

은 재 료

한국과학기술원 생산공학과

고분자 재료를 이용한 기계부품의 대체는 고분자의 저렴한 가격, 탁월한 화학적 저항성 (Chemical resistance) 내마모성, 윤활유의 불필요성 등 때문에 점점 증가하고 있다. 특히 자동차 공업이나 정밀공업등에의 응용은 주목할 만 하다. 또한 고분자 재료를 이용한 복합재료도 윤활 부품 (Tribological part) 에 많이 응용되고 있는 실정이다. 복합재료의 마모특성은 구성성분 및 보강재료의 배열방향에 따라 크게 변화하며, 그 마모특성도 순수고분자 재료와 크게 다르다. 순수고분자의 마찰 및 마모특성은 고분자의 기계적 성질에 따라 변화함을 알 수 있다. 감마선이나 헬륨 프라즈마 (helium plasma) 로 조사된 (irradiated) 고분자의 마모거동은 고분자의 마모특성을 이해하는데 도움을 준다. 순수고분자 및 조사된 고분자의 마찰 및 마모특성에 대하여 검토하고, 간단한 마모모델과 유한요소법을 이용한 응력해석에 대하여 논의하고자 한다.

대부분의 열경화성 수지나 비결정성 (amorphous) 열가소성 고분자의 마모는 표면에서의 메짐성파단 (brittle fracture) 에 의한 마모파편의 형성으로 일어난다. 결정성 고분자 (semi-crystalline polymers) 는 그 분자구조 및

미세형태 (morphology) 에 따라 두가지의 마모현상을 갖는다. 두꺼운 덩어리 (thick lump) 형태의 마모파편과 얇은 필름 (thin film) 의 형태가 그것이다. 얇은 필름의 형성은 세가지의 대표적 선형고분자 (linear polymers) 에서만 발생한다. PTFE, HDPE, POM이 비교적 낮은 속도에서 활주마찰할 경우에 얇은 필름이 형성되어 반대면 (counter-face)으로 전달된다. 선형고분자의 미세 구조는 분자간의 미끄럼이 매우 용이하게 되어 있어, 수직 및 수평응력이 마찰에 의하여 주어졌을때 고분자 표면에서 분자배열 및 탄소성 변형 내지는 점탄성 유동이 발생하여 얇은 필름이 형성되는 것으로 믿어진다. 선형 고분자의 표면을 전자 빔 (electron beam) 이나 감마선 (gamma ray) 으로 조사하면 상당히 깊게 침투하여 고분자의 기계적 성질이 변화한다. 이때 방사선의 침투 깊이는 재료와 조사방법 (irradiation method) 및 조사환경 (environment), 조사 에너지에 따라 변화한다. 예를들면 HDPE 이 감마선으로 조사된 경우 교차결합 (crosslinking) 이 깊이 형성되어 연성 (ductile) 에서 메짐성 (brittle) 으로 성질이 변하며 마찰및 마모가 증가한다. 마모파편의 형성도 얇은 필름의 형태에서 두꺼운 덩어리 형태로 변화하는 것을 관찰 할 수 있다. PTFE 의 경우에는 조사된후에 마찰이 증가하고 마모가 감소함을 알 수 있다. PTFE 의 경우에는 교차결합은 전혀 발생하지 않고, 분자의 분해 (degradation) 에 의하여 미세형태 (morphology) 가 크게 달라진다. HDPE 의 표면을 헬륨 플라즈마로 처리하면 얇은 표면막에서만 교차결합이 발생하여 표면경화 (surface hardening) 현상이 나타난다. 이 경우 HDPE 의 마찰계수는 거의 변함이 없고 마모가 현저히 감소함을 알 수 있다.

비결정성 열가소성 수지, 결정성 열가소성 수지, 조사처리된 선형고분자, 열경화성 수지등의 마모특성을 설명하기 위하여 이제까지 정립된 대표적 마모 이론을 정리하고 고분자에 적합한 이론적 모델을 제시하고자 한다. 마모모델은

세 가지의 경우를 고려한다. 첫째는 선형고분자의 경우이고 둘째는 열경화성 수지, 비결정성 열가소성 수지 및 에너지 조사 (energy irradiation) 된 선형고분자의 경우이고, 셋째는 표면경화된 선형고분자의 경우이다. 첫째 경우는 고분자 표면층의 강도와 탄성계수가 나머지 부분보다 작다고 가정하고, 둘째의 경우는 전체고분자가 균질하다고 가정하며, 셋째의 경우는 표면경화에 의하여 표면층만 강도 및 탄성계수가 높다고 가정한다. 마찰에 의하여 수직응력과 수평응력이 접촉표면에 가해졌을 때 응력과 스트레인의 분포에 따라 소성변형의 크기를 알 수 있고 파괴(failure)가 가능한 지점을 추정할 수 있다. 첫째의 경우에는 표면층에서 연성파괴가 일어나 얇은 필름의 전달이 가능할 것이며, 둘째의 경우에는 표면층보다 아래에서 최대 변형이 발생하여 두꺼운 마모파편이 형성되며, 셋째의 경우에는 표면층이나 또는 그 아래층에서도 제한된 소성변형이 유발되나 그 변형의 크기가 작아서 마모가 최소가 될 것이다. 이러한 마모모델의 질적증명을 위하여 이행된 유한요소법을 이용한 탄소성 (elastic-plastic) 접촉 응력해석 (contact stress analysis)의 결과에 대하여 검토할 것이다. 또한 앞으로의 고분자 재료의 마모에 대한 연구방향을 제의하고 그 문제점을 제시하고자 한다.