

내구/진동 해석 기반 변속기 케이스/하우징류 형상 최적설계

김도원¹⁾, 이훈태²⁾, 김민수²⁾, 문형주³⁾, 배성민³⁾, 최병열³⁾

현대트랜시스 구동시스템해석팀¹⁾²⁾, PIDOTECH³⁾

Shape optimization of transmission case, based on durability and vibration analysis

Dowon Kim¹⁾ · Hoontae Lee²⁾ · Minsu Kim²⁾ · Hyeongjoo Moon³⁾ · Sungmin Bae³⁾ · Byunglyul Choi³⁾

¹⁾²⁾ Drive System CAE Team, Hyundai-Transys, 95, Hyundaiakia-ro, Namyang-Eup, Hwaseong-si 18280, Korea

³⁾ PIDOTECH, A-309 Mstate, 114 Beobwon-ro, Songpa-gu, Seoul 05854, Korea

Abstract : In this study, case/housing shape optimization of transmission was carried out. In order to reduce the cost of case/housing, a design problem was formulated considering 2 constraints and 1 objective functions related to cost. PIANo, one of the PIDO(Process Integration and Design Optimization) tool, was used to automate CAE analysis procedures (Abaqus/Optistruct) and perform a design optimization. 3-level orthogonal array, one of the DOE(Design of Experiments) method, was performed to check significant design variables. To find the optimal solution, we used PQRS(Progressive Quadratic Response Surface Method), one of the design optimization techniques. As an optimization result, we got an optimal solution which decrease objective function(weight of case) by 2.8% and all design requirements were satisfied constraints.

Key words : Transmission (변속기), Optimization(최적설계), Objective function(목적함수), Constraints(구속조건), Design of Experiments(실험계획법), Progressive Quadratic Response Surface Method(점진적이차반응표면법)

1. 서 론

최근 자동차 분야에서 연비에 대한 관심이 높아짐에 따라, 연비 개선을 위한 연구 개발이 활발하게 일어나고 있다. 그 중 엔진, 변속기 등 주요 부품들의 중량은 연비에 있어 영향성이 크므로 중량 절감 설계에 대한 지속적인 요구가 발생되고 있다. 따라서 본 연구에서는 변속기 케이스의 중량 절감안 도출을 위해 케이스의 형상 최적설계를 수행하였다. 효율적인 최적화 수행을 위해, PIDO(Process Integration and Design Optimization) 기술을 적용하여 해석 자동화 환경을 구축하였고, 이를 바탕으로 설계 인자간 영향도 평가를 위한 민감도 해석 및 최적화 기법을 활용한 최적설계를 수행하였다. 제안된 방법을 적용한 결과 모든 성능 요구 조건을 만족하면서 중량을 최소화 할 수 있는 설계안을 도출 하였다.

2. 설계문제 정식화

본 연구에서 케이스 중량 최적화를 위해 고려한 성능인자는 변속기 케이스의 내구 및 NVH 성능이다. 내구 성능은 변속기 케이스에 발생하는 최대 응력, NVH 성능은 변속기 케이스 local stiffness(로컬강성) 기준 선도 위배량으로 정의하였다. Fig.1은 로컬강성 기준선도 위배량을 도식적으로 나타낸 것이다.

2.1 설계 변수

본 연구에서는 변속기 중량 최소화를 위해 변속기 케이스의 외곽 리브 존재 유/무 및 두께를 설계변수로 선정하였다. Fig.2은 설계 변수인 변속기 케이스의 외곽 리브 형상을 나타낸 것이다.

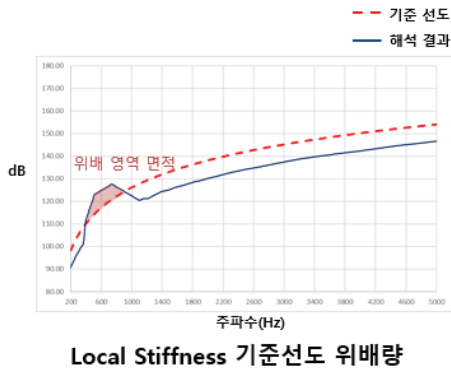


Fig. 1 로컬강성 기준 선도 위배량 정의

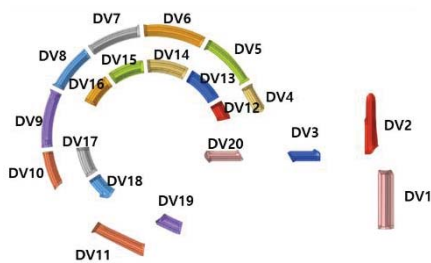


Fig. 2 변속기 외곽 리브 형상 설계변수

2.2 최적설계 정식화

설계 요구사항인 성능지수와 설계변수를 토대로 변속기 케이스 중량 최소화를 위한 최적설계 문제를 식(1)과 같이 정리하였다.

$$\begin{aligned}
 &\text{Find} && \text{외곽 리브 변수 형상} \\
 &\text{to minimize} && \text{케이스 중량} \\
 &\text{subject to} && \text{최대응력} \leq \text{재료 허용응력} \\
 &&& \text{로컬강성 기준 선도 위배량} \leq 0
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

3. 해석자동화 및 최적 설계

3.1 PIDO 기술을 활용한 해석 자동화 구축

효율적인 최적설계 수행을 위해서는 해석 절차에 대한 자동화가 우선적으로 이루어져야 한다. 해석 자동화가 잘 구성된 설계 프로세스에 최적화 기법을 도입할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 80%이상 시간 절감 효과를 볼 수 있다. 그러므로 해석 기반의 최적설계에 있어, 해석 자동화 환경

구축 작업은 매우 중요하다. 본 연구는 Fig.3에서 보이는 바와 같이, 상용 PIDO Tool인 PIAAnO를 사용하여 전/후처리 과정과 해석시스템의 자동화를 구성하였다. 전처리 과정으로는 리브의 형상 변경을 위해 Hypermesh의 모핑 기능을 활용하였고, 후처리 과정으로는 응력 결과 및 로컬강성 결과 분석을 위한 Hyperview, 로컬강성 기준선도 위배량 계산을 위한 In-house Code를 활용하였다. 해석시스템으로는 내구 성능 분석을 위하여 Abaqus를 활용하였고, NVH 성능 분석 위해서는 Optistruct를 활용하였다.

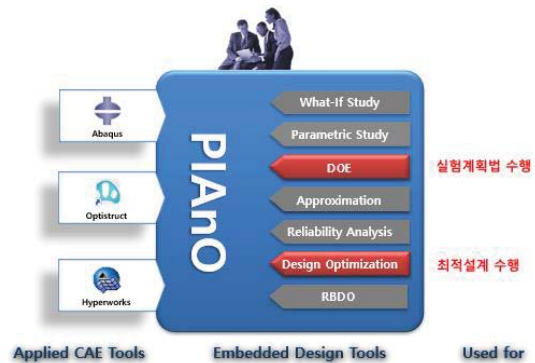


Fig. 3 해석 자동화 구축 (Process Integration)

3.2 실험계획법을 통한 주요 설계 변수 선정

최적설계를 수행하기 앞서, 주요 설계변수 판별 및 설계변수와 성능인자 간 상관성 분석을 위해 실험계획법(DOE, Design Of Experiments)을 수행하였다. 실험계획법으로는 최적 라틴 방격 추출법(OLHD, Optimal Latin Hypercube Design)을 사용하였으며, PIAAnO에 탑재된 Scatter plot과 Smart screening 기능을 이용하여 주요 설계변수를 선정 및 설계변수와 성능지수간 영향력을 판별하였다.

3.3 최적해 도출을 위한 최적화 기법

본 연구에서는 PIAAnO에 탑재되어 있는 최적화 기법 중 하나인 PQRS(Progressive Quadratic Response Surface Method)를 사용하였다. PQRS는 비교적 적은 수의 실험점으로 근사모델을 생성한 후 순차적으로 설계영역을 옮겨 가며 최적해를 탐색하는 방법으로 수치적인 노이즈를 포함한 CAE 기반의 최적 설계문제에 적합한 장점을 가지고 있다.

3.4 최적설계 결과

PQRSM을 이용한 최적설계 결과, 모든 구속조건 즉, 설계요구사항인 최대응력 및 로컬강성 기준선도 위배량을 모두 만족하며, 목적함수 인 케이스 중량을 약 2.8% 절감한 설계안을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

변속기 케이스의 중량을 절감하기 위해, 케이스 외곽에 위치한 리브들의 형상 최적설계를 수행하였다. 효율적인 최적설계 수행을 위해, 전/후처리 과정 및 해석절차 자동화 환경을 구축하였으며, 최적설계 결과 모든 구속조건을 만족시키며 케이스 중량을 약 2.8% 절감한 최적설계안을 얻을 수 있었다. 본 연구를 통해 수치적 부담이 큰 실제 공학문제를 효과적으로 최적설계 할 수 있는 설계 방법론을 제안하였으며, 그 유효성과 유용성을 입증하였다. 또한 변속기 외 모터/인버터 등 다양한 전동화 부품들의 케이스류 중량 절감안 도출에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- 1) N.A. Butler, Optimal and Orthogonal Latin Hypercube Designs for Computer Experiments, *Biometrika*, 88(3), 2001, 847-857.
- 2) K.J. Hong, D.H. Choi, M.S. Kim, Progressive Quadratic Approximation Method for effective Constructing the Second-Order Response Surface Models in the Large Scaled System Design, *The Korean Society of Mechanical Engineers(A)*, 24(12), 2000, 3040-3052.
- 3) Down. Kim, Dohyun. Park, D.H. Choi, Bush Parameter Optimization of Trailing Arm in Vehicle Rear Suspension, *KSAE Annual spring conference*, 2013
- 5) PIA_nO User' s Manual, PIDOTECH Inc., 2021.