V형 토크로드의 굽힘 피로해석에 관한 연구

A Study on Bending Fatique analysis of V-type Torque Rod

*장효필[1], #한동섭[2], 한근조[3]
*H. P. Jang[1], #D. S. Han[2] , G. J. Han[3]
[1] 동아대학교 기계공학과, [2]동아대학교 BK21 총괄사업단, [3]동아대학교 기계공학부

Key words : V-Type Torque Rod, Bending, Friction weld, Fatique Cycle

1. 서론

현재 우리나라는 버스나 대형 상용차의 추진축에 위치한 현가장치 토크로드를 대부분 수입에 의존하고 있으며, 제작방식 또한 마찰용접이 아닌 End Rod와 Tube의 연결을 위해 End Rod의 끝부분에 돌출부를 만들어 Tube에 삽입하고 CO_2 자동용접을 사용하고 있다. 이 같은 제작방식은 위상제어가 어려워 생상성이 낮고 용접부의 치수변형이 발생하는 문제점과 End Rod의 용접을 위한 돌출부로 인한 자중 및 재료비 증가로 인해 NOVUS EURO4(경량화 규제)를 만족 시킬 수 없다. 현재 선진국에서는 이러한 규제를 해결하기 위해 이미 프레스 압착방식 또는 마찰용접 방식을 사용하여 제품을 생산하고 있다. 국내의 경우 이러한 방법을 몇몇 업체에서 시도는 하고 있지만 아직 시작하는 단계에 불과하다. 이러한 실정으로 인해 국내 기술력의 후퇴와 더불어 제품의 전량 수입에 의한 외화유출 및 국내시장 잠식이 우려되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 마찰용접을 이용한 V형 토크로드에 작용하는 하중과 지속적인 피로하중에 의한 굽힘 수명에 대한 연구를 수행하고자 한다.

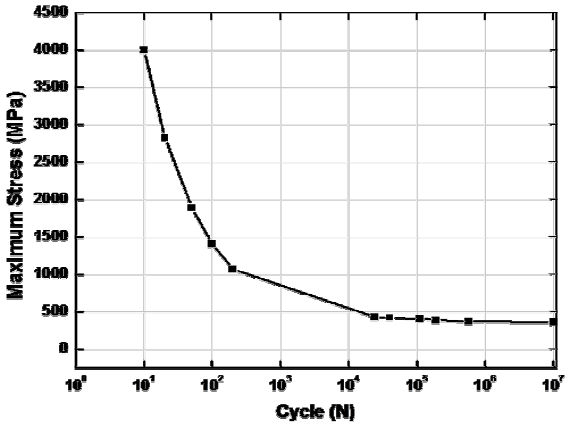
2. 토크로드 형상 및 유한 요소 해석

굽힘 하중을 고려한 토크로드는 일반적으로 고무부싱을 End Rod에 부착하여 사용된다. 고무부싱은 차체의 추진축에 위치하여 운행 중 노면의 굴곡에 의해 축이 받는 하중을 부싱에 의해 감소시키는 역할을 한다. V-type 토크로드에는 부싱이 중앙과 양 끝에 들어가지만 부싱을 적용하지 않은 토크로드에 하중을 가하여 굽힘 피로수명을 예측하였다.

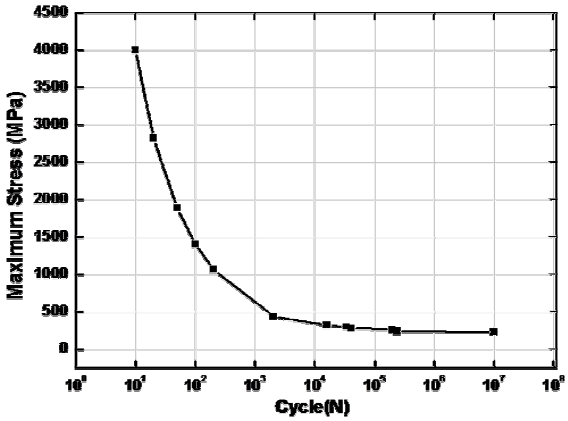
먼저 토크로드에 작용하는 하중에 대한 경향을 알아보기 위하여 범용 3D 모델러인 INVENTOR 10.0을 사용하여 모델링을 수행하였고 그에 따른 유한 요소 해석을 위하여 범용 해석 프로그램인 ANSYS WORKBENCH 11을 사용하여 토크로드의 굽힘 해석을 수행하였다. 토크로드의 하중조건은 국내 자동차 피로시험 규격인 JAIIC의 기준을 만족하는 하중조건을 적용하였다. 피로시험 규격은 전후방향 ±8,500 kgf의 하중으로 1,000,000 cycle을 만족해야하고 상하방향 ±15° 의 각도로 1,000,000 cycle을 만족시켜야 한다. 본 연구에서는 인장, 압축으로 인한 굽힘은 일어나지 않는다는 가정을 하였으며 결국 굽힘 하중에 발생하는 변위, 즉 상하방향 각도를 하중조건으로 설정하고 변위구속 조건을 사용하여 해석을 수행하였다. 변위 구속을 설정하기 위하여 한쪽 튜브를 중심으로 중앙 엔드로드의 각도를 설정하고 삼각비를 사용하여 ±7.5° 씩 계산하여 변위를 설정하였다. 구속조건으로 중앙 엔드로드를 고정한 후 양쪽 엔드로드에 변위를 적용 하였다. 그리고 튜브와 엔드로드의 재료 S-N 커브를 바탕으로 굽힘 해석을 실행하여 수명시간을 예측해 보았다.

재료별 S-N 커브를 분석해 보면 SM45C 재료인 엔드로드는 항복응력이 490MPa 이고 내구한도가 1,000,000 cycle에서 370MPa 로 나타났다. 이는 해석을 수행 했을 시 최대응력이 내구한도의 응력보다 낮게 나타난다면 수명을 만족한다고 판단하는 근거가 된다. STKM14B 재료인 튜브 또한 항복응력이 355MPa 이고 내구한도는 240MPa 로 나타났으며 이 또한 수명을 판단할 수 있는 근거가 된다.

앞에서 말한 재료별 S-N 커브와 변위조건을 바탕으로 최대발생응력과 각 재료의 수명시간을 예측해 보았다.



(a) SM45C



(b) STKM14B

Fig. 1 S-N Curve of Materials

3. 해석 결과 및 고찰

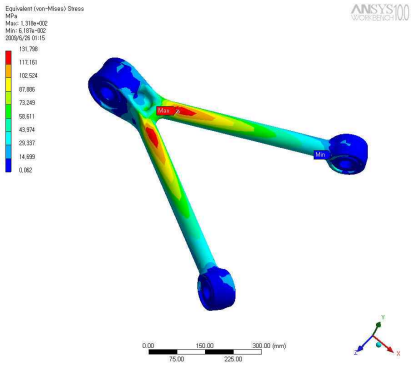
앞서 언급한 조건을 이용하여 굽힘 해석을 수행하였고 그 결과를 Table 1 과 Fig. 2 에 나타내었다.

Table 1 Maximum Stress of the Torque Rod according to the materials

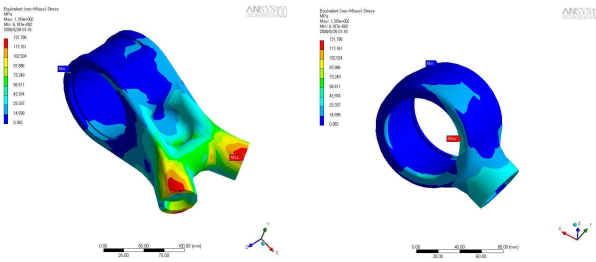
Frictional Surface	Yield Strength	Maximum Stress	Cycle	Materials
End Rod (edge)	490 MPa	29MPa	1,000,000≥	SM45C(QT)
Tube (edge)	355MPa	40MPa	1,000,000≥	STKM14B-E
End Rod (middle)	490MPa	131MPa	1,000,000≥	SM45C(QT)
Tube (middle)	355MPa	127MPa	1,000,000≥	STKM14B-E

Table 1 에는 각 재료별 최대발생응력과 수명을 나타내었다. 위의 결과를 분석해 보면 중앙 엔드로드 마찰 면에서 가장 큰 응력이 발생함을 알 수 있으며 반대로 양끝 엔드로드의 마찰 면에서는 그리 크지 않은 응력이 발생함을 알 수 있다. 그리고 두 부분 모두 재료의 내구한도를 참고 하였을 때 1,000,000

Cycle 이상의 수명시간을 보인다는 것을 알 수 있다.



(a) Von-Mises Stress of V-Rod



(b) End Rod(Center) (c) End Rod(End)

Fig. 2 Stress of V-type Torque Rod

굽힘 반복하중을 적용 하였을 경우 양끝단의 엔드로드에 변위 조건을 가하고 중앙을 고정시켜 해석하였기 때문에 양끝단의 마찰면보다 중앙 엔드로드의 마찰면에서 최대 응력이 발생한 것으로 나타난다. 이와 같은 결과는 전후방향 하중을 가할 시 인장, 압축응력을 반복적으로 받아 튜브와 엔드로드의 마찰면이 아닌 엔드로드 중앙에서 30° 떨어진 곳에 최대응력이 발생하는 것과는 매우 대조적인 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. 마찰용접이 가해진 부분에서 전후방향 하중을 가할 시 두께차를 달리하여 설계변수를 바꾸는 반면 굽힘에 관하여는 고려를 하지 않은 해석이기 때문에 연구의 정확성을 높이기 위해서는 마찰면에 대한 굽힘 해석 또한 고려하여야 함을 알 수 있다. 또한 제품의 경량화를 위해서는 기존 모델에서 압입부만 제거하여 무게를 줄이는 것이 아니라 튜브의 두께를 조절하고 엔드로드의 가장 낮은 응력이 발생하는 부분의 최적설계를 통하여 경량화 설계를 해야 하며 차량의 하부 서스펜션을 설계할 때에도 토크로드에 작용하는 굽힘 하중을 최소화 하는 방향으로 설계를 해야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 차량의 마찰용접된 토크로드의 굽힘 하중을 받을 때의 구조해석과 피로수명에 관한 분석을 시행하였다. 마찰용접의 경우 용접효율이 1에 거의 근접하기 때문에 엔드로드와 튜브가 붙어 있다는 가정 하에 해석을 수행하였다.

변위조건을 적용시켜 해석을 수행한 결과 모든 부분에서 내구한도를 만족하는 것으로 나타났으며 가장 중요한 마찰면에서의 내구한도 또한 충분히 만족하는 것으로 나타났다.

V형 토크로드는 I형 토크로드를 중첩시켜 놓은 형상을 하고 있어 그 구조상 두 개의 토크로드가 움직이는 결과를 나타냄으로 한쪽의 변위에 의한 하중이 다른 한쪽의 하중과 함께 중앙 엔드로드에 동반됨을 생각해 볼 수 있다. 그리고 중앙 엔드로드 부분에서 최대응력이 발생함으로 이것에 의한 또 다른 하중의 중첩이 발생할 가능성이 있어 중앙 엔드로드의 움직임에 여유를 두어 서로의 간섭으로 인한 응력을 완화 시킬 필요가 있다.

토크로드는 인장, 압축 하중에 비중을 많이 두는 구조물이지만 상하방향의 굽힘 변위에 따른 하중에도 많은 응력이 발생한다. 또한 국내 평가 기관인 JAIIC의 평가 기준이 달라짐에 따라 다각도의 유연한 연구의 재시도가 필요하다.

후기

본 논문은 지식경제부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 신소형재 가공청정공정개발연구센터 지원으로 수행된 연구임.

참고문헌

1. Lee, S.B. 1984, "Development of a Structural Fatique Testing Machine and Its Application"
2. Jung, S. H. "Strain Concentration and Fatigue Strength In Friction Welded Joints", 1975, *KSME*, 15/4, 390~397.
3. Yoo, Y. S., Kwon, H. S. and Yun, S. H., 1999, "The Structral and Fatigue Analysis for the Bogie Frame of the Rubber Wheel AGT", *KSR*, 9905, 31~38.
4. Lee. S. B., Kim, W. D., 1990, "A study on Performance Evaluation of Rod Rubber Bushing under Static and Fatigue Loadings", *KSME*, 5, 1320~1329.