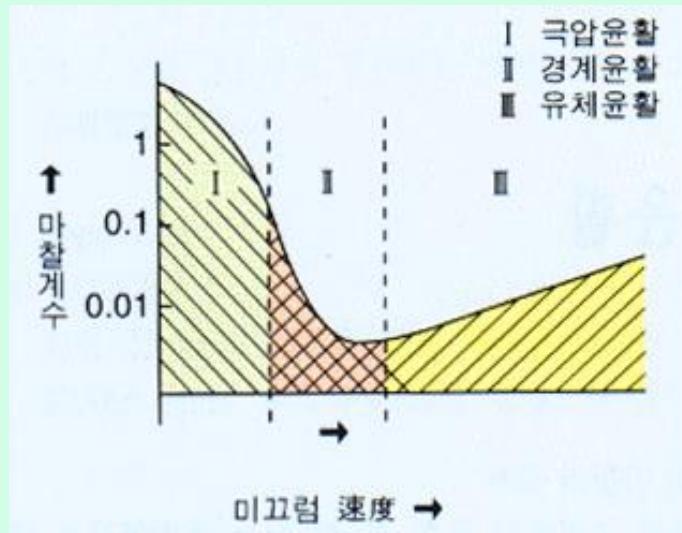


- I 영역 : 안내막의 두께 < 표면거칠기  
극경계 윤활/경계윤활  
미끄럼속도가 0 근접 → 용접현상
- II 영역 : 경계윤활/ 탄성동수압 윤활
- III 영역 : 안내막의 두께 > 표면거칠기  
유체막 윤활

## ▣ 구름안내

- 유체대신 볼(또는 롤러 등)을 사용
- II(I) 영역 윤활조건
- 특징
  - 예압을 통해 유동 제로 실현, 수명이 짧다.
  - 마찰계수가 작다. (정압 < 구름 < 미끄럼)
  - 스틱 슬립이 없다. 강성이 높다.
  - 볼의 치수 차에 의한 유동(waving)이 발생

# 안내의 방식



- I 영역 : 안내막의 두께 < 표면거칠기  
극경계(극압) 윤활  
미끄럼속도가 0 근접 → 용접현상
- II 영역 : 경계윤활/ 탄성동수압 윤활
- III 영역 : 안내막의 두께 > 표면거칠기  
유체막 윤활

## □ 자기안내

- 자기에 의한 비접촉 운동
- 특징
  - 이론적으로 무한대의 강성
  - 간극을 크게(정압에 비하여 수십~수백배)
  - 비용이 크다. 발열이 크다. 제어가 어렵다.

# 안내의 방식

## □ 안내방식의 성능 비교

항 목	공기안내		유압안내		구름안내	자기안내
	동 압	정 압	동 압	정 압		
부하용량	×	○	○	◎	◎	×
강성	×	○	○	◎	◎	×
감쇠능	△	△	◎	◎	×	△
발열	◎	◎	×	△	○	△
제작의 난이도	×	×	○	○	○	×
보수	○	△	○	○	○	△
수명	○	◎	○	◎	×	◎
가격	단체	×	×	○	◎	×
	보조장비	◎	×	○	×	×
◎ : 우수 ○ : 양호 △ : 보통 × : 불량						

# The end of Ch. 8

# 기욤 아몽통과 쿠лон

- 기욤 아몽통(1663~1705)이 1699년에 발견한 마찰의 법칙을 재확인하고 체계화했다.
- 아몽통의 연구는 뉴톤(1642~1727)의 운동역학이 발전하기 이전의 것으로 정지마찰력에 국한
- 이후 쿠лон(1736~1806)이 이 마찰의 법칙을 재확인하고 체계화했다.
- 따라서 아몽통의 법칙이라고 흔히 불리는 마찰의 법칙을 그래서 쿠لون의 법칙이라고 부르기도 한다.
- 마찰에 관한 쿠لون의 법칙
  - 첫째 최대정지마찰력과 운동마찰력은 접촉면에 수직인 항력(수직항력)의 크기에 비례하고 접촉면의 넓이와는 관련이 없다,
  - 둘째 운동마찰력은 미끄럼 속도의 크기와는 관련이 없다,
  - 셋째 운동마찰력은 최대정지마찰력보다 작다는 것이다.