

DOE 해석 기반 LSD 마찰플레이트 설계 민감도 분석에 관한 연구

The Study on the Design Sensitivity of LSD Friction Plate based on DOE Analysis

배철용† · 이동원* · 권성진* · 김찬중* · 이봉현*

Chul-Yong Bae, Dong-Won Lee, Seong-Jin Kwon, Chan-Jung Kim and Bong-Hyun Lee

1. 서 론

차동제한장치는 작동방식 및 제어방식에 따라 다양한 형태가 적용되고 있으며, 일반적으로 적용되는 방식은 다판클러치식의 차동제한장치이다. 다판클러치 방식은 차동장치 내부에 마찰 플레이트와 스피들 디스크로 구성된 클러치 팩을 장착하여 두 디스크 사이의 마찰력에 의하여 차동을 제한시키게 된다. 따라서 마찰 플레이트의 마찰력 크기에 따라 차동제한 비가 결정되어지므로, 다판클러치 방식의 차동제한장치에서는 마찰플레이트 설계변수 정립이 가장 중요한 설계인자로 작용하게 된다. 이에 본 연구에서는 마찰플레이트의 다양한 설계변수 인자에 대한 DOE(design of experiment) 해석을 통하여 설계 민감도를 분석하여, 적정 마찰력 발생에 따라 양측 구동휠로 토크 분배가 가능한 마찰플레이트 설계 변수를 분석해보고자 한다.

2. 본 론

2.1 해석 모델 구성

현재 기존 K社 SUV 양산형 차량의 차동제한장치에 적용된 마찰플레이트는 스틸플레이트 표면에 탄소복합소재를 클로스(cloth)형태로 부착하여 적용이 이루어지고 있다. 이에 본 연구에서는 기존 차량에 적용된 클로스 타입 마찰플레이트를 벤치마킹 제품으로 선정하고, 마찰플레이트의 마모성능과 TBR(torque bias ratio) 성능 향상을 위하여 플레이트 전체를 탄소복합소재로 구성한 모델과 스틸플레이트를 부분적으로 파내어 일정두께의 탄소복합소재를 압입한 형태에 대한 해석모델을 Fig. 1과 같이 구성하였다. 특히, 탄소복합소재가 직조형태를 압착한 제품임을 감안하여 탄소복합소재에 대한 단위 시제품을 제작하여 초음파 물성 측정장비를 이용하여 물성치를 확보하였다. 또한 각각의 소재에 대한 마찰계수는 ISO 8296에 기반하여 정/동마찰 계수에 대한 측정이 우선적으로 이루어졌다.

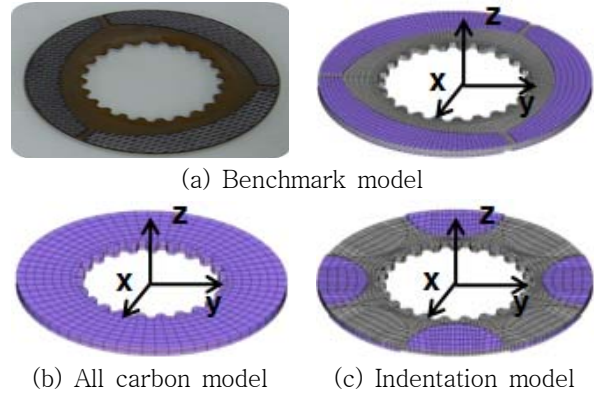


Fig. 1 Analysis models for friction plates

2.2 해석모델 전달토크 분석

본 연구에서는 Fig. 1에 구성되어진 해석모델을 대상으로 Fig. 2에 도시한 바와 같이 1,400N(벤치마킹 제품에 작용되는 예압력)의 수직 예압력이 작용한 상태에서의 단면 전달토크 해석을 통하여 벤치마킹 제품 대비 두 가지 해석모델에 대한 접촉면 회전 토크량 분석을 수행하였다.

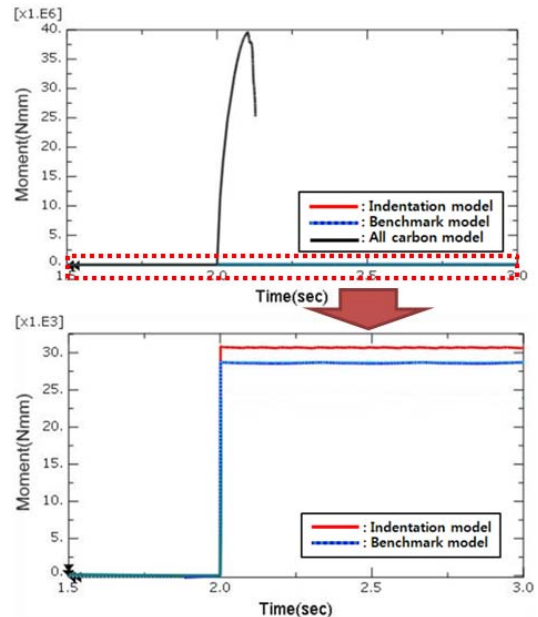


Fig.2 Result of one-side torque analysis

† 교신저자 : 자동차부품연구원
E-mail : cybae@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3339, Fax : (041) 559-3340
* 자동차부품연구원

플레이트 전체를 복합소재로 구성한 모델은 과도한 전달토크가 발생하여 실제 적용이 불가능함을 알 수 있으며, 압입형 모델은 기존 벤치마킹 제품 대비 약 10% 향상된 전달토크량을 발생시키고 있으며, 탄소복합소재가 일정 두께를 가지기 때문에 기존 벤치마킹 제품 대비 내구성능을 향상시킬 수 있는 마찰플레이트 설계 방향임을 확인할 수 있다.

2.3 DOE 해석모델의 구성

앞서 기술한 바와 같이, 전달토크 분석을 통하여 탄소복합소재 압입형 모델이 기존 벤치마킹 모델 대비 토크전달에서 향상된 특성이 발생됨에 따라, 압입형 모델에 대한 탄소복합재 면적 및 압입깊이 등의 설계인자에 따른 민감도 분석을 수행하고자, Table 1과 같이 4인자 3수준의 L27 해석모델을 구축하여 설계 민감도 분석을 수행하였다. 설계인자 선정은 면적변화에 따른 토크량과 압입깊이에 따른 구조안정성 측면을 통한 민감도 분석을 수행하여 적절한 설계변수 확보에 관점을 두었으며, 실제 제품의 양산성을 고려하여 원형상의 복합소재 형태를 직사각형 형상으로 변화하여 민감도 분석을 수행하였다.

Table 1 Design variables for DOE analysis

Design variables	Design variables		
	1	2	3
A: Phase Quantity	0%	50%	100%
B: Lateral length	17.9mm	26.8mm	35.8mm
C: Longitudinal length	6.1mm	12.2mm	18.4mm
D: Penetration depth	20%	30%	40%

2.4 설계민감도 분석결과

DOE 분석을 통한 마찰플레이트 설계인자 기여도 분석은 구조해석을 통한 전달토크, 플레이트 중심 변위량 및 플레이트 최대/최소응력에 대한 결과를 적용하여 기여도를 분석하였다. 이러한 결과들은 LSD의 TBR 성능 및 구조안정성 측면에서 중요한 변수로 작용하기 때문에 반드시 고찰이 필요한 대상이다.

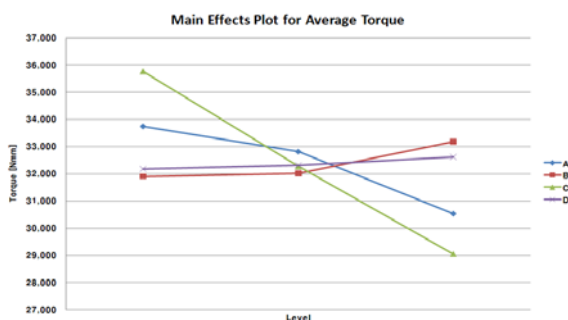


Fig. 3 Main effect plot for average torque

본 논문에서는 지면의 한계상 마찰플레이트의 전달토크에 대한 설계인자 기여도 분석만을 Fig. 3에 나타내었으며, 네 가지 설계인자에 대한 기여도 분석에 따라 아래와 같은 설계인자 민감도 분석결과를 얻을 수 있었다.

- 수직하중(1,400N) 입력조건 하에서는 탄소복합소재의 종방향 길이와 전달토크량은 반비례 관계를 형성함.
- 탄소복합소재의 양단 중첩 위상차와 전달토크는 반비례 관계를 형성함.
- 탄소복합소재의 횡방향 길이 증가는 전달토크 증가에 높은 기여도를 발생시킴.
- 탄소복합소재의 양단 중첩 위상차 증가는 플레이트의 변위량 발생에 높은 기여도를 발생시킴.
- 탄소복합소재 면적증가는 플레이트 변위량 발생에 비례적인 관계를 형성함.
- 탄소복합소재 양단 중첩 위상차가 커질수록 소재부의 최대 발생응력도 증가하는 경향을 발생시킴.

상기에 기술한 마찰플레이트의 네 가지 설계인자 민감도 분석결과를 통하여 본 연구에서는 Fig. 4에 도시한 형태의 마찰플레이트 설계변수를 확보할 수 있었다.

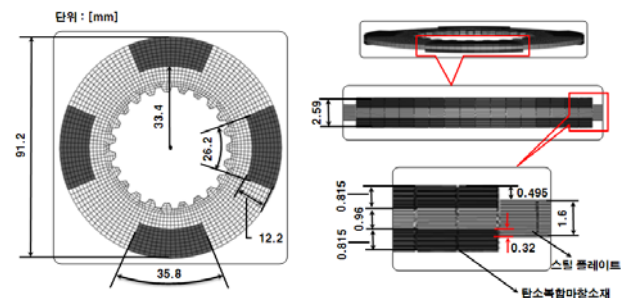


Fig. 4 Design result for friction plate

3. 결 론

본 연구에서는 LSD 적용을 위한 마찰플레이트의 마모 및 TBR 성능 향상을 위하여 네 가지 설계인자에 대한 DOE 해석을 통한 설계인자 민감도 분석을 수행하였다. 이를 통하여 설계인자에 대한 성능 기여도 분석이 가능하였으며, 해석결과를 적용한 적정 설계변수를 확보할 수 있었다. 향후 해석결과가 적용된 시작품을 제작하여 다이내모 평가를 통한 성능검증이 수행되어질 예정이다.

후 기

본 연구는 지식경제부가 주관하는 부품소재기술개발사업(탄소복합소재 적용 다관 클러치식 차동제한장치 클러치팩 개발)의 성과물로서 관계자 여러분께 감사드립니다.