

록업 클러치의 댐퍼 스톱퍼에 대한 구조해석

오명석¹, 남상헌^{2*}, 이봉구¹

¹영남이공대학교 기계계열, ²경북대학교 생물산업기계공학과

Structure Analysis for Damper stopper of Lock-up Clutch

Myung-Seok Oh¹, Sang-Heon Nam^{2*} and Bong-Gu Lee¹

¹Division of Mechanical Engineering, Yeungnam University College

²Department of Bio Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University

요약 토크 컨버터는 록업 클러치에 의해 엔진으로부터 변속기로 원활하게 동력을 전송하는 데 사용되는 복잡한 터보기계부품이며 유체 클러치 장치와 록업 클러치 장치로 구성된다. 고정 플레이트와 구동 판은 록업 클러치의 일부이며 록업 클러치는 효율과 연료 소비의 개선과 직접적인 관계가 있다. 본 논문에서는, 미케니컬 스톱퍼가 장착되어 있는 리테이닝 플레이트의 응력 분포 특성을 분석하였으며, 미케니컬 스톱퍼의 형태는 로크 업 클러치의 응력 분포에 영향을 미치는 것을 파악하였다.

Abstract Torque converter is a complex turbomachine used to transfer power smoothly from an engine to a transmission by lock-up clutch. A torque converter consists of the hydrodynamic clutch device and the lock-up clutch device. The retaining plate and driven plate are part of the lock-up clutch. The lock-up clutch connects directly to achieve the improvement of efficiency and fuel consumption. In this paper, using structure analysis of stress distribution on the shape of the mechanical stopper on retaining plate. The shape of mechanical stopper has effect on the stress distribution of lock-up clutch.

Key Words : Finite Element Method, Lock-Up Clutch, Retaining Plate, Torque Converter

1. 서론

최근 친환경 자동차의 고성능, 고연비 및 하이브리드(Hybrid) 자동차 기술의 개발과 함께 급격하게 증가하는 자동차와 더불어 자동차 내구성에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 이에 자동변속기(Automatic transmission)에 대한 소형화(Compact) 및 내구성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 자동차운전에 있어 가장 숙련을 요하는 것이 클러치와 변속기의 조작이다. 그래서 엔지니어들은 이를 쉽게 하기 위하여 많은 연구를 하였으며, 그 결과로 제작된 것의 하나가 유체 토크 컨버터(Fluid Torque Converter)이다. 현재 양산되어 나오는 대부분의 자동차에 장착되고 있는 자동변속기는 크게 토크 컨버터부, 유성기어부, 제어부로 구성되어 있

며, 토크 컨버터는 유성기어부와 엔진 사이에 놓여 동력 전달의 단속 및 토크 증대의 두 가지 역할을 하는 터보기계부품으로서 1905년 독일의 헤팅게르(Herman Foettinger)에 의해 제작되었다[1,2].

자동변속기는 수동변속기에 비해 기어 변속이 필요 없어 운전조작이 쉬우며, 초기 구동력이 크고, 가속 및 감속 때의 충격이 작은 장점을 가진다. 그러나 작동유체에 의한 동력 손실이 불가피한 단점으로 인해 연료 소비율이 수동변속기와 비교하여 약 10%정도 증가한다. 이를 극복하기 위해 토크 컨버터 록업클러치(Lock-Up Clutch)시스템을 장착하여 차량이 고속주행시, 엔진과 트랜스 미션을 직결시켜 수동 변속기 클러치와 유사한 특징을 가지도록 하였다. 직결과정은 엔진과 변속기 입력축 간의 상대 회전수가 존재하기 때문에 댐퍼 스프링을

*Corresponding Author : Sang-Heon Nam(Kyungpook National Univ.)

Tel: +82-53-950-5790 email: namind@naver.com

Received March 17, 2014

Revised April 7, 2014

Accepted April 10, 2014

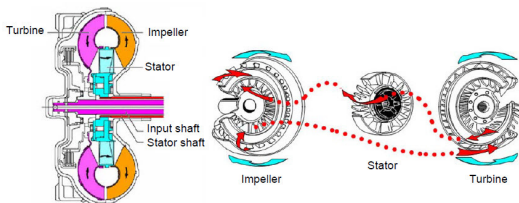
두어 진동과 충격을 감소시켜 주는 역할을 하게 하며, 이를 보호하기 위해 댐퍼 스톱퍼 시스템을 적용하고 있다 [3]. 스톱퍼는 스프링의 파손을 방지하여 스프링의 내구성을 향상시킨다[1].

최근 엔진 배기량이 증가되고 구동토크가 증가하면서 연비향상을 위해 록업 클러치가 구성되며, 구동토크의 동력전달 손실을 최소화 하기 위해서 특정 운전조건(토크의 증배나 속도감속이 불필요한 구간)에 자동변속기의 입력축과 엔진을 직결시키면서 록업 클러치의 내구성 증대를 위해 롱트러블 댐퍼(Long travel damper)설계와 구조적 최적화 설계가 필요하게 되었다[4].

본 연구에서는 록업 클러치의 구성 부품인 기계적 스톱퍼(Mechanical stopper)가 장착되어 있는 리테이닝 플레이트(Retaining plate)에 작용하는 토크의 영향으로 발생하는 응력분포 특성을 상용화된 수치해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 확인하고 최적의 댐퍼 스톱퍼 형상을 고찰하였다.

2. 록업 클러치 댐퍼 시스템

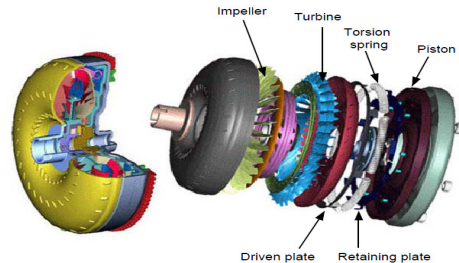
자동변속기의 토크 컨버터는 Fig. 1과 같이 작동유체가 엔진과 함께 회전하는 임펠러(Impeller)의 원심력을 전달받아 터빈(Turbine)으로 이동한다. 터빈으로 유입된 작동유체는 터빈 날개 입구에서 충돌하면서 회전력을 전달하고, 이어 터빈 날개가 회전한다. 터빈 쉘은 변속기의 구동축과 연결되어 있어 구동축에 동력을 전달한다. 스테이터(Stator)는 터빈으로부터 유출되는 작동유체의 흐름방향을 반대로 전환시켜 임펠러로 유입시킨다[5].



[Fig. 1] Assembly of the torque converter

본 연구에서 기술하는 록업클러치는 Fig. 2와 같이 피스톤, 마찰재, 스프링을 지지하는 리테이닝 플레이트와 토션 스프링으로 구성되며, 변속기 샤프트에 기계적으로 연결되어 있는 드리븐 플레이트(Driven plate)는 토션 스프링(Torsion spring)과 상호작용을 하여 댐핑(Damping)을 구현하는 구조로 되어 있다. 마찰재는 피스톤에 접착되어 있으며, 피스톤은 토션 스프링이 장착된 리테이닝 플레이트에 리벳으로 고정되어 있다. 록업 시에는 토크컨버터 내부의 압력이 상승하여 엔진측으로 피스톤이 이동하여 피스톤에 접착된 마찰재가 상대부품과 접촉된다. 이 과정은 엔진과 변속기 입력축의 상대 회전차가 없게 되어 엔진의 동력이 변속기로 직결되어 동력이 손실없이 전달된다. 직결과정은 엔진과 변속기 입력축간의 상대 회전수가 존재하기 때문에 회전차로 발생하는 토크가 록업 클러치에 가해지고 리테이닝 플레이트에 장착된 토션 스프링이 충격을 감소시켜주는 역할을 하게 된다.

프링(Torsion spring)과 상호작용을 하여 댐핑(Damping)을 구현하는 구조로 되어 있다. 마찰재는 피스톤에 접착되어 있으며, 피스톤은 토션 스프링이 장착된 리테이닝 플레이트에 리벳으로 고정되어 있다. 록업 시에는 토크컨버터 내부의 압력이 상승하여 엔진측으로 피스톤이 이동하여 피스톤에 접착된 마찰재가 상대부품과 접촉된다. 이 과정은 엔진과 변속기 입력축의 상대 회전차가 없게 되어 엔진의 동력이 변속기로 직결되어 동력이 손실없이 전달된다. 직결과정은 엔진과 변속기 입력축간의 상대 회전수가 존재하기 때문에 회전차로 발생하는 토크가 록업 클러치에 가해지고 리테이닝 플레이트에 장착된 토션 스프링이 충격을 감소시켜주는 역할을 하게 된다.



[Fig. 2] Component of lock-up clutch

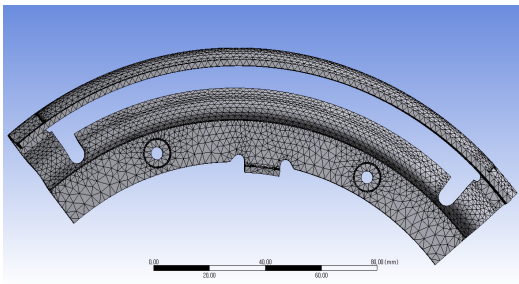
록업 클러치 작동시 댐퍼는 엔진과 변속기의 속도 및 관성(Inertia)의 차이에 의해 작동하게 된다. 록업 클러치가 직결되면 1차로 토션 스프링이 압축되고 스프링 최대 작동각도에서 스톱퍼가 작동되어 토션 스프링을 보호하게 된다. 코일 스프링으로 구성된 토션 스프링은 과도 토크에 의해 밀착부분까지 작동시 내구 수명이 급격히 감소하므로 이를 보호하기 위해 기계적 스톱퍼가 적용되고 있다[1]. 토크 컨버터 댐퍼 클러치의 형태는 Fig. 1과 같으며 롱트러블 댐퍼는 숏 트러블 댐퍼에 비해 스프링의 작동거리가 길어져야 하는데 이를 위해 스프링의 선경을 줄이게 되고 이렇게 되면 스프링의 강성이 줄어들게 되어 강성을 높이기 위해 스프링의 코일외경을 증가시켜야 된다. 따라서 스프링이 들어갈 수 있는 공간이 부족하게 되어 숏 트러블 댐퍼의 형상 변경이 불가피하게 되었다.

3. 수치해석

3.1 유한요소해석 모델

수치해석을 수행하기 위한 대상 모델은 일정한 간격으로 동일 형상을 갖는 구조이므로, 반복되는 형상의 한 부분만을 이용하여 구조해석을 수행함으로써 계산시간을 최소화 하였다. 해석시 토크컨버터의 대칭성을 이용하여 전체모델이 아닌 1/4모델을 이용하였으며, 이 때 대칭성을 표현하기 위해 축대칭(Axisymmetry)조건을 이용하였다.

본 연구에서는 구조해석을 위한 3차원 모델링형상 구현을 위하여 CAD프로그램인 Solidworks 2012를 적용하였고, 구조해석을 위해 상용화된 범용 유한요소 프로그램인 ANSYS를 사용하였다. 수치해석을 수행하기 위한 대상 모델은 일정한 간격으로 동일한 형상을 가지므로 Fig. 3과 같이 모델을 단순화 하여 반복되는 형상의 한 부분을 이용하여 해석을 수행함으로써 계산시간을 최소화 하였다. 또한 리테이닝 플레이트의 구조해석을 위한 모델을 단순화하여 댐퍼 클러치 시스템에서 다른 부품들은 생략하고 스톱퍼와 스프링 고정부인 시트가 있는 리테이닝 플레이트만을 이용하여 해석을 수행하였다.



[Fig. 3] FEM model of retaining plate with stopper

해석모델과 비교모델은 비교의 효과를 극대화 하기 위해 지름과 전달토크의 크기를 동일하게 하였으며, 수치해석에 사용된 재료의 물성은 아래 Table 1 과 같다. 본 해석을 위해 사용된 댐퍼 리테이닝 플레이트의 요소 수는 51,964개이다. 해석에 사용된 요소는 사면체 (Tetrahedral) 요소를 사용하였다.

[Table 1] Material properties of retaining plate

Material	Modulus of elasticity	Poisson ratio	Yield strength	Ultimate strength
SAPH440	200Gpa	0.29	305MPa	440MPa

3.2 전단력 계산

리테이닝 플레이트 후크부에 걸리는 전단력을 이론적으로 계산하여 해석결과와 비교를 통해 해석결과의 정확도를 검토할 수 있다.

리테이닝 플레이트 후크부에 걸리는 전단력을 구하기 위해서는 시트 한 개소에 걸리는 힘을 구해야 하는데 시트 한 개소에 걸리는 힘 F는 (1)식에서 구할 수 있다.

$$F = \frac{T}{nR} \tag{1}$$

여기서 T: 전달토크, n: 후크의 갯수, R: 드리븐 플레이트의 회전반경이다.

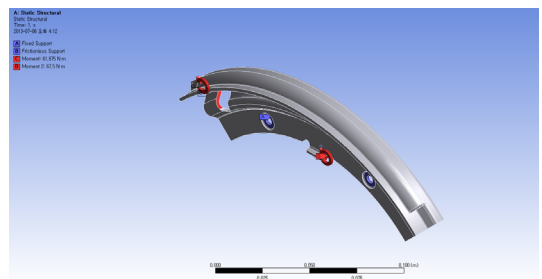
시트에서 전달되는 하중을 리테이닝 플레이트의 후크에 전달되는 전단력으로 환산하면 (2) 식과 같이 되어 리테이닝 플레이트 후크부에 걸리는 전단력 τ 를 계산할 수 있다.

$$\tau = \frac{F}{A} \tag{2}$$

여기서 F: 시트 한 개소에 걸리는 하중, A: 전단력을 받는 후크의 면적이다[6].

3.3 경계조건 및 하중조건

리테이닝 플레이트는 바닥면이 피스톤으로 받쳐져 있고 피스톤과 리테이닝 플레이트는 리벳으로 구속되어 있다. 따라서 경계조건으로 Fig. 4와 같이 리벳 이음부를 완전 구속하였다. 또한 동력전달경로를 보면 드리븐 플레이트를 통해 전달된 토크가 스프링 및 스프링 시트를 거쳐 리테이닝 플레이트에 전달된다. 따라서 Fig. 4 처럼 스프링 시트와 스톱퍼에 엔진에서 전달되는 토크를 부여하였다.



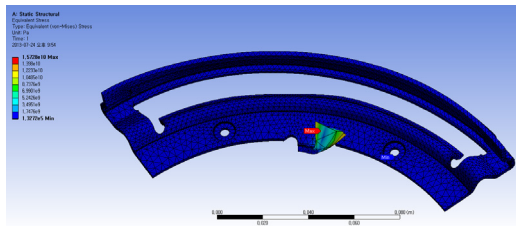
[Fig. 4] Boundary condition of retaining plate

하중 조건은 적용엔진 최대 토크인 225Nm를 기준으로 리테이닝 플레이트의 4개의 스프링과 스토퍼가 장착되어 있는 것을 고려하여 스프링 시트부에는 61.875Nm를 적용하였고, 스토퍼에는 67.5Nm를 각각 적용하였다.

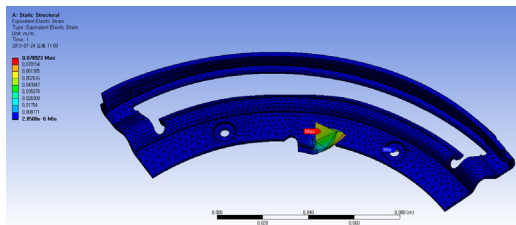
4. 수치해석결과 및 고찰

토크 컨버터가 고속으로 회전하게 되면 회전요소 자체의 관성에 의한 원심력이 매우 크게 작용하여 반경 방향의 변형이 증가하게 된다. 이러한 회전에 의한 관성 효과를 이용하여 회전 요소들의 응력 및 변형량에 대한 분석 결과를 고찰한다. 리테이닝 플레이트의 시프링 시트 접촉면과 스토퍼 접촉면에 대한 해석결과 Fig. 5와 같이 미케니컬 스토퍼의 접촉면의 최대응력이 15700Mpa, 최대 변형량은 0.078mm 임을 알 수 있다.

Fig. 6의 해석결과처럼 리테이닝 플레이트에 장착된 미케니컬 스토퍼에서 최대응력과 최대 변형량이 발생한다는 것을 알 수 있으며 이는 스프링 시트를 통해 전달되는 하중이 스토퍼에 전달력과 굽힘력을 동시에 발생시키고, 부품의 형태상 응력집중 현상도 야기되기 때문에 이와 같은 결과가 발생한 것으로 생각된다.



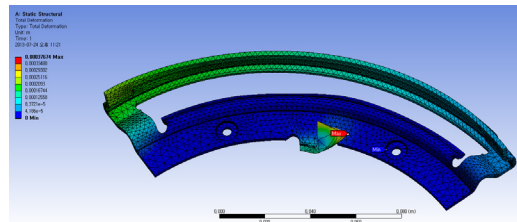
[Fig. 5] Von-mises stress result of retaining plate



[Fig. 6] Elastic strain result of retaining plate

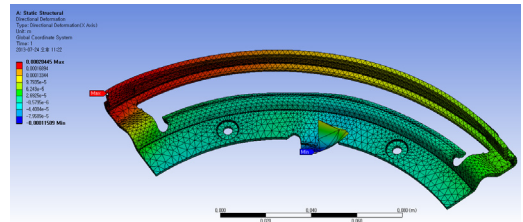
Fig. 7은 리테이닝 플레이트에 발생하는 전체 변형량의 결과를 나타낸 것이다. 리테이닝 플레이트에서는 스

토퍼에서 최대 변형량이 발생하며 이는 스프링 시트에서 전달된 힘이 리테이닝 플레이트 외측과 내측에 동시에 전달되지만 부품의 형태상 최대 변형량이 발생한 위치가 상대적으로 굽힘력이 더 크게 발생하고 여전히 충격력에 의한 응력 집중의 효과가 있기 때문으로 판단된다. 리테이닝 플레이트의 변형형상은 최고응력이 발생한 지점을 중심으로 굽힘이 일어남을 알 수 있으며, 최고 응력이 발생한 지점을 중심으로 굽힘변형이 발생함을 알 수 있다.

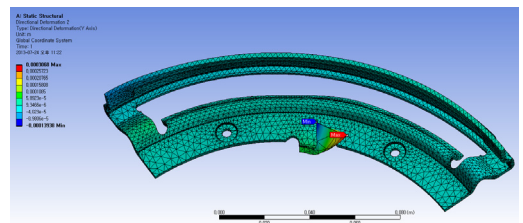


[Fig. 7] Total deformation result of retaining plate

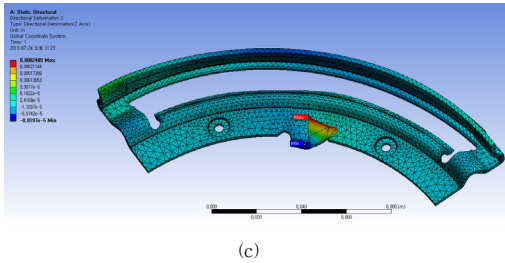
Fig. 8은 리테이닝 플레이트에 각각의 축방향에 발생하는 변형량의 해석결과를 보여 주고 있다. Fig. 8 (a)는 토크 컨버터가 고속으로 회전하는 회전축 방향인 X축을 기준으로 발생하는 변형량을 나타낸 결과를 나타낸다. 토크 컨버터가 고속으로 회전하게 되면 회전축(X축) 방향으로 관성에 의한 원심력이 매우 크게 작용하기 때문에 반경방향의 변형이 증가하기 때문이라 판단된다.



(a)



(b)



[Fig. 8] Directional deformation result
(a) x axis (b) y axis (c) z axis

4. 결론

토크 컨버터 댐퍼 클러치에 사용되는 리테이닝 플레이트를 톱트러블 댐퍼타입에 적용할 수 있도록 유한요소 해석을 통해 플레이트에 작용하는 작용력에 따른 응력분포와 변형량을 수치해석적인 방법으로 확인하고 플레이트의 최적설계에 이용하고자 하였다. 수치해석을 기반으로 미케니컬 스톱퍼에 가해지는 전단력으로 인하여 발생하는 굽힘력과 응력집중 형태를 응력분포와 변형량의 관계를 ANSYS를 활용하여 확인하였다. 스톱퍼의 최대 응력은 스톱퍼 접촉부분의 형상보다 플레이트 지지면 라운드 부분에 최대 변형량을 보이므로 스톱퍼 지지면의 치수와 형상에 대해 민감하게 변화하였다. 이를 기초로 좀 더 토크 컨버터 설계시 고속 회전할 때의 토크 컨버터 거동 및 변형량 예측과 스톱퍼의 형상치수를 해석에 사용했던 모델보다 약 7% 정도 강성을 고려되어야 할 사항임을 알 수 있었으며 향후 좀 더 여러 설계기법을 통하여 최적의 리테이닝 플레이트 설계에 활용해야 됨을 알 수 있었다.

References

[1] J. I. Park, K. R. Cho, "How to Study on Automotive Torque Converter," *Journal of Fluid Machinery*, pp. 90-104, 1998.

[2] J. Y. Kim, J. M. Lee, C. D. Park, W. S. LIM, "Sensitivity Analysis of Shape Design Parameters of a Torque Converter using Potential flow," *The Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 2, pp. 924-929, 1995.

[3] J. G. Seo, S. S. Hong, J. D. Jang, I. S. Joo, "A Study

on Optimization of Damper Stopper Shape Using The Dynamic Analysis," *The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 633-636, 2012.

[4] D. J. Kim, D. I. Kim, J. D. Jang, I. S. Joo, "Performance Analysis of a High Capacity Torque Converter for Tank with Three Dimensional Flow Simulations," *KIMST*, Vol. 2, pp. 895-898, 2003.

[5] S. H. Sung, S. S. Hong, J. D. Jang, I. S. Joo, "A Study on Mechanical Stopper Durability of Lock-Up Clutch," *The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 754-757, 2011.

[6] E. K. Park, S. S. Hong, J. D. Jang, I. S. Joo, "The Study of Stress Analysis for Retaining Plate of Torque Converter Long Travel Damper," *The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 740-745, 2004.

오 명 석(Myung-Seok Oh)

[정회원]



- 1984년 2월 : 경북대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 영남대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1985년 5월 ~ 1995년 2월 : 현대자동차(주) 제품개발연구소
- 1995년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 기계계열 교수

<관심분야>

정밀가공, 환경친화기계가공

남 상 헌(Sang-Heon Nam)

[정회원]



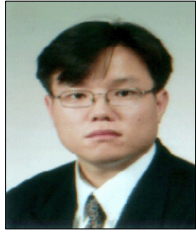
- 2000년 2월 : 경북대학교 농업기계공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 생산산업기계공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 영남이공대학교 기계계열 교수
- 2012년 3월 ~ 2014년 2월 : 영남이공대학교 자동차계열 교수

<관심분야>

농업기계, 건조시스템

이 봉 구(Bong-Gu Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 연세대학교 기계공학
학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 연세대학교 기계공학
학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 2003년 7월 : 한국
생산기술연구원 연구원
- 2009년 3월 ~ 2012년 2월 : 대림
대학교 기계설계 교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 영남이공대학교 기계계열 교수

<관심분야>

초정밀 가공, CAD/CAM, 복합가공