

댐퍼 클러치 스프링의 진동 해석에 관한 연구

조재웅*, 한문식#

Study on the Vibration Analysis of Damper Clutch Spring

Jae-Ung Cho*, Moon-Sik Han[#]

(Received 25 February 2011; received in revised form 16 July 2011; accepted 8 August 2011)

ABSTRACT

This study analyzes harmonic vibration with natural frequency according to the configuration of damper clutch. In the case of double spring, equivalent stress at same direction of the revolution at inner and outer coil spring is over 30% as compared with at its opposite direction. Natural frequency or harmonic response with maximum deformation in case of the less coil pitch is below 3Hz as compared with in case of the more coil pitch. As the coil pitch of damper spring as the case 2 or 4 becomes smaller, its mass and deformation can be large. In these cases, spring constant and natural frequency become smaller. In the case 5 or 6 of double spring at natural vibration or harmonic response, the frequency becomes over 300Hz. As the result of this study is applied by the design of damper spring, the damage at its connected part is prevented and the durability can be predicted.

Key Words : Damper Clutch(댐퍼 클러치), Coil Spring(코일스프링), Equivalent Stress(등가응력), Deformation(변형), Harmonic Vibration(하모닉 진동), Natural Frequency(고유 진동)

1. 서 론

자동차 산업의 비약적 증진은 자동차의 발달뿐만 아니라, 소비자의 차량에 관한 기호를 더욱 다양화 및 복잡화 시키고 있는 추세이며, 소비자의 구매 결정시 차량의 안락감과 정숙성과 같은 감성품질이 차량의 성능 및 내구성에 못지않은 중요한 요소가 되고 있다^[1]. 한편 최근 연비 향상을 위한 차량의 경량화 및 동력 성능을 높이기 위한 엔진 출력 향상 등은 차량의 NVH(Noise, Vibration, Harshness)를 더욱 불리하게 만

드는 요소들로 작용하고 있다^[2].

자동차 변속기에는 동력전달의 핵심부품으로서 토크 컨버터 시스템이 부착된다. 토크컨버터는 일종의 유체 커플링과 클러치의 결합체로, 저속에서는 동력이 엔진에서 변속기로 유체 커플링에 의해 전달되고, 고속에서는 효율적인 동력전달을 위해 유체를 거치지 않고 클러치를 직결(Lock-up)하여 엔진 토크를 전달하게 되는데 이때 충격 토크 및 진동이 발생하여 주행에 좋지 않은 영향을 미치게 된다^[3]. 또한 댐퍼 클러치는 엔진에서 주기적으로 발생하는 회전 진동을 자체적으로 흡수하여 엔진에서 발생하는 과도한 회전 진동이 변속기 내부에 전달되는 것을 차단시켜 주고, 댐퍼 클러치에서의 스프링은 방사 형태로 되어서 이러한 회전 진동을 흡수해 주는 역할을 한다^[4]. 이러

* 공주대학교 기계자동차공학부

교신저자 : 계명대학교 기계자동차공학과

E-mail : sheffhan@kmu.ac.kr

한 댐퍼 클러치(록업 클러치)는 작동 시, 댐퍼 스프링은 엔진의 변동 토크에 대한 댐핑 기능을 함으로써 동력 전달계통으로의 진동을 제어하여 운전자의 승차감과 내구성을 향상시키는 기능을 하고^[5], 차량 동력 전달 시스템을 구성하는 요소들 중에서 설계 변경이 상대적으로 용이함으로 스프링의 작동 특성을 향상시켜 차량 전체 시스템 성질을 개선할 수 있기 때문에 댐퍼 스프링의 설계를 방향으로 한 연구가 많이 진행되어 왔다. 본 연구에서는 구조 해석 및 진동의 영향에 따른 댐퍼 스프링 설계에 따라서 댐퍼 시스템에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고^[6] 본 연구의 결과를 종합하여 댐퍼 스프링의 설계에 응용한다면 그 연계 부품의 파손 방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

2. 유한요소 모델

2.1 모델 생성

댐퍼 클러치는 변속기의 종류에 따라 형상 및 크기, 무게 등이 다르다. 본 연구에서는 Fig. 1은 실제 사용되는 댐퍼 클러치와 댐퍼 스프링의 그림이고 3D모델을 형성한 그림이다.

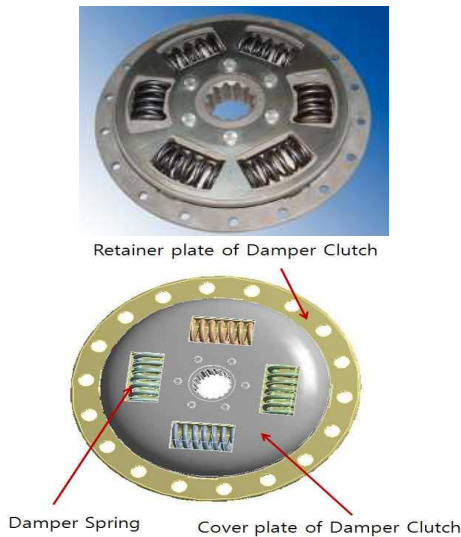
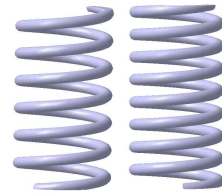


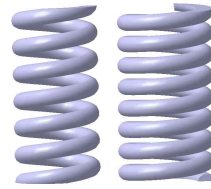
Fig. 1 Physical model and 3D model

모델은 크게 3가지의 Part로, Cover plate, Retainer plate 및 Damper Spring으로 나누어 Modeling을 하여 구성하였다^[7].

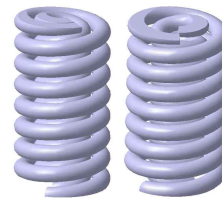
또한 Fig. 2와 같이 Damper Spring을 다양한 형태로 모델링을 하였다.



(a) Case 1,2



(b) Case 3,4



(c) Case 5,6

Fig. 2 Configuration of damper spring of Cases 1, 2, 3, 4, 5 and 6

Case 1과 2는 코일의 바깥지름이 34mm이고 자유 높이는 60mm이다. 소선의 지름이 4mm이고, 피치가 각각 10mm 및 8mm인 스프링들이다. Case 3와 4는 코일의 바깥지름이 34mm이고, 자유 높이는 60mm이다. 소선의 지름이 6mm이고, 피치가 각각 10mm 및 8mm인 스프링들이다. Case 5와 6은 스프링 안에 또 하나의 작은 스프링이 들어가 있는 스프링의 모습이다. 여기서, 바깥 스프링은 코일의 바깥지름이 34mm이고, 자유 높이는 60mm이며, 소선의 지름은 6mm, 코일의 피치는 8mm로 설계되고, 안쪽의 스프링은 코일의 바깥지름이 20mm이고, 자유 높이는 60mm이

며, 소선의 지름은 6mm, 코일의 피치는 8mm로 설계되었다. 안쪽의 스프링은 시계 반대 방향으로 바깥 스프링과 방향이 같도록 설계되었다. 즉 Case 5와 6은 내측과 외측의 각각 스프링의 방향이 같거나 다른 댐퍼 스프링들이다.

2.2 재료의 물성치

모델링한 댐퍼 클러치의 3가지 Part 중에서 Table 1과 같이 Cover plate와 Retainer plate는 구조용 강으로 하였고, Table 2와 같이 Damper Spring은 스프링강의 물성치로 하였다.

Table 1 Material properties of cover plate & retainer plate

Young's Modulus	$2.0 \times 10^{11} \text{ Pa}$
Poisson's Ratio	0.3
Density	7850 kg/m^3
Thermal Expansion	$1.2 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Tensile Yield Strength	$2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$
Compressive Yield Strength	$2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$

Table 2 Material properties of damper spring

Young's Modulus	$2.1 \times 10^{10} \text{ Pa}$
Poisson's Ratio	0.3786
Density	7860 kg/m^3
Thermal Expansion	$1.2 \times 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{C}$
Tensile Yield Strength	$2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$
Compressive Yield Strength	$2.5 \times 10^8 \text{ Pa}$

2.3 경계 조건

Cover plate와 Retainer plate는 스프링을 통하여 동력이 전달되기 때문에 두 Part 사이의 경계 면을 No Separation의 경계조건을 설정하였다.

Fixed Support는 Retainer plate에 동력이 전달되고, 그 동력이 스프링을 통하여 Cover plate로 전달되므로 Retainer plate에서 Cover plate까지 전달되는 동안의 스프링을 해석하는 것이기 때문에 Cover plate를 고정하였다. 본 연구에서는 실제 중형차의 엔진의 토크가 25~30kg·m 정도 되는 것으로 생각하여, 토크

를 30kg·m로 가정하여 다음과 같은 식으로 토크를 계산하였다.

$$30 \text{ kg}\cdot\text{m} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 294.3 \text{ N}\cdot\text{m} \quad (1)$$

Fig. 3과 같이 Retainer plate를 선택하여 화살표와 같이 시계 반대 방향으로 회전 모멘트를 설정하고, 식 (1)에서와 같이 294.3N·m로 모멘트 값을 설정하였다.

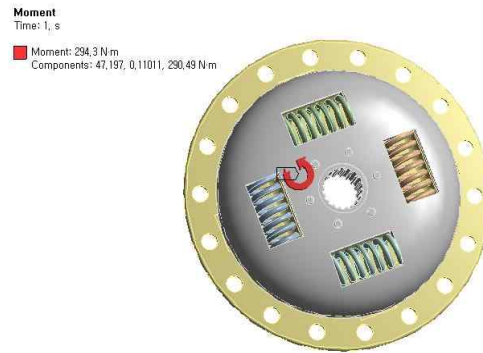


Fig. 3 Moment direction of the retainer plate

2.4 구조해석

2.4.1 등가응력 해석

Fig. 4는 Case 1, 2, 3, 4, 5 및 6에 대하여 Retainer plate가 회전함에 따라 스프링이 받는 Total Deformation의 해석 결과들을 각각 보여주는 그림이다. 또한 Fig. 5는 Case 1, 2, 3, 4, 5 및 6에 대하여 등가응력에 대한 해석 결과의 그림들이다. Table 3은 Fig. 4 및 5의 해석 결과들에 대하여 요약하였다. Case 1, 2, 3, 4, 5 및 6에 대하여 최대의 전변형량과 등가응력들을 각각 표로 나타내었다. Table 3에서도 볼 수 있는 바와 같이 전변형량들은 전반적으로 모든 Case들이 0.01mm를 이하이다. 이중 스프링을 사용할 때는 안쪽 스프링의 회전 방향이 바깥쪽 스프링의 방향과 같은 방향인 Case 5인 경우가 반대 방향인 Case 6의 경우보다 등가 응력이 30%만큼 더 높은 값을 갖는다.

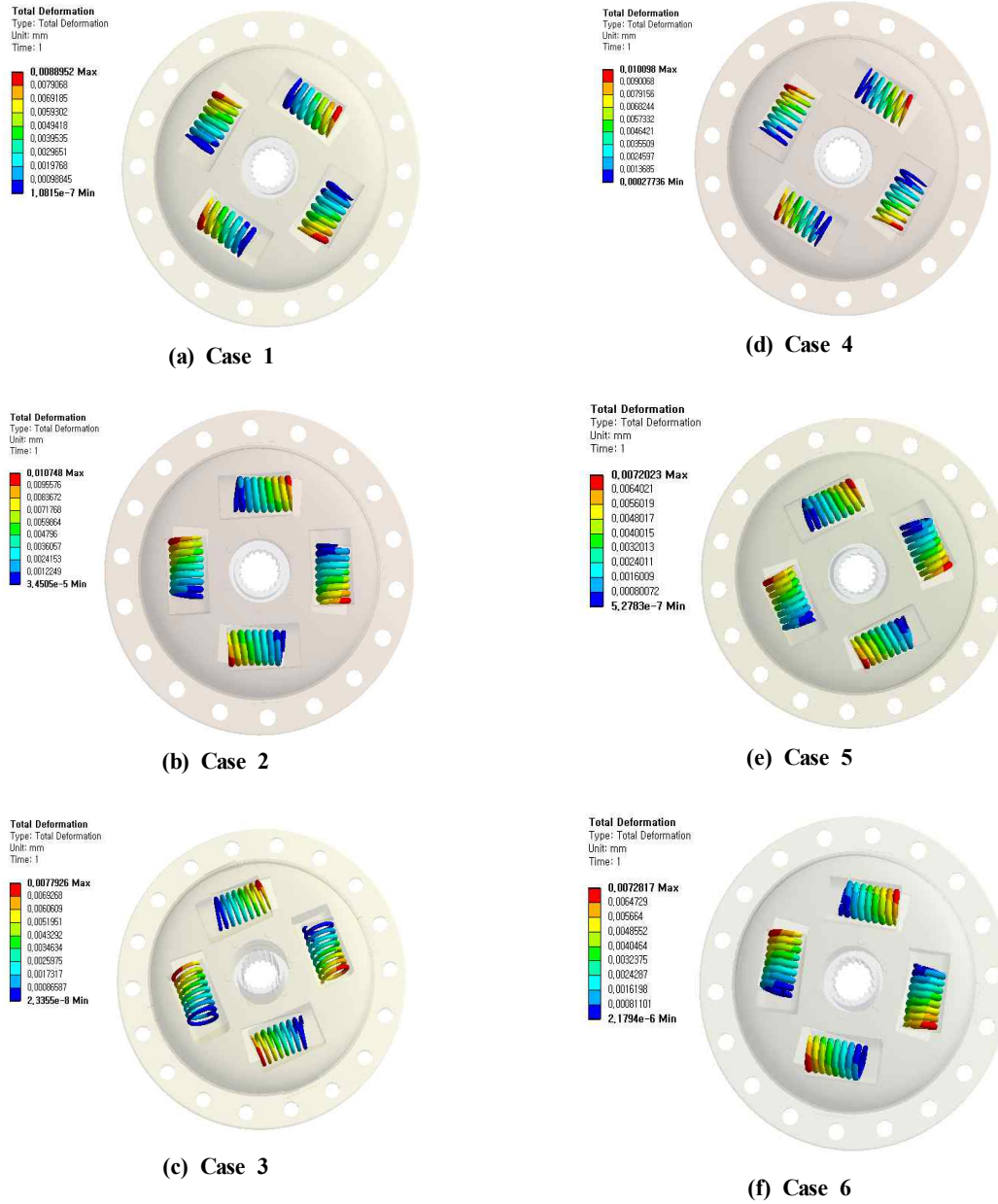


Fig. 4 Total Deformations of Cases 1, 2, 3, 4, 5 and 6

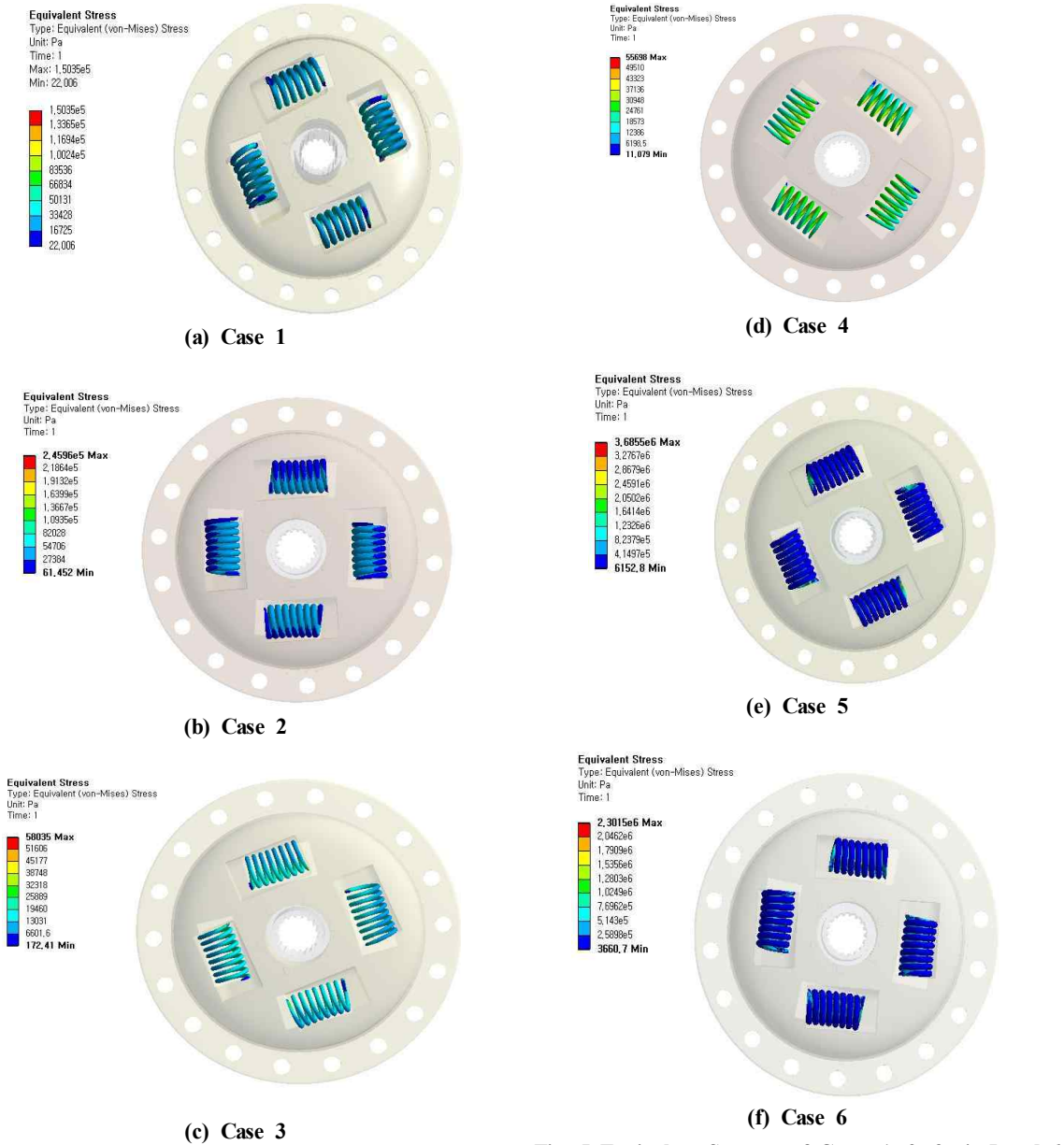


Fig. 5 Equivalent Stresses of Cases 1, 2, 3, 4, 5 and 6

Table 3 Stress results by each case

	Maximum total deformation(mm)	Maximum equivalent stress(Pa)
Case 1	0.0088952	1.5035×10^5
Case 2	0.010748	2.4596×10^5
Case 3	0.0077926	55698
Case 4	0.010098	58035
Case 5	0.0072023	3.6855×10^6
Case 6	0.0072817	2.3015×10^6

2.4.2 Modal 해석

Modal 해석은 동적인 외력을 받고 있는 기계 구조물의 동특성 또는 구조물 특성을 연구하는 것으로^[8] 본 연구에서는 고유 진동수에 대한 해석을 하였다. Fig. 6은 Case 1부터 Case 6까지의 Modal 해석의 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그리고 Table 4는 Fig. 6에 나타낸 그래프의 결과로서 Case 1부터 Case 6까지의 고유진동수의 범위를 나타내는 표이다. Case 5와 6의 고유진동수의 범위가 330~400Hz로서 높은 진동수를 보이고 있다.

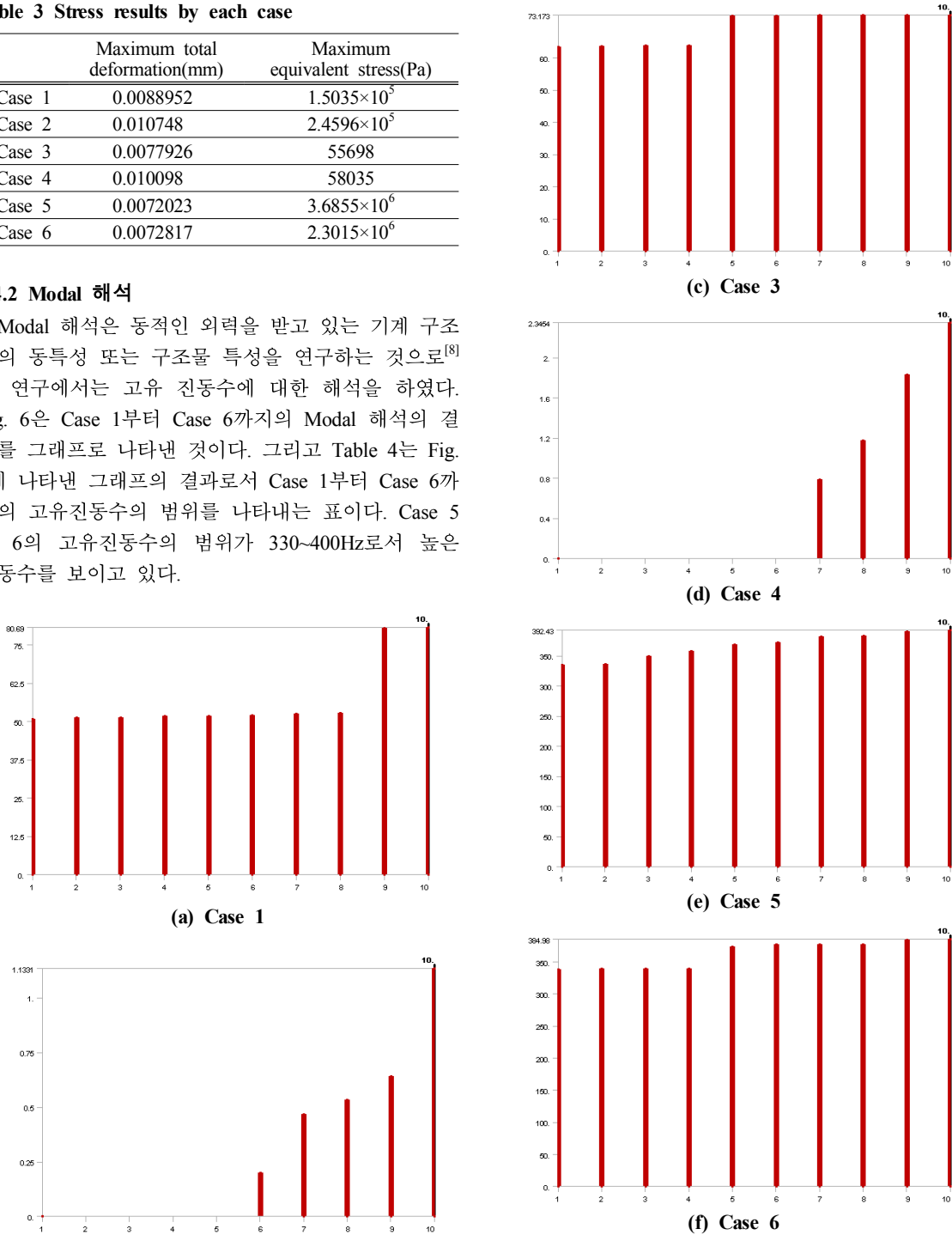


Fig. 6 Frequencies by modal analyses of Cases 1, 2, 3, 4, 5 and 6

Table 4 Range of natural frequency by each case

	Natural frequency(Hz)
Case 1	50-80
Case 2	0.2-1
Case 3	60-75
Case 4	0.7-2.4
Case 5	330-395
Case 6	330-385

Table 4에서 보면 코일의 피치가 작은 경우인 Case 2나 4가 큰 경우인 Case 1이나 3보다 고유진동수가 훨씬 더 적은 3Hz 이하를 보이고 있다.

이론적인 고유진동수는 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

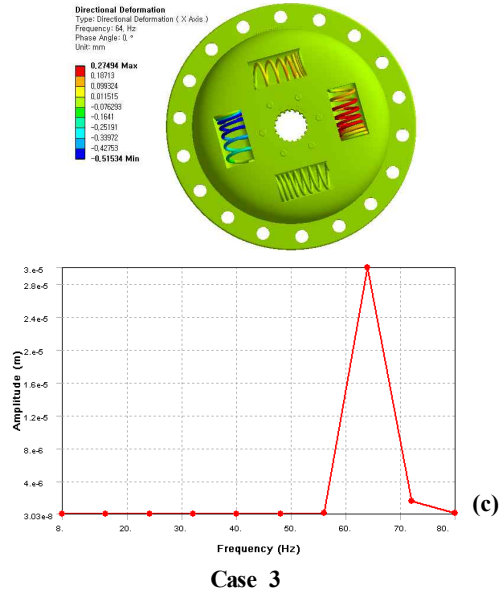
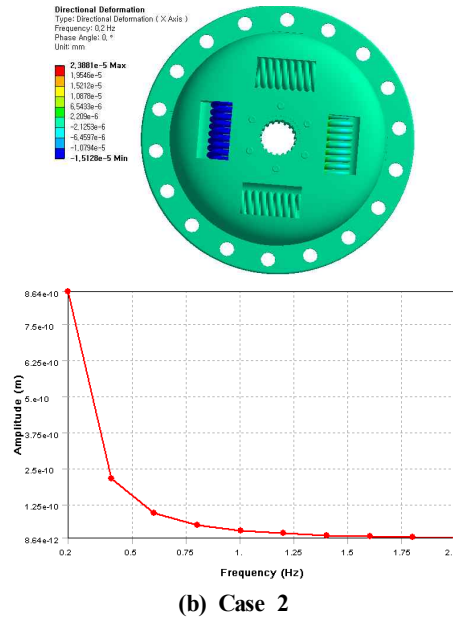
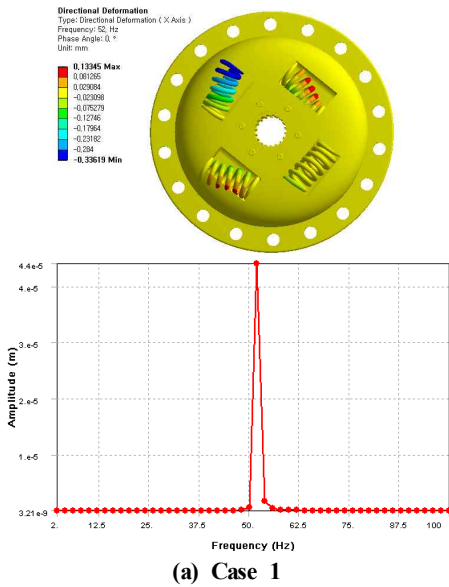
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

f_n 은 고유 진동수이고 m 은 테이터상의 질량이다. 그리고 k 는 스프링 상수값이다. Case 2나 4의 경우는 댐퍼스프링의 코일 피치가 작아짐으로서 m 은 증가가 되고, 변형이 잘 일어남으로서 k 는 작아져서 f_n 값이 상당히 작아진 것으로 사료된다.

2.4.3 Harmonic 해석

Fig. 7은 Harmonic Response^[9,10]에 대한 해석 결과

에서 각각의 고유진동수에 대한 변형량을 나타내는 그림과 고유진동수를 찾아주는 그래프를 나타내고 있다. 이 해석에서는 모멘트의 방향을 Y축으로 설정하였고, 294.3N·m의 모멘트 값을 설정하여 다음과 같은 결과 값을 얻었다.



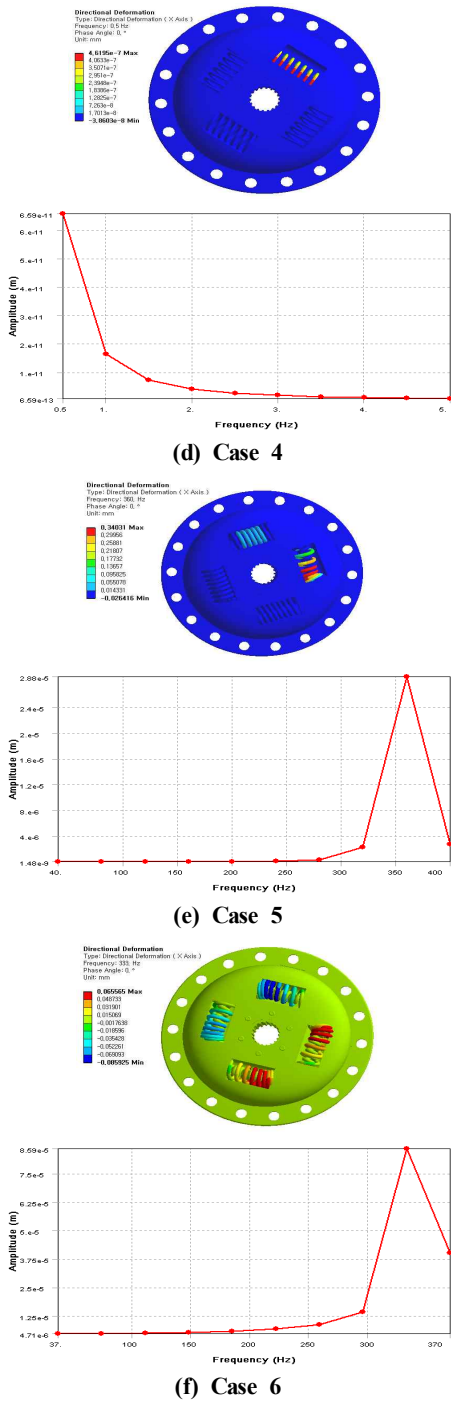


Fig. 7 Directional deformations and harmonic responses of cases 1, 2, 3, 4, 5 and 6

Table 5는 Case 1부터 6까지 최대 변형을 일으키는 진동수 및 그 변형량을 보이고 있다.

Table 5에서 보면 코일의 피치가 작은 경우인 Case 2나 4가 큰 경우인 Case 1이나 3보다 최대 변형량을 일으키는 진동수가 훨씬 더 적은 3Hz 이하를 보이고 있다. 마찬가지로 Harmonic 해석에서의 Case 2나 4의 경우에서도 Modal 해석에서의와 같이 댐퍼 스프링의 코일 피치가 작아짐으로서 질량은 증가가 되고, 변형이 잘 일어남으로서 스프링 상수는 작아져서 고유 진동수 값이 상당히 작아진 것으로 사료된다. 그리고 Case 5와 6의 Harmonic response 진동수는 360, 333Hz로서 높았고 Case 5의 경우에는 0.34031mm로 그 변형량이 제일 높았다.

Table 5 Harmonic response results by each case

	Frequency(Hz)	Directional deformation(m)	Maximum amplitude deformation(m)
Case 1	52	0.13345×10^{-3}	4.4044×10^{-5}
Case 2	0.2	2.3881×10^{-8}	8.6417×10^{-10}
Case 3	64	0.27494×10^{-3}	2.996×10^{-5}
Case 4	0.5	4.61945×10^{-10}	6.5854×10^{-11}
Case 5	360	0.34031×10^{-3}	2.8765×10^{-5}
Case 6	333	0.065565×10^{-3}	8.5925×10^{-5}

본 연구에서는 시뮬레이션 해석을 통하여 각 댐퍼 클러치의 종류에 따른 차체의 과도 진동 형상을 해석하였고 이러한 해석 결과로서 그 연계 부품의 내구성에 미치는 파손 방지를 할 수 있는 데 기여할 수 있다고 사료된다.

3. 결론

댐퍼 클러치의 스프링의 형태에 따른 진동 해석에 대한 본 연구의 해석 결과는 다음과 같다.

1. 이중 스프링을 사용할 때, 안쪽 스프링의 회전 방향이 바깥쪽 스프링의 방향과 같은 방향인 Case 5인 경우가 반대 방향인 Case 6의 경우보다 등가 응력이 30% 이상 더 높은 값을 갖는다.
2. 코일의 피치가 작은 경우인 Case 2나 4가 큰 경우

- 인 Case 1이나 3보다 고유진동수나 최대 변형량을 일으키는 하모닉 진동수가 훨씬 더 적은 3Hz 이하를 보이고 있다. 이는 스프링의 코일 피치가 작아짐으로서 질량은 증가가 되고, 변형이 잘 일어남으로서 스프링 상수는 작아져서 고유 진동수 값이 상당히 작아진 것으로 사료된다.
3. 고유 진동수나 하모닉 진동 해석에서 이중 스프링을 사용한 Case 5나 6이 300Hz 이상의 진동수에서 최대 변형량을 보이고 있다.
 4. 본 연구의 결과를 종합하여 댐퍼 스프링의 설계에 응용한다면 그 연계 부품의 파손 방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.
 6. Lee, J. S., Kim, J. S., Jang, J. D. and Joo, I. S., "A Study on structure analysis for lock-up clutch of torque converter", Proceedings of the KSME 2009 Fall Annual Conference, pp. 874-879, 2009.
 7. Min, K. J., Kang, C. W. and Jung, S. G., "Refinement of the interior booming noise caused by the lock-up clutch in automatic transmission vehicle", Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Conference, pp. 349-354.
 8. Lee, E. Y., Lee, Y. S., Choi, Y. J., Lee, J. J. and Park, Y. M., "Seismic Analysis of Rack Structure using ANSYS", Proceedings of the KSME 2010 CAE and Applied Mechanics Parts Spring Conference, pp. 121-122, 2008.
 9. Ahn, K.H, Lee J.M., "Analysis of a Clutch Damper Using a Discrete Model", KSME International Journal, Vol. 18 No. 11, pp. 1883-1890, 2004.
 10. Yoon, J. W., Kim, C. and Kim, J. M., "Optimum Design of a Damper Spring Using a Simulated Annealing Algorithm and Its Effects on the Vibration of a Clutch System", Proceedings of the KSME 2006 Spring Annual Conference, pp. 100-105.

참고문헌

1. Park, J. S., Jang, Y. K., Jang, J. D. and Joo, I. S., "A Study on Characteristics and Durability for Lock-up Clutch Damper Spring of Torque Converter", Spring Conference Proceeding of the KSAE, pp. 1906-1911, 2006.
2. Park, G. J., Bae, D. S., Kim, M. J., Jang, J. D. and Joo, I. S., "Dynamic analysis of Torque Converter Damper Spring Using DAFUL", 30th Anniversary Journal of KSAE, pp. 903-907, 2008.
3. Kim, K. J. and Kim, C., "Vibration Characteristics and Topology Optimization of a Double Damper Lock-up Clutch in a Torque Converter System", Proceedings of the KSME 2010 CAE and Applied Mechanics Parts Spring Conference, pp. 108-116, 2010.
4. Jung, B.H., Hwang, S. Y. and Kang, K.T., "Influence on the torsional Vibration of Input Shaft and the Vibration of vehicle by Damper Clutch in Auto-Transmission", Proceedings of The Korean Society for Noise and Vibration Engineering 2009 Autumn Conference, pp. 344-350, 2009.
5. Park, B. K., Hwang, G. U., Kim, J. J. and Jang, J. D., "Design Automization for Torque Converter Damper Spring using Optimization", Journal of Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 163-170, 2007.