

하이브리드 차량용 토크리미트 댐퍼 개발 전략

강 효 은

현대트랜시스

Development Strategy for Torque-Limiting Damper in Hybrid Vehicle Powertrains

Hyoeun Kang

Hyundai Transys

Key words : Torque-Limiting Damper(토크리미트 댐퍼), Hybrid Transmission(하이브리드 변속기), Over-Torque Protection(과토크 보호), Limit Torque Setting(한계 토크 설정), Environmental Reliability(환경 신뢰성)

강효은, E-mail: hyoeunkang@hyundai-transys.com

하이브리드 차량은 내연기관과 전기모터의 직/병렬 구동방식으로 인해 급격한 토크 전환이 상시 발생하며, 이는 NVH 악화는 물론 파워트레인 핵심부품 조기 파손의 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 토크리미트 댐퍼의 필요성과 개발전략을 제시하며, 국내 양산이력 부재로 인해 정립되지 못한 실무적 과제(리미트 토크 설정 기준, 해외 업체 동향, 환경적 신뢰성)를 중심으로 분석해보고자 한다. 또한 토크리미트 댐퍼에 대한 특허 및 구조적 개념은 다수 존재하나 실제 양산 적용을 위한 내구성, 제어 정밀도, 환경 신뢰성과 관련된 인자 분석에 대한 현실적 한계가 있어 본 연구에서는 하이브리드 파워트레인에서의 토크리미트 댐퍼 탑재 방식 및 기능 유지를 위한 스펙 설정, 향후 전기차량 적용에 대한 아이디어를 제시하고자 한다.

1. 토크리미트 댐퍼의 필요성 및 작동원리

토크리미터는 엔진부터 차량의 바퀴까지 연결되는 전체 파워트레인의 구성요소 중 과토크에 의해 슬립이 일어나는 인자가 없는 경우 필수적이라고 볼 수 있다. 하이브리드 변속기에서는 통상 싱크로 또는 도그클러치 타입 변속기이거나 기어 감속구조로만 구성된 형태의 변속기를 사용하는 경우 슬립 인자가 없어 엔진에 직결된 댐퍼에 토크리미터를 포함시키는 경우가 대부분이다.

- 토크리미터의 필요성 : 토크리미터(슬립 인자)가 없이 과토크가 인가되면, 파워트레인 내부 부품 중 취약부위가 조기 파손될 수 있다. 또한 조기 파손되지 않더라도 지속적인 과부하로 인해 내부 부품에 손상을 일으키기도 한다. 토크리미터는 엔진 변동 토크와 같은 비정상적인 피크 토크의 전달을 차단해 주기 때문에 NVH에도 유리한 역할을 한다. 따라서 토크리미터는 변속기 수명 연장과 NVH 성능 향상을 위해 필요하다.
- 토크리미트 댐퍼의 작동원리 : 댐퍼의 구성부품에 직렬로 연결하여 일반적인 허용토크 내에서는 직결(Normal Close) 상태로 있다가 특정 토크 이상이 되면 마찰재와 부품면 사이에서 슬립이 일어나 토크의 전달을 차단한다.
- 실차 과토크 발생 상황(Fig.1 참조) : 모드전환(EV, HEV, 회생제동 등), 급가속, 급제동 후 가속, 기어변속 지연에 따른 토크 중복전달, 언덕주행, 트레일러 견인 및 차량 외부요인(타이어 마찰력 변화 및 엔진 미스파이어링) 등



Fig. 1 Common over-torque triggers requiring torque-limiting protection: Tire friction variation, Engine misfiring, Sudden load change

2. 토크리미터 댐퍼의 탑재 방식 및 구성

통상 슬립 인자가 없는 변속기에서의 토크리미터 댐퍼는 변속기와 엔진 사이에 위치하며 건식 마찰재를 사용하는 외장형 댐퍼의 형태로 구성되어 있다. 오일이 없는 변속기 외부에 위치한 외장형 댐퍼는 두꺼운 건식 마찰재를 이용해야 하기 때문에 전장 단축의 한계가 있다. 또한 외부에 노출되어 있기 때문에 수분 유입 등에 의해 마찰계수가 변하거나, 녹 발생으로 Stuck이 일어나는 등의 환경적 한계가 존재한다.

3. 토크리미터 스펙 설정 방법 (Fig.2 참조)

토크리미터의 스펙 설정은 **파워트레인 내부 모든 부품의 강도를 동일한 조건으로 해석하여 도출할 필요가 있다.** 또한 마찰재의 특성을 규제하기 위해서는 내부 부품들이 가진 **일반적인 안전율과 과토크 시 버틸 수 있는 한계치 사이에서 스펙을 선정**해야 한다.

파워트레인에서 강도적으로 가장 취약한 부품을 알고, 해당 부품의 토크안전율보다 낮은 토크에서 슬립이 일어나도록 설계해야 하고, 실제 상황에서 유입되는 과토크에 대한 데이터를 반영하여 “마찰재의 슬립에 따른 성능 변화” 즉, 작동횟수와 마찰재 내구성을 고려한 설계가 필요하다. 또한 **환경적인 변수에 의해 마찰성능의 변화도** 시험적으로 검증이 필요하다.

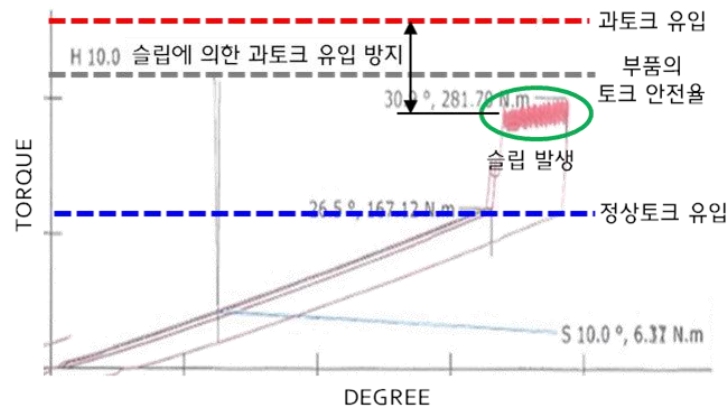


Fig. 2 Setting Criteria for Slip Torque in a Torque-Limiting Damper

4. 전기차 감속기용 토크리미터 댐퍼

전기차량은 과토크 유입 시 구동모터를 실시간으로 제어하여 토크를 감쇄시키는 기능이 탑재되어 있기 때문에 정상 상태에서는 토크리미터가 불필요하다. 하지만 비정상적인 조건에서는 (실차 조건 반영 미흡, 외부의 급격한 환경 변화를 제어적으로 반영 못하였을 경우) 파워트레인 내부 부품의 파손으로 이어질 수 있다. 따라서 Fail-safe 방식의 기계식 토크리미터 장치가 필요할 수 있다. 이를 감속기 내부에 구성하여 NVH 개선과 병행하는 개념에 대한 연구가 필요하다.

토크리미터 댐퍼는 국내 개발 이력이 전무한 부품으로 양산개발을 위한 데이터가 충분하지 않다. 이에 본 연구에서는 하이브리드 차량용 토크리미터 댐퍼의 실용화 전략을 중심으로 토크리미터 댐퍼의 필요성 및 작동원리, 탑재방식 및 구성, 한계 스펙 설정 등을 종합적으로 분석하였다. 토크리미터 댐퍼는 파워트레인 모든 부품의 토크 안전율을 고려한 설계가 필요한 만큼 완성차 협조가 필요한 부품이며, 환경적 변수에 따른 기능실패를 막기위해 적절한 재료선정 및 구조설계가 필요하다.

향후 연구에서는 양산개발에 따른 실제 평가데이터를 포함한 기술확보와 환경 변수를 극복할 수 있는 주요 스펙 정의를 목표로 한 연구가 필요하며, 하이브리드 파워트레인에 꼭 필요한 인자인 만큼 기술을 내재화하였을 때 하이브리드 및 전기차 파워트레인의 신뢰성 및 경쟁력 강화에 기여할 수 있을 것이다.