

윤 활 관 리

# 윤활마찰면의 길들이기 과정과 절차

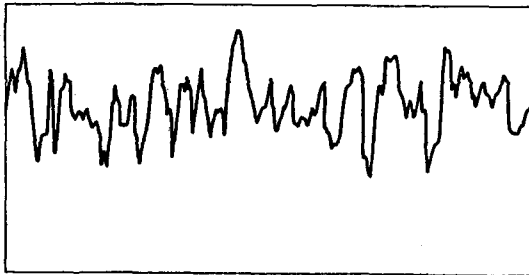
공군사관학교  
교수 강석춘

## 1. 서론

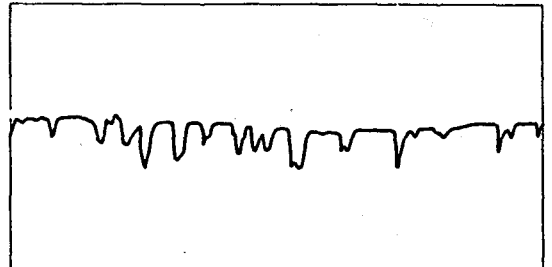
윤활마찰면의 초기작동 과정에서 가능한 손상이 격심한 마모(Scuffing)를 예방하고 부품이 장기간 요구 설계 성능과 기능을 다하며 작동될 수 있도록 조심하여 운전하는 기간을 길들이기

(running-in 혹은 breaking-in) 과정이라고 부른다.

이 기간의 작동상태에 따라 기계의 수명과 성능이 크게 영향을 받으므로 기계 및 윤활관련 담당자들은 잘 이해할 필요가 있다. 따라서 길들이

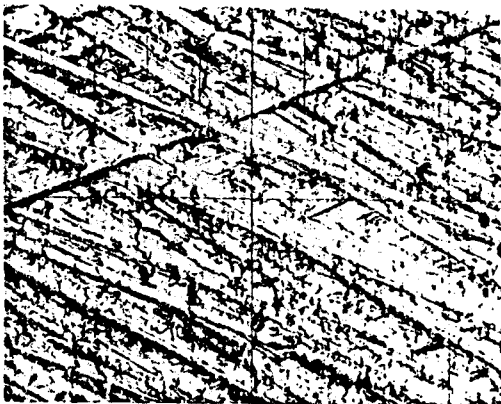


길들이지 않은 실린더 라이너

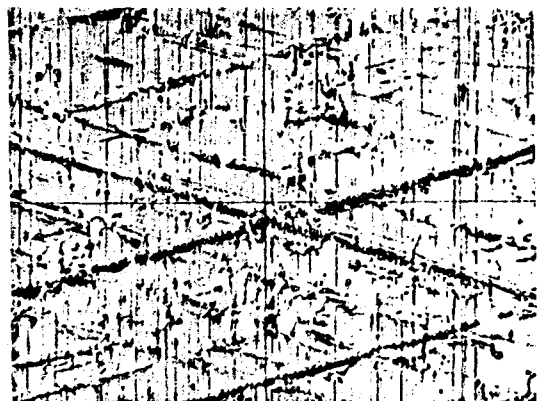


길들이진 실린더 라이너

(a) 표면조도(형상)의 변화



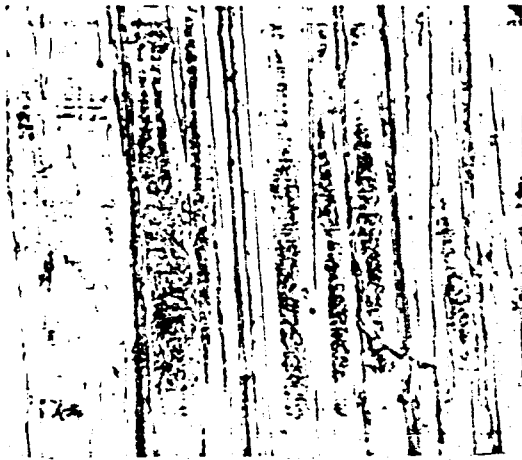
길들이지 않은 실린더 라이너×140



길들이진 실린더 라이너×140

(b) 표면사진

그림1. 길들이기에 따른 실린더 라이너의 변화



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림2. 길들이기 과정에서 마찰면의 피막형성 과정(X550)

기의 의미를 파악하고 변화 메카니즘을 살펴보고 실제 마찰과 윤활계의 길들이기 방법에 관하여 살펴보기로 한다.

## 2. 길들이기 과정에서 물리적 변화

### 1) 거시적 변형

결합이나 간격(틈새), 조립 및 정렬상태 또는 자체 제작상의 결함을 길들이기 과정에서 마모나 소성 변형에 의해 작동하기 쉬운 방향으로 스스로 마취 나가는 현상을 말한다. 이 과정에서 접촉상태는 실접촉 면적이 증가되고 잔류응력이 제거되는 상태로 이루어지면서 마찰계수나 윤활유 온도가 감소되는 결과를 가져온다.

### 2) 미시적인 변형

마찰면은 제작 방법에 따라 고유한 표면조도(roughnes)와 표면형상(texture)을 갖는다. 경우에 따라서는 오일피막 두께보다도 커서 돌기

(asperity)들이 상대면과 접촉하는 경계 또는 혼합윤활상태를 만들게된다. 길들이기에서 이들의 돌기는 마찰과정에서 떨어져나가 마모입자가 되든지 소성변형을 일으켜서 골을 메꾸는 역할을 하며 어떤 경우에는 국부적 손상이나 전체적인 손상을 가져오는 응착 마모를 유발하기도 한다.

대부분의 길들이기 과정에서 조도의 크기는 감소(매끄러워짐)하고 유효접촉면적이 증가하며 오일 피막의 두께가 상대적으로 커지므로써 완전윤활 영역으로 만들어 준다.

### 3) 청결

새로 제작된 부품은 가공입자나 주물용 모래등이 표면에 달라붙어 있어 쉽게 제거되지 않고 잔류한다. 만약 길들이기 과정없이 전 부하의 작동상태를 갖는다면 연삭마모등 표면손상을 초래할 수 있고 쉽게 여과기까지 도달하지 못한다. 또 표면 조도의 감소과정에서 생성되는 마모입자도

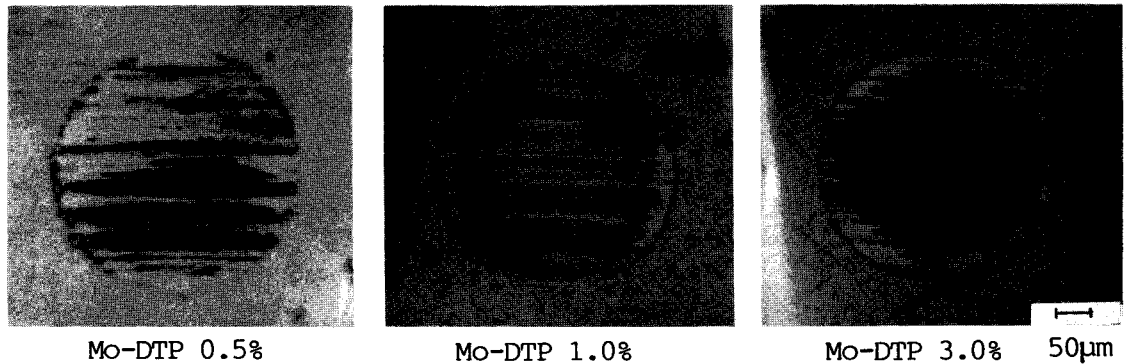


그림3. 4구 시험에서 첨가제 농도에 따른 표면 마모면의 사진

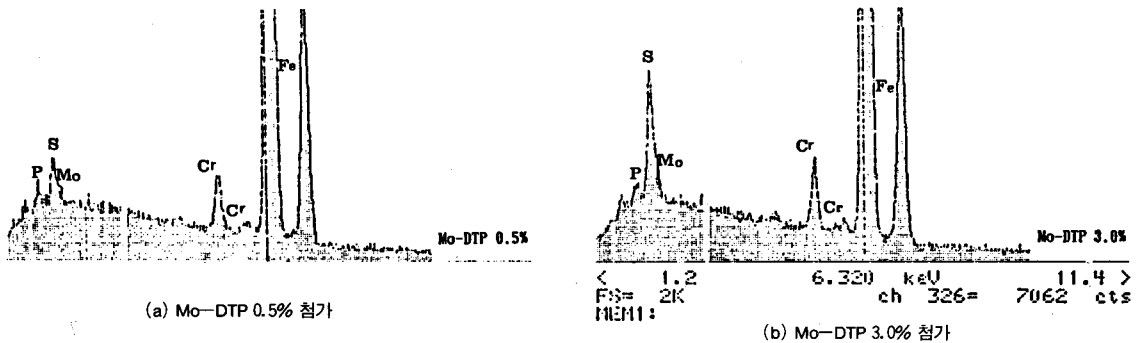


그림4. 첨가제 농도에 따른 피막 성분의 화학조성

제거되어야 하므로 적은 부하나 낮은 속도등 길들이기 과정에서 여과기등을 통하여 계통으로 부터 제거시켜 주어야 한다.

### 3. 길들이기 과정에서의 화학적 변화

마모나 손상에 대한 저항성을 갖고 낮은 마찰계수를 나타내는 표면을 가공된 면에서는 갖고 있지 않다. 따라서 이 상태에서 마모가 심하고 마찰계수도 높게 나타나는 것이 정상이다. 만약 길들이기 과정이 순조롭게 이루어지면 마찰표면이 가공 경화층을 형성하고 낮은 마찰계수를 갖는 산화피막과 윤활 첨가제 성분과 반응한 반응피막이 표면과 모재의 일부에까지 형성되므로써 바람직한 화학적 조성을 갖는 피막으로 덮이게 된다. 그림3은 자동차 엔진오일의 종류에 따른 시험후 표면 분석한 결과를 보여준다.

### 4. 길들이기 과정의 상대적인 필요성

조립된 기계에서 윤활부품에 대한 길들이기의 필요성이 대부분 요구되지만 상대적인 필요정도를 다음표에서 비교하였다. 상부쪽은 필요함이 강한 정도를 나타내고 하부쪽은 그 반대이다.

가장 필요 ↑	피스톤링과 라인어	내연기관에서 특히 필요함
	기 어	종류에 따라 다르나 하이포이드기어는 꼭 필요
	캠과 테핏	일반적으로 필요함
	평면베어링	다음절 참조
	정수압 트러스트 베어링	설계 조도나 조립이 적절하다면 필요 없음
↓ 적게 필요	외부가압 베어링	대형 베어링등은 제작자에 문의 필요
	가스베어링	

### 5. 내연기관의 길들이기

새로 만든것이나 재생된 엔진의 효과적인 길들이기 계획은 엔진의 설계나 사용된 재료에 따라 점도의 차이가 있으므로 제작자의 추천을 따르는 것이 중요하다. 특별한 지침이 없다면 다음의 과정을 따르도록 해야 한다.

1) 동력계의 엔진에서 길들이기

단계	기간(시간)*	최대유효압력%	최대속도%	기 타
1	오일의 온도가 상대로 도달될 때까지	0	30	
2	0.5	25	30	
3	0.5	50	50	
4	1.0	75	75	
5	0.1	100	100	동력체크
6	10	75	75	최대부하를 제한할것

참고 : ① 1단계는 가능하면 0.5시간 이상 할것  
② 기간은 엔진설계의 변수에 따라 다음과 같이 증가시켜야 한다.

변 수	기간의 변수
엔진 실린더의 직경이 15cm 이상	2배
엔진 실린더의 직경이 63.5cm 이상	4배
평균 유효압력이 150 lb/in <sup>2</sup> 이상	2배
평균 유효압력이 200 lb/in <sup>2</sup> 이상	4배
평균 피스톤 속도가 910m/sec 이상	2배

③ 단계 6이 지난후 오일을 교환하고 시린더 헤드를 조이며 밸브간격을 재조정 할 것

### 2) 자동차용 엔진의 길들이기

단계	기 간(시간)	운 전
1	오일 온도가 정상상태에 도달시까지	자동차는 정지상태 최대 회전속도의 30%
2	2	도로운전(언덕이나 시내주행을 피할것) 하중적재하지 말것 최대속도의 50% 정도 이내
3	10	도로운전시, 하중적재, 최대속도의 75%

참고 : ① 3단계 이후 오일 교환과 시린더 헤드를 조이고 밸브간격을 조절할 것  
② 엔진설계에 따라 동력계 엔진의 경우와 같이 기간을 수정할 것

### 3) 길들이기에서의 점검

길들이기 과정이 완료되었음을 나타내는 것으

로 다음과 같은 관찰의 종류와 현상이 있다.

관찰	기대현상
냉각수 온도	온도가 높아질 가능성이 있음
오일 온도	점차 감소후 일정해짐
크랭크 케이스 압력	점차 감소후 일정
배기 가스	점차 맑아짐
오일 소모	연료소모량의 0.5~1% 정도
압축 압력	점차 증가후 일정

4) 길들이기 과정의 가속 방법

길들이기를 가속(짧은 시간내 끝냄)하는 방법은 엔진제조 담당자와 상의한 후에만 해야한다. 부적절한 절차의 사용은 심한 문제나, 손상 발생의 우려가 있다.

가속 방법	주의 사항
흡입공기에 따라 연마제 첨가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시간과 첨가량을 정확히 할 것</li> <li>• 일반 연마제는 사용못함</li> <li>• 과정후 오일과 여과기를 교환</li> </ul>
연료에 길들이기 첨가제 첨가	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 오일공급자나 엔진제작자와 종류와 양을 상의할 것</li> <li>• 실시후 여과기와 오일을 교환</li> </ul>
길들이기 오일 사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 추천에 따르고 과정이 끝난 후 오일을 사용유로 교환</li> </ul>
경사진 링사용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 조립시 위치 주의할 것</li> </ul>

6. 기어의 길들이기

1) 절차

일반적으로 모든 기어에 적용할 수 있는 절차를 설정하는 것은 쉽지않지만 다음과 같은 원칙을 적용하는 것이 바람직하다.

피할 사항	나타나는 현상
동시에 높은 속도에서 큰 하중을 가함	높은 온도 발생과 스커피링 현상을 가함
동시에 낮은 속도에서 큰 하중을 가함	탄성유체 윤활이 불안전하고 표면에서 소성유동을 발생
고속에서 충격하중을 가함	스커피링 손상이 발생 특히 하이포이드 기어에서

2) 재료와 윤활제

길들이기는 재료와 윤활제에 영향을 받고 일반적으로 다음과 같다.

요 소	영 향
높은 정도의 재료(400VFN) 침탄처리 질화처리 오일에 내마모 첨가제 첨가	길들이기 기간이 길어짐
EP(극압) 첨가제 첨가 오일 열-화학적인 처리 오일의 점도 증가	길들이기 과정중 스커피링을 예방가능

3) 길들이기에서의 관찰절차

관찰	특기사항
오일의 온도	그림5 참조
마모입자 분석 오일 첨가제의 열화	샘플이 품질성을 갖는지 즉 변화 정도가 심한지의 분석

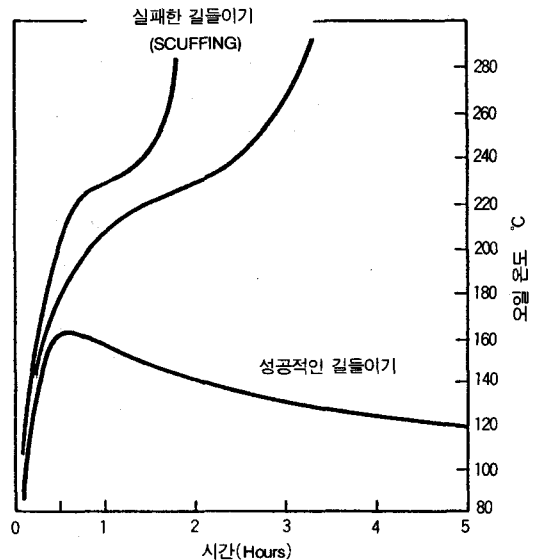


그림5. 하이포이드 기어 액슬에서 길들이기 상태에 따른 온도의 변화에 대한 예

7. 평면 베어링

1) 길들이기에서 특별히 요구사항

베어링 형태	요 구 사 항
비금속 베어링	길들이기 과정에서 보호막의 전이(재료의 옮겨 붙음)가 요구됨 예) PTFE가 상대마찰면을 덮어줌
다공질 베어링	침투된 오일이 과열되어 빠져나오지 않도록 길들이기 과정에서 표면온도가 높지 말아야 함
유체 필름	길들이기가 필요없으나 충분한 윤활이 되어야 함 조립시 오차가 생기지 않도록 할 것

2) 절차

원 리	온도 한계에 도달되지 않도록 속도나 하중을 제한할 것
실 제	1. 감소된 속도와 하중에서 작동 2. 감소된 속도와 정상하중에서 작동 3. 감소된 하중과 정상속도에서 작동 4. 정상속도와 하중에서 작동
관 찰	베어링 온도 그림6 참조

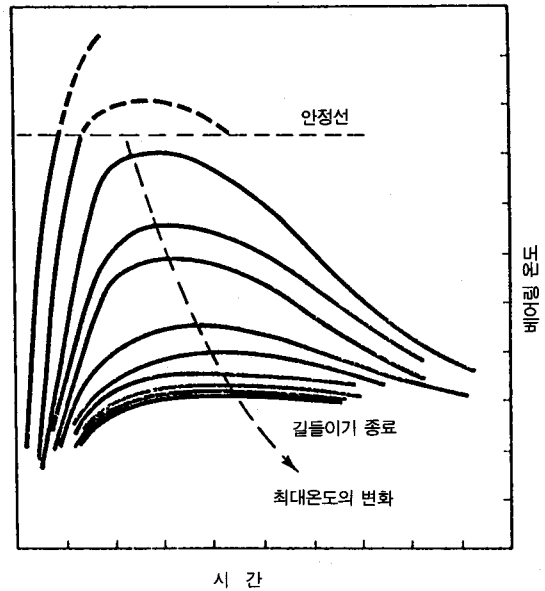


그림6. 평면 저널 베어링의 길들이기 과정에 따른 온도의 변화

8. 씰(Seals)

마찰실은 성형되었든 압축 제조되었든 자리잡는 과정(bedding-in process)이 필요하다. 일반적인 추천 방법은 없으나 다음 표가 경험들을 요약한 것이다.

종 류	비 고
일반적인 자리잡는 시간	2hours
일반적인 마찰 감소	50%
속도의 감소	바람직하지만 꼭 필요한 것은 아님
조립시 미리 오일을 칠하는 것	꼭 필요함
씰의 교환	잘안맞으면 새것으로 교환이 요구됨
압축 씰	처음은 오일이 새는 것을 허용하고 자리잡으면서 조이어 줄것