

## 엔진 마모 및 손상의 원인과 처방

홍 혼 · 전상명

대우자동차 기술연구소

### 1. 서 론

일반적으로 상대운동을 하는 모든 물체에는 마찰이 존재하며 각 경우에 상응하는 적절한 윤활을 하고 있지만 마모(Wear)는 필연적으로 발생된다. 마찰 부위에 형성되는 마모정도에 따라 경 마모(Mild Wear), 평 마모(Normal Wear), 중 마모(Severe Wear) 등이 발생되며 이로 인해 윤활유 속에는 다량의 마모 입자들이 존재하게 됨으로써 마모를 가속시키는 요인으로 작용하여 손상(Failure)의 원인이 되기도 한다. 마찰부위의 마모 및 손상은 엔진에서도 마찬가지로 그 수명 및 성능과 관계가 있고 경제적인 문제와 직결되므로 상세한 분석 및 평가가 요망된다. 또한 엔진 설계 및 원활한 작동유지를 위해서 정확한 마모 예측과 그 평가방법이 요구된다. 이를 토대로 엔진 손상을 미연에 방지할 수 있으며, 실제 설계과정에 마모정도를 고려한 가장 최적의 설계인자를 제공할 수 있다고 본다. 본 논문에서는 손상부위에서 발생가능한 여러가지 마모형태를 분류하여 그 특징을 정리하였고, 이를 바탕으로 실제 엔진의 마모 및 손상 등의 평가에 적용할 수 있는 엔진의 부품별 평가자료를 만드는데 주안점을 두었다.

### 2. 마모 및 손상

#### 2-1. 마모의 생성

접촉하는 두 물체 사이의 경계에서 발생하는 마찰은 온도, 습도, 속도 등과 표면의 조건에 따라 지배를 받기 때문에 이들의 영향이 고려되어야 한다. 마찰과 관련된 마모는 상대운동에 의한 마찰에 의해 일어나는 물리적 현상으로 마찰면의 재료 손실을 의미한다. 그래서 마찰부

위의 마모는 운동부위의 특성에 따라 그 크기 및 형태 등을 달리하며 운동부위가 받는 하중의 종류에 따라 분산하중 및 집중하중을 받기 때문에 마찰면의 물리, 화학적 변화 및 윤활유의 노화정도 등에 의해 여러형태의 마모가 발생된다.

이때 발생된 수백만의 마모입자들이 오일 안에 들어가며, 그 입자들의 크기는 수마이크로미터에서 대략 수 밀리미터까지 이르게 된다. 이들 대부분의 마모 입자들은 오일 내에서 안정된 콜로이드 형태를 이루게 된다. 이러한 마모 생성물과 대기 혹은 기타 오염원으로부터 유입된 수백만의 오염입자들은 일부 오일 필터로 걸러지나 대부분 엔진내부의 마찰부위에서 마모를 가속시키는 요인으로 작용한다.

#### 2-2. 손상 발생

일반적으로 엔진 각 부품들의 손상은 재료의 상태, 설계조건, 윤활상태, 작동조건 등에 따른 마모의 진행 및 국부적인 응력집중에 의해 발생된다. 그러나 일본의 관공서, 기계류 제작업체, 기계류 사용자 등을 대상으로 한 설문조사 통계치인 Fig.1과 Fig.2의 결과를 보면 다음과 같은 사항을 알 수 있다[1]. Fig.1의 경우 기계류의 마모 및 손상과 관련된 문제의 형태는 과열, 소손(燒損), 마찰력에 관한 3개의 항목이 약 40%를 차지한다. 또한 마모, 박리(剝離), 피팅(Pitting), 프레팅(Fretting), 공동현상(Cavitation), 부식(腐食) 등의 6개항을 합쳐도 약 40%가 된다. Fig.2의 경우 Fig.1에 나타난 마모 및 손상의 원인이 무엇인지를 나타내는 항목으로 재료, 윤활유, 윤활방식 등을 합하면 50%나 되고 취급자의 실수, 조작 미숙, 원인불명, 기타 항목들을 합해도 약 50%나 된다. 이것은 마모 및 손상의

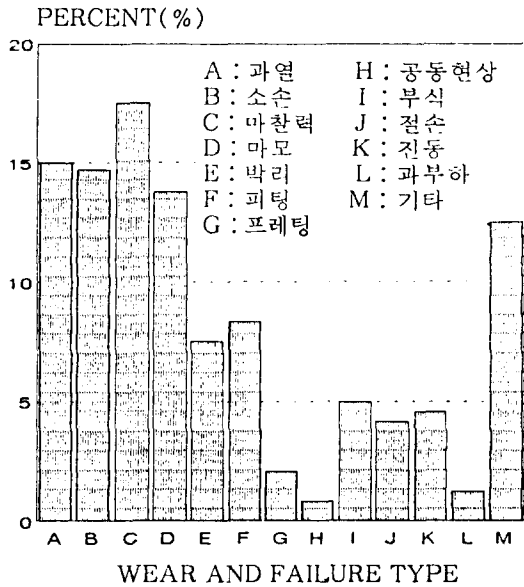


Fig. 1. Percents of wear and failure occurrence due to kinds of types

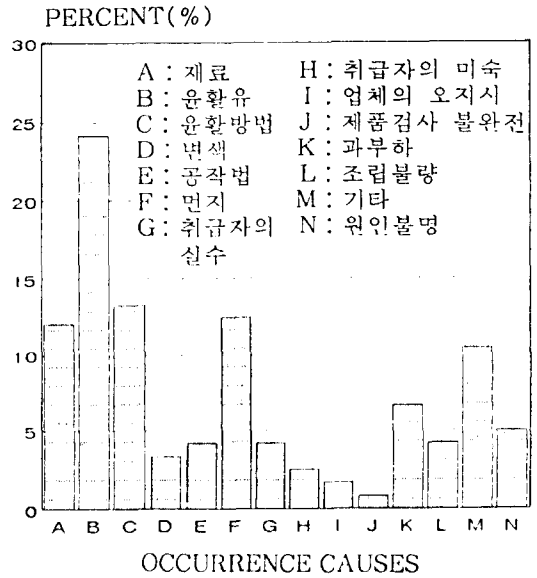


Fig. 2. Percents of occurrence causes due to kinds of problems

발생원인이 무엇인지를 정확히 판단하기가 매우 어렵다는 것을 의미한다. 이로 인해 문제의 발생원인을 대부분 사용자의 주관적인 판단에 의존하다 보니 명확한 해답을 얻기가 어렵다. 결국 어떠한 마모 및 손상이 발생했을 때 적절한 대책을 세우기란 어렵고 애매하여 가장 비용이 적게 들고 손쉬운 방법을 택하다 보니 근본적인 해결이 어려워진다. 이에 좀더 객관적인 기준에 의해 문제의 발생원인을 찾아 내고 최소의 비용과 단기간에 해결할 수 있는 방안을 찾는 것이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 마모 및 손상의 원인을 좀더 객관적이고 다각적으로 분석하여 신속한 대책을 세우고 이를 설계에 반영할 수 있도록 마모 형태에 관한 미커니즘을 고찰하였고, 이를 토대로 실제 엔진의 각 부품에서 발생하는 현상별 분석표를 작성하게 되었다.

### 3. 마모형태 분류

마모는 상대운동을 하는 접촉표면의 점진적인 손실로 나타난다. 이때 마모부위는 주로 기계적,



Photo.1 Corrosive wear

화학적, 열적영향을 받으며 그중에서도 가장 중요한 것은 기계적인 영향이다. 마모의 종류는 일반적으로 부식마모(Corrosive Wear), 응착마모(Adhesive Wear), 연삭마모(Abrasive Wear), 피로마모(Fatigue Wear) 등으로 분류되며 각 특성은 다음과 같다[1-4].

#### 3-1. 부식마모(Corrosive Wear)

육안으로 확연히 구별되는 마모의 형태는 아니지만 기계적, 화학적 작용에 의한 표면재질의 손실이 발생하는 마모이다. 상호 접촉표면 사이에 계속적인 진동이 있을때 발생되는데 진동현상에 의해 표층을 보호하고 있는 여러 보호막(Oxide Film, Work Hardened Layer, etc)이

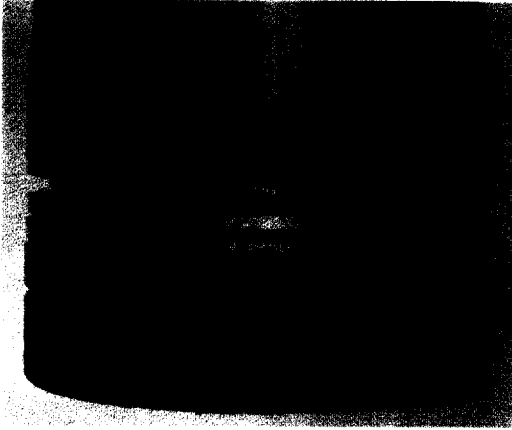


Photo.2 Adhesive scuffing

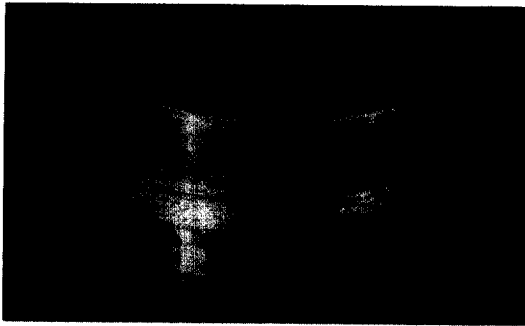


Photo.3 Adhesive scoring

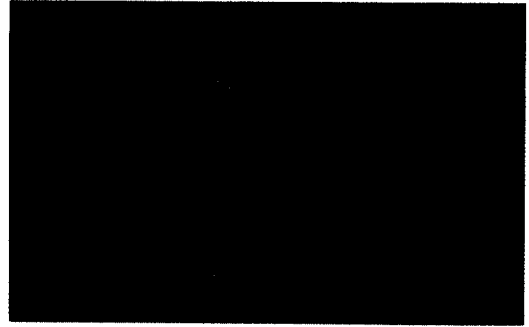


Photo.4 Adhesive wiping

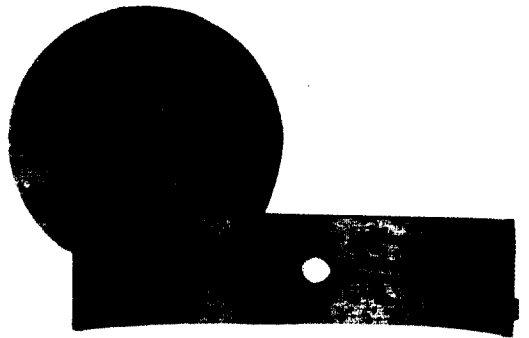


Photo.5 Abrasive pitting

깨지고 금속자체들이 직접적으로 접촉하게 된다. 이때 산화현상이 촉진되고 이로 인해 단단해진 마모입자들이 연삭마모 현상을 일으키게 된다. 이러한 형태는 Photo. 1과 같으며 작동면에 미세한 홈이 불규칙한 분포로 관찰되는 형태를 미동 부식마모(Fretting Corrosive Wear)라 부른다.

### 3-2. 응착마모(Adhesive Wear)

금속간 직접적인 접촉에 의해 작동면 사이에서 형성된 접합점의 전단(Shearing)을 일으키는 마모 상태로서 그 정도에 따라 스커핑, 스코링, 와이핑 등으로 구별된다. 스커핑은 캠과 종동자, 피스톤 스커트와 라이너 등과 같이 금속간 접촉시간이 제한적인 작동면의 상대적인 미끄럼 운동과 관련된 마모조건에 의해 발생한다. 스코

링 및 와이핑은 커넥팅로드 및 베어링의 경우와 같이 금속간 접촉시간이 연속적인 작동면의 회전운동이나 이에 상응하는 조건에 의해 발생한다.

#### 3-2-1. 스커핑(Scuffing)

스커핑 혹은 겔링(Galling)으로 불리는 현상은 기본적으로 접점 간의 고하중 및 미끄럼 속도에 의해 발생하는 고온상태에서 일어나는 것으로 알려져 있다. 순간적으로 발생된 마찰열이 신속히 방출되지 못할 경우 매우 불안정한 마모 현상을 일으키게 된다. 이는 금속 접촉면의 순간적인 극심한 마멸 파괴현상으로써 소재의 상 변화, 소성 변형된 금속 파편 조각 및 덩어리 등을 발생시킨다. 온도의 외에도 윤활유내의 극압첨가제의 존재여부, 금속의 전이현상, 표면경도의 증가와 같은 원인이 있을 수 있다. 그 형태는 Photo. 2와 같다.

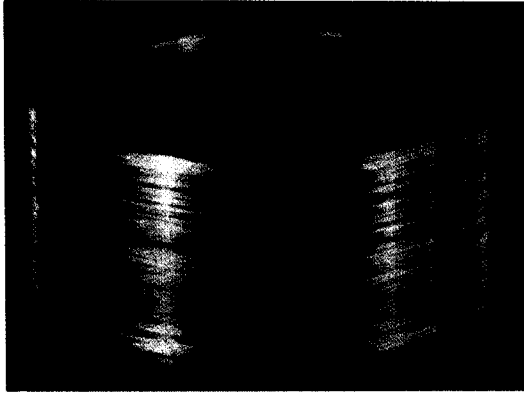


Photo.6 Abrasive scratching

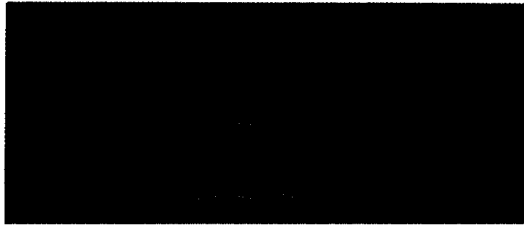


Photo.7 Fatigue pitting

### 3-2-2. 스코링(Scoring)

운동방향의 부분적인 곳에 날카로운 칼날(Scratch)같은 자국이 나타나는 마모상태임. 스커핑흔적보다는 더 분명하고 넓은 범위에 걸쳐 발생하는 자국들 처럼 보이며 그 형태는 Photo. 3과 같은 형상을 나타낸다.

### 3-2-3. 와이핑(Wiping)

정상적인 표면으로부터 금속의 기계적인 변형 및 소성변형으로 특징지어지는 응착마모임. 금속표면의 연마, 변색, 뭉게짐(Smearing) 등과 같이 넓은 면적에 걸쳐 관찰된다. 스커핑은 좀더 집중적이고 국부적인 마모조건이고 스코링과 와이핑은 더 광범위한 표면에 걸친 마모형태로 Photo. 4와 같다.

### 3-3. 연삭마모(Abrasive Wear)

윤활유, 연료, 공기 등에 들어있는 입자들 및 재료표면에 붙어있는 입자들에 의해 작동면에 작은 흠(Pits)이 생기게 하는 마모형태로 연삭피팅(Abrasive Pitting) 및 긁힘(Scratching) 등



Photo.8 Fatiguespalling



Photo.9 Fatigue flaking

으로 구별된다.

#### 3-3-1. 연삭피팅(Abrasive Pitting)

표면에 묻힌 입자주변이나 이들에 의해 형성된 조그만 웅덩이(Carter-Like Pits) 등과 같은 마모 형상으로 Photo. 5와 같다.

#### 3-3-2. 긁힘(Scratching)

불규칙한 방향이나 운동방향에 날카로운 칼날(Scratch)처럼 관찰되는 마모로 그 형태는 Photo. 6과 같다.

### 3-4. 피로마모(Fatigue Wear)

금속간 접촉부위에 높은 응력이 주기적인 변화를 하면서 일정기간 동안 가해져 피로 한계를 넘어설 때 주로 발생하는 마모임.

#### 3-4-1. 피팅(Pitting)

조그만 웅덩이들(Carter-Like Pits) 처럼 관찰되는 표면금속의 마모현상임. 주로 회전체 표면에서 흔히 찾아볼 수 있으며 접촉 표면의 최대 전단응력이 걸리는 지점에서 발생하는 것으로 알려져 있다. 이는 베어링 등의 피로 수명을 단축시키는 큰 요인으로 그 형태는 Photo. 7과 같다.

#### 3-4-2. 스폴링(Spalling)

재질표면의 크고 불규칙한 모양을 한 입자들

의 이탈로 관찰된 심한 피팅현상으로 Photo. 8과 같다.

3-4-3. 플래킹(Flaking)

초기단계에서는 표면 균열로 관찰되며 재질 표면의 얇은 막(층)이 손실된 형태의 마모현상으로 Photo. 9과 같다.

엔진의 주요 단품인 피스톤, 메탈베어링, 벨브트레인 계통에 한하여 개괄적인 분석표를 만들었으며 그 내용은 다음과 같다.[5-11]

4-1. 각 단품별 마모 및 손상 점검표

4-1-1. 피스톤

4. 마모 및 손상 분석표

단 품	마모 형태	원 인	처 방	비 고
Piston & Ring	Top Land 상부 손상(긁힘)	*연소 생성물의 납 화합물이 실린더 헤드와 보어의 모서리에 퇴적된 후 Piston Top Land와의 간섭 때문	*보어와 실린더 사이의 틈새를 줄이거나 이상연소의 억제	Photo.10 (A)
	Top Land Scuffing	*Ring Groove내에 Hydrocarbon 및 기타 연소 생성물의 침입을 방지하기 위해 Land Clearance의 축소	*Piston과 Bore의 열팽창 및 Piston Slap을 고려한 최소의 Clearance 설계	Photo.10 (B)
	이상연소에 의한 Crown & Top Land Erosion(용손)	*표면이 곰보형상을 나타내며 이는 점화시기의 과도한 진각 및 Knocking Controller의 조정 불량에 의한 이상연소.	*정상적인 점화 및 분사시기 조정 *피스톤의 고온으로 이상연소 방지를 위한 피스톤 냉각 방식개선 *Erosion에 강한 Ni 도금	Photo.10 (C)
	Uner Crown 균열	*고출력 및 경량화를 위해 Piston Pin 직경 및 Crown 두께를 줄여 Pin의 휨변형과 Crown의 강성 부족으로 인한 균열발생 *배기가스 저감을 위한 Top Land 두께 축소 *경량화를 위한 압축높이 단축	*Piston 냉각방식 개선에 의한 재료 강도 회복 및 CROWN 보강 *Piston Pin Boss간의 TAPER화로 변형량 줄임.	Photo.10 (D)
	Ring홈의 마모	*Piston 주변의 고온 및 고압에 의한 Ring과 Ring Groove간의 금속접촉에 의한 응착마모(주로 한계온도와 압력이 국부적으로 미치는 곳) *Piston Ring의 자세 불량 *Piston Ring의 Fluttering	*Ring Groove의 온도를 내리기 위한 Oil Gallery 설치 *각종 Coating 처리 *Ring Groove내의 경질화 처리로 교체유효 효과	-
	2ND Land 파손	*Piston 경량화 및 배기가스저감을 위한 Top Land두께 감소로 2ND Land 부위가 열악해짐. *이로인해 Top Groove에 침입한 Carbon Deposits의 증가로 Ring Stick이 발생하여 Groove내에서 Ring의 상하 진동으로 파손 *보어의 단차마모로 단차부와 Top Ring이 간섭하는 경우	*2ND Land 두께 증가 *Ring Groove의 Corner R을 크게 한다. *재료변경 (고강도 알루미늄 합금)	Photo.10 (E)
	Skirt Scuffing	*Skirt Profile 불량 *고출력화에 대응하여 Skirt 강성 향상과 열효를 개선 위한 오일링 홈의	*Translot 설계에서 Solid Skirt로 설변시에 Skirt 상부의 Drop량을 늘려야 함.	Photo.10 (F)

단 품	마모 형태	원 인	처 방	비 고
	Skirt Scuffing	형식이 Slit Type에서 오일 구멍 Type으로 변경시 Skirt 상부의 강성 향상 부분과 열팽창 증가분을 고려치 않은 Profile 설정시	*적절한 Profile 설정	Photo.10 (F)
		*Slipper Type Piston의 스커트 원주부와 Cast Panel의 연결부에서 발생-경량화를 위해 Piston을 Slipper Type화 한 경우 연결 부분의 강성이 갑자기 증가하기 때문 *Skirt와 Bore간의 Clearance 부족으로 강성이 낮은 경우 찌그러들고 높은 경우는 변형에 저항하므로 교차지점에서 Scuffing이 발생됨.	*Ovality를 증가시켜 Skirt 부분의 Clearance를 확대시킴 *Skirt 부위의 균일한 강성분포 *너무 급격한 강성변화 지양	Photo.10 (G)
Piston & Ring	Skirt부위의 Scuffing Piston의 자세불량시	*Piston Pin의 읍셋량은 Piston 자세 유지에 매우 중요 *자세불량시 - Ring기능 저하로 인한 오일소모 Blow-By, 마찰증대 - Piston Slip에 의한 Scuff 소음증대	*Piston Pin 읍셋의 과다 및 과소한 경우 Scuffing이 발생할 수 있기 때문에 최적의 Pin 읍셋 선정요망 *Cold Slap Noise 대책으로 핀 읍셋은 Trust에 비교적 많이 줌	Photo.10 (H)
	Skirt부의 Cold Scuff	*저온 시동시 실린더에 오일이 충분히 들어가지 못하여 발생된 Scuff *저온 윤활불량에 기인된 손상	*윤활조건 개선 *Piston Pin 읍셋 적정화 *Profile 개선을 통한 Skirt 닿음개선, Piston 보유성 향상을 위한 외경조도조정, Sn도금, Pb도금, 고체윤활제, 수지에 의한 표면 처리	-
	Skirt 부위 오일링 홈의 Slit 모서리 균열	*Skirt 측압에 대해 Skirt 강성이 부족한 경우 *Piston Pin과 Crown 강성이 낮은 경우 연소압에 의한 Piston Pin과 Crown의 휨 변형이 Skirt 단부에 응력을 집중시킴.	*Skirt 두께 증가 *Skirt립 (보강살)을 강화시킴 *Slit Type에서 Oil Hole TYPE으로 변경하는 방안 *PISTON PIN경과 CROWN 두께를 증가시켜 변형 및 휨을 방지.	-
	Skirt Rib의 균열	*Skirt Rib 강성부족 *강한 Piston Slip	*Piston Slip 저감을 위한 핀 읍셋을 적정하게 선정 *Skirt Rib 보강	Photo.10 (I)
	Piston Pin과 Pin 구멍 상부의 균열	*Piston 상부의 살 두께가 얇고 Piston 강성도 부족하여 보스 상부에 균열이 발생	*Pin구멍 상부의 살 두께를 증가시킨다. *Pin구멍 상부의 살 두께가 Undercut되었다면 Wed 부분만은 단차가 없도록 재측 보스와 일직선을 유지시킴.	Photo.10 (J)
	Piston Pin 구멍으로부터 Boss Web로 향하여 진행된 균열	*Piston 강성부족 및 Pin 두께가 얇으면 타원변형이 크게 일어나고 이로 인해 Pin구멍은 인장력을 받게 된다. 이때 Boss Web는 Undercut이 있는 곳에 강성이 떨어져 그 부위에서 균열이 발생	*Pin 상부의 살 두께를 증가시킴 *핀의 타원변형이 큰 경우는 핀 두께를 크게하거나 핀 구멍에 Side Relief를 부여하여 윤활 조건을 향상시킨다.	-

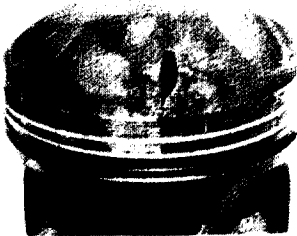
단 품	마모 형태	원 인	처 방	비 고
	Pin구멍 마모와 Scuffing	*Piston 부하증대와 Pin의 경량화에 의한 Pin 구멍 면압과다에 따라 발생	*Pin의 결합 방식을 반부동식에서 전부동식으로 변경 *피스톤 냉각을 위한 Oil Jet설치 *Pin구멍에 Side Relief를 채용 *Pin구멍경에 오일구멍 설치	Photo.10 (K)
	Pin과 Pin구멍 스냅링홈의 마모	*Piston Con-Rod 소단부 구멍은 습동불량 혹은 소착 등의 문제가 발생시 Con-Rod 휘어짐이 Piston Pin 방향의 추력으로 작용 스냅 외측으로 밀어내는 경우 *Piston Pin의 강성부족으로 Bending이 커진 경우 Pin의 양단부가 반복하여 Trust Force를 스냅링에 작용 시킴으로써 스냅링홈을 마모시킴.	*Con-Rod 소단부 구멍의 소착 방지를 위하여 윤활을 향상시킴 *Pin의 휨변경 저감을 위하여 핀 외경을 늘리거나 핀 양단면 형상과 스냅링과의 위치 관계의 향상 등이 고려됨.	-



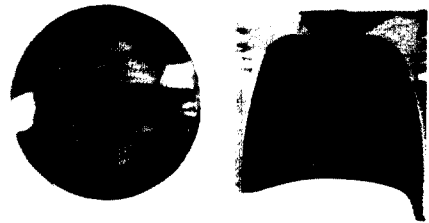
(A)



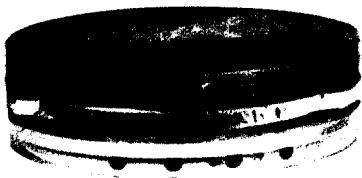
(B)



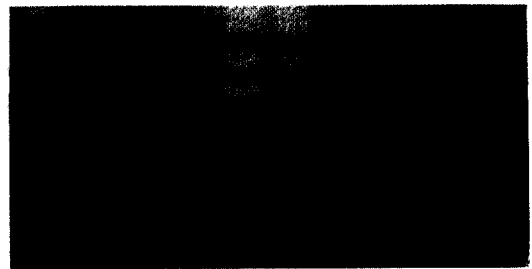
(C)



(D)



(E)



(F)

Photo.10 Configurations on wear and failure at piston

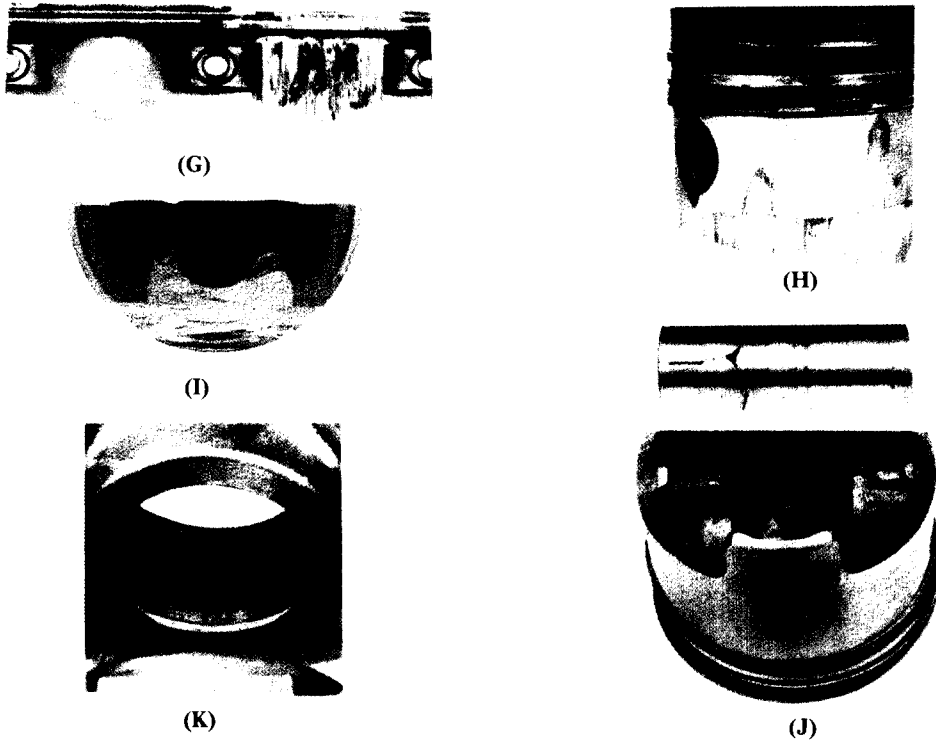


Photo.10 Continued

4-1-2. 메탈 베어링

메탈 베어링의 마모 및 손상은 크게 이물질 (Dirt), 윤활조건(Lubrication), 오조립(Misasse-

mbly), 편심(Misalinment), 과부하(Overload), 부식(Corrosion) 등에 의해 발생되며 각 형태별로 특징은 다음과 같다.

단 품	마모 형태	원 인	처 방	비 고
Metal Bearings	긁힘 (Scratch)	*축 및 베어링에 선형긁힘(Line Scratch)이 있는 경우	*shaft의 조도개선 *Shaft형태의 개선 *Metal의 도금 *축에 철분의 부착방지	Photo.11 (A)
		*축 및 베어링에 점형 긁힘(Point Scratch)이 있는 경우	*확실한 세척, 이물질 배제 *정확한 필터의 적용 *윤활유 교환	
		*점형 및 선형 긁힘이 복합될 때	*상기내용의 복합	
Metal Bearings	마모(Wear)	*축과 베어링 사이의 오일 및 외부로부터 이물질이 유입될 때	*적절한 유막두께 확보 *확실한 세척 *충분한 필터의 적용 *SLUDGE 및 수분의 제거 *적절한 윤활유 교환	Photo.11 (B)
		*경계윤활 조건의 형성 및 저점도 오일에 고하중이 작용될 때	*유압, 유량증가 *고점도유의 적용	



단 품	마모 형태	원 인	처 방	비 고	
	마모(Wear)		*첨가유, 극압유 적용 *부하능력 증가(유막두께 증가)	Photo.11 (B)	
		*베어링 및 축의 조도 불량	*조도의 개선		
		*부적절한 오일펌프 및 필터의 사용으로 윤활상태의 불량	*유량확보 *유압확보		
	소착 (Seizure)	*불충분한 유막형성 *부적절한 윤활조건에 의한 경계 윤활 조건 및 고체윤활조건 형성	*축과 베어링 사이의 간격증가 *공급유압력 증가 *오일홀 칫수 증가	Photo.11 (C)  (D)	
*불충분한 윤활 *축과 베어링 사이에 미끄럼 강성 부족에 의한 마찰 증대		*충분한 유량 및 유압 확보 *적정 점도의 오일사용 *극압윤활제 사용 *정차시에도 작동부에 기름이 확보되게 함			
*베어링 칫수 불량		*충분한 강도, 내열성, 내합성을 가지는 베어링 재질의 사용 *두께 조정에 의한 조질내경 형상 개선			
침식 (寢食)	*충격, 고속, 이물질 혼입 등에 의한 Cavitation *좁은 축과 베어링 사이의 유체 흐름에 의해 난류가 생성되고 이는 오일중에 기포를 발생시킨다. 이때 최대압력이 걸리는 부분에서 기포가 터지면서 재질 침식시킴	*충격제거 *급유계통의 재건 *고압급유 *충분한 유로확보 *안정한 유막, 오일중 기체 및 수분 제거 *부압이 걸리지 않게 함	Photo.11 (E)		
Metal Bearings	박리현상 (剝離現狀)	*제조 공정상 결함	*신뢰성 있는 업체 선택 *접착력 확보 *양호한 조직 확보 *양호한 가공	Photo.11 (F)	
	부식 (腐食)	*엔진오일 교환주기를 넘긴 경우	*재질결함	Photo.11 (G)	
		*엔진오일에 연료 및 Blow-by Gas 등의 유입으로 오일의 조기산화를 유발시켜 베어링을 부식시킨다.	*부식성오일		*내식성이 양호한 재료 적용 (Sn, Al) *고용하지 않은 납중에 Sn, In의 첨가 *도면에 도금
			*부식성물질 혼입		*오일의 정기적인 교환 *오일에 산화 방지제 첨가 *참가제의 제한(주압첨가제 등)
*수분 및 증기 혼입	*주변의 혼탁된 제거 *저온 및 고온 SLUDGE 억제 *내식성 오일 사용				
피로 (Fatigue)	*축과 베어링 사이의 유막을 통해 큰 동적하중이 베어링 표면에 전달되는 경우	*방청유 사용 *원인 제거 *오일 Pan 온도 100℃ 상 유지	Photo.11 (H)		
		*양호한 설계 *극 하중 선도의 개선 *하중감소			

단 품	마모 형태	원 인	처 방	비 고
	피로(Fatigue)	*작동중 급격한 과부하	*큰 베어링으로 면압을 내림 *유효 베어링 면적확보	Photo.11 (H)
		*응력 집중 축에 편심 하중 작용	*하중 및 강성개선 *정확한 조립성 확보	
		*소음 및 진동 *부적절한 베어링 합금 사용	*축과 Metal 베어링의 Balance *적정 유막이 확보되는 범위내에서 축과 베어링 사이의 간격 축소 *일정 하중에 견디는 소재 선택	

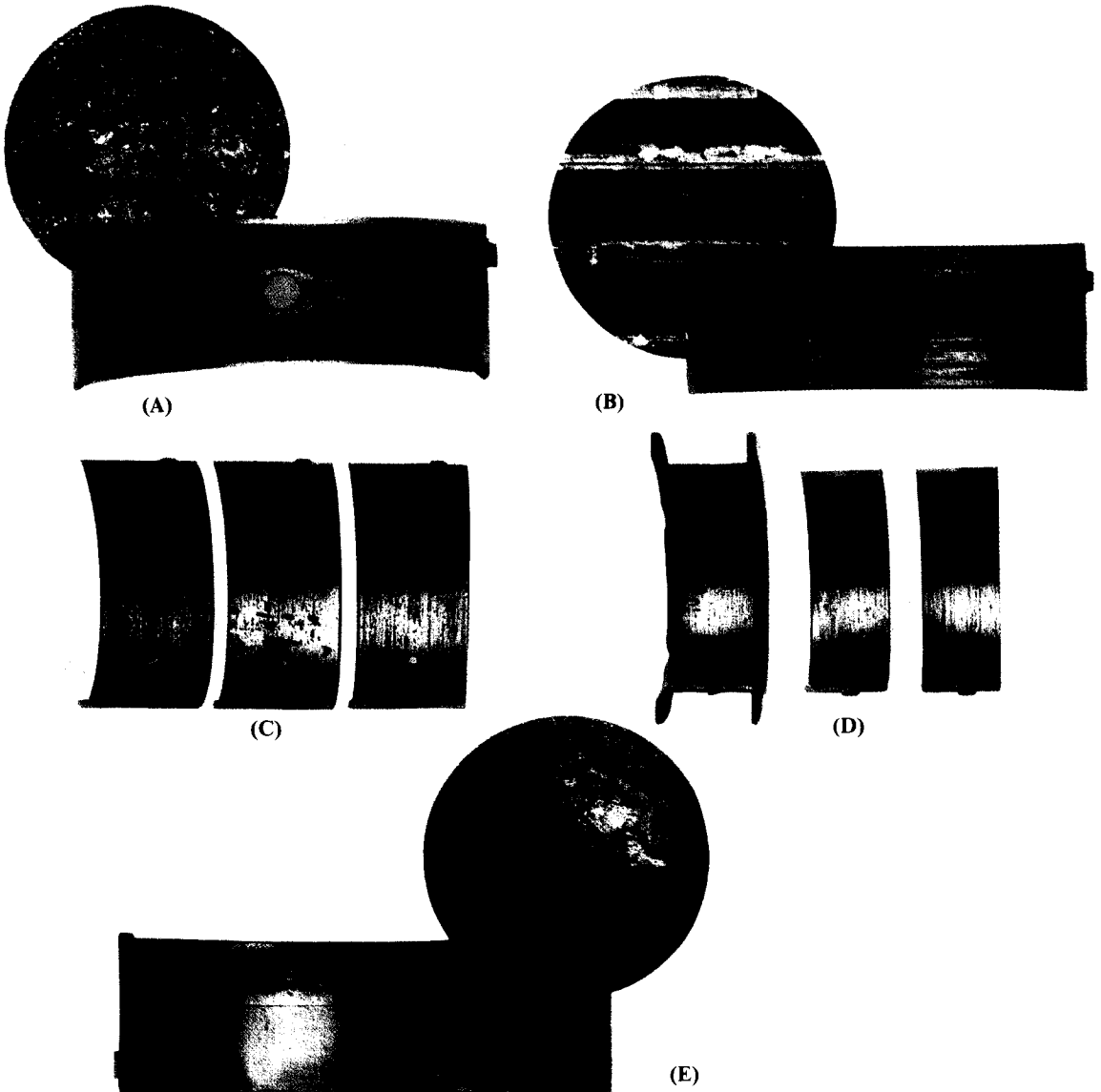


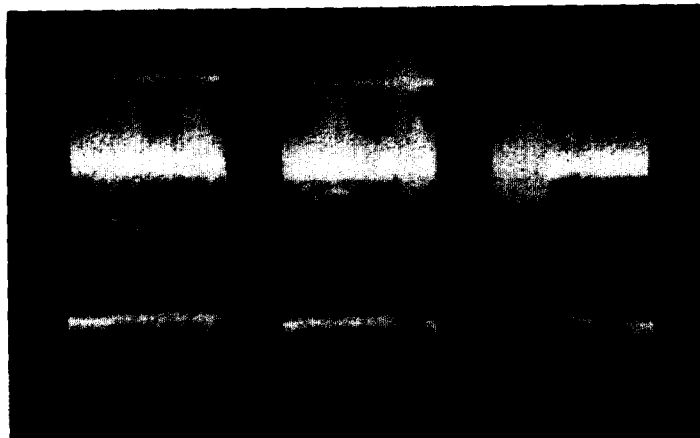
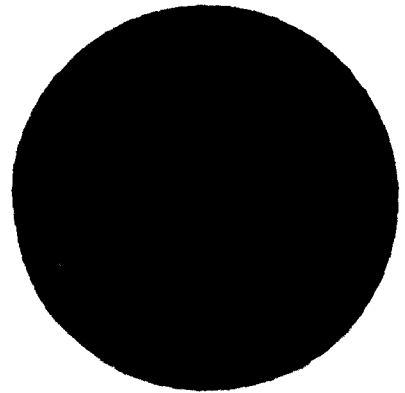
Photo.11 Configurations on wear and failure at metal bearing



(F)



(G)



(H)

4-1-3. 벨브 트레인 마모

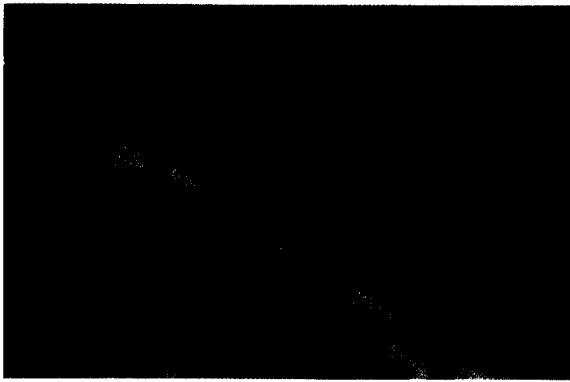
벨브트레인의 가장 일반적인 마모형태는 긁힘 (Scuffing or Adhesive Wear), 피로마모(Fatigue or Pitting Wear), 산화마모(Oxidative Wear or

Chemical Wear), 연삭마모(Abrasive or Polishing Wear) 등으로 구별되며 이에 관련된 분석표는 다음과 같다.

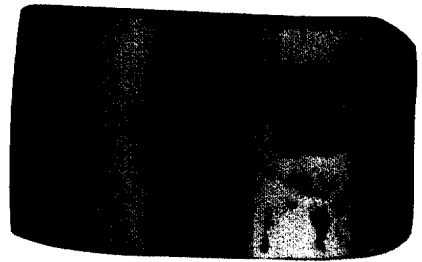
마모 형태		원 인	처 방	비 고
Scuffing or Adhesive Wear		*적합되는 물체의 한표면이 다른 표면과 접촉될때 응착을 일으켜 미세한 조각 및 부스러기들이 떨어져 나가 윤활막을 파괴시킴	*재질강화 및 Coating 처리 *오일에 마모방지 첨가제 보강 (Zinc Dialkyl Dithiophosphate)	Photo.12 (A)
Fatigue or Pitting Wear		*표면에 크랙을 유발시키는 반복된 표면응력이 가해질 때 *접촉표면에 큰 부하가 반복하여 가해질 때	*적절한 마모방지 첨가제 사용 *적절한 응력분포를 고려한 설계	Photo.12 (B)
Oxidative Wear or Chemical Wear		*접촉부위에 산화조건이 형성되어 화학적 작용이 일어나는 경우 *윤활유 산화 생성물에 의한 작용 *오일 교환주기 부적절시	*접촉하는 부위의 두 물체에 대한 금속학적인 결합(조합) *오일의 산화방지제 강화 *적절한 오일 교환주기 선택	Photo.12 (C)
Polishing or Abrasive Wear	General Abrasion	*약한 마모 입자들이 떨어져지면서 접촉면의 Grinding, Plowing에 의한 재질의 손실 *주로 빠른 Camshaft속도 및 고온의 오일 조건에서 발생 *마모 방지제의 역할이 충분치 못할 때 *저온에서 오일이 급속히 금속간 접촉부위에 도달하지 못할 때 *저속에서 심한 접촉부하	*적절한 오일온도 유지 *적절한 저온점도 특성을 갖는 오일 선택 *적절한 마모방지 첨가제가 사용된 오일 선택	Photo.12 (D)
	Abrasive Scratching	*오일속의 미세한 입자들에 의해 접촉면에서 Scratch가 생김. *캠축의 조도가 불량할 때 *유막의 미형성	*적절한 오일 교환주기 선택 *적절한 조도 선택 *적절한 유막형성 유도	Photo.12 (E)
	Abrasive Pitting	*접촉면에 침투한 입자들에 의해 표면이 움푹패임 *저온에서 오일이 신속히 금속간 접촉부위에 도달하지 못할 때 *저온에서 심한 접촉부하 *마모 방지제가 제기능을 못할 때	*첨가제가 보강된 오일선택 *적절한 저온점도 특성의 오일선택 *적절한 오일 교환주기 선택 *적절한 유막형성 유도	-



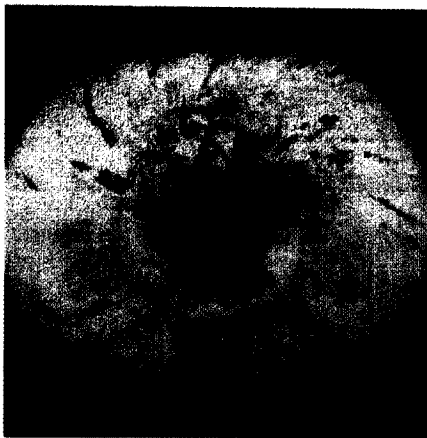
(A)



(B)



(C)



(D)



(E)

Photo.12 Configurations on wear and failure at valve train systems

4-2. 윤활측면의 마모 분석표

인 등을 윤활측면에서 종합한 결과는 다음과 같다.

앞에서 언급한 피스톤, 메탈베어링, 벨브트레

단 품	마모 형태	원 인	처 방
Cylinder & Ring	응착 (Adhesive)	*냉시동(Cold Start)시 높은 점성으로 인해 충분치 못한 오일의 유동	*적절한 점도의 오일 선택 (주로 저점도)
		*고온, 고속 주행시 낮은 점성으로 인해 충분치 못한 유압	*적절한 점도의 오일 선택 (주로 저점도)
	마멸 (Abrasion)	*외부의 이물질 공기, 연료	*전자식 플러그 설치 *오일 및 필터 교환
	소착 (Seizure)	*고온 *오일의 유동성 *링 스틱킹(Ring Sticking)	*적정 점도등급의 오일 사용 *적정 성능이 확보되는 오일 선택
Metal Bearing	피로 (Fatigue)	*약한 금속층의 마모는 적정 점도에 서도 일정기간이 지나면 발생할 수 있음	*베빗(Babbitt) 재질보다 Cu-Pb 및 Al-Sn 등이 더 강함
	부식 (Corrosion)	*Pb-Sn이 Cu-Pb로 부터 제거되면 심 해질 수 있다.	*부식 방지 첨가제 강화
	응착마모 (Adhesive Wear)	*고온 및 연료 회석에 의한 낮은 점 도에서 저속 운전시	*온도 및 유동이 확보되는 적정점도의 오일선택
	공동현상 (Cavitation)	*작동면 틈새에서 오일중의 거품(Bu-bbles)들이 깨질 때	*연료의 회석방지비 *오일압증가 *작동 갭(Gap)을 줄임 *Cu-Pb보다 Al-Sn 재질사용
Cam & Follower	응착마모 (Adhesive Wear)	*마모 방지제의 성능이 약화 *오일이 급속히 금속간 접촉 부위에 도달하지 못할 때(저온에서) *저속에서 심한 접촉 부하	*적절한 저온 점도를 선택 *적절한 마모방지 첨가제 사용
	피팅 마모 (Pitting Wear)	*상기의 내용이 장기간 지속시 *오일 교환주기 부적절시	*높은 점도의 오일 *낮은 마찰계수
	피로마모 (Fatigue Wear)	*상기의 내용과 동일	*높은 점도 *낮은 마찰계수

5. 결 론

마모 및 손상에 대한 예측 및 평가기술은 많은 경험을 바탕으로 한 상세한 분석이 요구되며 이에 관련하여 외국의 경우 다양한 측정장비를 이용한 새로운 분석기술들이 도입되고 있다. 그러나 일반적인 이러한 마모 및 손상에 대한 평가는 담당자의 주관적이고 일시적인 육안 검사에 의존하다 보니 객관적인 판단 기준이 될만한

종합적이고 체계화된 자료가 요구 되었다. 이에 본 저자들의 경험 및 국내의 자료를 토대로 마모 및 손상에 대한 신속한 원인파악 및 대책을 세울 수 있는 분석표를 만들게 되었다. 끝으로 본 저자는 이 분야에 종사하는 분들의 마모 및 손상에 대한 계속적인 Data Base화로 엔진 전 단품에 대한 분석표가 만들어 지기를 기대하며, 이를 실제 엔진의 설계과정에 반영하고 아울러 시험엔진의 평가에 사용될 수 있기를 바란다.

## 참 고 문 헌

1. 李奉九 譯, "Tribology 概論", 동명사 pp. 91-95, 193-2041, 1987.
2. "Lubrication Related Wear and Deposit Conditions in Engines", CRC Manual No. 13, pp. 1-36, 1978.
3. "Internal Combustion Engine Rating Method", CEC M-02-A-78, pp. 27-30.
4. "마모검지 진단기술 및 마찰감소제의 사용관리 지침에 따른 윤활 최적화의 조사연구", 한국 석유품질검사소, 1992.
5. "윤활기술 총론(고급윤활 기술 강좌 I)", 한국 석유품질검사소, pp. 105-124, Aug. 1992.
6. "윤활기술 총론(고급윤활 기술 강좌 II)", 한국 석유품질검사소, pp. 107-1422, Sept. 1993.
7. 동서 피스톤 기술자료.
8. 동성금속 기술자료.
9. Fedral Mogral 기술자료.
10. M.T. BENCHAITA, "Valve Train Wear Mechanisms and Lubricant Performance in New Gasoline Engines", STLE, Vol. 47, No. 11, pp. 893-909, 1991.
11. S.L. Marasimhan and J.M. Larson, "Valve Gear Wear and Materials", SAE Paper, No. 851497.