

최적화를 통한 토크 컨버터 댐퍼 스프링 설계 자동화에 관한 연구

박병건*, 황길언**, 김재정***, 장재덕****

Design Automization for Torque Converter Damper Spring Using Optimization

Park, Byoung Keon*, Hwang, Gil Un**, Kim, Jay Jung*** and Jang, Jae Deok****

ABSTRACT

A torque converter, connected to a transmission/transaxle input shaft, connects, multiplies and interrupts the flow of engine torque into the transmission. Damper springs are usually equipped in a torque converter to convert stably the torque power supplied from engine. Damper Springs generally have the most flexible design variables among vehicle transmission parts, so that they could be effective design factors to improve the entire vehicle's performance. Damper spring, however, has geometric complexity after it equipped in a torque converter. For that reason, modeling a damper spring requires expert's knowledge to determine many design parameters and satisfy the functional requirements at the same time. In this paper, we introduce an optimum design method applied in detailed-design stage to reduce design process and financial loss caused by adequate design. Many design variables have to be classified and structuralized for Optimization. This also could make designer concentrate on functional requirements of damper spring, not on design possibility. In addition, modeling an assembled spring has technical restriction with primitives of the current major CAD solutions because of complexity of assembled spring shape. Thus, one of modeling solution presented in this paper since detailed and exact modeling is important for CAE or DMU.

Key words: Torque converter, Damper spring, Optimization, Design automation

1. 서 론

토크 컨버터는 엔진과 자동 변속기 사이에 위치해 있으며 엔진의 토크를 오토미션 오일을 이용하여 유체적으로 증가시키는 장치이다. 동력을 전달하는 유체 커플링의 역할을 하고 있는 토크 컨버터는 엔진으로부터의 토크를 증가시켜 주는 중요한 장치이며, Fig. 1과 같이 안정적인 토크 전달을 위해 일반적으로 댐퍼 스프링이 내부에 장착된다. 댐퍼 스프링은 엔진이 정상 작동 시 전달되는 토크 또는 엔진 최대 토크 외에 발생하는 과다 토크에 대한 댐핑 기능을 함으로써

트랜스미션으로 전달되는 진동 등을 제어해 안정적인 운행의 목적으로 사용되는 부품이다. 이러한 댐퍼 스프링은 차량 동력 전달 시스템을 구성하는 요소들 중 상대적으로 설계 변경 폭이 커 작동 특성을 향상시킴으로써 차량 전체 시스템의 성질을 개선할 수 있다^[1].

댐퍼 스프링은 복잡한 기하학적 형상과 작동 특성을 가지기 때문에 많은 수의 설계 파라미터들이 모델링시 고려되어야 하는 어려움이 있다. 이러한 이유로

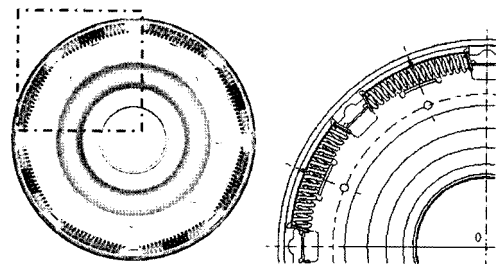


Fig. 1. Torque converter and damper spring.

*교신저자, 학생회원, 한양대학교 기계공학과

**한양대학교 기계공학과

***중신회원, 한양대학교 기계공학부

****한국파워트레인 기술연구소

- 논문투고일: 2006. 11. 03

- 심사완료일: 2007. 04. 02

설계자는 경험에 의존해 스프링 각각의 설계 파라미터들을 국부적, 반복적으로 수정해 설계를 완성하는 설계과정을 거치게 되고, 이 과정에 많은 비용이 소비된다. 또한 토크 컨버터 상세 설계 프로세스의 후반부에 위치하는 스프링 설계의 특성 상, 기능요구의 만족 이외에 기존에 설계된 토크 컨버터의 형상을 함께 고려해야 하기 때문에 설계자가 댐퍼 스프링의 기능요구를 만족시키는 설계에 집중하기 어려운 것이 현실이다. 더욱이 이러한 설계 프로세스를 통한 결과물은 최적 값이 아닌 유용 영역 내의 적정 설계 결과이기 때문에 그에 따른 경제적 손실 및 토크 컨버터 성능저하의 결과를 야기시킬 수 있다. 더욱이 장착된 스프링의 거동에 관한 정확한 역학적 해석과 DMU (Digital Mock-Up)를 위해 변형된 후의 형상에 대한 상세한 모델링 과정이 필요한데, 현 CAD 시스템에서 제공하는 기본 모델링 기능들로는 기술적인 제약이 따른다.

본 논문에서는 앞서 언급한 댐퍼 스프링 설계상의 문제점을 해결하기 위해 기존의 비효율적으로 그 값들이 결정되어 오던 여러 설계 파라미터들을 구조화하여 스프링 설계에 대한 총체적인 접근을 시도하였다. 또한 이에 최적 설계를 적용해 설계 프로세스 상에서 반복 설계 과정을 제거하였다. 이를 통해 직접적으로는 설계의 효율성을 도모하고 간접적으로는 댐핑의 성능을 개선시켜 차량의 연비 향상에도 기여할 수 있도록 하였다. 또한 조립 후의 댐퍼 스프링 형상을 정확하게 표현할 수 있도록, 해당하는 프로파일의 치수에 함수를 적용한 스위핑 곡면 모델링 방법을 제시하였다. 논문의 후반부에는 실제 토크 컨버터 설계에 적용된 댐퍼 스프링의 예시와 그를 위한 최적 설계 프로그램 및 CAD 설계 자동화 모듈을 소개한다.

2. 댐퍼 스프링 최적 설계

2.1 토크 컨버터 및 댐퍼 스프링

일반적으로 자동 변속기의 토크 컨버터에 사용되는 댐퍼 스프링은 Fig. 2와 같이, 공전 회전수를 입력치 아래로 이동시켜 소음 진동을 억제하기 위한 작은 스프링 상수의 1단 특성과 최대 토크 용량을 고려하여 큰 스프링 상수를 결합한 2단 특성으로 설계된다^[2]. 2단 스프링의 장착 위치는 1단 스프링의 배치에 따라 결정되며 공간이 확보되지 못한 경우엔 1단 스프링 내부에 장착된다.

댐퍼 스프링의 요구 기능인 토크 특성 그래프는 차

량의 엔진에 따라 토크 컨버터 초기 설계 단계에 정해진다. 설계자는 이 특성 그래프를 만족하는 스프링을 설계 하기 위해 일반적으로 Fig. 3의 설계 프로세스로 스프링 설계 파라미터들을 수정해 가며 최종 설계 결과물을 완성한다. 즉, 엔진의 특성으로부터 최대 비틀림 토크가 결정되면 토크 컨버터의 레이아웃에 따라 스프링의 외경 및 작동 반경, 개수 등이 결정된다. 그리고 그 외의 설계 변수들은 설계자의 경험에 의해 초기 값들이 설정된다. 이 값들을 기존의 스프링 설계 함수가 담긴 데이터 시트 등을 이용해 평가하고, 기능요구, 레이아웃, 안전도 등의 요구를 만족하지 못하는 경우 임의의 변수를 선택해 반복 수정함으로 토크 컨버터의 형상과 기능요구 및 설계 안전 요구를 만족하는 스프링 설계를 완성하는 프로세스이다.

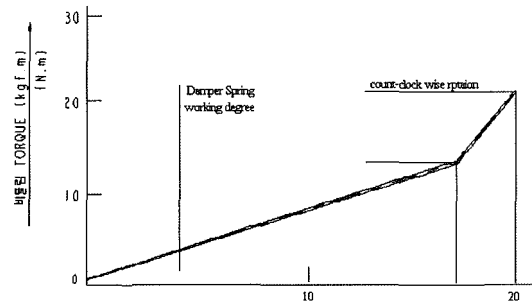


Fig. 2. Torsion characteristic of damper spring.

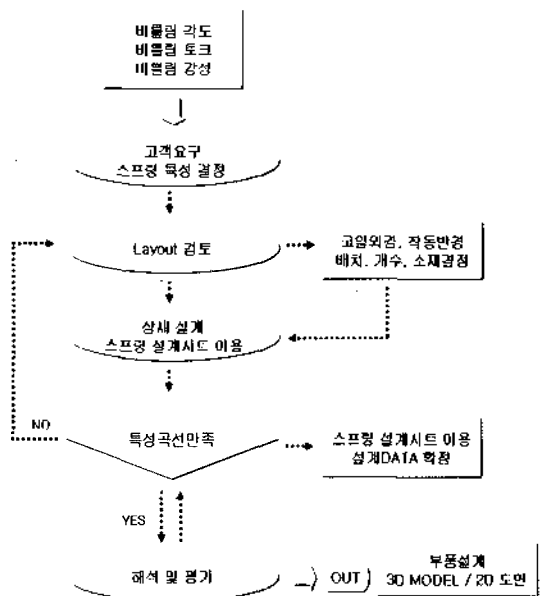


Fig. 3. Damper spring design process.

2.2 댐퍼 스프링 최적화

기존의 댐퍼 스프링 설계 프로세스는 설계자가 여러 설계 변수들을 극부적으로 여러 번 수정해가며 기능 요구와 스프링의 안전도, 그리고 설계 레이아웃 등을 만족시키는 적정 설계 과정을 가졌다. 이러한 이유로 스프링 설계는 결과적으로나 설계 시간 상으로 어쩔 수 없는 손실을 가질 수밖에 없었다. 때문에 설계 목적에 부합하는 목적함수와 제한조건을 정의해 최적화를 수행함으로써 부차적인 효과들을 얻을 수 있다. 기존의 설계 프로세스에서 설계자의 반복 수정 과정을 제거하여 Fig. 4와 같이 최적화가 적용된 새로운 설계 프로세스를 제안하였다. 최적화 수행을 위해서 우선적으로 설계 목적에 맞는 목적함수를 설정 해야 하며, 기존에 존재하던 여러 설계 변수들간의 관계를 수식으로 정리하여 그에 따른 제한 조건들을 정의하는 것이 필요하다.

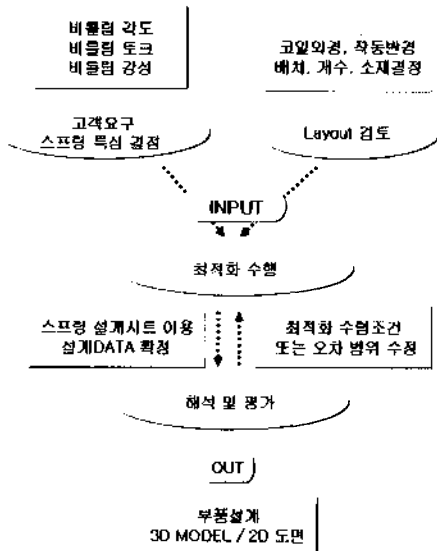


Fig. 4. Optimized damper spring design process.

2.2.1 댐퍼 스프링 설계 변수 구조화

변수 구조화는 Fig. 5의 도표와 같이, 일차적으로 댐퍼 스프링의 설계 파라미터의 성격에 따라 분류하고 다음으로 관련 수식들을 사용해 파라미터 간의 관계를 정의해 구조화한다. 구조화된 설계 파라미터들은 다음 절의 최적설계 정식화에 설계 변수들과 유용 영역 설정을 위한 제한조건들로 사용된다.

스프링 최적 설계에 사용될 제한조건은 Table 1에 간략히 나타내었다. 스프링의 기능요구는 반드시 만족해야 하므로, 등제한조건(Equality Constraint)으로

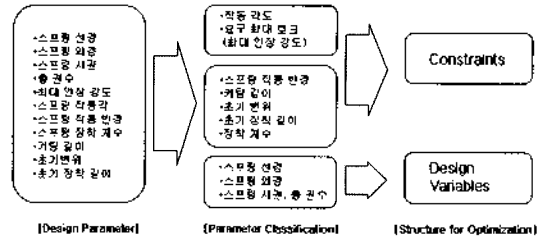


Fig. 5. Constraints and design variables for optimization.

엔진 토크와 설계변수로 계산된 허용 토크가 일치하도록 설정하였다. 설계가능범위 제한조건은 스프링이 장착될 환경에 대한 각각의 상한, 하한 값들이며, 그 외 스프링의 안전도를 위한 수식들이 부등 제한 조건 (Inequality Constraint)으로 설정되었다.

Table 1. Constraints for spring optimization

종류	제한조건
기능요구	요구토크 = T_{total}
설계가능 범위	스프링 선경 및 외경의 상한, 하한 값 스프링 장착길이 상한 값 작동반경 상한 값 1단, 2단 스프링간의 공간
안전도	$4.5 < \text{스프링 지수} < 15$ 응력 비율 < 0.45 후크(Hook) 안전 계수 > 1.2 스프링 피치 $< 0.5 \cdot \text{외경}$ 유효권수 > 3

댐퍼 스프링의 기능 요구인 토크 량은 식 (1)과 같이 계산된다. 장착된 후의 댐퍼 스프링 중심축의 형상을 원호로 가정하여 스프링 변위에 대한 토크량을 계산한 근사값이다. 2단 영역에서는 1단 영역의 스프링과 함께 2단 스프링이 작동 되므로 두 스프링이 견디는 토크 량은 각각을 선형적으로 더해 구할 수 있다.

$$T_{total} = \frac{nR^2Gd^4}{4ND^3} \sin(\sin^{-1}(\frac{L}{2R}) - 0.5\theta) \quad (1)$$

여기서, T_{total} : Total Torque n : 스프링 계수
 G : 스프링상수 d : 선경
 N : 유효권수 D : 외경
 L : 장착길이 R : 작동반경
 θ : 작동각

2.2.2 댐퍼 스프링 설계 정식화

댐퍼 스프링의 1단 스프링 강성 변화에 따라 강성이 연합수록 비틀림 진동 특성이 좋아지고 록업(Lock-up) 체결 시잡을 앞당길 수 있음이 이미 연구를 통해

알려졌다¹⁴⁾. 그러나 스프링의 강성이 너무 연할 경우 엔진으로부터 큰 토크를 전달할 때의 비틀림 양의 제한과 반응 시간 지연이라는 한계 요소를 지니게 된다. 이를 근거로 본 논문에서는 1단 스프링 최적화에 대한 목적함수로 스프링의 강성을 택한다.

스프링의 강성은 재료의 역학적인 특성을 이용하여 식을 유도한 Wahl의 이론 식¹⁶⁾으로 정의 한다. 코일 스프링의 설계 시 Wahl의 스프링 이론이 가장 광범위하게 사용되는 이유는, 일반적으로 코일스프링은 피치 각이 10도 이하이기 때문에 피치각의 영향을 무시한 Wahl의 설계식이 간단한 계산으로 비교적 정확한 결과를 도출하기 때문이다. 스프링의 피치 각이 10도 미만이고, 권수 당 변위량이 D/4인 코일스프링에 대한 설계식은 다음과 같은 가정하에서 유도할 수 있다¹⁷⁾.

1. 곡률의 영향 및 축방향의 힘에 의해 생기는 전단 응력은 무시한다.
2. 축방향으로 하중을 받는 코일 스프링을 순수한 비틀림만 작용하는 곧은 막대로 가정한다.
3. 원통형 소재의 축방향에 수직인 면은 변형 중에도 수직을 유지하며 비틀림 응력이 소재의 반경에 직선적으로 비례하는 분포를 가진다.

이는 코일 스프링의 축방향의 하중을 받을 때 피치각의 변화로부터 굽힘모멘트와 비틀림모멘트, 전단력으로 전달되는데, 굽힘모멘트와 전단력은 상대적으로 비틀림 모멘트에 비해 작다는 것에 기초한 가정이다. 이를 바탕으로 작용하중이 P일 때 미수정 비틀림 응력 τ_0 는 재료역학식¹⁸⁾을 사용하여 정리하면 다음과 같다.

$$\tau_0 = \frac{8PD}{\pi d^3} \quad (2)$$

여기서 d는 스프링의 선경, D는 외경이다. 또한 하중에 대한 스프링의 변위는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\delta = \int_0^{N_s D} d\delta = \int_0^{N_s D} \frac{8PD^2}{\pi d^4 G} dx = \frac{8PD^3 N_s}{Gd^4} \quad (3)$$

여기서 G는 횡탄성계수, N_s 는 유효권수이다.

식 (2)와 (3)으로부터 댐퍼스프링의 강성 K를 유도할 수 있고, K에 포함된 설계 변수인 선경과 외경, 유효권수를 최적화의 설계변수로 설정한다. 따라서 다음과 같이 1단 스프링의 설계변수와 목적함수를 설정한다.

Find d_1, D_1, N_1

to minimize $K_1 = \frac{d_1^4 G_1}{8D_1^3 N_1}$

여기서, d_1 와 D_1 는 각각 1단 스프링의 선경과 외경, G_1 는 1단 스프링 상수, N_1 은 1단 스프링의 유효 권수이다.

댐퍼 스프링의 구조는 앞서 언급한 대로 일반적으로 1단, 2단 작동의 특성을 지니므로 두 영역 모두를 고려해 최적화를 수행해야 한다. 1단 영역과 달리 2단 영역의 스프링은 단순히 엔진의 과도 토크를 위한 댐핑 기능을 담당하므로 스프링의 연성이 엔진의 성능에 직접적으로 연관되지 않는다. 본 논문에서는 2단 스프링의 최적화는 스프링의 무게(m_2)를 최소화하는 방향을 택했다.

Find d_2, D_2, N_2

to minimize $m_2 = \pi \times \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \times N_2 \times L_w \times \rho$

여기서, $L_w = \pi \times D_2 \times n_1$

d_2 : 2단 스프링 선경

N_2 : 2단 스프링 총 권수

L_w : 2단 스프링 Wire 길이

ρ : 밀도

D_2 : 2단 스프링 평균경

최종적으로 최적설계를 정식화하기 위해 앞 절에서 설명한 제한 조건들을 추가하고, 제한 조건들로부터 스프링 최적 설계의 유용영역을 설정할 수 있다.

2.2.3 댐퍼 스프링 최적 설계

본 논문에서는 두 작동 영역을 제한조건으로 분리시켜 각 영역에 맞는 최적 값을 구한다. 즉, 스프링이 배치되는 레이아웃에 따라 그에 상응하는 상한 값과 하한 값을 정의해 두 스프링의 최적화를 독립적으로 설정하고, 두 영역 각각의 최적 값을 순차적으로 도출한다. 최적화 알고리즘은 Fig. 6의 순서도에 따라 사용자의 입력 값으로 제한조건이 설정되고, 이들로 유용 영역을 점검해 유용 영역이 존재하면 최적화를 수행하고 유용영역이 존재하지 않으면 장착 스프링 개수를 조정해 다시 제한조건을 설정하는 순서로 진행 하였다. 목적함수와 구속조건들의 특성을 고려하여, 최적화 기법(Optimizer)으로는 SQP(Sequential Quadratic Programming)¹⁹⁾ 방법을 택하였고, 1차원 탐

색 방법으로는 황금분할법(Golden Section Method)^[9]를 이용해 최적화를 수행 하였다. 본 논문에서 최적화를 수행한 결과와 같은 조건 하의 기존 댐퍼 스프링과의 비교 데이터는 Fig. 7에 나타내었다. 진하게 표시된 것이 기존 스프링에 해당하는 수치이며, 1단 스프링은 강성을, 2단 스프링은 무게를 비교하였다. 결과적으로 1번과 2번 댐퍼 스프링은 최적화 수행에 따른 향상을 보인다. 3번 스프링의 경우는, 최적화의 결과 강성이 더 늘어 났으나, 이전의 제품보다 더 적은 스프링을 사용해 요구조건을 만족하는 해를 찾은 결과이므로 전체적인 댐핑 성능을 향상시키는 해이다.

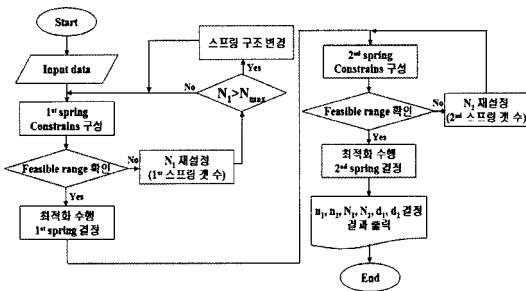


Fig. 6. Algorithm for damper spring optimizations.

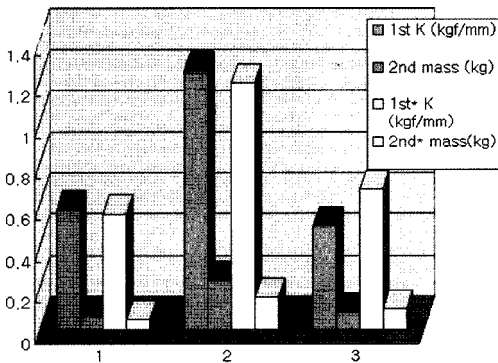


Fig. 7. Optimized example compared with existing damper springs (colored).

3. 댐퍼 스프링 상세 모델링

3.1 조립 후 스프링 형상 모델링

단품 상태의 댐퍼 스프링을 모델링 하는 것은 CAD 시스템이 일반적으로 제공하고 있는 Helix 곡선을 가이드로 이용해 스위핑을 하면 된다. 그러나 조립 후의 변형 된 스프링 형상에서는 Helix 곡선의 중심축이 휘어진 형상이기 때문에 기존의 CAD 시스템 내에 제공 되는 특징형상 프리미티브(Primitive)들로는 모델링에 제약이 따른다. 본 논문에서는 기본 가이드 커브를 따

라 스위핑되는 프로파일 내부에 특정 함수를 적용 시켜 생성한 스웍 곡면의 모서리로부터 스프링 형상을 추출하는 방식을 택하였다. 스웍 곡면의 가이드 커브는 리테이닝 플레이트의 형상에 따라 최소 에너지를 갖는 3차 스플라인 곡선(Cubic Spline Curve)의 형태를 가지게 되며^[10] 리테이닝 플레이트의 레이아웃에 따른 구속 조건들을 곡선 상에 적용시켜 생성한다. 생성된 가이드 커브는 일반적으로 CAD 시스템 내에서 매개변수식 곡선(Parametric Curve)으로 다뤄지며, 보통 0에서 1까지의 매개변수를 가진다. 즉, Fig. 8(a)에 표현된 색션 프로파일의 각도를 다음과 같은 함수로 정의할 한다.

$$\theta = U_{traj} \times 2\pi \times N_w \quad (4)$$

여기서, U_{traj} 는 가이드 커브의 파라미터(Trajectory Parameter)이고, N_w 는 스프링의 총 권수이다. 기준 축과의 각도에 위의 수식이 적용된 색션의 라인은 가이드를 따라 스위핑 되면서 총 권수의 수만큼 회전하게 되어, 결과적으로 Fig. 8(b)의 스웍 곡면을 생성할 수 있다. 본 논문에서 사용된 모델링은 PTC사의 Pro/EngineerTM을 기반으로 구현하였다. 스웍곡면의 모서리를 가이드로 스프링 단면의 프로파일을 스위핑 시키면 최종적으로 원하는 스프링 형상의 스웍 볼륨(Swept Volume)을 추출할 수 있게 된다.

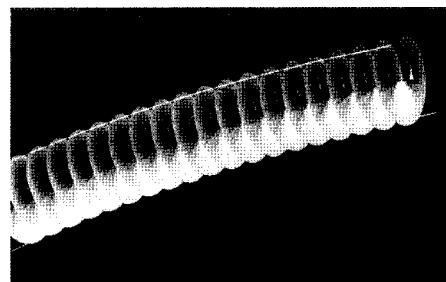
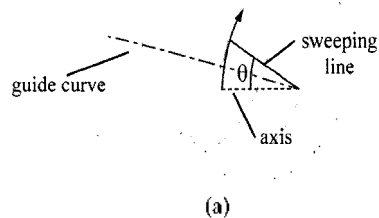


Fig. 8. (a) Section profile with the relation and (b) swept surface as result.

3.2 보간 곡선을 이용한 사권 모델링

댐퍼 스프링이 토크 컨버터에 조립될 때 스프링 양쪽에 스프링 시트가 장착되기 때문에 이를 위해 스프링 양쪽을 커팅해야 한다. 커팅 후에 스프링의 강성의 변화를 피하기 위하여 스프링 양 끝에 커팅을 위한 여분의 코일을 추가하는데 이를 사권(Added Coil)이라 한다. 이 사권은 앞 절에서 설명한 스웍곡면 생성과 같은 방법으로 모델링할 수 있다. 하지만 작동 부와 사권 부를 분리해 모델링 했을 경우엔 두 영역의 피치 차이로 인해 접하는 점에서의 연속성이 C⁰가 된다. 때문에 Fig. 9와 같이 이들을 가이드로 한 스웍 볼륨 간에는 피치 차이 정도에 따라 간섭 및 틈새가 생겨 해석용, 또는 DMU를 위한 모델로는 부적합하다. 위의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 가이드 커브 수정 절차를 추가한다. 양 쪽 곡선에서 가이드 커브가 만나는 점으로부터 미소 길이를 제거하고, Fig. 10과 같이 양 끝 점에서 탄젠트 연속(C¹ Continuity)을 만족하는 3차 허미트 곡선(Cubic Hermit Curve)을 생성한다. 최종적으로 생성된 각 곡선을 통합해 하나의 새로운 가이드 커브를 완성하고, 생성된 가이드 커브로 스위핑 해 시트에 장착될 부분을 절단한 조립용 스

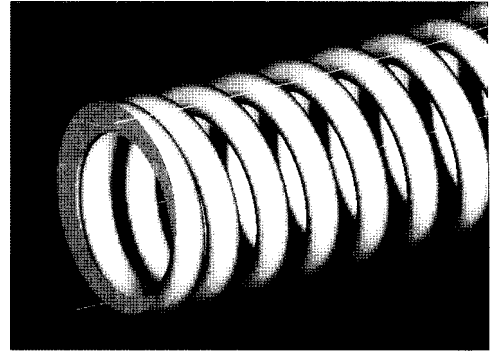


Fig. 11. Damper spring model for assembly.

프링 모델의 결과는 Fig. 11과 같은 형상을 가진다.

4. 시스템 구현

4.1 댐퍼 스프링 설계 프로그램

본 논문에서 제안하는 방법을 통해 초기 환경 변수 값을 사용해 댐퍼 스프링 최적 설계 값을 결정하는 프로그램을 개발하였다. MS Visual Studio C++, MFC⁽¹¹⁾를 사용해 구현하였고, 설계 출력 및 저장 형식은 독자 파일형식을 정의해 사용하였고, 파일 내에 최적화 결과인 설계 변수들과 옵션을 저장한다. 표면적인 인터페이스는 Fig. 12와 같으며 크게 초기 환경 변수 값을 입력하는 부분과 결정된 최적 결과 값을 확인하는 그래프 창과 결과 평가란 그리고 자동 모델링을 위한 파일을 출력하는 부분으로 구성되었다. 그 외에 최적화에 필요한 수렴조건과 계수들을 조정하는 기능을 추가해 세밀한 최적화를 수행할 수 있도록 하였다.

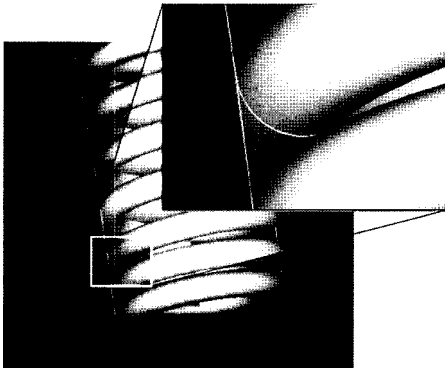


Fig. 9. Interference and gap between the swept volumes.

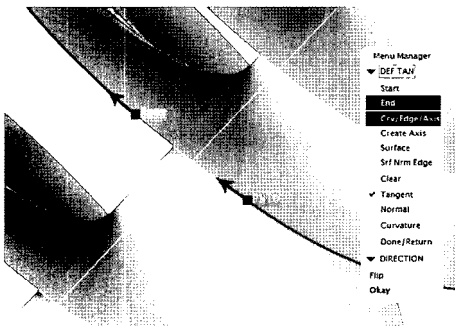


Fig. 10. Interpolation with a cubic hermit curve.

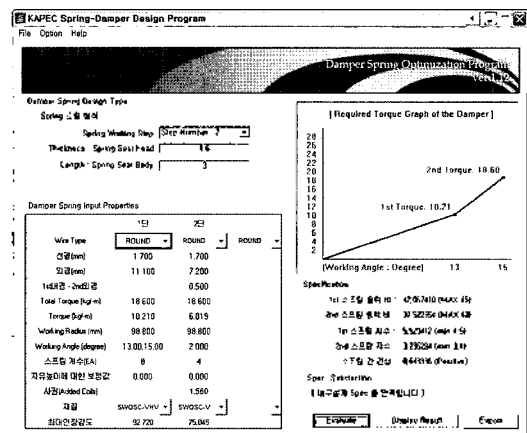


Fig. 12. Optimization application for damper spring design.

4.2 댐퍼 스프링 모델링 자동화 모듈

댐퍼 스프링 모델링 자동화 모듈은 PTC사의 Pro/Engineer 2001과 Pro/Engineer Wildfire를 대상으로 구성하였고, 자동 모델링을 위해 API는 PTC Pro/Toolkit¹²⁾이 사용되었다. Fig. 13과 같이 기존 Pro/E의 메뉴 구성 내에 스프링 설계 메뉴를 추가해, 앞 절의 프로그램에서 저장된 설계 파일을 열어 단품 스프링 모델과 조립용 스프링 모델이 자동으로 완성되도록 개발하였다. 앞 장에서 선정된 설계 변수를 기준으로 기본 스프링 부와 사권부를 모델링하였고, 이를 기본 모델(Base Model)로 저장해 자동화 모델링 모듈에서 해당 치수를 탐색해 수정하는 방안을 택하였다.

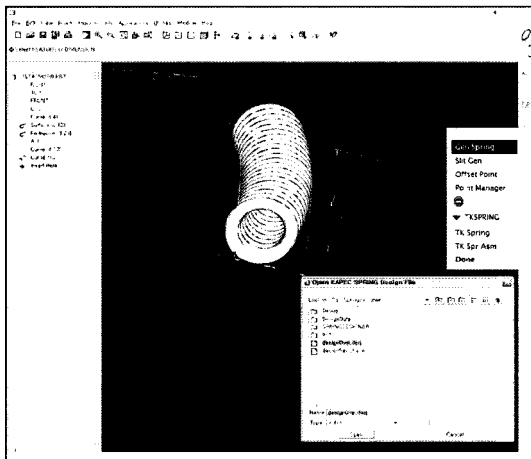


Fig. 13. Damper spring modeling module (Assembly Spring) built in Pro/engineer 2001.

5. 결 론

본 연구에서는 자동 변속기를 위한 토크컨버터 내에 설치되는 댐퍼 스프링에 대한 자동 설계를 제안하였다. 기존의 적정 설계로 이뤄지던 스프링 설계 프로세스에 최적화 기법을 도입해 반복 수정 설계과정을 제거하였고, 이를 위해 댐퍼 스프링 설계 시에 필요한 설계 변수들을 구조화하는 과정을 거쳤다. 최적화 과정은 2단으로 작동되는 댐퍼 스프링의 특성 상, 각 스프링이 서로에게 영향을 끼치는 범위를 제한조건으로 변환시켜, 각 스프링에 해당하는 최적화로 분리하였다.

또한 댐퍼 스프링 CAD 모델의 역학적 해석과 설계 후의 시험 평가를 위해, 장착된 스프링의 형상을 표현하기 위한 모델링 과정도 포함하였다. 장착될 위치에

대한 형상 구속조건을 통해 스프링 중심축의 변형 후 형상을 도출하였고, 함수를 포함한 스위핑 곡면의 모서리를 이용해 댐퍼 스프링을 모델링하였다. 최종적으로 사용자의 편의를 위한 댐퍼 스프링 자동 설계 프로그램을 만들어 설계자가 빠른 시간 안에 기능 요구를 만족하는 스프링을 설계할 수 있도록 하였다.

그러나 본 연구에는 2단 작동하는 댐퍼 스프링만 고려하였고, 스프링 소재의 단면 형상이 원 모양인 라운드 타입(Round Type)만을 대상으로 하였다. 따라서 추후로 다단 작동 특성을 갖는 댐퍼 스프링에 대한 최적설계 알고리즘과, 오발 타입(Oval Type) 등의 타 스프링 소재에 대한 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

1. 자동 변속기의 설계 이론(Design Theory of Automatic Transmission), 현대 자동차 중앙 연구소, 1995.
2. 구분철, 김동일, 장재덕, 주인식, "5속 자동변속기용 토크컨버터 록업클러치의 비틀림 진동 해석에 관한 연구", 한국자동차 공학회 춘계학술대회논문집, pp. 602-607, 2003.
3. Jasbir S. Arora, "Introduction to Optimum Design. 2nd ed.", Elsevier, 2004.
4. 권기억 외 3명, "록업 댐퍼 스프링 설계를 위한 차량 구동예의 비틀림 진동 해석", 한국자동차공학회지, 2001.
5. 안국현, "동력 전달계 비틀림 진동 해석을 위한 클러치 댐퍼 해석 모델 개발", 석사 학위 논문, 서울대학교, 2001.
6. Wahl, A. M., "Diametral Expansion of Impacted Helical Compression Springs During Deflection", *J. of Applied Mechanics*, December, p. 565, 1953.
7. Kwon, H. H. and Choi, S. J., "Design Automation of the Compressive Coil Spring", *J. of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 9. December 2000.
8. Hibbeler, R. C., "Mechanics of Materials, 3rd ed.", Prentice Hall Press, 1997.
9. Garret N. Vanderplaats, "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design with Applications, 3rd ed.", Vanderplaats Research and Development, Inc. 1999.
10. Gerald Ferin, "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design 3rd edition", Academic Press, pp. 189-199, 1992.
11. Microsoft Corporation "MSDN for Visual Studio", 1987-2002
12. Parametric Technology Corporation "Pro/Toolkit[®] User's Guide", Parametric Technology Corporation, 2001.



박 병 건

2005년 한양대학교 기계공학과 학사
2007년 한양대학원 기계공학 석사
2007년~현재 한양대학교 박사과정
관심분야: Design Automation, CAD
Information Exchange, Function-
Based Design



황 길 언

2006년 한양대학교 기계공학과 학사
2006년~현재 한양대학교 석사과정
관심분야: Geometric Modeling, PDM/
PLM, Function-Based Design



김 재 정

1981년 한양대학교 정밀기계공학과 학사
1983년 미국 George Washington대학 공
학석사
1983년~1984년 미국 National Food
Processors Association 연구원
1989년 미국 MIT 공학박사
1989년~1991년 미국 IBM T.J. Watson
연구소 연구원

1991년~1993년 한국 IBM 소프트웨어 연구소 연구원
2002년~2003년 미국 NIST 객원 연구원
2003년 프랑스 Dassault System 새원 연구원
1993년~현재 한양대학교 기계공학부 교수
관심분야: Geometric Modeling, CAD/CAM 응용, PDM/PLM



장 재 덕

1986년 성균관대학교 기계공학과 학사
1991년 연세대학원 기계공학 석사
1991년~2002년 현대자동차(주) 선임인
구원
1997년, 1998년 차량기술사, 기술지도사
2002년~현재 한국파워트레인(주) 기술인
구소 연구소장(전부이사)
관심분야: 자동변속기, 토크컨버터