

# KEPITAL의 내마찰마모성

**한국폴리아세탈(주)**  
KOREA POLYACETAL CO., LTD.

**KPAC**

서울시 중구 소공로 94, 14층 (소공동, OCI빌딩)  
14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea  
Tel +82-2-728-7400 Fax 82-2-714-9235 [www.gpac-kpac.com](http://www.gpac-kpac.com)

## 1. 마찰마모(학) – Tribology의 정의

(1) 어원의 유래 : 트라이보(tribo)는 그리스어(語)로 '문지르다, 비비다'라는 뜻에서 유래한 것으로 1966년 영국 정부 내에 트라이볼로지 위원회가 설치되면서부터 일반화하여 사용되었다. 유사한 학문으로 본래부터 윤활학(潤滑學)이 있었으며, 트라이볼로지는 윤활학을 더욱 확대한 것으로, 기계·금속·물리·화학·역학 등 연구대상이 되는 영역이 광범위하다.

(2) 마찰마모란?

마찰과 관련된 기술, 과학을 체계적으로 하나의 영역으로 총괄한 학문·기술분야. 구체적으로 윤활기술을 비롯하여 내마찰 표면의 처리기술과 마찰 재료의 물성 연구 등, 넓은 범위의 학제적인 상호간의 과학·기술을 망라하고 있다.

## 2. 마찰마모의 3대 요소



(1) 마찰(Friction)

1) 정의 : 한 물체가 다른 물체와 접촉한 상태에서 움직이기 시작할 때 또는 움직이고 있을 때 그 접촉면에서 운동을 저지하려고 하는 현상이다.

2) 마찰의 종류

① 마찰 상황에 따른 분류

- 정마찰 : 정지해 있는 물체가 움직이려고 할 때 생기는 마찰
- 동마찰 : 움직이고 있는 물체에 작용하는 마찰

주) 1. 우리가 흔히 알고 있고 발견하는 플라스틱에서의 마찰은 동마찰에 해당한다.

② 마찰 계면 상태에 따른 분류

- 건조 마찰 : 물체와 접촉하는 면 사이에 다른 종류의 물질이 끼어들지 않아 화학적으로 더럽혀지지 않은 때의 마찰이다.
- 경계 마찰 : 고체가 서로 마찰할 때, 이 접촉면에 서로 다른 분자가 흡착하여 흡착 분자 층을 형성한다. 이때의 마찰을 경계마찰이라 하며, 유막을 경계로 하여 발생하는 마찰이다.

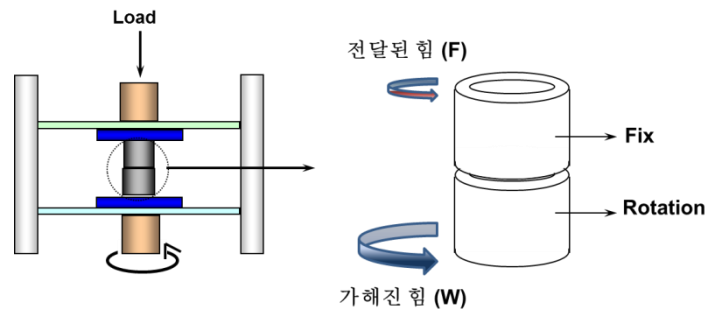
예) 자동차 엔진을 시동할 때 피스톤 링과 실린더 벽 사이에서 일으키는 마찰 등

3) 마찰력 : 두 물체가 접촉하여 운동할 때, 접촉면을 따라 그 운동을 방해하는 힘이다.

4) 마찰계수

- 마찰력의 크기는 가해진 힘에 비례하는데, 이때의 비례상수가 마찰계수이다. 따라서 같은 힘이 작용한다면, 마찰계수가 클수록 마찰력의 크기도 커진다. 마찰력의 크기를  $F$ , 가해진 힘을  $W$ , 마찰계수를  $\mu$ (mu; 뮤)라고 할 때,  $F = \mu W$ 의 관계가 성립한다.

※ 마찰의 정도를 나타내는 마찰계수는 물체의 재질, 표면의 매끄러운 정도, 윤활제의 유무와 종류 등에 따라 달라진다.



$$\mu \text{ (마찰계수)} = F / W$$

그림 1. 마찰계수의 정의

(2) 마모(Wear)

- 1) 정의 : 마모는 표면의 상대운동 결과로 미세한 입자들이 접촉면에서 이탈되는 현상이다.
- 2) 원인 : 응착, 부식, 절삭, 피로, fracture 및 화학적 상호작용 등

※ 대부분의 경우 마모는 여러 가지 원인이 복합적으로 작용하여 나타난다.

### 3) 마모의 종류

- ① 응착 마모(adhesion wear) : 두 표면이 접촉하여 상대운동을 할 때, 두 표면의 원자들간에 존재하는 인력에 의하여 두 접촉면이 응착되어서 한 접촉면으로부터 파편이 떨어져 나오는 형태의 마모를 말한다.

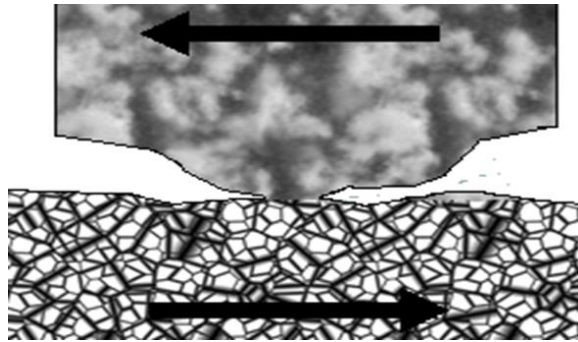
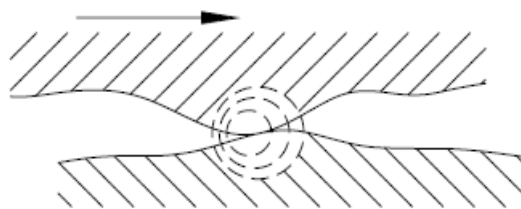
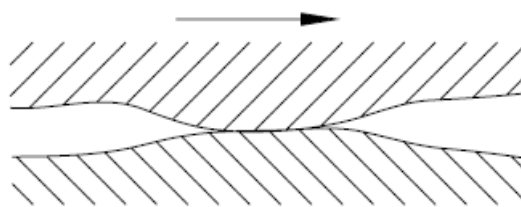


그림 2. 응착 마모의 예시



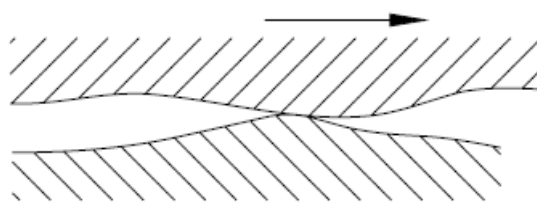
1 단계

1단계 : 탄성 및 소성 변형, 흠 패임



2 단계

2단계 : 응착(Adhesion)



3 단계

3단계 : 응착부위전단

그림 3. 응착 마모의 단계별 변화

{Reference : 마모시험의 Know-how(TN-05-14), pp. 10 (2007)}

- ② 절삭 마모(abrasive wear) : 거칠고 단단한 표면이나 혹은 거친 입자를 포함한 연한 표면이 연한 표면과 상대운동을 할 때 연한 표면에 절삭작용을 함으로써, 연한 표면의 물질이 제거되는 형태의 마모를 말한다.

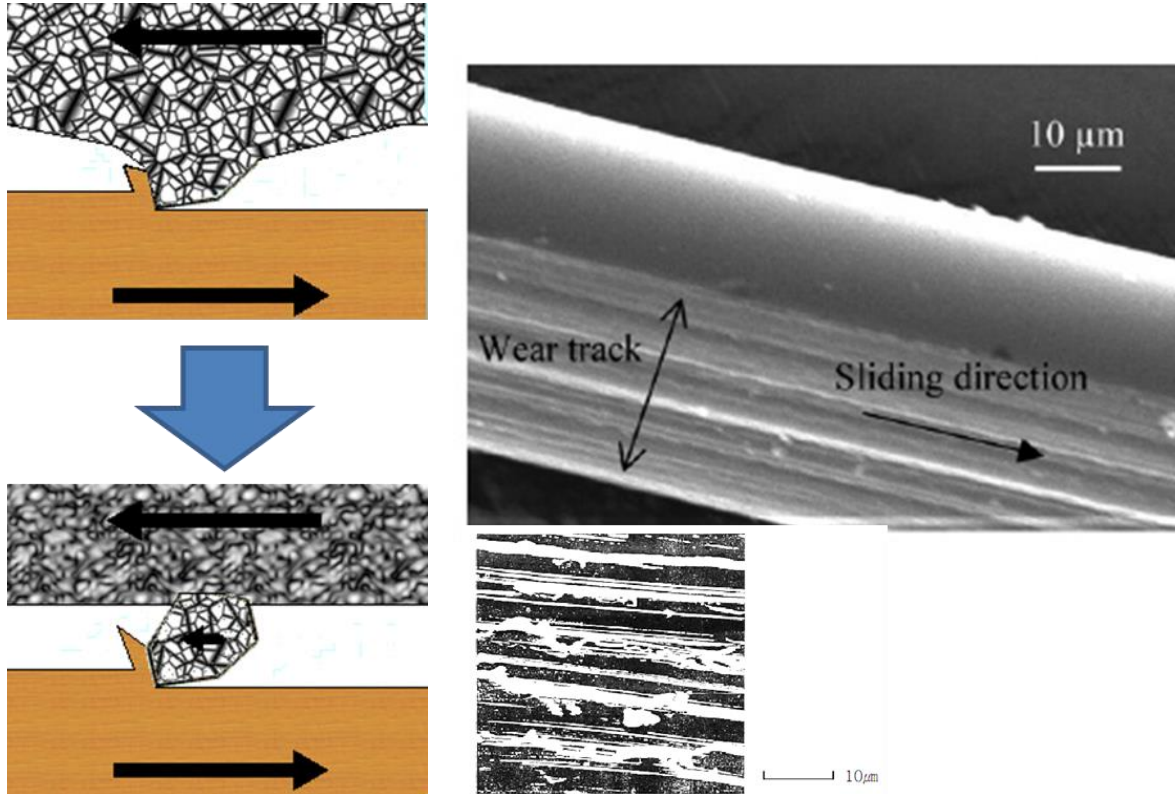


그림 4. 절삭마모의 예시 (Reference : Polymer 45 (2004) 2729~2736)

- ③ 표면피로 마모(surface fatigue wear) : 이 형태의 마모는 한 궤도를 따라 반복적인 상대 운동이 있을 때 발생하며, 반복하중은 표면 혹은 표면 아래에 크랙을 형성하게 하는데, 이 크랙이 결과적으로 그 표면의 파괴를 야기시켜 발생하는 마모를 말한다.

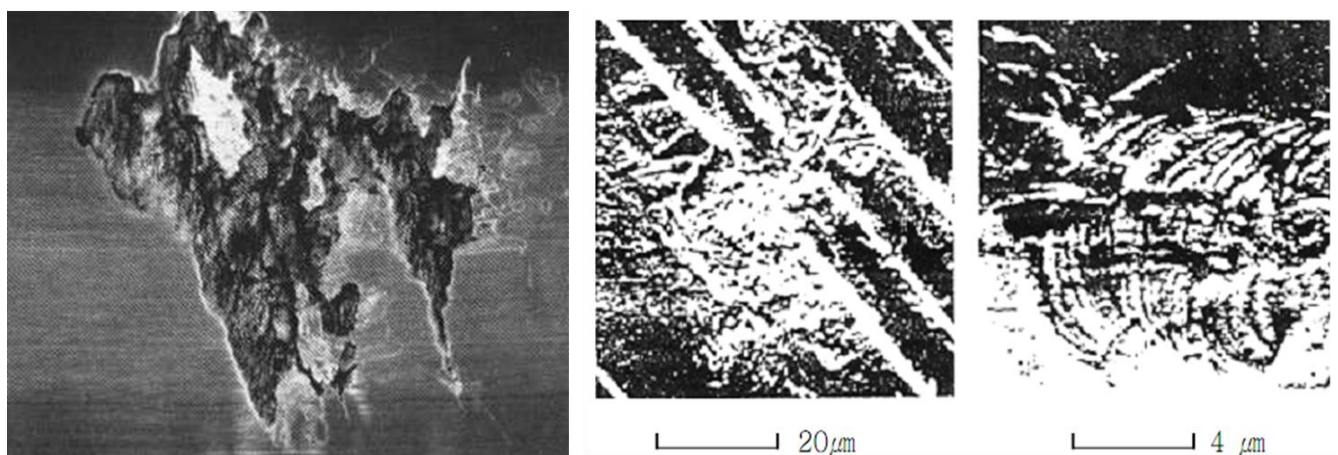
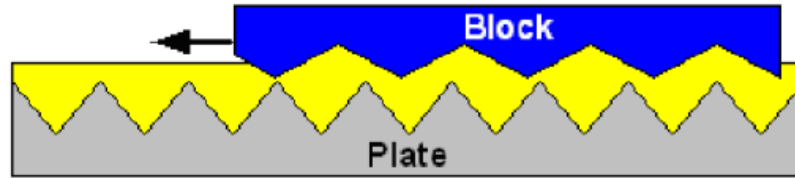


그림 5. 표면 피로 마모의 예시

Reference : <http://www.acta.nl/dentalmaterials/research/wear>

(3) 윤활(lubrication)

- 1) 정의 : 상대운동을 하는 물체를 전단력이 적은 윤활막에 의하여 분리시킴으로써 표면의 손상을 방지하는 것이다.



(Reference : Annual Report of the KNIT, Vol. 12, pp 53~65, 1991)

- 유체 윤활 : 유체윤활은 접촉면이 윤활제에 의하여 완전히 분리된 경우. 이 경우에 접촉 표면에 걸리는 하중은 모두 접촉면의 상대운동에 의해 발생되어지는 유압에 의하여 지지되게 된다. 따라서 접촉 표면이 마모는 매우 작으며 마찰 손실도 오직 윤활 막 내에서 이루어지게 된다. (최소 유막 두께 : 0.008 - 0.020 mm 정도)
- 혼합 윤활 : 혼합윤활은 접촉표면의 돌기들의 간헐적인 접촉과 부분적인 유체윤활이 혼합되어 있는 경우에 발생한다.
- 경계 윤활 : 계속적이고 심한 표면 접촉이 일어나면서도 윤활유는 접촉 표면에 계속하여 공급되어서 접촉표면에 마찰과 마모를 감소시킬 수 있는 표면 막을 형성하는 경우에 발생한다.



### 3. 마찰마모특성에 영향을 주는 인자

#### (1) 재료 특성

- 1) 표면 특성 : 일반적으로 표면 조도가 낮으면 마찰계수도 낮아지며, 표면 장력이 낮을 때에도 마찰계수는 낮아지는 경향을 보인다.
- 2) 분자구조 : 일반적으로 분자구조가 대칭인 경우나 분자간 인력이 낮은 경우 마찰계수가 낮은 값을 가진다.
- 3) 분자량 : 저분자량의 경우, 고분자량 대비 마찰특성이 상대적으로 좋게 나타난다.
- 4) 결정화도 : 결정성 수지가 비결정성 수지 대비 마찰계수가 낮고, 결정화도가 높을수록 마찰계수가 낮게 나타나는 경향이 보인다.

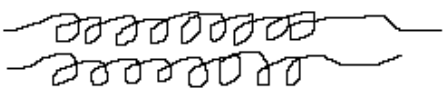
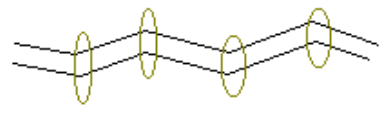
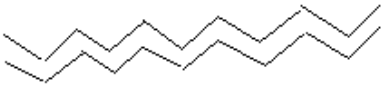
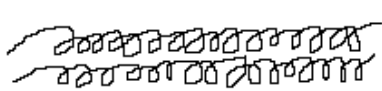
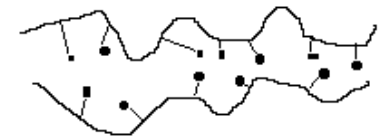

	Polymer	molecular structure	rotating form
crystalline	Polyacetal		Helical
	Nylon		zig-zag
	Polyethylene		Fully extended zig-zag
	PTFE		Compacted Helical
amorphous	Polystyrene		Amorphous
	Polycarbonate		Amorphous

그림 6. 분자구조에 따른 영향

#### (2) 구동조건

- 1) 윤활 조건 : 건조마찰(윤활제 없음.) or 윤활마찰이냐에 따라 마찰마모 특성이 달라진다.
- 2) (실제)접촉 면적 : (실제)접촉면적이 클수록 마찰계수는 증가하는 경향이 보인다.
- 3) 하중 및 (선) 속도
  - ① 하중이 증가할수록 마찰계수는 미세하게 감소하는 경향을 보인다.
  - ② (선)속도가 증가할수록 마찰계수는 증가 또는 감소하는 경향을 보인다.
  - ③ 하중 및 (선)속도가 마찰계수에 미치는 영향은 재료 특성에 따라 달라질 수 있다.

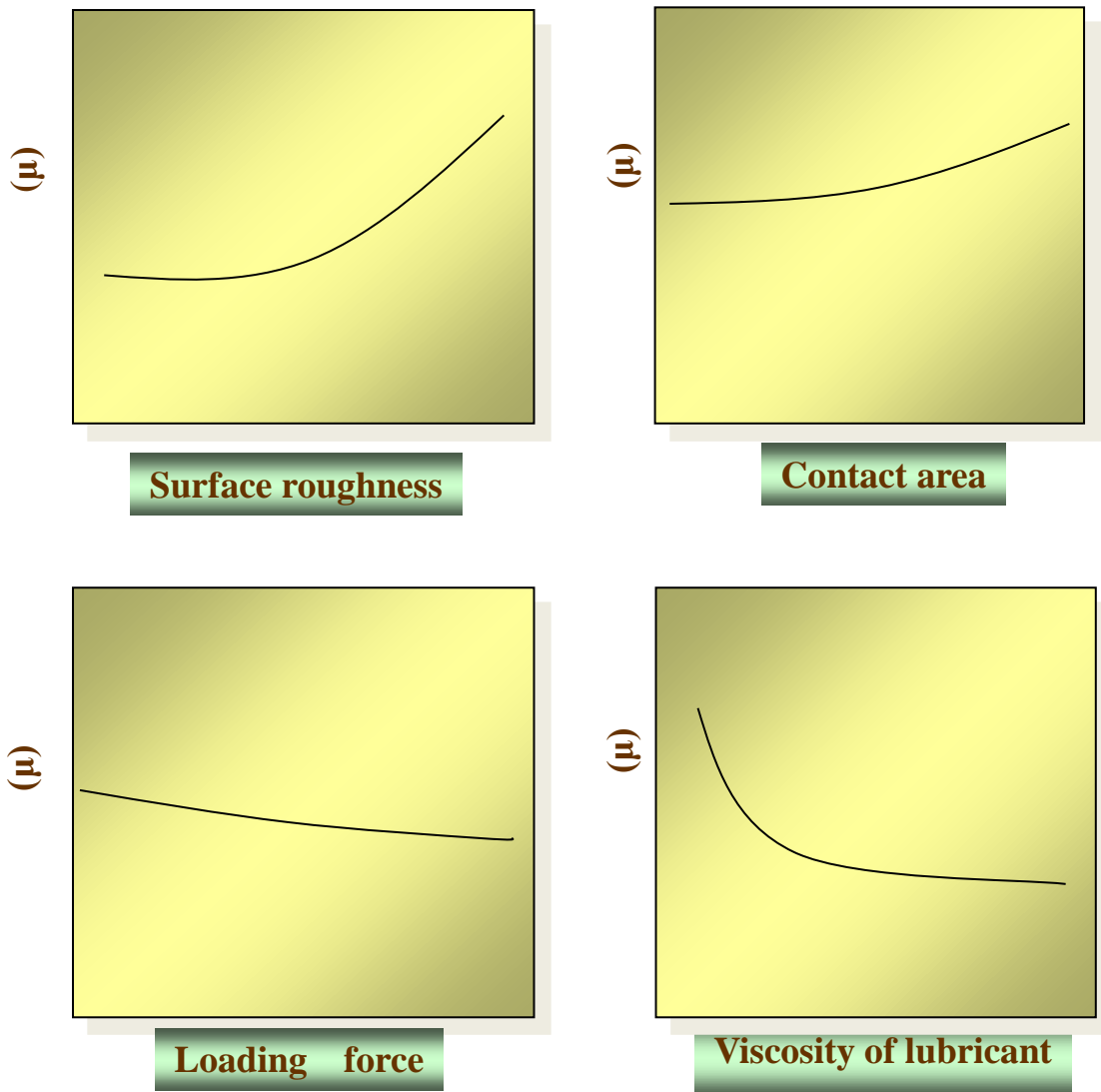


그림 7. 마찰계수에 영향을 주는 인자들

(3) 소음 : 강제진동음과 공명음으로 구분되며, 재료 구동 시 발생 소음은 강제진동음이 지배적이다. 전단강도, 표면조도, 치수 정밀도 등이 강제진동음에 영향을 줄 수 있다.

1) 소음 저감 방법

- 연질재료 사용을 통한 마찰 및 충격으로부터 발생하는 소음 저감
- 사출 성형시 수분 및 Gas 발생으로 인한 조도불량의 최소화
- 금형온도 조절기 사용 및 금형 설계 등을 변경하여 치수 정밀도 향상



## 4. 내마찰마모 시험 방법 및 평가결과

### (1) 마찰마모성 평가 항목

- 1) 동마찰계수 : 한 물체가 다른 물체와 접촉하여 움직일 때 발생하는 저항의 정도를 수치화한 값이다.
- 2) 비마모량 : 물체의 표면에서 기계적인 운동에 의해 물체가 점차적으로 부스러지면서 떨어지는 양을 수치화한 값이다.
- 3) PV 한계치 : 구동재료가 극한조건(하중 및 속도)에서 장기적으로 구동할 경우 내부에서 발생하는 열 에너지와 표면의 응착마모가 복합적으로 작용하여 재료를 마모시킨다. 한계 PV값은 구동 재료의 사용한계를 나타내는 값으로서 극한조건으로 인한 용융 발생시의 주어진 하중과 구동속도의 곱으로 나타낸다.

### (2) 마찰마찰마모 시험방법

#### 1) Ring-on-Ring (회전 운동)

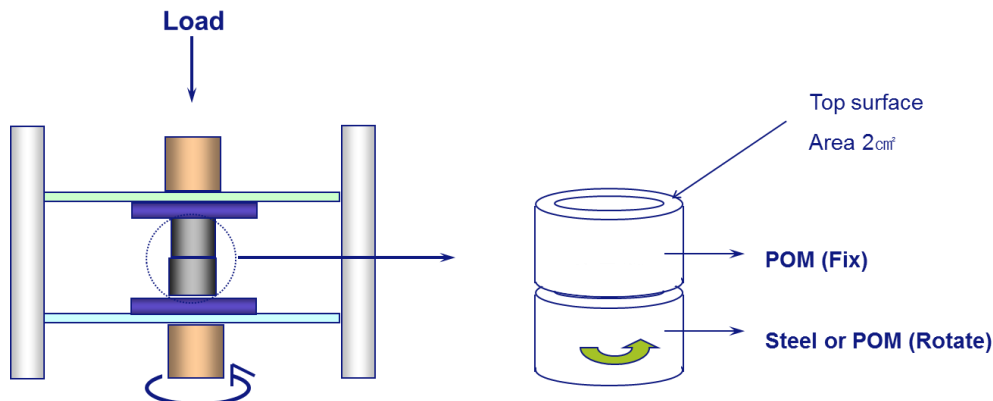


그림 8. Ring-on-Ring 마찰마모시험방법

- Ring 모양의 시편 2종을 서로 맞닿게 물려놓고 한쪽은 고정, 다른 한 쪽은 회전시켜 면 vs 면에서의 동마찰계수, 비마모량, 한계PV치, 소음 등을 측정하는 방법이다.
- JIS 규격에서 유래된 방법으로 하중, 속도, 시간을 변경하여 내마찰마모성의 비교 평가가 가능하다.
- 동일 수시간, 대 타수지, 대 금속 조건하 평가가 가능하며, 금속시편으로는 S45C(Steel), SUS(Stainless-steel), 황동 등이 사용될 수 있다.

일반적으로 플라스틱의 마찰 및 마모 특성은 마찰마모시의 면압, 구동속도, 온습도 등의 조건에 따라 변화됩니다. KEPITAL 제품의 구동조건에 따른 동마찰계수, 비마모량 및 한계PV치 값의 변화를 그림 9 ~ 11에 나타내었다.

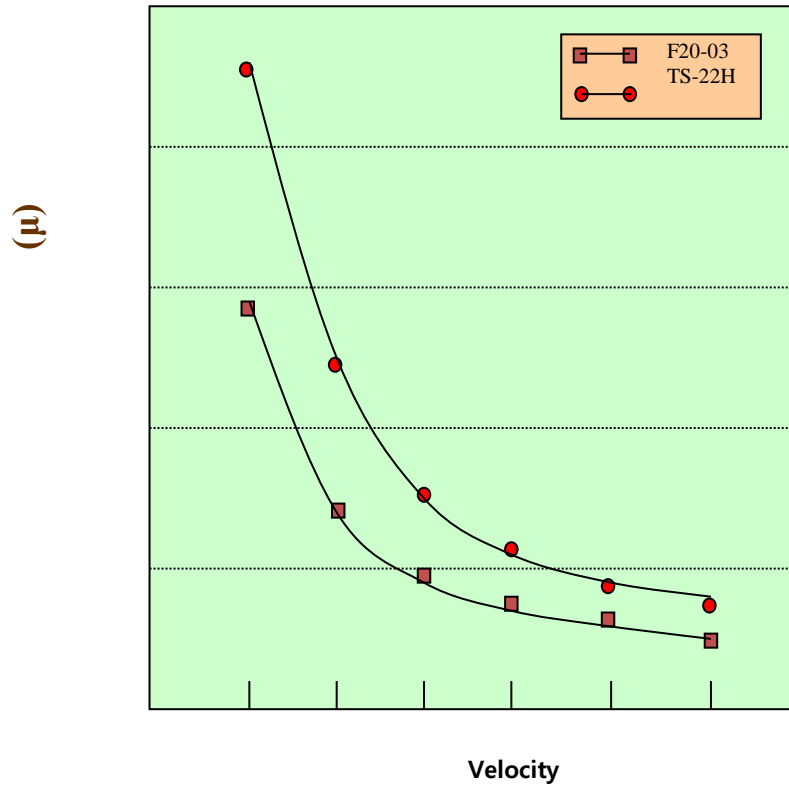


그림 9. KEPITAL 제품의 속도 변화에 따른 동마찰계수 변화(Ring-on-Ring)

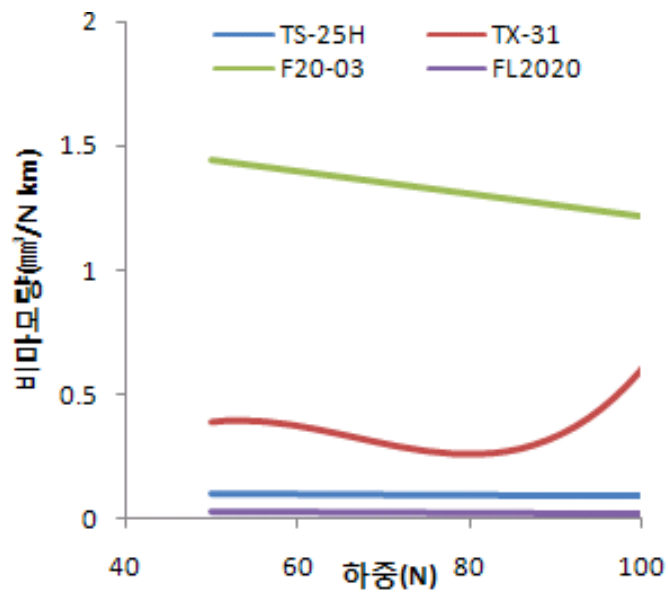


그림 10. KEPITAL 제품의 하중 변화에 따른 비마모량 변화(Ring-on-Ring)

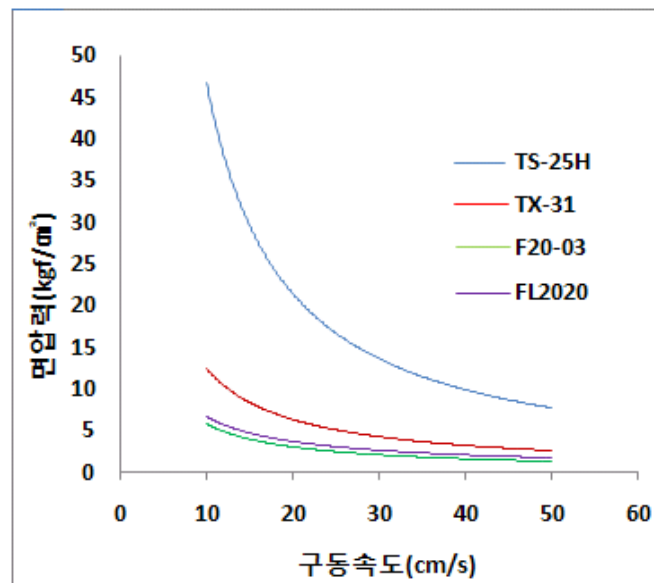


그림 11. KEPITAL 제품의 한계PV치(Ring-on-Ring)

## 2) Pin-on-Disk(왕복 운동)

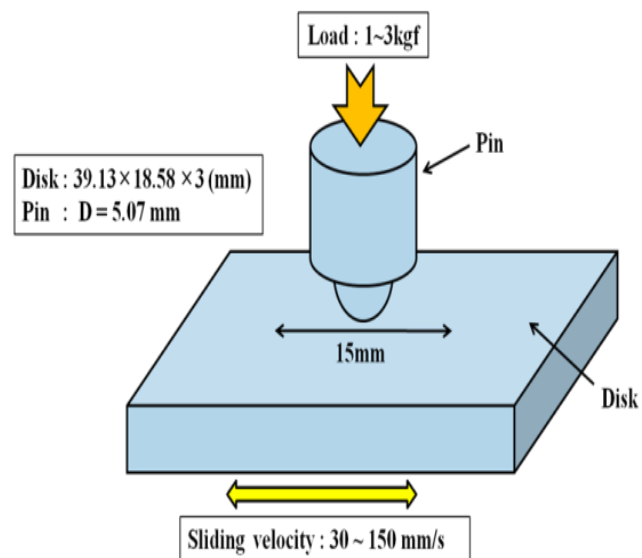
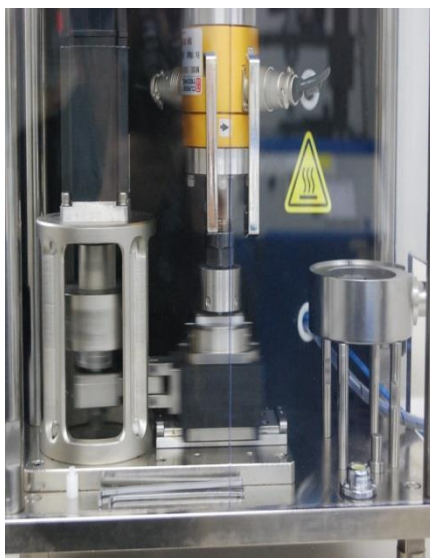


그림 12. Pin-on-Disk 시험방법

Pin-on-Disk 시험방법은 왕복운동 형태의 구동부품에 대한 내마찰마모성을 평가하는데 유용하며 KEPITAL 내마찰마모 제품의 구동속도 및 하중 변화에 따른 동마찰계수를 그림 13 및 14에 나타내었다.

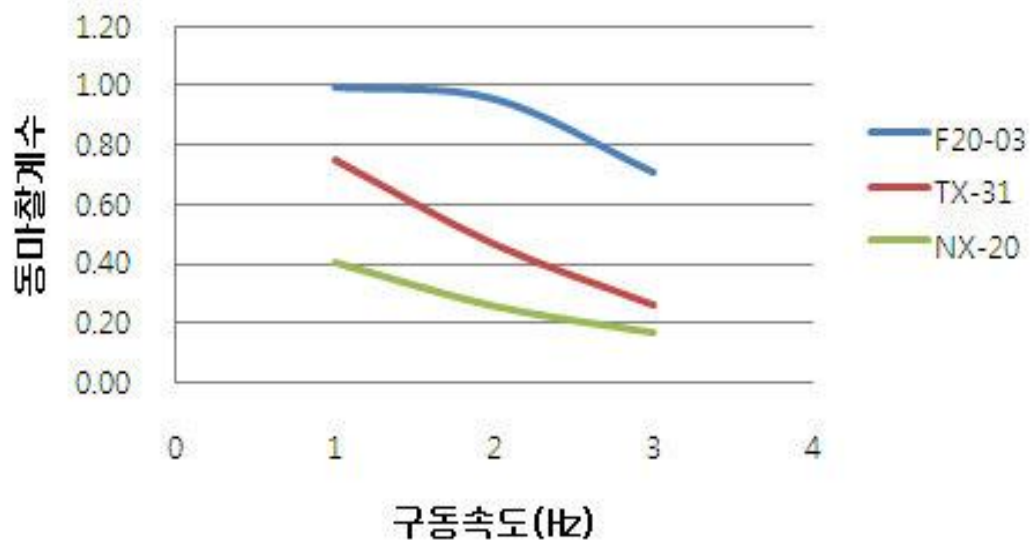


그림 13. KEPTAL 내마찰마모 Grade의 구동속도별 동마찰계수 변화

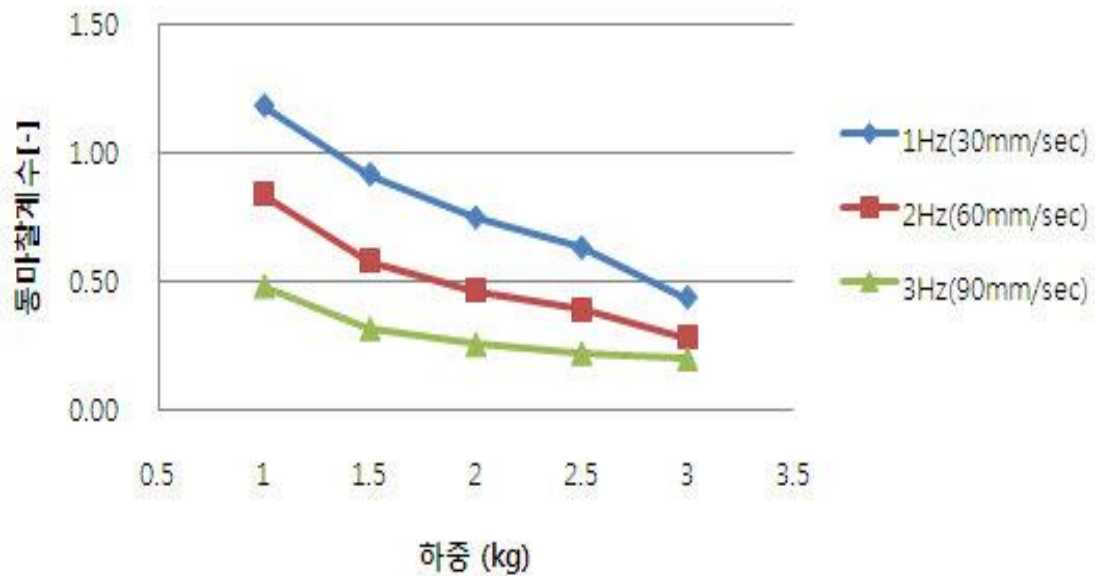


그림 14. KEPTAL TX-31의 하중별 동마찰계수 변화

① 비마모량 측정 방법 (대수지)

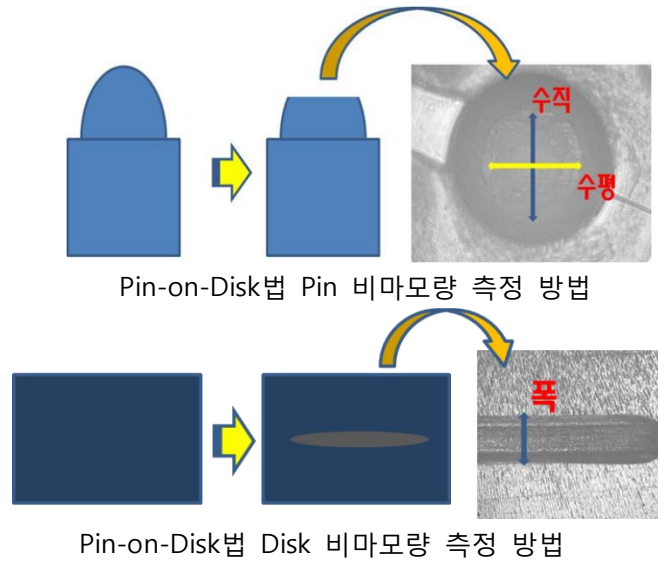


그림 15. 대 수지 조건에서의 비마모량 측정방법(Pin-on-Disk법)

② 비마모량 측정 방법(대금속)

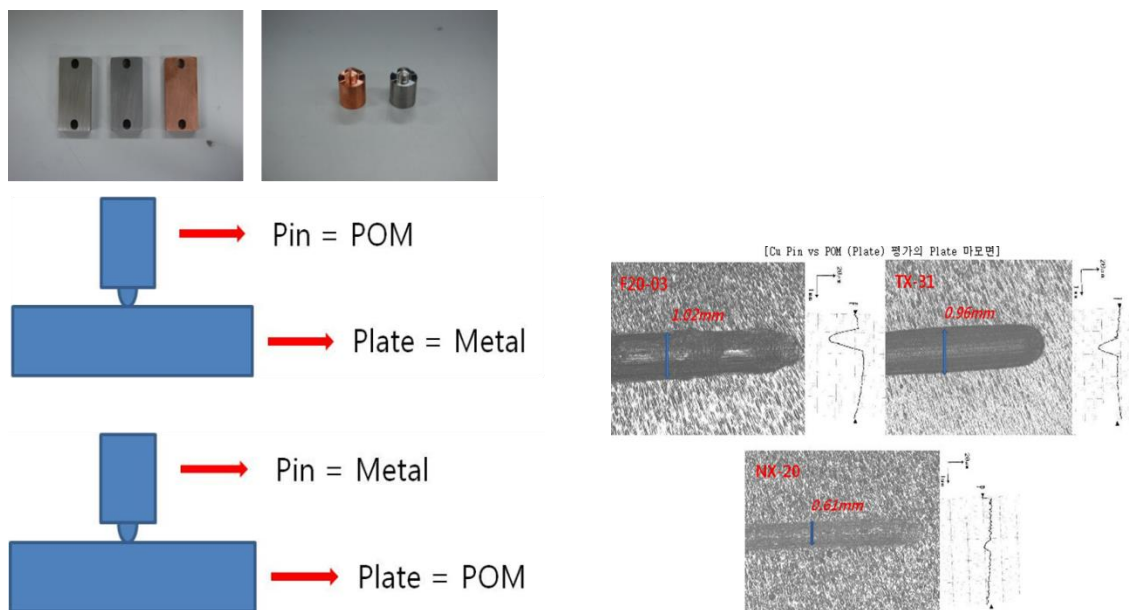


그림 16. 대 금속 조건에서의 비마모량 측정방법(Pin-on-Disk법)

- 사용 금속 시편 => Plate : S45C(Steel), SUS(Stainless), Cu(Copper)  
Pin : S45C(Steel), Cu(Copper)

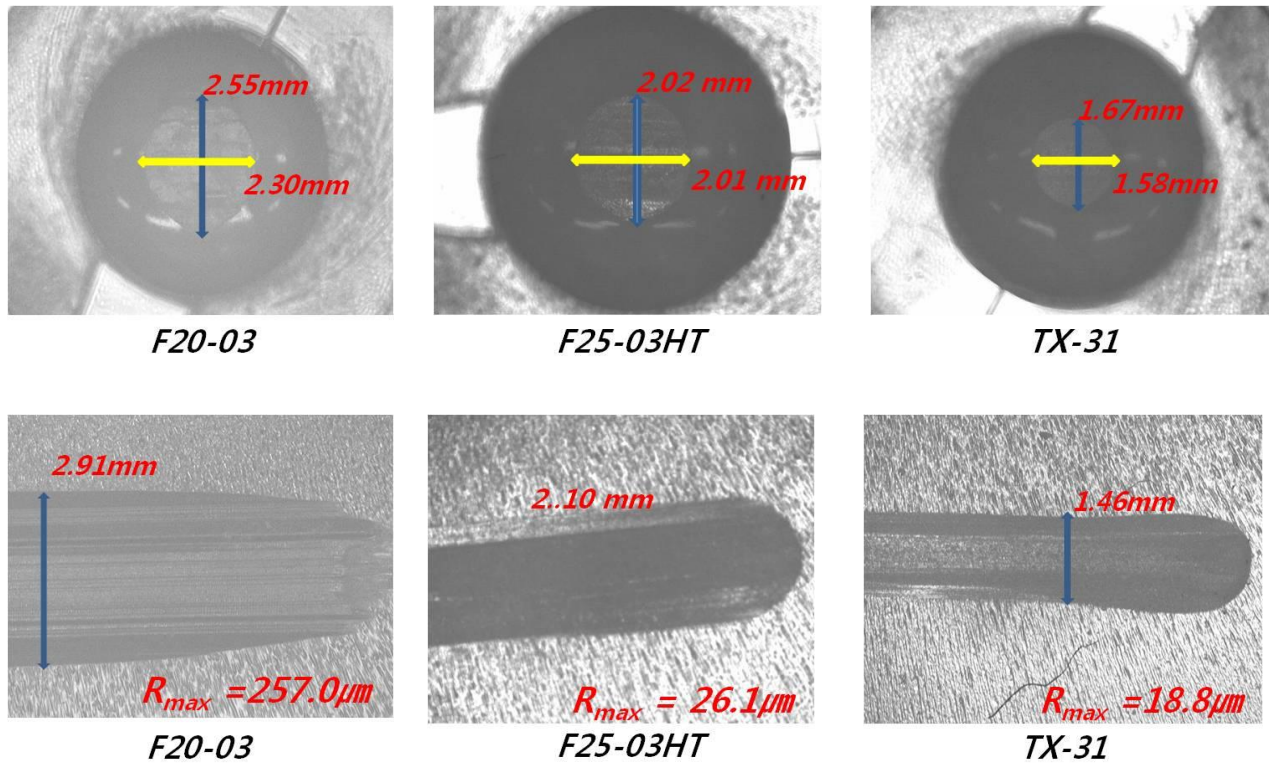


그림 17. KEPITAL 제품의 대 수지 조건에서의 비마모량 측정결과  
KEPIAL 내마찰마모 제품의 구동 조건에 따른 내마찰마모성을 표 1에 나타내었으며, Grade 선정 시 구동조건을 고려하여 적합한 제품을 선정하는 것이 중요하다.

표 1. KEPITAL 제품의 내마찰마모성(대 수지 조건)

	20 N	40 N	60 N	100 N
100 mm/s	TS-25H(20) TS-25A구(16) NK-20(12) FL2020(12)	TS-25A구(20) NK-20(12) CK-20(12) FL2020(12)	FL2020(15) TS-25A구(12) TS-25H(12) CK-20(12)	TS-25H(20) NK-20(15) CK-20(12)
	TK-31(10) CK-20(8) TS-25A산(8) FM2520S(4) F25-03HT(8) TK-11H(3)	TK-31(8) TK-11H(4) FM2520S(4) TS-25A산(3) F25-03HT(2)	NK-20(10) TS-25A산(8) TK-31(8) TK-11H(4) FM2520S(3) F25-03HT(2)	TK-31(8) FL2020(8) TS-25A산(6) F25-03HT(4) FM2520S(4) TK-11H(2)
300 mm/s	TS-25H(16) TS-25A구(12) NK-20(12)	TS-25H(20) TS-25A구(12)	TS-25H(20)	TS-25H(25)
	TK-31(8) TS-25A산(8) CK-20(8) FL2020(4) FM2520S(3) F25-03HT(2) TK-11H(1)	FM2520S(8) CK-20(6) TK-31(6) FL2020(4) TS-25A산(2) NK-20(2) F25-03HT(1) TK-11H(1)	TS-25A구(8) TK-31(8) FM2520S(8)	
500 mm/s	TS-25H(12)	TS-25H(16)	TS-25H(25)	
	TS-25A구(6) TK-31(6) CK-20(4) FM2520S(4) NK-20(2) TS-25A산(1) F25-03HT(1) TK-11H(1) FL2020(1)	FM2520S(6)		

**본사**

04532, 서울특별시 중구 소공로 94 (OCI빌딩, 14층)  
Tel. 02-728-7481 Fax. 02-714-9235

**연구소**

15850, 경기도 군포시 고산로 166, 104동 201호 (당정동, SK벤티움)  
Te Tel. 031-436-1300 Fax. 031-436-1301

**Headquarters**

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea  
Tel. +82-2-728-7481 Fax. +82-2-714-9235

**EU & America Sales**

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea  
Tel. +82-2-728-7467 Fax. +82-2-714-9235

**Asia Sales**

14th Floor, OCI BLDG., 94, Sogong-ro, Jung-gu, Seoul, 04532, Republic of Korea  
Tel. +82-2-728-7491 Fax. +82-2-714-9235

**China Sales**

上海聚醚醚化工贸易有限公司  
上海市长宁区天山路1717号SOHO天山广场2幢T2-903C室(200051)  
Tel. +86-21-6237-1977 ; E-mail: cpac.sales@gpac-kpac.com

**Disclaimer:** 1. 상기 자료는 본 제품에 대해 당사의 현재 기술 수준에서 측정된 것이며, 측정 방법 및 조건에 따라 변경될 수 있습니다. 본 제품에 고객에 의해 안료 및 기타 첨가제가 사용된 경우 상기 자료는 적용되지 않습니다. 본 제품은 (치)의학 Implants 용으로는 적합하지 않으며, 고객은 안전 및 보건 기준에 따라 본 제품을 사용해야 합니다. 제품 사용의 결정 및 책임은 고객에게 있으며, 상기 자료는 법적 소송 및 근거자료로 활용될 수 없습니다.

2. 상기 성형수축률은 당사 시험편 금형을 이용하여 특정 사출조건에 한하여 측정된 수치이므로, 측정조건에 따라 다소 변동될 수 있습니다. 귀사에서 제작하고자 하는 금형의 경우 두께, 디자인, 사출기, 사출조건 등이 당사 시험편 금형과 상이하여 상기 수축률과 차이가 있을 수 있으므로, 귀사의 설계조건, 사출성형조건 등을 충분히 검토하신 후 필요 시 보정하여 적용하시기 바랍니다. 제작하고자 하는 금형과의 수축률 차이가 발생할 경우 당사에서는 어떠한 법적 책임도 질 수 없으며, 모든 책임은 귀사에 있음을 분명히 밝혀 드립니다.