

오일 시일의 밀봉성능

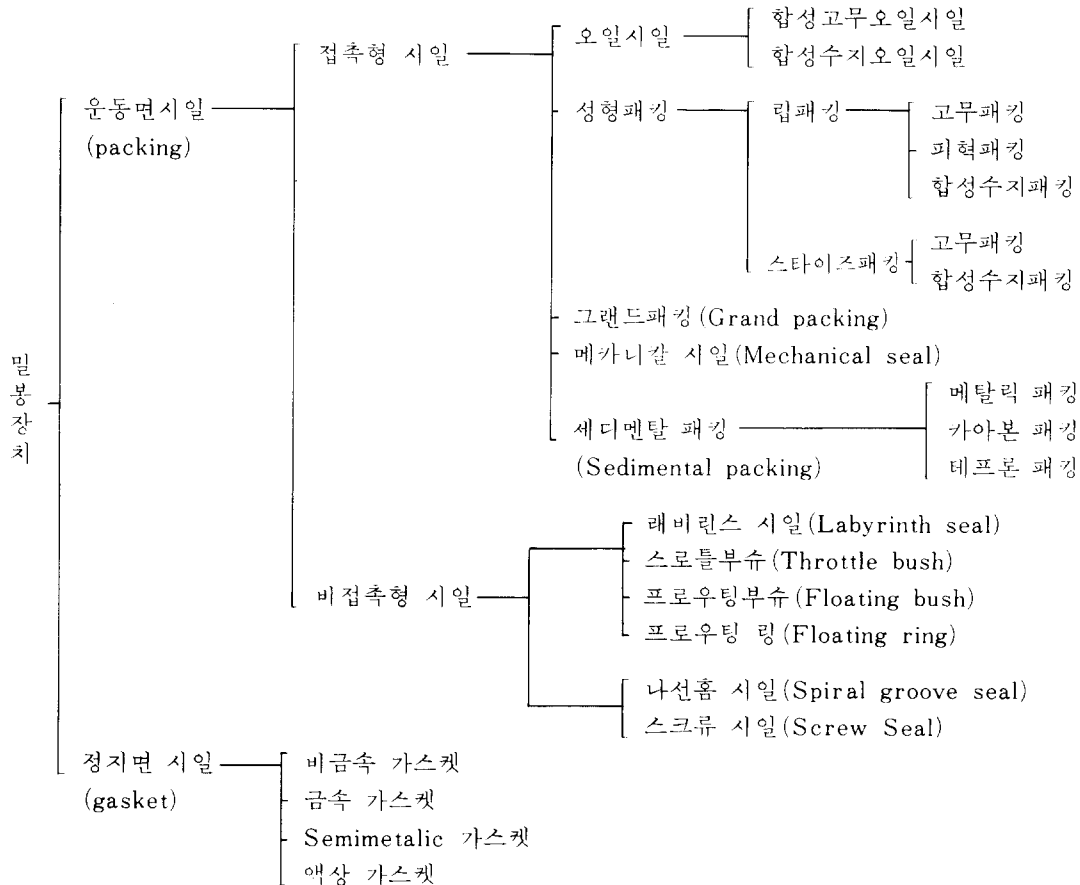
양 보 석
부산수산대학 박용기계공학과 조교수

1. 오일 시일의 개론

밀봉장치는 밀봉요소 또는 시일(seal)이라 불리우며, 서로 접촉한 부분 사이에서 유체의 누설방지 및 이물질의 침입방지에 이용되고 있다.

밀봉면에 거시적인 상대운동이 있는가 없는가에 따라 동적요소와 정적요소로 분리된다. 동적밀봉요소를 운동용 시일 또는 패킹(packings)이라하고 크게 접촉형과 비접촉형으로 분리된다. 정적밀봉요소를 정지용 또는 고정용 시일이라

표 1. 밀봉 장치의 종류



하며 가스켓(gasket)이라고도 한다. 표 1에 밀봉장치의 종류를 나타낸다.

본고에서는 지면제약상 오일 시일에 한정하고 기타는 생략하였다. 오일 시일은 가격이 저렴하고 사용하기 쉬우며 또한 설치에 사용자에게 의한 조정이 거의 필요하지 않는 이점이 있으므로, 수량적으로는 현재 사용되는 패킹의 주력이 되고 있다. 특히 자동차용으로는 압도적으로 이용되며, 각종 기계, 기구, 설비 등에 매우 폭넓게 채용되고 있다. 표 2에 현재 KS B 2804에 규정되어 있는 표준형 오일 시일의 기본적인 구조에 대한 규격을 나타낸다.¹⁾ 표에서 보듯이 고무체의 립(lip)과 금속의 보강링으로 이루어져 있고 스프링으로 고무립 면을 누르고 있는 것이 대부분이다.










표준형 오일시일의 시일 재료로는 1942년 니트

릴고무가 개발되기 전에는 대부분이 피혁제였으나 최근에는 내유성 합성고무인 니트릴고무(NBR), 아크릴고무(ACM), 실리콘고무(VMQ), 불소고무(FKM) 등이 사용되며 비표준형에는 특수고무, 합성수지 및 복합재료 등이 사용된다. 표 3은 대표적인 오일 시일용 고무재료의 물리적 성질을 나타낸다.²⁾

그러나 특수한 경우를 제외하고 다음 조건의 경우 오일 시일의 사용이 어렵고 메카니칼 시일을 사용하게 된다. 1) 내부 액체의 압력이 2kg/cm² 이상, 2) 시일의 온도가 100℃ 이상, 3) 시일 대상이 기체인 경우

그림 1은 오일 시일의 개략적인 적용범위를 다른 시일과 비교한 것이다. 주속도가 12m/s 이상에 액체 압력이 2kg/cm²을 넘는 경우에는 통상 메카니칼 시일을 사용하며 주속도와 압력이 초

표 2. 오일 시일의 종류(KS B 2804)

종 류	기 호	비 고	참고도 보기 ¹⁾
스프링 틀이 바깥둘레 고무	S	스프링을 사용한 단일 립과 금속링으로 구성되어 있고, 바깥둘레면이 고무로 씌워진 형식의 것.	
스프링 틀이 바깥둘레 금속	SM	스프링을 사용한 단일 립과 금속링으로 구성되어 있고, 바깥둘레면이 금속링으로 구성되어 있는 형식의 것.	
스프링 틀이 조립	SA	스프링을 사용한 단일 립과 금속링으로 구성되어 있고, 바깥둘레면이 금속링으로 구성되어 있는 조립 형식의 것.	
스프링 없는 바깥둘레 고무	G	스프링을 사용하지 않는 단일 립과 금속링으로 구성되어 있고, 바깥둘레면은 고무로 씌워진 형식의 것.	
스프링 없는 바깥둘레 금속	GM	스프링을 사용하지 않는 단일 립과 금속링으로 구성되어 있고, 바깥둘레면이 금속링으로 구성되어 있는 조립 형식의 것.	
스프링 없는 조립	GA	스프링을 사용하지 않는 단일 립과 금속링으로 구성되어 있고, 바깥둘레면이 금속링으로 구성되어 있는 조립형식의 것.	
스프링 틀이 바깥둘레 금속 먼지막기 붙이	D	스프링을 사용한 단일 립과 금속링 및 스프링을 사용하지 않은 먼지 막이로 되어 있고, 바깥둘레면이 고무로 씌워진 형식의 것.	
스프링 틀이 바깥둘레 금속 먼지막기 붙이	DM	스프링을 사용한 단일 립과 금속링 및 스프링을 사용하지 않은 먼지 막이로 되어 있고, 바깥둘레면이 금속링으로 구성된 형식의 것.	
스프링 틀이 조립 먼지막기 붙이	DA	스프링을 사용한 단일 립과 금속링 및 스프링을 사용하지 않은 먼지 막이로 되어 있고, 바깥둘레면이 금속링으로 구성된 조립 형식의 것.	

주¹⁾ 참고도 보기는 각 종류의 한 보기를 표시한 것이다.

표 3. 고무 재료의 물리적 성질(KS B 2804)

시 험 항 목		고무 재료의 종류				
		A	B	C	D	
공기 가열 노화 시험	시험 온도 및 시간	100°C 70시간	120°C 70시간	150°C 70시간	220°C 70시간	
	경도의 변화 Hs 최대	+15	+10	+10	+10	
	인장강도의 변화율(%) 최대	20	-20	-40	-30	
	연신율의 변화율(%) 최대	-50	-40	-50	-40	
압축 영구 변형 시험	시험 온도 및 시간	100°C 70시간	120°C 70시간	150°C 70시간	175°C 22시간	
	압축 영구 변형율(%) 최대	50	70	70	40	
내유 시험	시험용 기 름 No.1 기 름의 경우	시험 온도 및 시간	100°C 70시간	120°C 70시간	150°C 70시간	150°C 70시간
		경도의 변화 Hs	-5 ~ +10	-5 ~ +5	-5 ~ +10	0 ~ -15
		인장강도의 변화율(%) 최대	20	20	-30	-30
		연신율의 변화율(%) 최대	40	30	-40	-30
	시험용 기 름 No.3 기 름의 경우	시험 온도 및 시간	100°C 70시간	120°C 70시간	120°C 70시간	150°C 70시간
		경도의 변화 Hs	-15 ~ 0	-15 ~ 0	-20 ~ 0	-20 ~ 0
		인장강도의 변화율(%) 최대	-35	-30	-40	-50
		연신율의 변화율(%) 최대	-35	-40	-40	-50
		부피 변화율(%)	-10 ~ +5	-5 ~ +5	-5 ~ +5	0 ~ +15
		부피 변화율(%)	0 ~ +25	0 ~ +25	0 ~ +45	0 ~ +40
내한 시험			13°C 에서 시험편 ² 이 모두 파괴되지 않을 것.	-13°C 에서 시험편 ² 이 모두 파괴되지 않을 것.	-1°C 에서 시험편 ² 이 모두 파괴되지 않을 것.	-20°C 에서 시험편 ² 이 모두 파괴되지 않을 것.

주² 시험편의 수는 10개로 한다.

참고 고무 재료의 종류 A 및 B는 니트릴 고무 상당의 것, C는 아크릴 고무 상당의 것을 대상으로 하고 있다. D는 실리콘 고무 상당의 것.

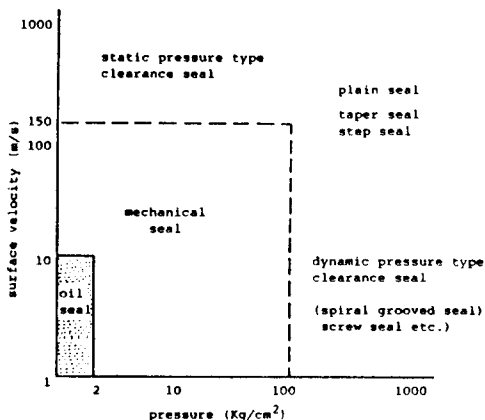


그림 1. 시일의 적용범위

고속에, 초고압인 경우에는 조건에 따라 비접촉형 시일이 주로 1차 시일로 사용된다. 다음에 오일 시일의 사용시에 주로 직면하는 문제점으로는 여러가지볼 들수 있으나 그중에 중요한 몇가지에 대해 설명한다.

2. 과대마모와 기름 누설

오일 시일을 장시간에 걸쳐 사용할 때는 어느 정도의 립과 축의 마모는 피할 수 없다. 항상 매우 깨끗한 기름으로 윤활되고, 립선단과 축사이의 습동면이 이상적인 상태에서 항상 보호되고 있으면 마모는 그다지 크지 않다. 그러나 실제의 경우는 윤활유의 부족과 습동면에 침

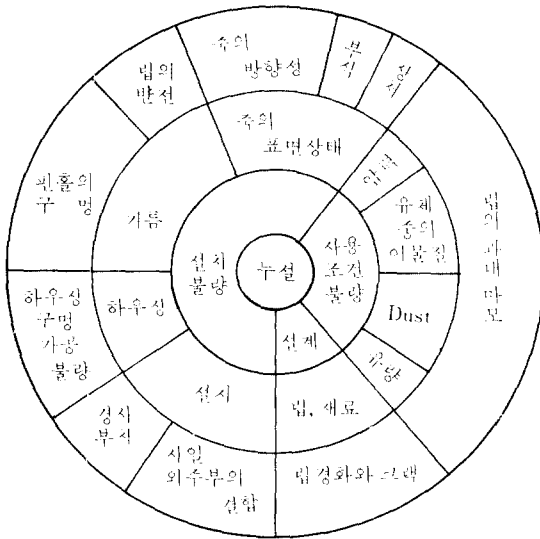
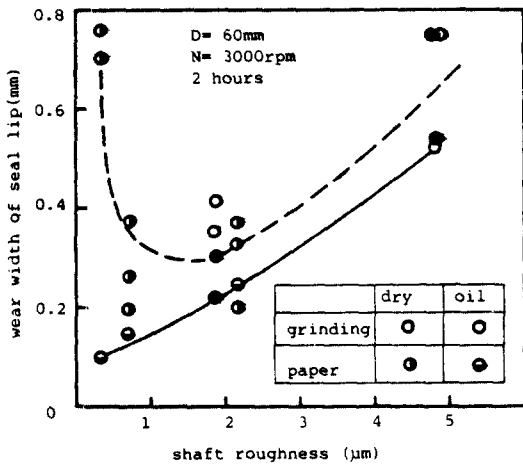
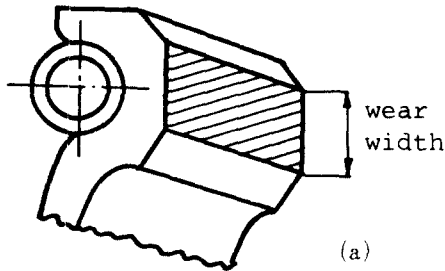


그림 2. 오일시일의 누설원인²⁾



(b)

그림 3. 축의 표면거칠기와 립마모폭의 관계

입한 고형 이물질에 의해 어브레시브(abrasive) 마모가 발생한다.

그림 2는 오일 시일에서 발생하는 기름 누설의 원인을 나타낸다. 그림에서 알수 있듯이 기름 누설의 원인 중에 립의 과대 마모에 의한 것이 가장 많다. 오일 시일의 립과 축사이에는 통상 점성 유막이 형성되어 있고 습동면은 립과 축의 직접 접촉에 대해 보호되고 있다. 그러나 실제의 사용에서는 유량의 부족, 기름 중의 이물질, 유압 등에 의한 립의 과대 마모에 의해 밀봉 요소로서의 기능을 잃어버리는 일이 있다.

그림 3은 축의 표면 거칠기와 립마모 폭의 관계를 나타낸 것으로, 거칠기가 증대하면 립의 마모폭도 증가한다. 역으로 거칠기가 적은 경우, 립습동부의 윤활이 충분하면 립의 마모폭은 적지만 윤활이 불충분한 조건(건조상태)하에서는 과대 마모가 발생하고 있다. 따라서 오일 시일과 접하는 축의 표면 거칠기는 $0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 로 할 필요가 있다²⁾

그림 4는 니트릴고무(NBR)제 오일 시일에 적정인 소량의 윤활유를 공급하고, 1500rpm 5분간 회전시험을 하였을때 공급유량과 립의 마모량의 관계를 나타낸 결과이다. 그림에서 건조시보다 미소한 량의 기름이 있는 경우에 립마모는 현저하게 증대하고, 더욱 유량이 증가하면 마모는 0로 된다. 마모를 0로 하기 위한 윤활유의 유량은 축의 표면 거칠기가 큰수록 많아야함을 알 수 있다. 최소 필요 유량 이하에서

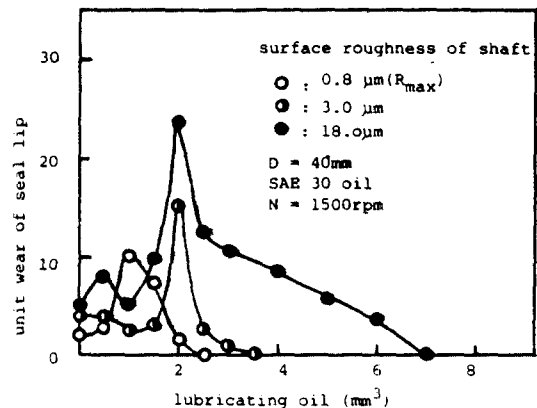


그림 4. 윤활유량과 립마모의 관계

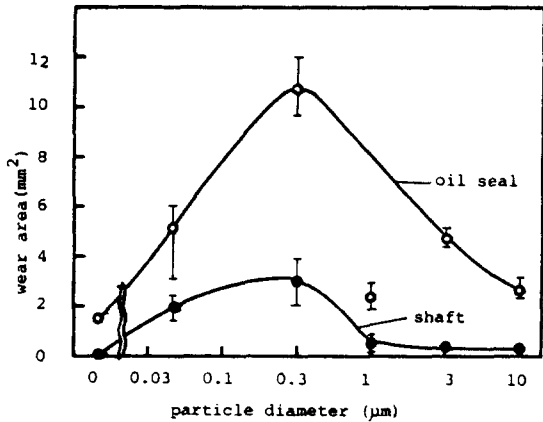


그림 5. 고휘형 이물질의 입경과 마모량의 관계

의 과대 마모는 대부분의 경우 원주상의 마찰의 불균일에 의해 일종의 자려진동이 발생한다. 특히 이 진동이 발생하기 쉬운 실리콘고무(VMQ) 시일에서는 유량이 부족하면 마모를 일으키는 것 외에 립이 진동하여 기름이 분무상(分霧狀)으로 되어 누설되는 경우가 있다.³⁾

그림 5는 기름중의 고휘형 이물질의 입경과 마모량의 관계를 나타낸다. 입경이 약 0.3µm의 경우에 마모가 최대로 되고 있다. 이는 유막의 두께에 대응하는 것으로 초기에는 이와같은 극미립자(초미립자)가 영향을 끼치고, 마모가 진행함과 함께 보다 큰 입자가 포함되어 더욱이 마모가 증대되어 간다. 그러므로 밀봉액의 오염 관리에 충분한 주의가 필요하다.⁴⁾

3. 오일 시일의 老化

통상 밀봉액에 대한 립재료의 내유성, 내열성, 내한성 등을 고려하여 오일 시일용 고무재료가 선정된다. 립용 고무는 주위 온도만이 아니고 립과 축의 마찰에 의해 열이 발생한다. 고무재료에 발생하는 열의 온도가 고무의 내열온도 범위보다 매우 높은 고온이나 저온의 환경에서 장시간 동안 사용되면 립은 변질하여 경화되고 크랙이 발생하게 된다. 즉, 경화가 진행되면 립 습동부에 균열이 생겨 국부적으로 틈새가 생겨 누설을 일으키게 되어 밀봉성능을 저하시킨다.

표 4.

온도 윤활유	고무재료			
	니트릴고무	아크릴고무	실리콘고무	불소고무
최고사용온도(°C)	모 타 유 100	130	150	180
	기 어 유 100	130	△	180
	하이포이드기어유 90	120	×	180
	토 루 콘 유 100	130	△	180
	구 리 이 스 100	130	120	150
저온한계(°C)	-25	-5	-40	-20

△ 가능한 사용하지 말것
× 사용 불가

표4는 오일 시일용 고무재료의 최고 사용온도를 각종 윤활유에 대해 나타낸다.⁵⁾

4. 오일 시일의 명음(鳴音)

윤활유량이 너무 적은 경우는 립과 축사이의 유막이 파단되고 직접 접촉하게 된다. 고무와 철의 마찰계수는 미끄럼 속도에 의해 변화하기 때문에 stick slip에 의한 음이 발생할 수 있다. 오일 시일의 명음은 소음 또는 이상 진동으로서도 문제가 되며 동시에 립의 과대마모, 습동면의 이상, 스프링의 이탈 등을 일으켜 밀봉성을 저하시킬 수 있다. 이 명음방지를 위해 오일 시일 고무재료의 개량과 윤활조건 개선 즉, 윤활유량을 충분히 공급 하는 것과 기름의 점도를 높일 것이 필요하다.

5. 축편심과 밀봉성능

밀봉성능을 좌우하는 요인으로 온도, 주속도, 압력등의 조건은 설계상의 조건으로 주어지나, 축편심은 설계단계에서 충분히 파악할 수 없는 요인으로 축, 베어링의 조립, 오일 시일의 설치 및 사용 조건등이 후천적으로 결정된다. 편심에는 회전축과 시일 중심의 차에 의한 정적편심(취부편심)과 축의 운동에 기인하는 동적편심이 있다. 오일 시일의 립이 이들 편심에 대응하여 어느 정도까지 추종하는가에 따라 밀봉성

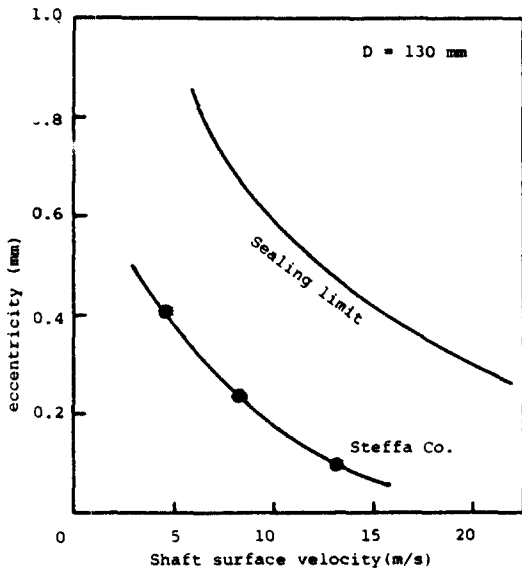


그림 6. 축편심과 밀봉한계의 관계

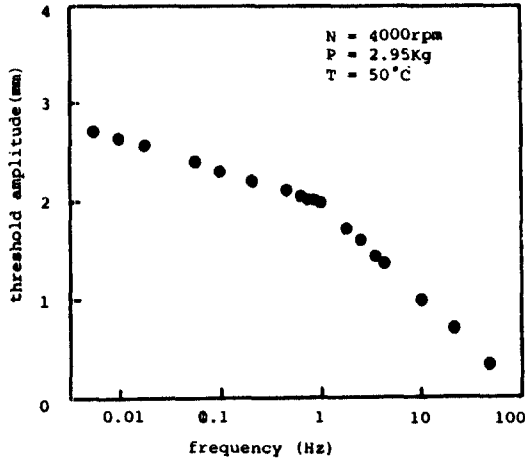


그림 7. 추종한계에 대한 주파수 특성

능을 크게 좌우한다.

일반적으로 시일 립의 추종한계로 허용되는 축편심량은 약 0.3mm, 하우싱의 부착 편심량은 0.2mm 정도로 되고 있다. 그러나 이들은 축경, 회전수, 온도등이 사용조건이나 압박력, 고무 재질, 형상등의 설계조건에 의해 크게 변화한다.

그림 6은 축회전수와 추종한계를 제공하는

축편심량과의 관계를 나타내고 있다. 편심량은 회전수가 상승함에 따라 급격히 저하하고 있다.⁶⁾ 축의 편심운동은 축과 시일 사이에 일정주기와 진폭을 갖는 진동으로 표현되며, 이때 축은 시일 립에 대해 립의 원주상을 구르면서 원운동하는 것이 된다. 이 상태에서는 시일 립은 반경방향으로 변위하면서 동시에 원주 방향으로도 변위하는 타원운동이 된다.

그림 7은 회전축을 외부에서 가진기로 하우싱에 정현파진동을 가하여 추종한계에 대한 주파수 특성을 나타낸 것이다. 주파수 N을 증가시키면 1 Hz까지는 급격히 추종한계가 감소하고 그후는 완만하게 감소하고 있다.⁷⁾

6. 결론

오일 시일의 일반적인 사항에 대해 설명하였다. 사용기기의 고속, 고성능화에 따라 오일 시일의 사용조건이 점점 가혹하게 되고 있으므로 신뢰성과 안정성에 대한 요구도 증가하고 있다. 특히 트러블 원인을 살펴보면 취급범이나 축에 기인하는 초기 고장이 많으므로, 사용조건에 적당한 오일 시일을 선정하고 올바른 사용방법을 지키므로써 초기 고장을 대폭 감소시킬 수 있다. 보다 전문적인 내용들은 관련 문헌을 참조바란다.

참 고 문 헌

- (1) KS B 2804 - 1978, p. 2
- (2) 行正龍昭, 潤滑 29-1(1984), p. 21
- (3) Hirabayashi, H., T. Yukimasa and K. Uchino, SAE paper 780406(1978), p. 1
- (4) Tanoue, H. and H. Ishiwata, 5th Int. Conf. on Fluid Sealing (BHRA) D3 (1971), p. 37
- (5) 田上寛男, 日本機械學會 第78回講習會教材 (1978), p. 99
- (6) Arai, Y., Proc of Int. Lub. Conf. (1975) p. 830
- (7) 似内昭夫, 赤岡純, 潤滑 29-5(1984), p. 363
- (8) Symons, J. D., Trans. ASME 90-2(1968), p. 365