

# 열처리를 고려한 파워트레인 부품의 피로수명 평가

## Fatigue Life Evaluation of the Power Train Part with Teat Treatment

허만대<sup>1</sup>, \*#심태양<sup>2</sup>, 이광오<sup>3</sup>, 강성수<sup>3</sup>

M. D. Hur<sup>1</sup>, \*#T. Y. Shim<sup>2</sup>(simsun@pusan.ac.kr), K. O. Lee<sup>3</sup>, S. S. Kang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>평화 발레오, <sup>2</sup>부산대학교 정밀기계공학과, <sup>3</sup>부산대학교 기계공학부

Key words : LCF, SCM435, heat treatment, impact factor, Dual mass flywheel(DMF)

### 1. 서론

현재 자동차 산업에서는 성능 및 연비증대를 위해 엔진의 출력 증대(고마력화)등의 여러 가지 기술을 적용하고 있으며 동력전달장치에 있어서 기본적인 기능뿐만 아니라 차체의 소음과 진동 그리고 승차감의 향상을 요구하고 있는 실정이다.

이러한 산업적 요구를 수용하여 현재 자동차 업계에서는 차세대 플라이휠을 개발하고 있다.

특히 Dual Mass Flywheel은 동력전달장치로서의 기본적인 기능뿐만 아니라 소음, 진동, 승차감의 성능향상에 효과적인 Clutch System이다.

따라서 국내 자동차 업계에서도 이 Dual Mass Flywheel(DMF)을 개발 및 양산에 들어가고 있다.

특히, 출력의 증가에 따라 DMF의 부품설계 초기단계에서 내구(피로)해석(Durability & Fatigue Analysis)을 수행함으로써 개발비용(Development Costs)과 시험비용(Test Costs)을 줄이고 짧아진 제품 주기(Product Life Cycle)에 적극 대응할 수 있으며, 제품의 내구(피로)특성을 평가하여 최적의 설계 안을 도출하여 신뢰성을 높이는 연구가 진행되어야 한다.

특히, DMF에서 동력을 전달하는 Drive/plate는 실차 테스트에서 Neck파트에서 파단이 발생하고 더 이상 형상설계에서 한계에 도달하게 되었고 열처리를 통하여 내구성 향상을 피하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 동력전달 부품의 피로수명을 평가하고 열처리가 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구를 하고자 한다.

Drive/plate의 Neck파트(Fig. 1)에 대하여 고주파열처리를 통하여 피로성능을 향상시키고자 피로수명을 평가하여 신뢰성을 확보해야 한다.

본 연구에서는 Drive/plate의 원소재와 열처리품에 대하여 피로 물성을 획득하여 피로해석을 통하여 수명 평가를 실시하고, 피로 해석은 실험에 대한 Rig-test를 통하여 타당성을 검증하고 피로수명에 열처리가 어떠한 영향을 끼치는지 고찰하고자 한다.

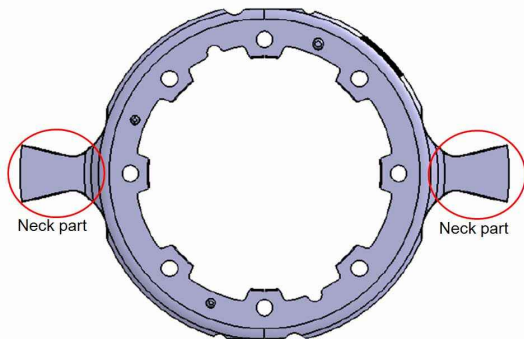


Fig. 1 Neck parts of a drive plate

### 2. 실험 및 실험결과

본 연구에서 고려하고 있는 Dual mass flywheel이 실제로 받고 있는 하중형태를 고려해볼 필요가 있다.

Rig-test 장비는 Fig. 2에 나타내고 있다. 실험이 Rig test상에서 파단되는 원인의 하중이 무엇인지를 구조해석을 통하여 확인할 수 있다. 모델이 완전 탄성체라는 가정하에 Rig-test상에서 적용되

는 하중을 고려했을 때 Neck 부분에서 나타나는 응력이 항복응력의 근처에서 형성이 된다면 이는 Strain-life method<sup>1</sup>를 고려하는 것이 타당하다고 할 수 있다.

실험과 동일하게 모델링한 후 상용 유한요소해석 프로그램인 MSC.MARC를 이용하여 구조해석을 실시(Fig. 3)하여 다음과 같은 결과를 획득했다.

Neck파트에서 응력이 최대 441MPa이 걸리고 Drive/plate의 소재의 인장강도가 404MPa임을 고려해볼 때 Strain-life method를 적용해야 한다.

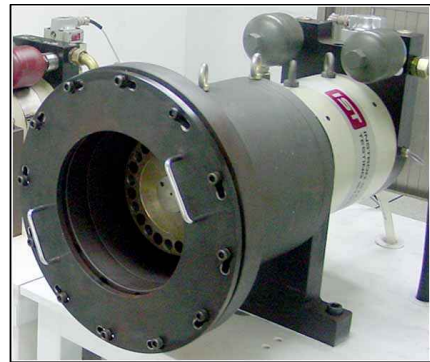


Fig. 2 Rig-test equipment (D3-test equipment)

실험에 사용된 재료는 Dual Mass Flywheel의 Drive-plate로 소재로 사용되고 있는 크롬 몰리브덴 강(SCM435)<sup>2</sup>을 사용하였으며 재료의 기본적인 물성을 획득하였다.

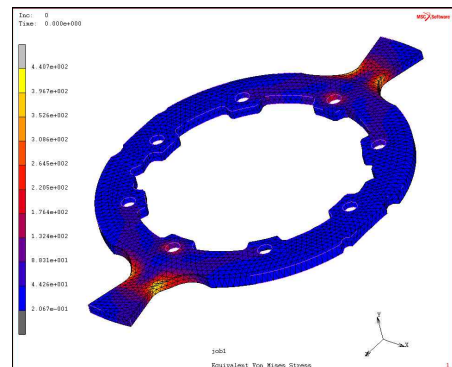


Fig. 3 FEM model and static analysis result

시험편에 적용된 열처리 공정은 고주파 유도가열 열처리공정으로 고주파유도가열 열처리를 사용하여 가열하고 완전한 오스테나이트 조직으로 만들고 표면과 내부의 균일한 온도가 되도록 약 2분간 유지한 후, 상온의 냉각수 속으로 빠뜨림으로써 마르텐사이트 조직을 만드는 공정이다.<sup>2</sup>

기계적 물성과 피로물성을 획득하기 위하여 본 연구에서는 유압식 단축 만능 재료시험기(Instron 8501)를 사용하여 수행했다. 상온피로시험은 변형률 제어(Strain control)로 수행되었으며, 변형률 제어를 하기위하여 Dynamic extensometer를 사용하였다.

데이터는 Data acquisition system(Instron 32-bit SAX version V9.3)을 통해 획득하였다.

실험은 상온에서 인장시험을 통해 재료의 Monotonic stress-strain curve와 기본 물성치를 획득하였다 상온에서의 인장 시험은 상온지그를 사용하여 최대인장하중까지 일정하게 변형

를 증가시켜 응력과 변형률과 탄성계수 값을 측정하였다. 그리고 일정 변형률 하에서 상온 단축 피로실험을 수행하여 변형률에 따른 수명데이터를 획득하였다. 이 때 R은 -1로 진행하였으며 사이클 속도는 1Hz로 수행하였다.<sup>1</sup>  $\epsilon_a$  (Strain amplitude)는 Monotonic stress-strain curve를 고려하여 원소재시편의 경우에는 0.2%strain에서 0.9%strain까지 적용하였으며 열처리시편의 경우에는 0.2%strain에서 0.6%strain까지 적용하여 수행하였다.

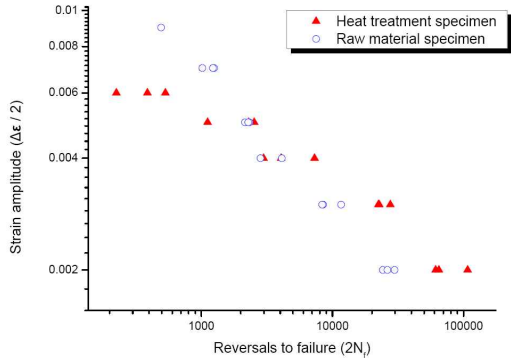


Fig. 4 Strain-life point of heat treatment specimen and raw material specimen

Fig. 4는 원소재 시편과 열처리 시편의 LCF 시험결과이며 각각의 Strain-life point를 이용하여 소성 변형률과 탄성 변형률을 나눌 수 있으며 Strain-life equation을 이용하여 Fatigue strength coefficient( $\sigma_f$ ), Fatigue strength exponent(b), Fatigue ductility coefficient( $\epsilon_f$ ) 그리고 Fatigue ductility exponent(c)를 획득 할 수 있다.<sup>1</sup>

피로물성은 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Fatigue property

| Fatigue property              | Raw material | Heat treatment material |
|-------------------------------|--------------|-------------------------|
| Young's modulus (MPa)         | 205000       | 205000                  |
| Fatigue strength coefficient  | 599.39603    | 3741                    |
| Fatigue strength exponent     | -0.06662     | -0.1893                 |
| Fatigue ductility coefficient | 0.41046      | 0.00264                 |
| Fatigue ductility exponent    | -0.63787     | -0.3106                 |

### 3. 피로해석 및 검증

구조해석은 상용 유한요소해석 프로그램인 MSC.MARC를 이용하여 응력분포를 획득하였다.

피로해석은 MSC.FATIGUE을 이용하여 수행하였다.

해석방법은 변형률-수명 방법을 사용하였으며 생존확률은 99%로 설정하였으며 하중조건은 Rig-test에서 적용되어지는 동일한 하중을 적용하여 피로수명을 구하였다.

특히, Rig-test시 적용되는 하중은 LCF 시험시 실시되는 하중과 달리 임팩트가 고려되어야 하므로 2.5의 impact factor를 적용하여 해석을 실시하였다.

Fig. 5는 해석결과를 나타내었다. Drive/plate의 취약부분은 구조해석과 피로해석상에서 Neck parts(Fig. 1)이었다.

Table 2에 예측수명과 Rig-test결과를 나타내었다.

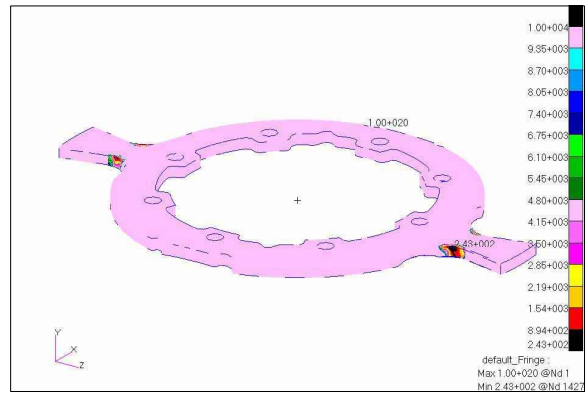
열처리품의 경우에는 해석결과와 Rig-test결과가 근소한 오차를 나타내나 원소재의 경우에는 비교적 큰 오차를 나타낸다.

이는 정확한 피로물성치 미비와 피로시험의 적용하중형태와 Rig-test의 적용하중형태의 차이로 생각되어진다.

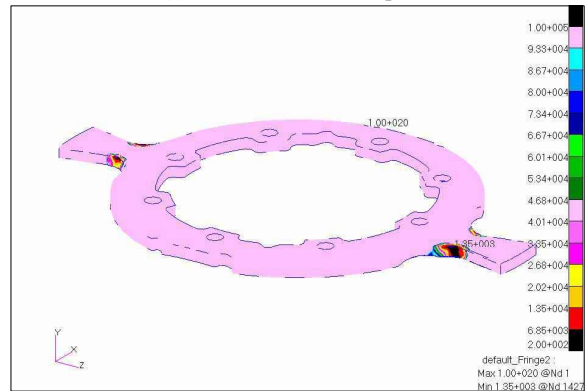
두 수명이 Log scale의 상에서 평가함을 고려해 볼 때 피로해석의 신뢰성이 있다고 판단된다.

Table 2 Analysis result versus Rig-test result

|                               |            |      |
|-------------------------------|------------|------|
| Result of raw material part   | Analysis   | 243  |
|                               | Rig - test | 100  |
| Result of heat treatment part | Analysis   | 1350 |
|                               | Rig - test | 1440 |



(a) Raw material drive/plate



(b) Heat treatment material drive/plate

Fig. 5 Fatigue analysis result of drive/plate

### 4. 결론

본 연구에서는 Dual mass flywheel에서 동력을 전달하는 부품이 Drive/plate의 피로물성을 획득하고 피로해석을 수행하였고, 실패에 대한 Rig-test 결과와 각각 비교하여 피로해석 절차에 대한 신뢰성을 평가를 수행하였다.

그리고 열처리가 피로성능에 미치는 영향을 고려하기 위하여 열처리품에 대한 피로실험을 실시하고 원소재 피로해석과 같은 절차를 진행하여 피로수명을 평가하였으며 Rig-test결과와 비교하여 예측된 피로수명의 신뢰성을 검증하였다. 제시된 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) LCF시험결과 열처리품은 낮은 변형률 범위에서 원소재보다 우수한 피로성능을 나타내었으나, 높은 변형률 범위에서는 원소재가 우수한 피로성능을 가지는 것으로 평가되었다. 실패에 높은 하중이 적용될 경우 피로수명은 다른 거동이 나타날 것이라고 예상되어지며 이 문제는 추가적인 실험결과를 토대로 하여 후속 연구에서 제론하기로 한다.

(2) Rig-test에 적용되는 하중이력을 피로해석에 동일하게 적용하여 수행한 결과 Rig-test결과와 피로해석결과가 각각 100사이클과 243사이클이 나타났으며, 열처리 효과를 고려하기 위하여 열처리품의 피로물성을 획득하고 원소재 피로시험 절차와 같이 피로수명을 평가한 결과, 해석결과와 Rig-test결과가 각각 1350사이클과 1440사이클로 평가되었다.

### 참고문헌

- Lee, Y. I., Pan, J., Hathaway, R. B. and Barkey, M. E., "Fatigue testing and analysis: Theory and Practice," Burlington, Mass Elsevier, 2005. Font: Times New Roman 9pt.
- 송삼홍, 이상훈, "침탄질화 처리된 크롬-몰리브덴(SCM415)강의 피로거동 및 응력해석 (2)," 한국 정밀공학회지, Vol. 17, No. 5, May 2000.