

플라스틱 母體物體의 潤滑

文 卓 珍

高麗大學校 材料工學科 教授

金屬材質의 性能에 비길 수 있는 새로운 材質이 많이 개발되고 있는 바, 특히 세라믹을 비롯하여 플라스틱材質의 개발이 素材工業에서 매우 중요함은 주지의 사실이다. 用途에 따라 플라스틱의 應用범위가 넓지만, 여기서는 베어링, 또는 固体潤滑등의 潤滑分野에 이를 限定하여 고찰하기로 한다. 플라스틱物質을 潤滑과 관련된 분야에 응용한 것은 베어링의 응용이 처음이다. 1930년대에 열경화성 수지를 사용했다가 그 후 가소성 수지로 변천되었고 특히 PTFE의 출현은 1950년대의 그에 관한 연구를 촉진시킨 바가 있다. 최근에는 여러 종류의 플라스틱이 제품화되었기 때문에 이들의 活用범위가 매우 넓다. 일반적으로 플라스틱은 金屬의 屬性인 強度나 延性 등의 物性과는 비길 바가 못되고 高温에서의 耐久性 등이 떨어진다는 短점이 있으나 점차적으로 이들의 短점이 補完되는 새 素材가 개발되므로써 베어링 材質에도 活用되고 있는 것이

다. 따라서 과거 輕荷重, 低速 등의 “mild” 조업조건에서만 사용되었던 것이 “hard” 또는 “heavy” 조업조건에서도 쓸수 있게 된 것이다. 플라스틱의 物性を 보와 향상시키기 위해 소위 여러가지 보와제를 사용하는데 다음에 이들과 관련한 素材에 관하여 생각하기로 한다.

熱硬化性樹脂를 母體로 한 베어링

纖維強化 熱硬化性樹脂로는 phenolic, cresylic polyester, silicone 樹脂 등이 있는데 液体狀에서 固体狀으로 변환시킬 때 不可逆이라는 특징을 지닌다. 纖維를 樹脂에 充滿시켜 2,000~6,000 psi의 壓力과 150~190°C의 溫度에서 각각 壓縮熱處理한 후 원하는 형태로 成型加工하는 것이다. 이 物質로 만든 베어링은 強度가 크고 물-潤滑조건하에서는 그 性能이 좋다. 表 1과 表 2에 이들 素材의 強度와 여러가지 潤滑劑를 적용한 경우에서의 摩擦係數의 값을 표시하였다.

TABLE 1.

THE STRENGTH OF VARIOUS GRADES OF REINFORCED RESIN LAMINATES USED IN BEARING APPLICATIONS

Property	Cotton-cloth-reinforced phenolic	Asbestos-cloth-reinforced phenolic	Asbestos-felt-reinforced phenolic	Cotton-reinforced polyester	Asbestos-reinforced silicone
Ultimate tensile strength* (p. s. i.) (lengthwise)	11,000 - 13,000	7,000 - 12,000	15,000 - 30,000	10,000	9,000
Compressive strength* (p. s. i.)					
Flatwise	35,000 - 45,000	28,000 - 50,000	45,000 - 65,000	32,000	15,000
Edgewise	21,000 - 25,000	11,000 - 26,000	18,000 - 40,000	20,000	10,000
Flexural modulus × 10* (p. s. i.)	0.9 - 1.2	1.2 - 1.8	2.7	0.7	2.0
Impact strength (ft. -lb./in. of notch)	1.3 - 2.1	2.6 - 5.0	2.4	3.0	3.0

TABLE 2.
FRICTION COEFFICIENT OF FABRIC-REINFORCED
POLYESTER BEARINGS

Sliding speed:90 ft./min. Load:2,240 p. s. i.

Lubricant	Viscosity (poise at 20°C)	Friction coefficient
None		0.21
Grease	500	0.062
Oil	3	0.017
3% Soluble oil	~0.05	0.015
Water	0.01	0.006

주로 steel roll mill에서 roll neck 베어링으로 사
용되며 熱除去를 불로 하는 hot roll mill에 좋다
(Fig.1 참조)

또한 般船用에는 phenolic型이 사용되며 물-潤
滑에서의 摩擦, 摩耗性이 우수하기 때문이다.

최근에는 epoxy樹脂가 쓰이기 시작하였는데
物性は phenolic型보다 우수하지만 값이 비싸다
는 것이 흠이 된다. 그러나 熱硬化性樹脂가 취
약하다는 短점이 없기 때문에 epoxy型을 쓰는데
黑鉛이나 二硫化모리브덴을 充填한 鑄造型으로
베어링을 쓴다. 이 物質은 引脹과 충격 강도가
비교적 낮지만 壓縮下에서는 變型強度나 低抗
이 좋기 때문에 하중이 一定하게 유지되는 조업
에서는 좋은 材質이 된다. 특히 黑鉛이 充填된
epoxy樹脂는 25~500psi 壓力과 400~800rpm速
度の 荷重에서 摩擦係數가 0.006~0.05가 되는
낮은 摩擦을 보여준다.

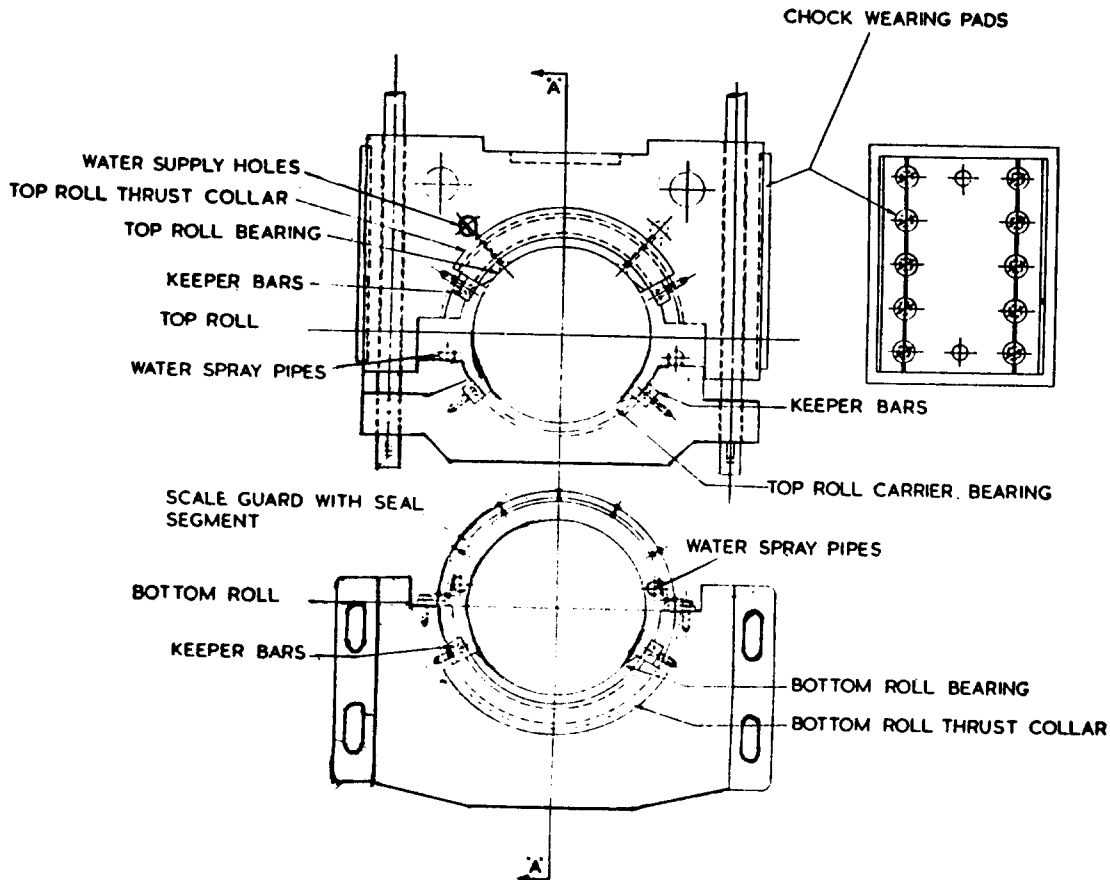


Fig.1 A typical application for fabric bearings to a steel rolling mill.

熱可塑性樹脂를 母體로 한 베어링

여기에 쓰이는 樹脂는 종류가 많으나 세가지, 즉 nylon, polyacetal, fluoro carbon의 것이 중요하다. 이들의 특성은 固体狀에서 液体狀으로 可逆이라는 것이다. 押出成型으로 베어링을 만들 수 있는 이들 物質의 物性を 비교해 보면 表 3과 같다. nylon이 가장 強度가 크고 abrasion에 가장 저항이 큰 물질임을 알 수 있다. 그러나 溫度가 올라가면 強度를 유지하지 못하며 오히려 acetal系의 物質이 50~70°C에서는 좋음을 알 수 있다. 熱可塑性樹脂를 母體로 한 베어링의 壽命은 摩耗에 관계되며 摩耗속도는 주로 潤滑조건, 荷重, 速度, 溫度에 依存하며 서로 接觸하는 物

質의 表面粗度 등과도 어느 정도 관계된다. 예를 들면 nylon이나 acetal系의 物質로 만든 bushing은 潤滑劑를 전혀 쓰지 않는 乾潤滑에서 壓力(P)과 부피(V)의 곱, 즉 PV의 값이 3,000 psi-ft/min인 범위에서 비교적 높은 溫度까지도 應用될 수 있다. 이것은 表面粗度가 20 μ in(c/a)인 steel shaft에 맞먹는 性能인 것이다. 그리고 PV의 값은 베어링設計에서 핵심한 사용조건을 추측하는데 쓰이기도 한다. 溫度나 摩擦의 관계는 熱可塑性物質에서는 매우 중요한 組件關係를 결정하는 要因이 된다. 그러므로 베어링設計때는 특히 wall thickness라든가 clearance 등의 문제를 特考해야 한다. wall thickness가 감소하면

TABLE 3.
SOME MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF THE NYLONS, ACETALS, AND PTFE

Property	Conditions	Nylon 66	Nylon 11	Acetal	Acetal home-polymer	Acatal co-polymer	PTFE
Specific gravity		1.1	1.1	1.0	1.4	1.4	2.2
Tensile yield stress (p. s. i.)	20°C	10,500	11,500	8,500	10,200	9,000	1,300
	70°C		7,000		7,400	7,000	800
	120°C		3,900		4,100	4,600	500
Flexural modulus $\times 10^{-5}$ (p. s. i.)	20°C	4.0	4.2	1.7	4.1	3.8	0.9
	70°C		1.0		2.2	2.0	0.5
	120°C				0.9	0.8	0.2
Fatigue stress (p. s. i.) (load producing failure in 10 ⁶ cycles)	50%RH 20°C		2.0		3.9	3.6	0.9
	20°C		5,000		5,000	4,400	
Taber abrasion (mg per 1,000 cycles)	50%RH 20°C		3,500		5,000	4,400	
		5	7		20	14	
Heat distortion temperature (°C)	66p. s. i.	185	190	68	170	158	120
	264p. s. i.	67	70	48	100	110	55
ASTM D648-56							
Melting point (°C)		220	260	186	175	163	327
							transition point
Water absorption (%)	24h	1.6	1.5	0.4	0.2	0.2	0
	Saturation	9	8	1.4	0.9	0.8	0

The figures in this table have been taken from a variety of sources. They should be used as guides only, since values may vary considerably with polymer grade and heat treatment.

TABLE 4

THE BEARING PERFORMANCE OF SOME COMMERCIALY AVAILABLE DRY BEARING COMPOSITIONS

Flat specimens rubbing under a load of 16 lb. against a 1 in. dia. steel shaft rotating at 450 r. p. m. and 1350 r. p. m.

Shaft temperature 25° and 80°C

Composition	Wear $\times 10^4$ (in ³)						
	at 25°C and 450 r. p. m.			at 80°C and 1350 r. p. m.			
	4 h	16h	64h	256h	4 h	16h	64h
Nylon*	0.5-1.5	1.0-5.0	2.0-(>5)				
MoS ₂ -filled nylon 66	1.5	2.7-3.8					
MoS ₂ -filled nylon 11	2.0	5.9					
MoS ₂ -filled cast nylon 6			3.9				
Polyacetal**	0.7-4.0	2.0-(>5)					
PTFE-fibre-filled polyacetal	0.12	0.57	1.33	5.2			
PTFE-filled acetal copolymer	0.13	0.49	1.21	6.6			
10% Glass-fibre + pigment-filled PTFE***		1.3			1.4	5.2	
15% Glass-fibre-filled PTFE		0.8-1.1			1.7	1.6-(>5)	
15% Glass-fibre + pigment-filled PTFE		1.0-1.3			1.4	3.5-(>5)	
15% Glass-fibre + 2 $\frac{1}{2}$ % MoS ₂ -filled PTFE		0.66, 0.69			1.6	1.7-3.5	
20% Glass-fibre + 5% graphite-filled PTFE		0.65, 0.65				2.4-2.8	
25% Glass-fibre-filled PTFE		1.0-1.4			1.8	4.3-(>5)	
Glass-fibre + Pb ₃ O ₄ filled PTFE		0.64, 1.0				>5	
Asbestos + MoS ₂ -filled PTFE		>5			4.3	>5	
Mica-filled PTFE	0.19	1.2-1.5	>5				>5
27% Bronze-filled PTFE		0.25; 0.38					>5
20% Bronze + 20% graphite-filled PTFE	0.08-0.11	0.13-0.20	0.25-0.40	0.57	2.0	3.8	
2 $\frac{1}{2}$ % Bronze + 37 $\frac{1}{2}$ % Pb ₃ O ₄ -filled PTFE	0.05-0.08	0.07-0.14	0.10-0.17	0.25-0.40	0.35-0.55	0.70-1.2	

* Various grades of nylon 66, nylon 6 and nylon 11.

** Various grades of polyacetal, homopolymer and copolymer.

*** Filler percentages are by volume.

Stops were set under the specimen carrying arms to prevent damage to the shaft in cases of excessive wear. The specimen carrying arms came down onto the stops after the specimen had worn to the extent of $5-7 \times 10^{-4}$ inches. The wear of these specimens is recorded as >5 .

耐荷重能力이 작아진다는 短点이 있기 때문에 이를 補完하기 위해서 充填劑를 사용한다. 유리纖維로 強化한 物質이라든가 黑鉛이나 二黃化모리브덴을 充填한 物質 등이 있는데 摩耗문제 등을 크게 감축시킨다(表 4 를 참조). 이러한 物質의 潤滑은 潤滑油나 그리이스로 충분하기 때문에 金屬材質의 베어링潤滑보다는 단순하다는 長点이 있다. 高荷重조업에서는 플라스틱材質이 creep, 혹은 押出되어지는 것을 방지해야 하며 한 가지 방법은 lipped steel housing 을 活用하는 것이다. 또 다른 방법은 얇은 플라스틱 lining을 steel backing에 강하게 부치는 것이며 상세한 技術은 생략하기로 한다.

PTFE를 母体로 한 베어링

Polytetrafluoroethylene (PTFE)은 1943年 Du Pont회사의 제품으로서 耐化學性, 高温, 摩擦등에 강하고 붙지 않는(non-sticking) 성질이 있어 크게 活用되고 있으며 적절히 補完하므로써 耐摩耗性을 向上시킬 수 있는 用途가 많은 物質이다. 이 物質의 摩擦係數는 매우 낮으며 高荷重, 低速조업에 유용하지만 순수한 PTFE는 耐摩耗性이 빈약하기 때문에 補完해 줄 필요가 있다. PTFE를 延伸하면 分子의 배열이 일정 방향으로 配位되어 摩耗抵抗性이 향상되므로 PTFE의 천(布)을 베어링材質에 사용한다. 여기서 PTFE의 纖維를 綿과 짜는데 한 쪽 면은 綿이, 또 다른 면은 PTFE가 대량 불도록 하고 綿面을 steel backing에 附着시키면 베어링面이 전적으로 PTFE가 되는 소위 steel-backing 베어링이 되는 것이다. 이러한 베어링은 靜荷重으로는 60,000 psi까지도 견딜 수 있게 된다.

이 밖에도 PTFE를 補強하는데는 充填劑를 사용할 수 있고 金屬, 酸化金屬, 其他無機化合物, 鈹物, 層狀化合物, 유리纖維, 石綿纖維 등의 充填劑가 있다. 최근에 와서는 二黃化모리브덴, 黑鉛, 雲母, 靑銅 등을 쓰는데 黑鉛과 유리, 黑鉛과 靑銅과 같이 두 개의 充填劑를 잘 組合해서 쓰면 더욱 효과가 크다는 것이 알려져 있다. 한 예를 들면 鉛/靑銅/PTFE 系에서 鉛/PTFE의 複合物에 靑銅을 充填(impregnate)하여 얻은 物質은 強度가 크게 向上되고 靑銅의 熱傳導性에 의해 熱傳導性도 向上된다. 耐荷重

이 20,000psi 이상으로 향상되며 過度의 表面溫度에서도 적절한 PV값을 유지하면서 耐摩耗性이 좋은 것이다. 이 物質의 PV/壽命관계를 그림 2에서 볼 수 있는데 對數-對數눈금으로 壽命이 5,000PV에서 약 4,000시간~50,000PV에서 200시간까지의 범위는 직선적인 관계를 보여주고 있다. 物質의 有效壽命期間中 摩耗는 다만 0.001~0.002in밖에 안 됨을 볼 수 있다.

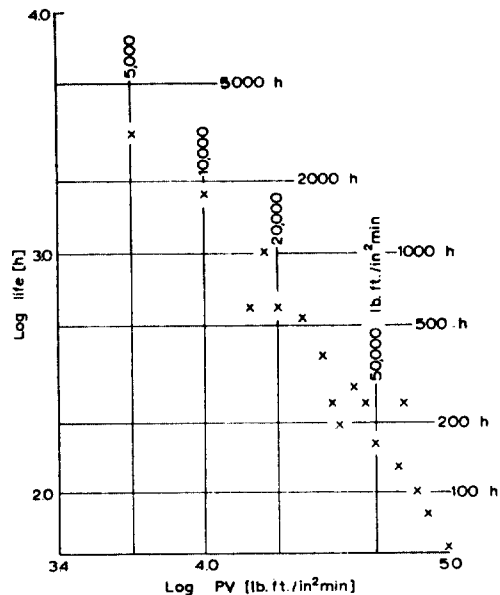


Fig. 2. The effect of PV on the life of lead/PTFE-impregnated porous bronze bushes; bushes 5/8 in. bore \times 3/4 in. long running against mild steel shafts rotating at 750, 1500 and 3000 r. p. m.

樹脂-結合된 潤滑劑

보통 流体潤滑劑를 사용할 때 溫度범위가 최고 400°F이며 合成潤滑劑의 溫度범위는 600~700°F인데 비해 二黃化모리브덴과 같은 固体潤滑劑의 사용溫度 범위는 1800~2000°F가 된다. 따라서 高分子樹脂를 金屬표면에 결합, 부착시켜 潤滑作用을 하게 하면 이의 사용은 溫度범위가 넓어 매우 편리하다. 이와 같이 樹脂에 金屬

이나 二黃化모리브덴을 부착시킨 固体潤滑被膜은 그 用途가 다양하며 (1) 초진공, 초고온, 극저온, 인공위성, 우주선, 로켓의 제부품등, (2) 전자계산기, 타자기, 시계 등의 정밀소형 부품등, (3) 건축, 토목 및 기계조립을 위한 bolt, nut, fastner 등 (4) 금속가공용 punch 및 die, (5) 화학 공장에서의 pump, valve 등, (6) 자동차의 piston, valve, clutch disc 등의 潤滑에 活用되고 있다. 良好한 樹脂-結合 潤滑劑를 얻으려면 사용하는 樹脂와 固体潤滑劑의 選別이 가장 중요하며 이들의 配合, 界面間의 引力관계, 樹脂와의 結合方法 등이 고려되어야 한다. 黑鉛 등이 樹脂-結合된 潤滑劑의 性質을 살펴보면 表 5 와 같다. Calhoun (Lub. Eng., 21, 97 (1965))은 樹脂와의 配合率을 조정하고 인산아연으로 처리한 steel 시편에 이를 附着시켜 300°F에서 3 시간 열처리한 것을 摩擦, 摩耗 등에 관해 실험한 바가 있고 表 6 은 MoS₂-樹脂被膜의 실험결과를 나타낸

것이다. 配合率은 樹脂 / MoS₂가 3/7일 때 최적임을 알았고 epoxy phenolic 樹脂가 耐摩耗, 耐腐蝕, 貯藏性에 좋은 시편이었다. 사용한 시편의 金屬표면처리상태와 被膜의 硬化조건도 摩耗수명, 腐蝕性 등에 크게 영향을 주며 특히 인산아연의 시편표면처리는 耐摩耗性을 향상시킴을 알았다. 被膜은 400°F에서 30분간 처리경화하면 그 수명이 가장 오래되나 防銹性을 향상시키려면 325°F에서 30분~1 시간의 경화조건이 양호함을 시사하였다.

epoxy phenolic 樹脂를 母體로 하였을 때 MoS₂, 黑鉛, Sb₂O₃ 등을 配合하여 만든 被膜의 性能은 樹脂의 分散상태에 따라 크게 영향을 받는다. 그림 3 과 4 에서 보는 바와 같이 分散가 잘 된 것이 摩耗수명이 길며 耐腐蝕性도 salt fog 시험에 의해 우수함을 볼 수 있다.

polyamide를 母體로 사용했을 때는 樹脂가 300~400°F에서는 긴 수명을 나타내나 500°F가 되

TABLE 5. 固体潤滑劑의 物理的性質

성질	질	層狀 고체			非層狀 고체		
		Graphite	MoS ₂	Ws ₂	Mica	PTFE	
마찰계수							
공기中	0.1~0.2	0.1~0.2	0.2~0.4	0.004~0.2	0.1~0.25	0.04~0.2	0.14~0.3
진공	높음	0.07~1.5	높음	0.04	낮음	낮음	낮음
저온	0.8	0.68 NA	높음	0.04	0.1	0.04	0.14
사용온도범위	0~1,000	0~750	0~850 1,500	-320~+600	-320~+500	-320~+600	-320~+400
열전도도 (Btu./hr./sq.ft./ft/F) 50 to	NA	NA	0.25	0.14	0.14	0.14	0.14
耐久性							
화약약품	우수	양호	양호	우수	우수	양호	양호
부식	보통	보통	보통	양호	보통	보통	보통
방사능	"	양호	양호	보통	불량	불량	불량
硬度	1~2	1~2	5 2.5~3	1~2	1.5~2.5	1~2	2~3
전기저항 (ohmcm)	50×10 ⁻⁴	非전도성	10 ¹⁵ ~10 ¹⁷ 산화물	10 ⁸ 10 ¹⁸	10 ¹⁸	2×10 ¹⁸	10 ¹⁸ 10 ¹⁸
分解生成物 色	CO, CO ₂	MoO ₃ , SO ₂	白色	白色	SO ₂ C ₂ H ₄	C ₃ F ₆ C ₃ F ₈ Cl ₂ C ₂ F ₆ Cl	白色
	灰黑色	灰黑色	透明 혹은 일정치 않음		白色	白色	白色
비중	1.4~1.73	4.85	7.4 2.7~3.1	2.1~2.3	2.1~2.3	2.1~2.3	2.1~2.2
lb當가격	\$ 0.30	\$ 1.21	\$ 5.50 \$0.90	\$ 5.50	\$ 7.00	\$ 11.20	\$ 9.90

*FEP (Fluorinated ethylene propylene)는 PTFE 분자를 개조시켜 얻은 것이다. FEP는 분자내에 技鎖 (brach Chair)를 갖고 있기 때문에 공기중에서는 마찰계수가 높아서 500°F 이내에서만 사용할 수 있다.
 *PTFE telomers는 chain 의 길이가 짧은 PTFE분자로서 순수 PTFE와 같은 정도로 낮은 마찰계수를 가지며 PTFE보다 좀더 軟하다. Telomer 를 많이 쓰는 까닭은 어떠한 용제에도 잘 녹기 때문이다.
 *NA (Not Applicable) 適用不可

TABLE 6. MoS₂-樹脂皮膜의 마찰, 마모의 비교

Test	Resin Ratio	3 Furank	9 Phenolic	10 Silicone	11 Epoxy 73% Phenolic 24%	12 Urea	13 Epoxy 60% Polyamid 40%	14 Epoxy	15 Phenolic 75% Polyamid 25%
Four Ball	1 : 1	1.3	1.1	1.5	1.3	1.1	1.4	1.3	1.3
Wear (Sear)	1 : 3	1.2	1.4	1.2	0.44	0.83	0.95	1.1	1.0
Dia. (mim)	1 : 9	1.4	0.53	0.62	0.41	0.43	0.39	0.43	0.2
Mean Heats	1 : 1	66	50	37	47	64	51	73	51
Load (Kgm)	1 : 3	67	82	78	82	66	55	50	64
	1 : 9	86	74	122	148	120	101	60	73
Falex Load	1 : 1	2200	1400	1800	2200	2500	1000	2000	2500
at Failure	1 : 3	2300	1700	2500	2400	4500	3200	2400	2700
(Lbs)	1 : 9	2400	1900	2800	2900	3800	3000	2500	3900
마찰계수	1 : 1	0.15	0.25	0.17	0.12	0.15	0.12	0.12	0.15
	1 : 3	0.14	0.12	0.11	0.03	0.11	0.11	0.12	0.14
	1 : 9	0.15	0.13	0.05	0.01	0.01	0.07	0.10	0.09

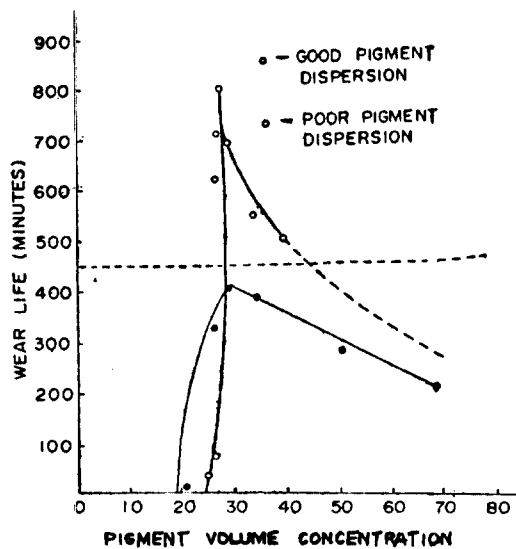


Fig. 3. Effect of Vol. Conc. of Resin on Wear Life

면 수명이 짧아지는 단점이 있다. 그러나 최근에는 공기 중에서 1000°F 이상의 고온에서도 안정한 polyimide 접착용액을 써서 MoS₂ 등을 적당량 가하면 수명이 좋은 被膜을 얻을 수 있는데, 이때 金屬표면 에비처리는 摩耗수명연장에 큰 효과를 주지 않는다. 이것은 epoxy-phenolic樹脂 때와는 상반되는 현상이다. 被膜의 두께는 조업

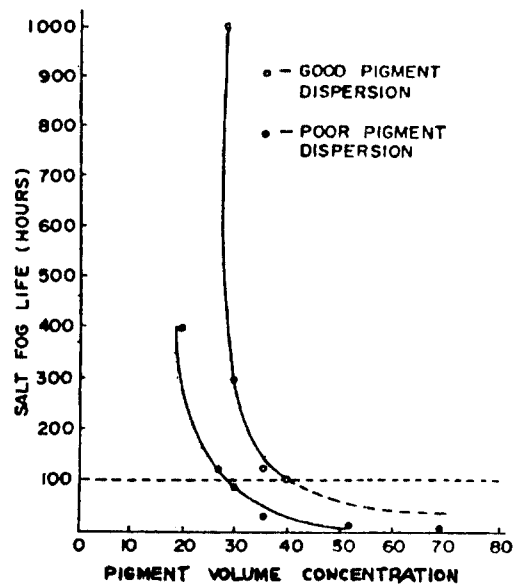


Fig. 4. Effect of Vol. Conc. of Resin on Corrosion

조건에 따라 변할 수 있으나 보통 0.0002~0.0003inch가 좋다. 이 被膜은 정밀기기에 사용 되는 spur gear의 윤활에 특히 좋다.

고온에서 견딜 수 있는 또 하나의樹脂로 polybenzothiazole (PBT)이 있는데 epoxy phenolic, 혹은 polyimide樹脂 때와 마찬가지로 MoS₂+Sb₂O₃+樹脂의 被膜은 耐摩耗性뿐만 아니라 高温用에

좋다는 장점이 있다. 被膜의 두께는 0.0002inch 면 축하며 MoS₂/Sb₂O₃의 혼합비율에 따라 耐摩耗性이 조금씩 달라진다. 또한 여기에 ZnO를 첨가하면 더욱 더 耐摩耗性이 향상될 수 있는데 이의 정확한 메카니즘은 아직 究明된 바가 없다.

樹脂-結合被膜뿐만 아니라 無機物을 이용한 被膜도 많이 活用되고 있는데 AgCl, LiF같은 할로겐화금속물질 혹은 phthalocyanine같은 유기염료를 黑鉛에 결합시킨 被膜은 100~700°C의 넓은 온도범위에서 유효한 윤활작용을 한다는 것이 알려져 있다. 또 한 예로는 Ni-Cr-Co합금의 시편을 사용했을 때 黑鉛-B₂O₃結合被膜은 600°F에서 摩擽계수를 0.5에서 0.1로 감소시키며 1100°F이상에서는 0.27에서 0.05로 감소시킨다는 報告도 있다. 이들의 常用化에는 아직 까지 해결해야 할 技術的인 문제가 있으나 멀지 않아 해결될 것으로 展望된다.

性能시험 및 시험기기

樹脂-結合被膜의 性能을 시험하고 評價하는 기기의 종류, 방법 등은 潤滑劑의 多樣함과 마찬가지로 수없이 많지만 여기서는 가장 보편적으로 쓰이는 몇 가지만 열거하고자 한다. 이들 시험방법이나 기기는 거의 摩耗수명이나 摩擽 등을 측정하는 것으로서 工場이나 現地에서는 거의 規格化, 또는 標準化가 된 것들이며 이 중에는 被膜의 附着, 熱抵抗, 腐蝕抵抗 등의 minor시험항도 포함된 것이 있다. 다음 表 7은 시험기기 項目을 나타낸 것이며 그림 5는 Falex 시험기기, 그림 6은 LFW-1 기기, 그림 7은 Hohman A-6 시험기기, 그림 8은 MRI(Mid-west Research Institute)의 摩耗수명 시험기와 眞空摩擽기기의 도면들이다. 이들 기기의 作動原理, 方法, 結果 등을 參考서적들을 보기 바람직하며 여기서는 설명하지 않기로 한다.

TABLE 7. -- Common Evaluation Testers for Bonded Solid Lubricans

Name	Specimen geometry	Temperature (°F)	Environment	Load
Falex Lubricant Tester	Pin between two V-blocks (see fig.2)	Ambient	Air	Variable to 4500lb
Alpha Molykote LFW-1	One block on rotating disk (see fig.5)	Ambient	Air	Variable to 600lb
Alpha Molykote LFW-1	One block on rotating ring (see fig.8)	Ambient	Air	Variable to 1100 lb
Hohman A-6	Two blocks on rotating disk (see fig.4)	Ambient to 1600°	Air	Variable to at least 600 lb
Midwest Research Institute Mark VB	Two blocks on rotating disk (see fig.4)	Ambient to 1500°	10 ⁻⁶ torr	Variable to 600 lb
MRI Three Pellet Wear Life Apparatus		Room Temp	Air on N ₂	300 gm / contact
MRI Vacuum Friction Apparatus	Three pellets on flat track (see fig.16)	Ambient to 400°	10 ⁻⁷ torr	300gm / contact
MRI Oscillatory Bearing Tester	Plain spherical bearing* (see fig.19)	Room Temp to 1000°	Air	Variable to 10000 psi
Alpha Molykote LFW-3	Annular ring on flat block (see fig.21)	Ambient to 1200°	Air	Variable 100 - 5000 lb.

Alpha Molykote LFW-4	Pin and bushing (see fig. 23)	Ambient	Air	Variable to 12000 lb
NASA High Load Machine	Flat on flat (see fig. 27)	Room	Air	Variable to 150000 psi
NASA Spherical Rider	3/16 in hemispherical rider on rotating flat disk (see fig. 29)	Variable Cryogenic to 2000°	Air	Variable
(Westinghouse) Friction Tester	One rotating ring on a flat disk.	Ambient	Air	Variable to 2000 psi

* Bearing locked to cause rotation on spherical surface

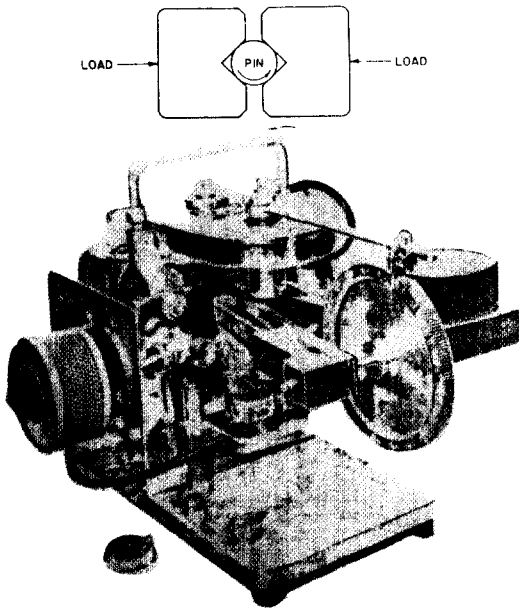


FIGURE 5—Falex lubricant tester.

Fig. 5. Falex lubricant tester.

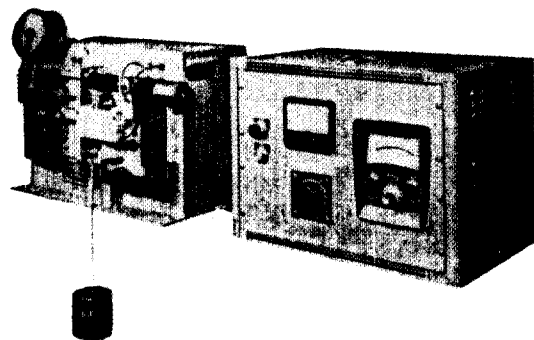
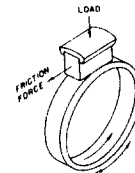


FIGURE 6—LFW-1 test machine.

Fig. 6. LFW-1 test machine.

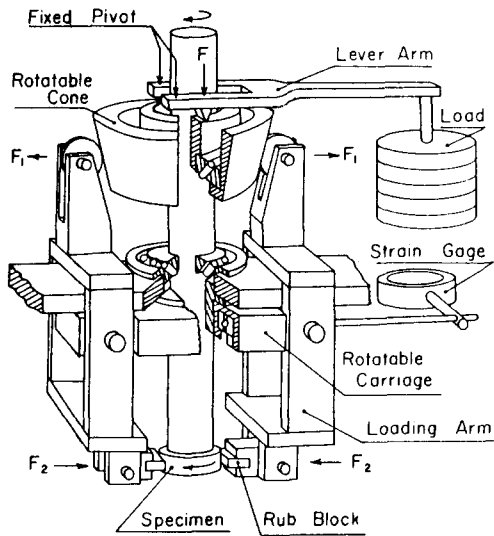
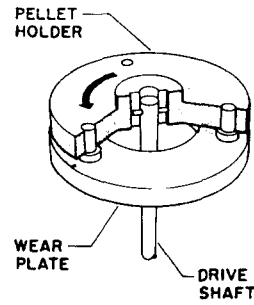


Fig. 7. Hohman A-6 test configuration.



MRI wear life test configuration.

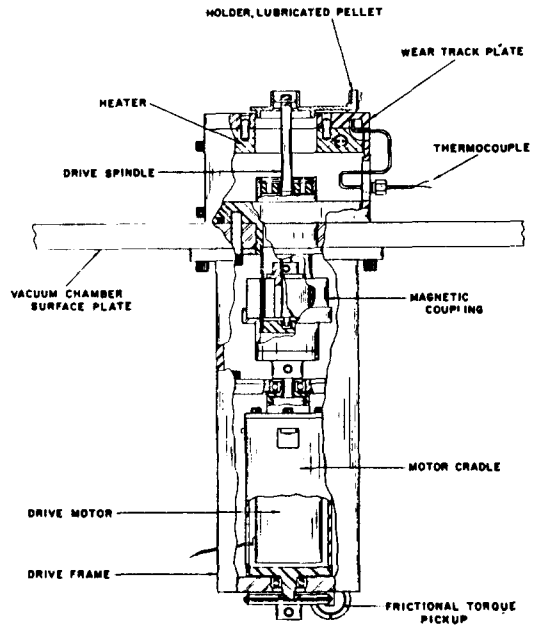


Fig. 8. MRI vacuum friction apparatus drive assembly.