

# 듀얼클러치 변속기의 쉬프트 포크에 관한 피로해석 연구

김경훈\* · 정종규\*\* · 원종진\*\*\* · 정재일\*\*\*\*

## Fatigue Study for a Shift Fork of a Dual Clutch Transmission

Kyoungsoon Kim\*, Jongkyu Jeong\*\*, Jongjin Won\*\*\*, Jayil Jeong\*\*\*\*

Key Words : DCT(듀얼클러치 트랜스미션), Shift Mechanism(변속 메커니즘), Dynamic Simulation(동역학적 시뮬레이션), Fatigue Analysis(피로해석)

### ABSTRACT

본 논문은 듀얼클러치 변속기 변속 메커니즘 개발을 위한 동역학적 시뮬레이션 해석 및 피로수명 해석에 관한 연구이다. 캠을 이용한 쉬프트 포크의 이송으로 기어를 변속하는 개념을 갖는 쉬프트 메커니즘의 작동성 및 설계안 검증에 대해 캠의 회전 속도, 접촉면의 경계조건 및 싱크로나이저 슬리브에서의 저항을 반영한 모델링을 구성하여 동역학적 시뮬레이션을 실시하였다. 각 파트의 응력 및 변형을 발생을 해석하여 설계 개선안을 도출하고, 개선안이 반영된 최종 시작모델의 시뮬레이션 상 최대 응력 발생 시점에서 쉬프트 포크의 각 접촉면 별 외력 작용을 분석하여 이를 적용한 피로 해석을 진행하였다.

### 1. 서론

최근 세계 각국에서는 환경오염의 심각성을 인식하고 온실가스 배출을 제한하는 규정을 제정하여 발표하고 있으며, 자동차산업에서 이에 대응하는 고효율의 차세대 동력전달시스템의 개발이 필수적인 사항이 되었다. 듀얼 클러치 트랜스미션은 동력전달의 손실 시간을 줄여주어 연비성능을 개선하고 배출가스의 발생을 감소시켜 이러한 차세대 동력전달장치로 적합하다.

듀얼클러치 트랜스미션은 두 개의 클러치에 각각 동력전달축이 연결되고 각각에 기어비가 다른 기어들이 연결되어있는 구조로 내부 구성부품이 기존 변속기와는 다른 형태의 배치를 갖는다. 듀얼클러치 트랜스미션의 변속 메커니즘 개발에서는 이러한 특성을 반영한 작동성 파악 및 각 부품의 강도해석이 필요하다. 본 논문에서는 작동 조건을 반영한 변속 메커니즘 모

델과 쉬프트 포크의 유한요소 모델을 구성하여 동역학적 시뮬레이션을 실시하였고, 결과 분석을 통한 설계안의 검증 및 개선안을 도출하였으며, 최종 개선안의 피로수명을 예측하기 위한 연구를 수행하였다.

### 2. 시뮬레이션 해석

#### 2.1 변속 메커니즘

변속 메커니즘은 두 개의 입력 축과 각 축별 2개씩의 싱크로나이저 슬리브와 포크를 가지고 있고 포크는 레일에 고정되어 입력축과 평행하는 축 방향 운동을 한다. 각 포크에 달려있는 팔로워가 캠의 스플라인을 따라 운동하여 포크를 이송시키며, 포크가 접속해있는 싱크로나이저 슬리브를 움직여 기어와 입력축이 접속 또는 분리하게 해준다.

\* 국민대학교 기계설계학과

\*\* 국민대학교 기계시스템 공학부

E-mail : kh\_kim@kookmin.ac.kr

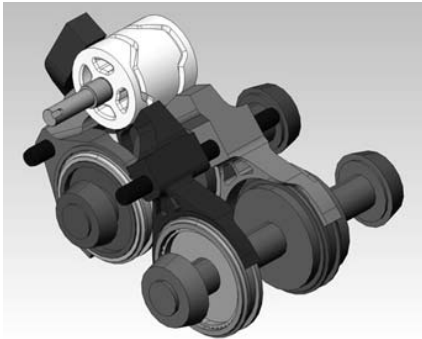


Fig. 1 Dual Clutch Transmission Shift Mechanism

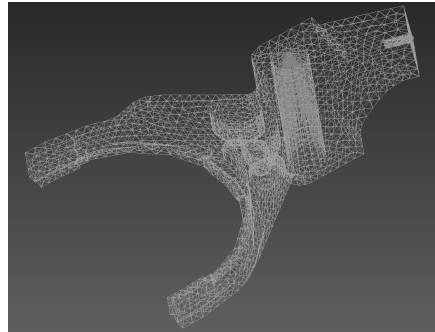


Fig. 4 Finite Element model of Fork1

Table. 1 Element and Node Number of Fork 1,2,3,4

Fork No.	1	2	3	4
Element	25701	19690	23267	23660
Node	5872	4619	5241	5583

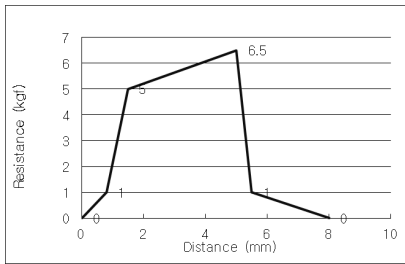


Fig. 2 Resistance-Distance From the Center to the Outside

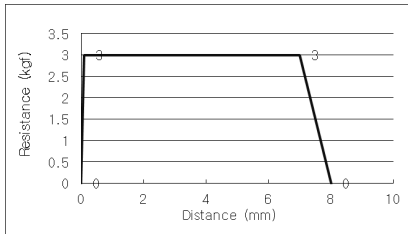


Fig. 3 Resistance-Distance From the Outside to the Center

## 2.2 해석조건

두 개의 입력 축은 회전 구속을 하였고 레일은 양 끝단을 고정 구속 하였다. 경계조건은 캠-팔로우에서 마찰계수 0.15, 포크-레일에서 마찰계수 0.2, 싱크로나이저 슬리브의 마찰계수 0.15로 적용하였고 슬리브의 운동거리에 따른 저항조건을 주었다. 중앙에서 외곽으로 이동 시 Fig. 2, 외곽에서 중앙으로 이동 시 Fig. 3에 나타난 것과 같은 저항력이 슬리브의 중심에 작용된다.

캠은 일정한 변속 시간을 맞추기 위해 토크가 아닌 회전속도를 기준으로한 운동 조건을 적용하였으며, 캠

중심축을 45RPM의 속도로 회전시켰다.

## 2.3 유한요소 모델 구성

변속 작동상황에서 각 포크의 응력 및 변형 해석을 위해 포크의 유한요소 모델을 구성하였다. 사용된 요소(element)는 사면체(Tetrahedron) 요소로 각 포크의 요소 수와 노드 점의 수는 Table. 1 와 같다. 포크의 재질은 KS규격 GCD600로써 항복응력이 331MPa, 탄성계수가 168GPa, 포아송 비 0.31, 밀도가 7.85g/cm<sup>3</sup>이다.

## 2.4 시뮬레이션 해석 및 결과

해석조건과 유한요소 모델이 반영된 모델을 다물체 동역학 해석프로그램인 RecurDyn V7R5을 이용하여 시뮬레이션 해석을 실시. 해석시간은 1.8초에 100스텝으로 각 포크별로 나누어 진행하였다.

해석 결과 포크1,2,3번의 응력발생 범위는 35~40MPa로 GCD600재질의 항복응력 362MPa에 대하여 9~11% 수준으로 세 포크가 비슷한 결과를 보였으나 4번 포크에서 46.59MPa의 상대적으로 큰 응력이 발생하였다.

이는 4번 포크가 작동상황에서의 간섭을 피하기 위해 가공된 부분에서 응력이 집중되는 것을 보이는데서 발생한 문제로 생각되며 개선이 필요하다고 판단되었다.

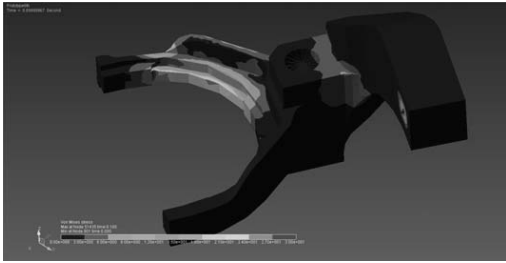


Fig. 5 Max Stress of Fork 4

Table. 2 Max Stress and Max Strain of Fork 1,2,3,4

Fork No.	1	2	3	4
Max Stress(MPa)	35.13	35.92	39.47	46.58
Max Strain	1.83e-4	1.87e-4	2.05e-4	2.42e-4

Table. 3 S-N Curve Data of GCD600

Stress (MPa)	Cycle	Stress (MPa)	Cycle
441.6	2.85 E4	274.4	7.51 E5
392	3.21 E4	245	2.1 E6
343	5.1 E4	235.2	5.11 E6
333.2	9.1 E4	230.3	9.98 E6
313.6	1.8 E5	225.4	1.0 E7
294	3.2 E5	215.6	1.0 E7

### 3. 피로해석

#### 3.1 해석방법

변속기는 차량의 주행에서 지속적인 반복 작동이 일어나는 장치이다. 때문에 변속 포크의 강도 해석과 함께 피로수명에 대한 해석이 필요하다.

#### 3.2 해석조건

동적 시뮬레이션을 통한 응력분석 결과를 분석하여 최대 응력이 발생한 시점에서 포크의 각 접촉면에 작용하는 외력을 동일한 유한요소 모델링에 해당 면에 외력 조건으로 부여하였다. GCD600재질의 피로물성을 동일한 재질의 시편에 대한 실험결과를 정리한 데이터 북을 참고하여 적용하였고, 적용된 S-N 선도에 대한 데이터를 Table. 3에 나타내었다. 범용 유한요소해석

프로그램인 ANSYS WORKBENCH 13.0을 사용해 피로해석을 진행하였다.

#### 3.3 해석 결과 및 고찰

피로해석을 수행한 결과 시뮬레이션 결과와 같은 위치에서 최대 응력이 발생하는 것을 볼 수 있었다. 또한 설계수명  $10^9$  Cycle에서 8.91의 안전율을 측정할 수 있었고, 최소  $10^7$  Cycle의 수명을 보장할 수 있는 결과가 측정되었다.

### 4. 결론

본 연구는 캠을 이용한 변속 메커니즘을 갖는 듀얼 클러치 트랜스미션의 쉬프트 포크의 강도 해석을 위해 메커니즘 전체의 구동조건을 반영한 동역학적 시뮬레이션 해석을 진행하였고, 여기서 나온 결과를 이용해 최대 응력 상황에서의 외력에 의한 포크의 피로수명을 분석하였다. 8.91의 안전율과  $10^7$  Cycle의 수명은 안전하다고 판단되나, 취약부분의 응력집중을 분산할 수 있는 형상개선을 반영한 설계를 한다면 더욱 안전한 트랜스미션의 설계가 가능할 것이다.

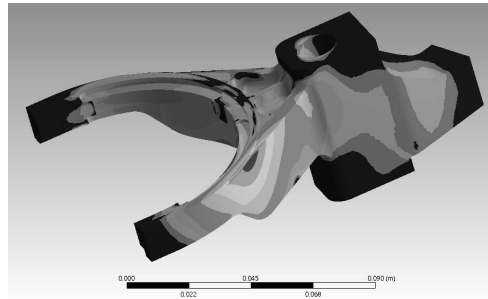


Fig. 6 Equivalent Stress of Fork 1

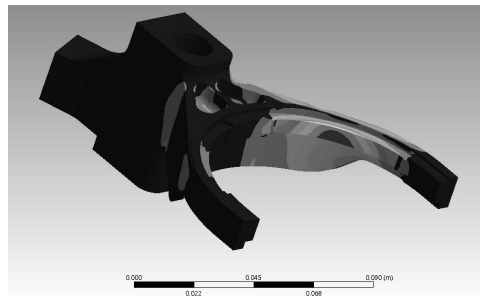


Fig. 7 Safety Factor of Fork 1

### 참고문헌

- (1) 태성에스엔이, 2011, “ANSYS Workbench”, 서울특별시 송파구 신천동 7-28번지 현대타워 2층
- (2) 이용복, 김호경, 정진성 공역, 1999, “피로해석의 기초”, 청문각, 서울특별시 성북구 길음3동 486-9 청문B/D
- (3) The Society of Materials science, 1982, “Data Book on fatigue strength of metallic materials”, Japan