

유성 기어 다단축의 응력 완화에 관한 연구

The Study for reducing stress in stepped shaft of Planetary gearbox

*김광영¹, #심재준², 이상석³

*K. Y. Kim(kykim@kimm.re.kr)¹, #J. J. Shim(shimjj7@paran.com)², S. S. Lee(lss234@bit.ac.kr)³

¹ 한국기계연구원 경남지역기계기술지원단, ² 부산정보대학 자동차기계계열, ³ 부산정보대학 자동차기계계열

Key words : Reducing Stress, Stepped Shaft, Planetary GearBox, Finie Element Analysis

1. 서론

반도체, 로봇 및 의료 분야에서처럼 높은 정도의 제어를 요구하는 초정밀 감속기에 대한 시장은 신뢰성 및 기술력의 부재로 인하여 수입 제품에 상당히 의존하고 있어 관련된 연구가 필요한 실정이다. 그러므로 중소기업의 독자 기술 개발 능력 및 원천 기술 확보를 위하여 관련 산업에 대한 연구가 다양하게 이루어져야 한다. 다양한 기계 부품들 중에서 가장 핵심적인 요소인 축의 설계는 매우 기초적인 부분이지만 기계의 정밀도 및 수명을 결정할 수 있는 중요한 작업이다. 이러한 축에 대한 설계는 이미 많은 연구가 이루어져 있으며, 특히 축에 대한 굽힘과 비틀림에 대한 논문도 상당히 많이 보고되고 있다. 이러한 논문 중에서 축의 비틀림에 관한 연구는 Fessler et al.(1969)과 Allison(1961)이 광탄성법으로, Weigland(1964)는 전기저항센서에 의한 필릿된 축에 관한 연구를 수행하였으며, Peterson(1963)은 수치적 방법을 통한 다단축의 응력집중계수에 대한 연구가 수행되었고, 또한 다양한 직경을 가진 축에서 발생하는 응력집중을 완화하기 위한 다수의 연구가 이루어져, 대표적으로 비틀림을 받는 다단 축에는 이중 필릿(Fillet)을 사용하는 방법등을 제시하였다.

하지만 베어링과 같이 축에 부착되는 다른 부품들의 제약에 의해서 다양한 직경을 가진 필릿을 사용할 수 없는 경우에 응력집중을 완화시키는 방법에 대해서는 Walter D. Pilkey(1997) 및 다양한 문헌에서 여러 가지 방법이 제시되고 있으나, 실제 현장에서 적용될 수 있는 그래프가 제시되지 못했다. 그러므로 본 연구에서는 유성 기어 감속기의 다단 축에 사용될 수 있는 다양한 응력 완화법의 효과를 유한요소해석을 통하여 분석하여 차후에 유사한 모델의 설계에서 적용할 수 있도록 하였다.

2. 본문

2.1. 응력 완화 모델

형상이나 하중 변화의 급격하게 발생하는 곳은 일반적인 응력보다 큰 응력이 발생하는 데, 이러한 현상을 응력집중계수로서 표현한다. 하지만 응력집중현상은 설계에서 항상 문제가 되어 왔으며, 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 조건에 적절한 방안이 제시되어 왔다. 본 연구에서는 기존의 연구에서 제안된 응력 완화 모델을 분석하고, 또한 각각의 응력완화 모델을 구성하는 파라메타가 실제로 응력완화에 미치는 영향성을 분석하고자 하였다. Fig. 1에는 제안된 응력완화 모델과 모델을 구성하는 파라메타를 보여주고 있다.

2.2. 해석 모델

본 연구에서 적용한 유성 기어 감속기는 6Nm- 60Nm의 범위에서 5:1의 감속비를 가지는 제품으로 백래쉬에 대한 신뢰도가 1arc-min이하로 매우 정밀한 제품이나 감속기의 소형화 및 경량화에 대한 요구로 인하여 축에 대한 설계 변경이 필요하다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 Fig. 1에서 제시된 모델에 대해 유한요소해석을 수행하여 응력완화에 미치는 영향을 분석하고, 적정 치수를 도출하고자 하였다.

유한요소해석에서는 유성기어와 연결되는 곳을 고정하고 외부로 연결되는 키 부분에 회전 비틀림을 추가하여야 하나, 본 연구에서는 모델의 일반화를 위하여 키를 제외하고 단순 축으로 모델을 구성하고, 동일한 토크가 발생할 수 있도록 외곽에 위치한 절점에 대해 접선방향으로 동일한 토크가 발생할 수 있는 하중을

균일하게 부여하였다. 해석은 ANSYS 11을 사용하였으며, 불균일한 형상으로 사용된 요소는 사면체요소(187)로 메시를 수행하였으며, 고정부나 홀주변에는 메시수를 증가시켜 해석 결과의 신뢰도를 향상시켰다. Fig. 2에는 해석에서 사용되는 모델의 메시된 형상과 부과된 경계 및 하중 조건을 보여주고 있다.

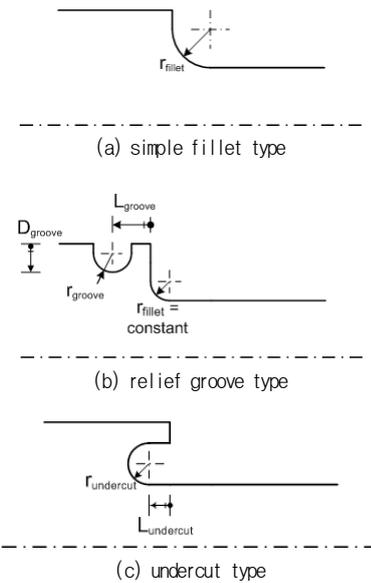


Fig. 1 단순 모델과 파라메타 정의

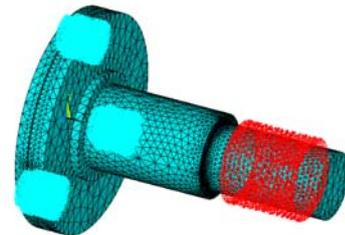


Fig. 2 하중 및 경계 조건이 부과된 감속기 축의 메시된 형상

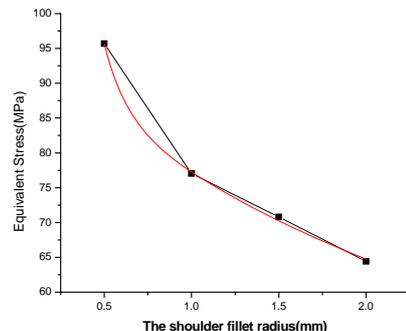


Fig. 3 단순 필릿 반지름의 변화에 따른 상당응력값

3. 결과

3.1. simple fillet type

필릿 반지름이 0.5mm인 경우에 95.69MPa이 발생하였고, 반지

름이 1mm인 경우에는 77.03MPa이 발생하다. 그리고 반지름의 크기가 증가함에 따라서 최대 상당응력값이 감소함을 알 수 있다. 가장 급격하게 감소를 보이는 곳은 축 반지름(10mm)에 대한 필릿 반지름비가 0.1인 곳에서 발생하고 있어, 축의 설계에서는 필릿 반지름을 1mm로 하는 것이 유리하나, 축의 반지름이 20mm인 경우에 사용되는 베어링 상부 코너의 유효 반지름이 0.5 - 1.1mm이므로, 본 연구에서 응력 완화 효과를 비교할 수 있는 기준을 필릿 반지름이 0.5mm가 적용된 모델로 정의하였다.

3.2. relief Groove type

3.2.1 groove 반지름 변화

Groove 반지름의 크기가 0.5mm인 경우에 105.49MPa로 상당히 높게 발생하여 응력집중은 증대되고 있음을 알 수 있다. 하지만 groove 반지름의 크기가 1mm보다 커지면서 응력은 94.43MPa로 감소하고, 2mm에서는 80.94MPa로 기준값보다 15.4%의 응력완화를 얻을 수 있었다. 응력분포의 변화를 확인하면, 반지름이 증가할수록 groove 주변으로 응력이 분산되어 발생하고 있음을 알 수 있으며 최대상당응력도 상당히 낮아짐을 알 수 있다.

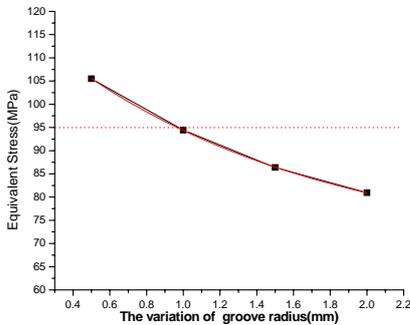


Fig. 4 Groove 반지름의 변화에 따른 최대상당응력값

3.2.2 groove 중심의 위치 변화

Relief groove 중심의 위치가 3.5mm까지는 최대상당응력값의 증가폭은 증가하나 그 값은 90.77MPa로 기준값보다 4.9MPa 적게 발생한다. 4mm 이상에서는 크게 증가되어 발생하여 5mm인 경우에는 107.85MPa로 112.7%로 증가함을 알 수 있다. 이것은 groove의 위치가 응력완화에 중요한 역할을 수행하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 다단축 반지름에 대한 groove 중심의 거리에 대한 비가 0.4를 증가하면 응력완화 효과는 없는 것으로 사료된다.

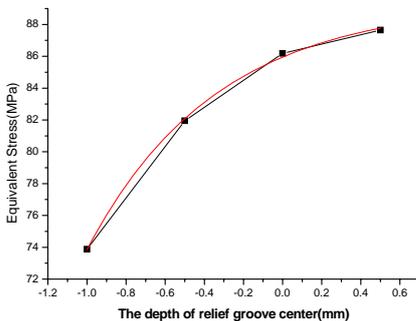


Fig. 5 Groove 중심이 축의 반지름 방향 변화에 따른 최대상당응력값

3.2.3 groove 중심의 깊이 변화

다단축에서 직경이 큰 실린더보다 groove의 중심이 벗어난 지점에서 응력이 증가함을 알 수 있으며, 특히 다단축의 외경으로부터 1mm 만큼 홈의 중심이 이동한 경우에 가장 낮은 상당응력이 발생하고 있으며, 상당응력의 증가는 깊이 감소할수록 급격하게 증가하다가 외경보다 높은 경우에 증가폭이 둔화되고 있음을 알 수 있다. 그러므로 깊이에 대한 직경비가 0.05보다 작은 경우에 응력 집중 효과의 완화는 크게 발생하고 있다. 그리고 모든 값에서 단순 필릿보다 발생하는 최대 상당응력은 낮게 발생하고 있으며, 최대 22.8% 감소됨을 알 수 있다.

3.3. undercut type

3.3.1 Undercut 반지름 변화

코너에서 발생하는 응력집중을 완화시키기 위하여 코너의 끝단에서 축방향으로 가공하여 반원을 만드는 데, 반원의 반지름 크기에 따라서 발생하는 최대상당응력값을 Fig. 6에 나타내었다. Undercut 반지름의 크기가 0.25mm인 경우에 117.06MPa로 상당히 높게 발생하여 노치효과에 의한 응력집중은 증대되고 있음을 알 수 있다. 하지만 반지름의 크기가 0.5mm보다 커지면서 응력은 96.63MPa로 감소하고, 1mm가 되면서, 코너에서 발생하는 최대상당응력값은 75.55MPa로 기준값의 79.0%까지 급격하게 낮아짐을 알 수 있다.

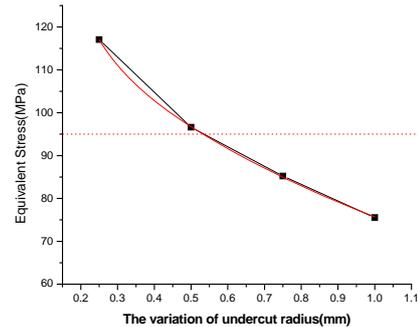


Fig. 6 Undercut 반지름의 변화에 따른 상당응력값

3.3.2 Undercut 중심의 위치 변화

undercut의 중심이 축방향으로 직경이 큰 축으로 이동하여 최대상당응력의 변화는 거의 발생하지 않으나, 반대 방향으로 이동하여 코너부에 급격한 형상 변화가 발생하게 되면 응력집중에 증대되어 108.98MPa 발생하게 된다. 즉 응력집중이 증가되는 형상의 급격한 변화가 발생하게 된다. 특히 undercut의 중심이 직경이 작은 축 방향으로 이동한 경우에는 0.5mm 반지름에서 발생하는 응력증가폭은 매우 크게 발생함을 알 수 있다.

4. 결론

1. groove 반지름의 크기가 1mm보다 커지면서 응력은 94.43MPa로 감소하고, 다단축 반지름에 대한 groove 반지름비가 0.2에서는 80.94MPa로 기준값보다 15.4%의 응력완화를 얻을 수 있다.
2. 다단축 반지름에 대한 groove 중심의 거리에 대한 비가 0.4를 증가하면 응력완화 효과는 없으나 0.4보다 작은 경우에는 상당한 응력집중을 완화시킬 수 있을 것이다. 깊이 변화에서 모든 값에서 단순 필릿보다 발생하는 최대 상당응력은 낮게 발생하고 있으며, 최대 22.8% 감소됨을 알 수 있다.
3. Undercut 반지름의 크기가 0.5mm보다 커지면서 응력은 96.63MPa로 감소하고, 다단축 반지름에 대한 undercut 반지름비가 0.1이 되면, 코너에서 발생하는 최대상당응력값은 75.55MPa로 기준값의 79.0%까지 급격하게 낮아짐을 알 수 있다. 또한 undercut 중심의 거리가 0, 즉 코너의 끝단에 위치보다 큰 직경에 위치는 하는 것이 가장 안전하다.

참고문헌

1. Walter D. Pilkey, Peterson's Stress Concentration Factors, New York, JOHN WILEY & SONS, 135-174, 1997.
2. 오세욱, 재료역학, 동명사, 66-150, 1990.
3. 김효철, "축인장하의 평판의 단부 Fillet 근처의 Relieving Groove 가 응력집중에 미치는 영향", 대한조선학회지, 6권 2호, 5-10, 1969.
4. 정인성, "원통이 붙은 평판의 응력집중완화에 대한 연구", 한국정밀공학회지, 11권 5호, 98-109, 1994.
5. 강도설계데이터북 편집위원회, 강도 설계 데이터북, 기전연구사, 585-625, 1999.