

운할시스템에서 마모메카니즘에 미치는 물리화학적 영향에
관한 연구

최용수*, 권오관*, 문탁진**, 유영홍***

* 한국과학기술원 기계공학연구부

** 고려대학교 재료공학과

*** 고려대학교 화학공학과

1. 서 론

운할시스템에서 마모는 상대적인 운동을 하는 두 물체사이에서 표면상태, 접촉조건 및 분위기등의 제요소들에 의해 발생되며, 형태학적으로 scuffing, scoring, pitting 및 fretting 등으로 분류된다. 운할조건의 특성에 따라 미끄럼 접촉에서는 mild wear, severe wear 로 구분되며, 이들의 마모 생성기구의 차이는 접촉상대속도, 하중 및 표면조도등의 정도에 기인된다. mild wear 에서 severe wear 영역으로 천이될 때의 가혹한 조건에서 생성되는 마모현상을 scuffing wear 라 하며, 이는 접촉면에서의 표면돌기의 직접접촉에 의한 cold welding 현상, 즉 local welds 의 특성을 지닌 마멸형태로 정의된다.

이의 생성은 접점간의 하중 및 미끄럼 속도가 증가됨에 따라 온도상승에 기인되어 순간적으로 발생된 마찰열이 그 원인이 있으며, 기어, cam 및 tappet, 피스톤링 및 실린더 라이너 등의 마멸현상이 대표적인 예이다.

이와같이 scuffing wear 는 기계적, 화학적, 금속학적인 제요소의 영향을 받는 매우 복잡한 wear process 를 지니므로 과거 40 년을 통하여 이에 관한 연구가 진행되어 왔으며, 그중 대표적인 모델들을 예를 들면 마찰에 의해 생성되는 열에너지에 기인된 critical temperature-thermal model, EHD film 의 break down model 및 adsorption/desorption model 등으로 scuffing wear 현상을 해석하여 왔으나 최근에 열활성화 이론 (thermally-activated wear model) 이 발표되었다. 열활성화 이론에 의하면 미끄럼 접촉시 shear force 와 compress

force 에 의한 마찰열과 더불어 고온, 고하중하에서 윤활유의 열분해로 생성된 수소에 의해 wear-fracture 현상을 유발시킨다는 이론으로 이의 감소를 위해서는 재질의 선택 및 hydrogen scavenger 기능을 지닌 첨가제의 필요성을 제시하였다. 일반적으로 scuffing wear 의 발생을 방지하기 위해서는 재질의 선택, 표면마무리, 적정 조업조건 및 윤활제등의 변수들이 고려되나 본 연구에서는 여러 변수중 윤활제가 scuffing wear 에 미치는 영향을 조사하였다.

경계윤활 혹은 혼합윤활영역하에서 마멸현상을 방지하기 위해서 극압 및 내마모 첨가제들이 사용되며, 주로 인, 황, 염소 화합물로 구성되어 있으나 이들은 금속 표면과의 화학반응에 의한 보호막 형성으로 갑자기 발생하는 scuffing wear의 일시적 방지 내지는 감소를 위한 단일기능으로 사용되고 있다. 또한 대부분 고온에서 윤활유의 열분해로 생성된 수소의 분자화 및 환원 반응에 의한 발열 반응으로 접점에서의 열적 불안정성 및 수소취성에 의한 보호막의 감퇴속도를 가속화 시키는 물론 분해 생성물에 의해 부식현상을 초래하여 내마모성의 감소에 직접적인 원인이 된다.

그러므로 본 연구에서는 고온에서 윤활유의 분해로 생성되는 수소원자와의 반응이 용이한 첨가제, 즉 hydrogen scavenger 기능을 지닌 첨가제를 합성하여 경계윤활조건인 tribo-system 에 적용시킴으로써 wear performance 를 증진시키고 아울러 종래에 무시되어온 수소의 마모에 대한 역할을 재정립하는 연구목적이 있다.

2. 시료 및 실험

본 실험에서 기유는 파라핀계의 SAE#10 을, 첨가제로는 현재 많이 사용되고 있는 ZDDP 와 TCP 첨가제를 사용하였으며, Diethyl-3,5-di-t-butyl-4-hydroxy-benzyl phosphonate (DEP) 를 합성하여 30-280° C 반응 온도 하에서의 thermal degrading 실험과 group contributions 을 이용한 열역학적 고찰을 통하여 hydrogen scavenger 로서의 작용 가능성과 아울러 four ball wear tester 를 이용하여 시판용 첨가제와의 wear performance 를 비교 검토하였다.

3. 결 론

본 연구는 고온, 고속의 가혹한 조건에서 윤활유의 주성분인 탄화수소와 열분해되어 생성된 수소 원자가 분자화 및 환원반응에 의해 금속의 마멸현상을 가속화시키는 열활성화 이론을 기본으로 하여 수소의 영향을 제거 혹은 감소시키기 위해 hydrogen scavenger 기능을 지닌 첨가제를 합성하여 wear performance 에 미치는 영향을 조사하였으며, 아울러 기존의 첨가제들도 비교 검토하였다. 실험결과 고온, 고속의 가혹한 조건에서 합성첨가제를 기존의 첨가제보다 wear performance 가 우수하였으며, 이는 마모 발생원인으로서의 수소억활과 scavenging 효과를 증명케 하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Thermal degrading 실험을 통하여 윤활유의 열분해시 생성되는 수소원자 혹은 라디칼이 DEP 첨가제의 aromatic ring 의 para 위치에 핵치환됨을 알 수 있었으며, 핵치환 반응시 윤활유의 분해온도 (약 300° C 이내) 영역에서 약 34 Kcal 의 반응열이 감소됨을 알 수 있었다.

2. 미끄럼 속도가 증가함에 따라 wear performance 는 DEP 첨가제의 경우 각 유온에서 거의 일정하며, TCP 첨가제의 경우는 SAE#10 (nonadditive) 기유와 유사한 경향을 나타내고 있으며, ZDDP 첨가제는 각 유온에서 증가추세에 있다. DEP 첨가제와 기존 첨가제 ZDDP, TCP 외의 Wear performance 의 차이는 DEP 첨가제가 dual fuction, 즉 hydrogen scavenger 기능과 film layer 형성의 기능을 지닌 반면 기존 첨가제들은 film layer 형성 기능만이 있다는 결론을 얻었다.

3. 마모시험후 볼의 마모표면 관찰에서 DEP 첨가제의 경우 마모표면의 edge 부분은 plastic deformation 의 흔적이 발견되지 않은 반면, ZDDP 첨가제의 경우는 마모표면의 edge 부분에 plastic deformation 현상이 발견되었으며, TCP 첨가제는 극심한 scuffing 현상이 관찰되었다.

끝으로 본 연구에서는 기존의 antiwear 혹은 E.P additive 의 반응기구인 보호막형성에 의한 마모기구 해석으로는 불가능하였던 scuffing 현상규명을 열활성화 이론에 의한 수소의 영향을 증명함으로써 새로이 정립된 hydrogen scavenger type 의 첨가제는 앞으로 새로운 이론에 입각한 윤활유 첨가제로서 학술적 및 응용의 가능성을 제시하였다.