

마모시험방법

개요

- 내 마모 특성은 재료의 고유특성이 아니라 상대재료의 종류나 시험조건에 따라서 크게 바뀌는 상대적 특성임.
- 마모시험시 시험방법, 시험조건, 상대재료, 시편의 모양등을 모두 자세히 밝혀야만 그 숫자가 의미가 있고 재현성 있는 결과를 얻을 수 있음.
- 마모시험을 복잡하게 하는 요인 - 시험재료와 상대재료 이외에 윤활제를 첨가에 따라 영향을 받음.
- 마모 표준화 : 1984년 프랑스 베르사이유에서 열린 서방 7개국 정상회담에서 신소재의 재료시험에 대한 표준화 연구 공동수행을 합의.
주관기관 : 독일 BAM, 총괄 : 미국의 연방 표준국 (NBS)

Tribology

- 1966년 영국에서 그리스어의 트라이보스(tribos : 문지른다)에서 트라이볼로지(tribology) 라는 단어를 만들어 냄.
- 마모(Wear)의 정의 : 물체의 표면에서 기계적인 운동에 의해 물체가 점차적으로 부스러져 떨어져 나가는 현상.(독일 규격 : DIN 50320)
기계적 운동 : 기체, 액체, 고체등의 접촉
- Tribology는 마찰(Friction), 마모(Wear), 윤활(Lubricant)등을 종합적으로 연구하는 학문

Tribology

1. 마찰 (friction)

- 정의

접촉면에서의 분자간 결합력을 끊는데 필요한 힘이다. (X)

양면성이 있는 힘으로서 변형과 응착이 같이 작용하여 나타나는 현상(O)

2. 마모(Wear)

마모연구는 1930년대 독일에서 시작됨

- Siebel의 분류

(1) 윤활이 안된 표면에서 미끄럼 마찰에 의한 마모

(2) 윤활된 표면에서 미끄럼 마찰에 의한 마모

(3) 윤활이 안된 표면에서 구름 마찰에 의한 마모

(4) 윤활된 표면에서 구름 마찰에 의한 마모

(5) 진동 접촉에서의 마모

(6) 움직이는 고체 분말에 의한 마모(Erosion)

(7) 움직이는 액체에 의한 마모(cavitation)

Tribology

2. 마모(Wear)

- Burwell의 분류

- (1) 응착마모 (Adhesive wear)
- (2) 연삭마모 (Abrasive wear)
- (3) 부식마모 (Corrosive wear)
- (4) 표면피로마모 (Surface fatigue wear)

3. 윤활 (Lubrication)

윤활의 목적은 두 접촉면의 사이에 유체의 막을 만들어 고체 접촉면에 손상을 주지 않고 미끄럼이 잘 일어나도록 함.

마찰기구

1. 마찰기구

마찰에는 고체/기체, 고체/액체, 고체/고체의 모든 계면에서 발생함.

표.1 마찰과 마모양상

	마찰	마모양상	예
고체/기체	공기저항	유체침식	공기베어링, 비행기동체, 터빈날개
고체/액체	점성저항	침식 (erosion, cavitation)	유압기기, 배, 송유관
고체/고체	마찰력	마모(wear)	베어링, 기차바퀴, 제동장치

고체/고체 계면에서 일어나는 마찰에는 크게 미끄럼 마찰과 구름마찰의 두 가지가 있다.
미끄럼 마찰이 구름마찰 보다 크며 마찰력의 차이때문에 시험방법도 서로 다름.

마찰기구

2. 미끄럼 마찰

미끄럼 마찰시 계면에서 일어나는 일

- (가) 접촉부의 탄성변형
- (나) 접촉부의 소성변형
- (다) 흙패임(Plowing)
- (라) 응착부위의 전단(shearing)

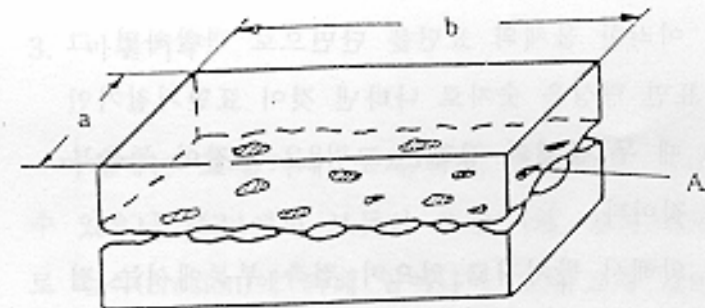
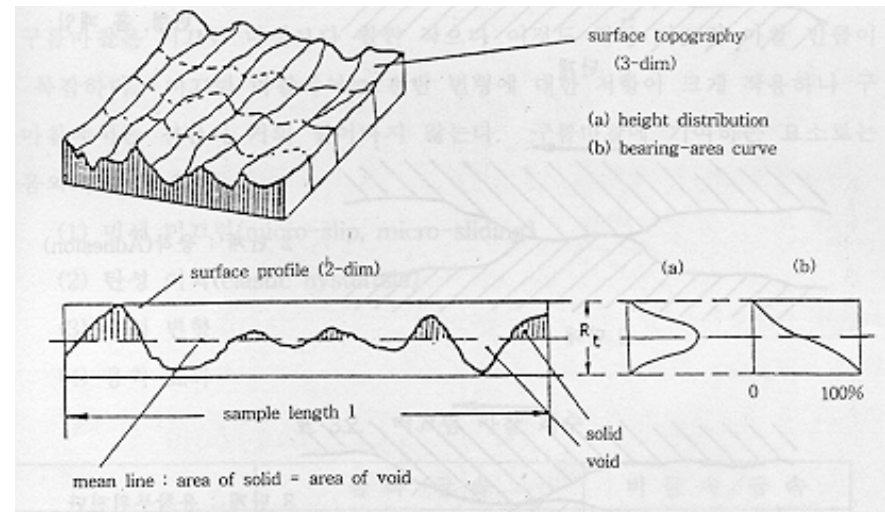
3. 구름 마찰

미끄럼 마찰에서는 전단변형에 대한 저항이 크게 작용하나 구름마찰에서는 전단이 거의 일어나지 않음.

구름마찰에 기여하는 요소

- (1) 미세 미끄럼(micro slip, micro sliding)
- (2) 탄성이력(elastic hysteresis)
- (3) 소성변형
- (4) 응착효과

마찰기구



겉보기 접촉면적

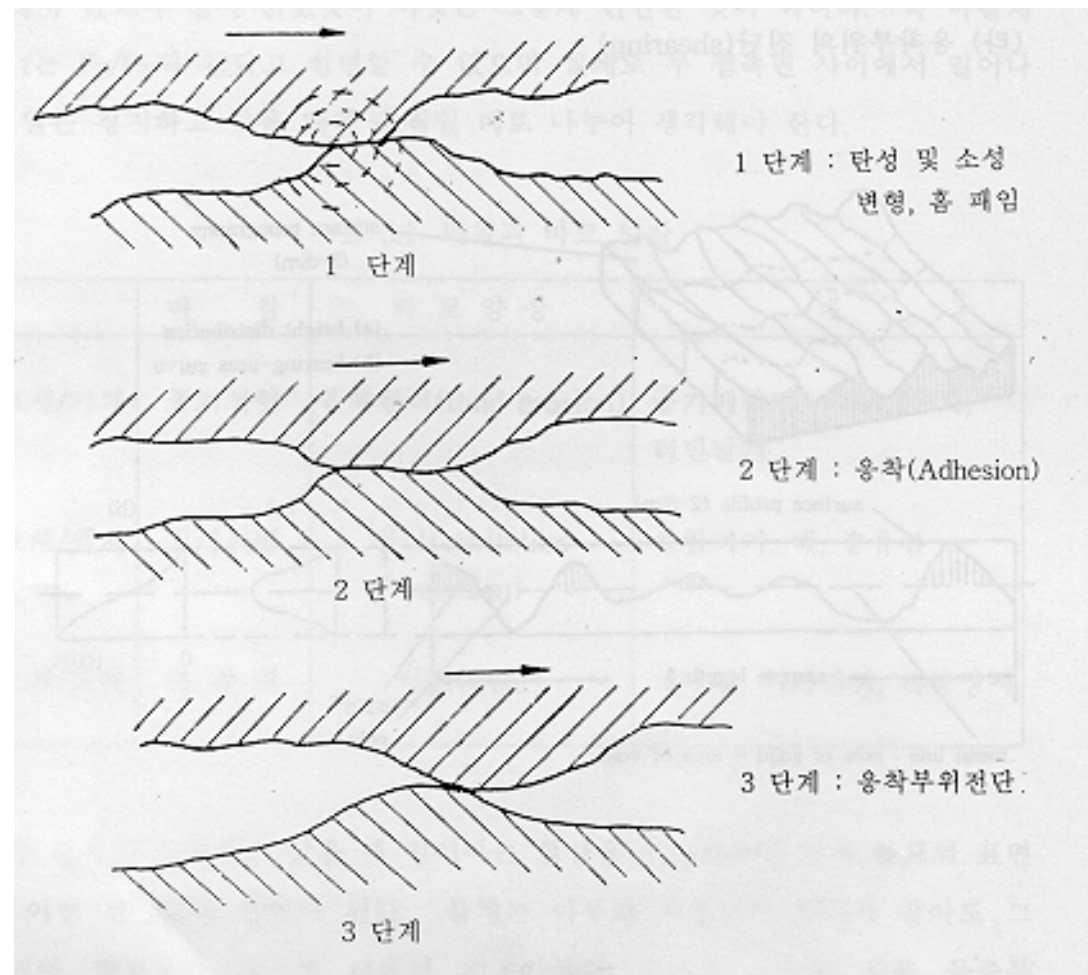
$$A_o = a \cdot b$$

참접촉면적

$$A_r = \sum_{i=1}^n A_i$$

$$A_o \gg A_r$$

마찰기구



마모기구

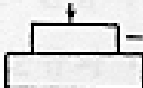
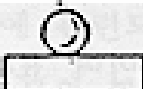
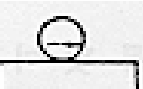
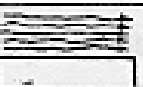
1. 마모와 관련된 상대운동의 종류

- (가) 미끄럼
- (나) 구름
- (다) 충격
- (라) 진동
- (마) 흐름

3. 마모기구

- (가) 연삭마모 : 단단한 면의 돌기나(asperity) 경질입자의 절삭작용에 의해 일어나는 마모
- (나) 응착마모 : 참 접촉부에서 생긴 응착부분의 전단에 의해 생기는 마모
- (다) 부식마모 : 분위기나 윤활제의 부식작용과 마찰의 기계적 작용이 같이 일어나는 마모
- (라) 표면피로마모 : 표면에서의 반복접촉에 의한 피로 때문에 균열이 일어나는 마모

마모기구

마모시스템 구 성	마 모 기 구 상 대 운 동	응 력		응력 + 재료	
		표면 피로	연삭	응착	부식 마모
고체 / 액체 - 건조마모 - 윤활마모	 미끄럼(sliding)	미끄럼 마모			
	 구름(rolling)	구름 마모			
	 때림(impact)	때림 마모			
	 진동(oscillation)	fretting마모			
고체 / 고체	 흐름(flow)	침식			
고체 / 유체 + 거루	 흐름(flow)	침식			

마모기구

가. 연삭마모

- 미세 절단(micro-cutting)에 의한 변형이 주요 기구 임.
- 마찰계수는 미끄럼 마모보다 대략 1,000배 정도 크다.
- 마모의 손실을 줄이려면 재료의 경도가 연삭제나 마모부스러기의 경도보다 1.3배 높음.
- 1.3배보다 무작정 커진다고 해서 비례적으로 좋아지는 것은 아니다.

나. 응착마모

- 재료의 상호작용의 중요한 요소로 작용하는 마모기구임.
- Van der waals힘과 1nm 정도의 거리에서 작용하는 강한 표면력에 의해 발생.
- 금속의 산화막이 덮여 있지 않으면 응착이 잘 일어나기 때문에 진공에서 잘 일어남.
- 응착이 일어난 부분에서 전단등에 의한 파괴가 일어나면서 재료가 옮겨 붙거나 마모부스러기가 생겨 일어난다.

마모기구

다. 부식마모

- 다른 마모기구가 고체의 접촉에 의해서 나타나는 것에 비해 분위기가 제 3의 요소로 작용
- 2개의 접촉면이 먼저 주위 분위기와 반응하여 산화물, 염화물등의 반응생성물이 생기고 이들의 접촉하면서 반응층이 깨져나가고 마모부스러기가 생기며 새로운 표면이 나타나면서 위의 과정을 반복하면서 위의 반복되어 일어남

나. 표면 피로 마모

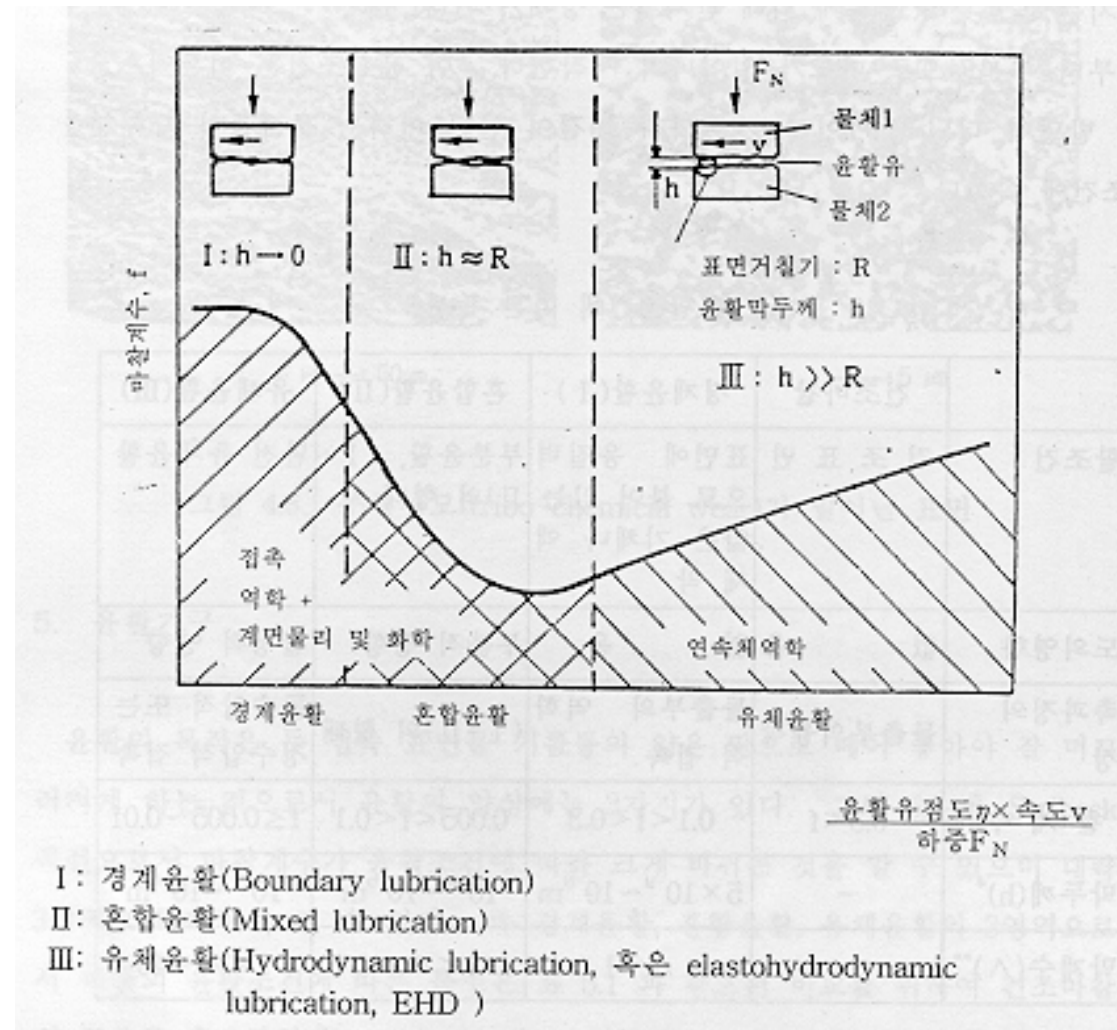
- 주로 반복접촉이 일어나는 구름접촉 시스템, 즉 볼 베어링 같은 곳에서 발생함.
- 두 물체가 접촉할 때 최대 전단응집력은 표면이 아니라 표면에 가까운 물체의 내부에서 발생.
- 베어링의 내륜이나 외륜의 어느 한곳에서 계속적으로 볼이 지나가면서 전단응력을 반복적으로 받게 되어 결국 피로 현상에 의해 균열이 발생.

윤활기구

- 윤활의 목적: 두 접촉 표면을 기름등의 얇은 막으로 떼어 놓아 잘 미끄러지게 한다.
- 윤활은 대략 3영역으로 나누어짐. - 경계윤활, 혼합윤활, 유체윤활
- 경계윤활은 두 물체 표면의 돌출부가 본격적으로 닿기 시작하며 유체의 막 두께가 표면 거칠기 보다 작은 상태. 마모문제의 대부분 이 윤활상태에 속한다.

	건조마찰	경계윤활(I)	혼합윤활(II)	유체윤활(III)
윤활조건	건조표면	표면에 응집력으로 붙어 있는 얇은 기체나 액체막	부분윤활(I+II)	완전 유체윤활
점도영향	없 음	없 음	부분적 윤활	결정적 영향
접촉과정의 특징	돌출부의 융착	돌출부의 역학적 접촉	(I+II)의 형태	동수압적 or 정수압적 접촉
마찰계수	$0.3 < f$	$0.1 < f < 0.3$	$0.005 < f < 0.1$	$f \leq 0.005 - 0.01$
유막두께(h)	-	$5 \times 10^{-9} - 10^{-8} \text{ m}$	$10^{-9} - 10^{-8} \text{ m}$	$10^{-7} - 10^{-6} \text{ m}$
유막계수(Λ)	-	$\Lambda < 1$	$1 < \Lambda < 4$	$1 < \Lambda < 10$

윤활기구



마모시험의 목적

- 재료의 내마모성을 평가
- 주어진 윤활조건에서 모의시험을 통해 가장 좋은 재료를 고르거나 주어진 재료에 적합한 가장 좋은 윤활방법을 찾는 것.

마모시험에 영향을 미치는 요인

(1) 재료특성

재료의 성분, 평균입경(grain size), 탄성계수, 열전도도, 가공경화 특성, 경도 등

(2) 시험방법 및 시편

시편의 모양, 하중, 움직임의 종류, 표면 거칠기, 진동, 왕복 및 회전주기

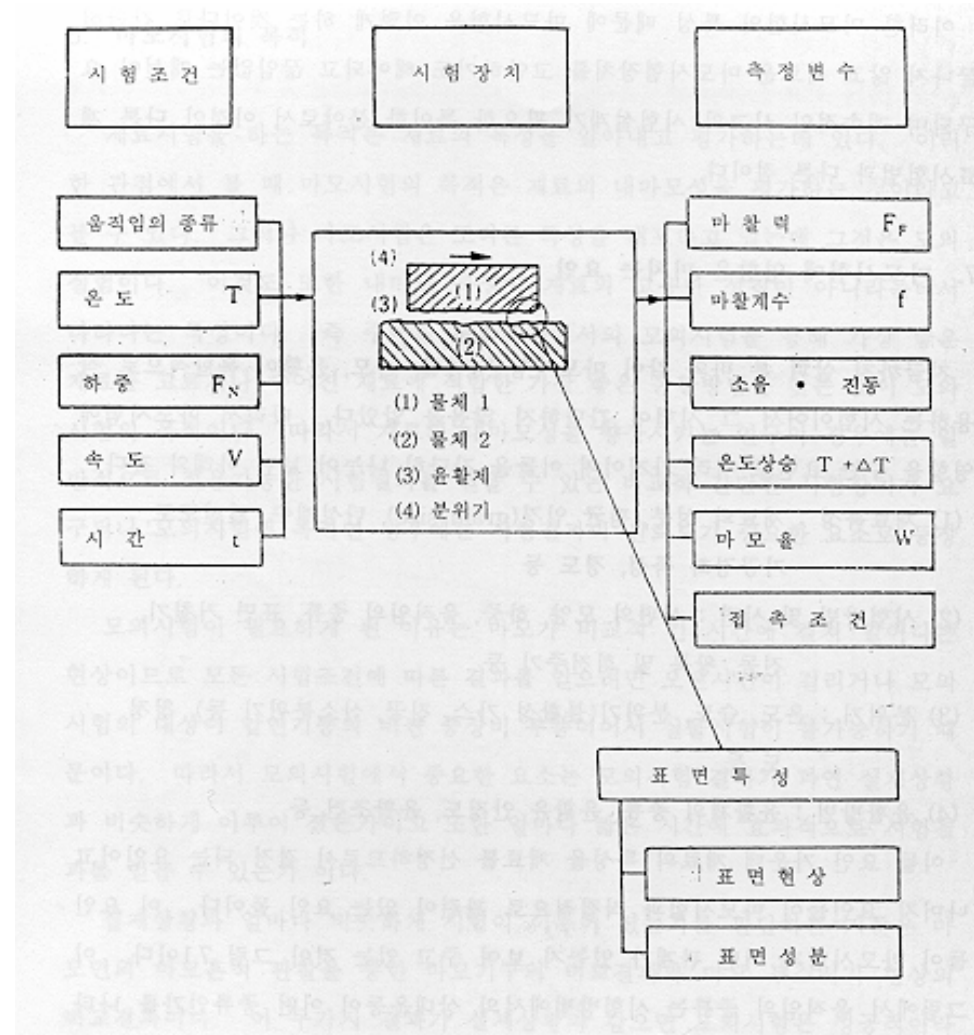
(3) 분위기

온도, 습도, 분위기(불활성 가스, 진공, 산소 분위기), 청정도 등

(4) 윤활방법

윤활제의 종류, 윤활유 안정도, 윤활조건 등

마모시험에 영향을 미치는 요인



마모시험에 영향을 미치는 요인

(1) 온도

마찰과 마모에 영향을 미치는 요인들 가운데서 가장 중요함.

- 온도 : 주위온도, 접촉면 사이 온도
- 접촉면 사이의 온도가 가장 중요하나 이 온도를 측정하기 매우 어렵고 만족할 만한 방법이 별로 없음.
- 접촉면의 온도

$$T_s \propto ((fPv/AK) G + T_a)$$

T_s : 접촉면 사이의 온도, f : 마찰계수, P : 하중, v : 속도, A : 면적, K : 열전도도

G : 열전달 함수, T_a : 주위온도

- 표면온도가 상승하면 나타날 수 있는 재료 및 윤활상의 현상

(가) 재료가 연해지고 이 결과 연삭마모가 증가되고 골링(galling)이 더 잘 일어나고 표면의 피막이 쉽게 깨져 나감.

마모시험에 영향을 미치는 요인

- (나) 윤활제와 주위 분위기와 반응이 더 잘 일어남. – 윤활제의 특성에 따라 마모량이 증가, 감소
- (다) 윤활제의 점도가 감소되면서 마모가 촉진됨.
- (라) 어느 이상의 온도가 되면 윤활제가 제 기능을 못하여 마모가 급격히 증가.

(2) 하 중

– 하중이 시험에 미치는 영향

- (가) 표면의 온도에 직접적으로 영향
- (나) 하중이 증가하면 참 접촉면적이 증가하며 이 결과 마모량이 증가
- (다) 윤활막의 두께가 줄어듦과 돌출부의 접촉이 더 많이 일어나게 되며 이 결과 마모량 증가

마모시험에 영향을 미치는 요인

(5) 표면특성

- 마모율은 겉보기 접촉면적의 영향을 크게 받지 않고 참접촉 면적에 비례함.
- 거칠기등이 매우 중요한 요소로 인식되었으나 실험결과 주요한 요소가 아님.
- 시험조건에 따라서는 중요함.
 - 두 접촉재료의 경도가 클 경우
 - 윤활의 경우로 거칠기가 클 수록 경계윤활이 커짐.
- 경계윤활 조건에서 시험을 하다가 마찰계수가 0.05이하로 떨어지면 윤활조건이 바뀌었을 가능성 있으므로 주의하여야 함.

(6) 분위기

- 마모시험에서 분위기가 중요한 요인임
- 공기층의 습도도 시험결과에 많은 영향을 미치므로 습기에 예민한 재료를 시험할 때 주의하여야 하며 시험기 및 시험기 부품들을 깨끗이 유지 하여야 함.
- 습도, 산소, 불활성, 진공 분위기는 공기중에서의 실험결과와 매우 다르고 마모기구도 다름.

마모시험에 영향을 미치는 요인

(7) 윤활

- 유체윤활, 혼합윤활, 경계윤활로서 유체윤활을 증진 시키는 요인으로는 속도증가, 면적증가, 윤활제의 점도증가, 하중감소, 거칠기 감소 등이다.

측정변수 및 측정방법

1. 측정변수

- 하중, 속도, 분위기는 실험하기 전에 결정됨.
- 측정 변수 : 기계량, 열량, 물질량

(1) 기계량

마찰력, 마찰계수(변형게이지나 토크셀로 측정), 진동 및 소음

(2) 열량

온도(열전대로 측정)

(3) 물질량

마모율

(4) 기타

윤활막 두께(광학현미경, 정전용량, X-선을 이용)

표면손상(사진, 표면 Profile)

측정변수 및 측정방법

2. 마모량

- 직접측정방법

(1) 시편의 형상변화

- 길이변화
- 단면적 변화
- 부피변화

(2) 시편의 질량변화

(3) 마모되어 나간 재료의 부피

- 상대적 측정방법

(4) 시간에 따른 마모량

(5) 거리에 따른 마모량

(6) $K = \text{마모부피} / (\text{하중} \cdot \text{거리})$ (마모계수 : $\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$)

(7) $K' = (\text{마모부피} \cdot \text{경도}) / (\text{하중} \cdot \text{거리})$ (Archard's 마모계수)

마모시험 주의사항

- (가) 시험시 핀은 반드시 시작 전에 깨끗이 닦아야 한다.
- (나) 경계윤활 시험할 때는 유체윤활이 되지 않도록 주의하여야 한다.
- (다) 미끄럼 시험에서 접촉면의 반복접촉 때 시간간격이 실제상황과 비슷해야 함.
- (라) 진동은 격리되어야 한다.
- (마) 시험 시간동안 시험조건을 바꾸지 말아야 한다.
- (바) 변수의 영향을 연구할 때는 독립적인 시험을 반드시 수행하여야 한다.

마모시험

(가) Pin on Disk (One pin, Three pin)

(나) Ball on Disk (One ball, Three ball)

(다) Thrust washer

(라) Four ball

(마) Ball on flat

(바) Ring on block

(사) Rolling wear