

전자식 주차 브레이크 작동소음 개발 목표 설정을 위한 전달경로분석법의 적합성 연구

Study of TPA for cascading NVH target of electric parking brake

정현범† · 이재용* · 한민규* · 전남일*

Hyun Bum Jung, Jae Yong Lee, Min Gyu Han and Namil Jeon

Key Words : Transfer Path Analysis (전달경로 분석법), Structure-borne Noise (구조전달음), Air-borne Noise (공기전달음), Electric Parking Brake (전자식 주차 브레이크), Motor on Caliper (캘리퍼 일체형),

ABSTRACT

Transfer Path Analysis (TPA) is commonly used, by car makers and parts suppliers, analysis process to root the cause of NVH problems. In general, TPA is an analyzing technique to find the contributing factors of noise/vibration problems, and their transfer path in vehicle. However, not only TPA is used to analyze the source of NVH problems but also is used to predict NVH performance prior to the proto vehicle, or to set the development target for next new vehicle. Automotive parts manufacturing companies have to set NVH performance target when developing new systems just as car makers have NVH target set for new vehicle. Nevertheless, most of components are currently being developed based on subjective evaluation without an objective target. To judge the suitability of using TPA to set NVH target of electric parking brake, this research analyzed the transfer path by setting them in two points of view; Chassis Module and Electric Parking Brake, and comparing the measured value and calculated value. From this result, NVH target of electric parking brake will be approached in level of vehicle, system and component.

1. 서 론

최근 몇 년 전부터 완성차 업체뿐만 아니라 일부 부품 업체에서도 NVN 문제에 대한 원인 분석 방법으로 전달경로분석법(Transfer Path Analysis, 이하 TPA)을 많이 사용하고 있다. 일반적으로 TPA는 차량에서 발생하는 소음/진동 문제의 주요 전달 경로와 주요 기여인자를 찾기 위해서 사용되어지는 분석 기법 중 하나이고, 주로 NVH 원인 분석을 위해서 사용한다. 그러나 TPA는 원인 분석뿐만 아니라 시작차가 만들어지기 전 단계에서 NVH 성능을 예측하거나 신차를 만들기 위한 NVH 개발 목표를 설정할 때도 사용한다.

완성차 업체에서 신차를 개발할 때 NVH 성능 목표를 설정하여 차량을 개발하듯이 부품업체에서도 부품을 개발할 때 차량에서 부품에 대한 NVH 성능 목표를 설정하고 개발하는 것이 필요하다. 그러나 현재 많은 부품들을 개발할 때 구조전달음 (Structure-borne Noise) 특성을 고려하지 않고 공기전달음(Air-borne Noise) 특성만을 고려하여 객관적인 목표 설정 없이 감성적인 평가 위주로 제품을 개발하고 있다.

본 연구에서는 캘리퍼 일체형 전자식 주차 브레이크(Electric Parking Brake, 이하 EPB)의 NVH 개발 목표를 설정하기 위한 방법으로 TPA 사용이 적합한지 판단하기 위하여 차시 모듈(Chassis Module) 관점과 EPB 관점에서 전달경로를 설정하여 측정값과 계산값을 비교하고 각 경우에 대해서 전달경로를 분석하였다.

이러한 결과를 바탕으로 향후 캘리퍼 일체형 EPB 작동 소음의 개발 목표를 차량, 시스템 및 단품 측면에서 설정할 계획이다.

† 교신저자 ; 정희원, 만도 Global R&D NVH 팀

E-mail : hb.jung@halla.com

Tel : 031-680-6618 , Fax : 031-680-5481

* 공동저자 : 만도 Global R&D NVH 팀

2. 본 론

2.1 EPB 작동 소음 측정

차량 부품의 전자화가 많은 부분에서 이루어지면서 주차 브레이크 또한 전자식으로 바뀌어가고 있는 추세이다. 전자식 주차 브레이크(EPB)는 크게 케이블 풀러형(Cable Puller type)과 캘리퍼 일체형(Motor on Caliper type)으로 분류된다. 후자의 EPB는 Fig.1과 같이 모터-감속기 액추에이터가 브레이크 캘리퍼 하우징에 연결되어 모터 작동시 감속기구에 의해 캘리퍼 피스톤이 브레이크 패드를 밀어 작동하는 방식인데 이때 소음이 발생하게 된다.

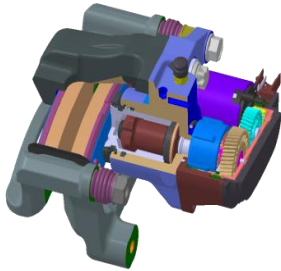


Fig.1 Motor on caliper type EPB

캘리퍼 일체형 EPB 작동시 실내에서 들리는 소음은 식(1)과 같이 EPB 작동 진동이 차체로 전달되어 실내로 방사(Radiation)되는 구조전달음과 EPB에서 방사된 소음이 실내로 투과되어 들어오는 공기전달음의 합으로 이루어진다.

$$\text{실내소음} = \text{구조전달음} + \text{공기전달음} \quad (\text{식 } 1)$$

본 연구에서는 멀티링크 서스펜션이 적용된 차량을 대상으로 캘리퍼 일체형 EPB의 작동소음을 측정하고 전달경로분석을 하였다. Fig.2와 Fig.3에 나타난 것과 같이 EPB 작동 및 해제 시 차량의 후석에서 감지되는 소음 중에서 공기전달음이 차지하는 비율을 보면 7%와 3%로 구조전달음에 비하여 미세함을 알 수 있다. 즉, 차량의 흡차음 특성과 EPB의 방사소음 특성에 따라서 공기전달음과 구조전달음의 비율은 조금씩 달라지겠지만 대부분 EPB 작동 소음은 진동이 차체로 전달되어 실내로 방사되는 구조전달음이 대부분이다. 따라서 캘리퍼 일체형 EPB 작동 소음의 개발 목표를 공기전달음 보다는 구조전달음 측면에서 설정하는 것이 필요하다.

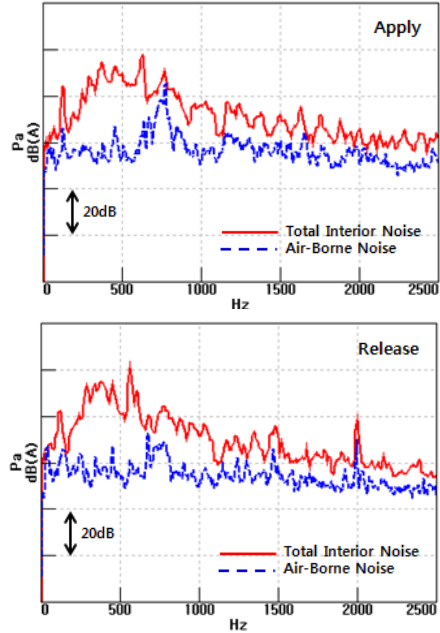


Fig.2 EPB noise at rear seat on apply and release

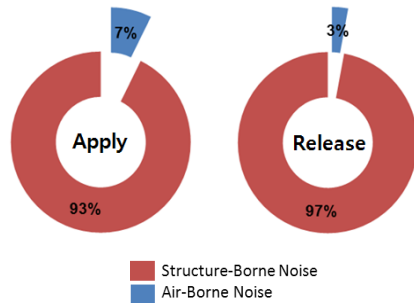


Fig.3 Contribution of structure-borne and air-borne noise at rear seat on apply and release

2.2 TPA 방법 개요

TPA는 소음의 가진원으로부터 승객의 귀까지 전달되는 경로를 분석하는 일련의 실험적 기법으로 차량의 전달경로에서 구한 가진력과 전달함수를 합성하여 실내소음을 유추하는 방법이다. TPA 결과의 정확도는 해석하고자 하는 시스템의 소음 발생 현상의 이해 정도, 적절한 경계 설정 그리고 정확한 측정을 통해서 결정된다

일반적으로 실내소음은 식(1)과 같이 구조전달음과 공기전달음의 합으로 표현되는데 이것을 다시 표현하면 식(2)와 같다.

$$Pa = \sum_{i=1}^n H_i \times F_i + \sum_{j=1}^m H_j \times Q_j \quad (\text{식 } 2)$$

여기서, Pa 는 실내소음, Fi 는 전달 경로에서 차체 가진력, Qj 는 음원의 음압, n,m은 전달 경로를 나타내며, Hi 는 차체 전달함수, Hj 는 음향 전달함수이다.

2.1절에서 언급했듯이 캘리퍼 일체형 EPB 작동음은 구조전달음이 지배적이므로 TPA 분석시 식(2)의 공기전달음 항은 무시하고 구조전달음 항만 고려하였다. 여기서 구조전달음 항의 차체 가진력 Fi 는 구하는 방법에 따라 여러 종류의 TPA로 나뉘어진다. 전달경로에서의 차체 가진력은 직접적인 방법으로 측정이 어렵기 때문에 주로 간접적인 방법들을 이용하여 유추하고 있다. 본 연구에서는 식(3)과 같은 역행렬 방법(Matrix Inversion Method)을 사용하였는데 역행렬 방법은 각 전달경로에서의 전달함수와 가속도를 이용하여 가진력을 유추한다.

$$\mathbf{F} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{a} \quad (\text{식 } 3)$$

$$\begin{pmatrix} F_1 \\ \vdots \\ F_n \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \quad (\text{식 } 4)$$

A: 전달경로에서 전달함수(Accelerance) 행렬

a: 전달경로에서 가속도 벡터

본 연구에서는 각 전달경로에서의 전달함수를 임팩트 테스트로 통해서 구했으며, EPB 작동 및 해제시 실내소음과 전달경로에서의 가속도를 동시에 측정하여 TPA 분석에 사용하였다.

2.3 전달 경로의 설정

본 연구에 사용된 멀티링크 서스펜션 적용 차량에서 EPB 작동 소음은 진동이 각 링크를 통해서 차체로 전달되고 이 진동이 실내로 방사되는데 EPB 작동소음에 대해서 2가지 전달경로를 설정하여 TPA 분석을 실시하였다.

첫 번째 경우는 Fig.4와 같이 샤시 모듈이 차체에 연결되는 좌우측 10곳을 전달경로(TPA Case1)로 설정하여 분석하였다. 이 경우에는 EPB 작동 소음

에 대한 원인 분석 및 각 링크류에서 기여도 분석이 가능하고 차량 측면에서 개발 목표 설정이 가능하기 때문에 주로 완성차 업체에서 사용한다. 하지만 이 경우는 EPB 단품에 대한 개발 목표를 설정하기 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 Fig.5와 같이 캘리퍼 일체형 EPB가 너클(knuckle)에 연결되는 곳과 브레이크 디스크를 전달경로(TPA Case2)로 설정하여 분석하였다. 그리고 TPA Case1과 TPA Case2의 분석 결과를 비교하였다.

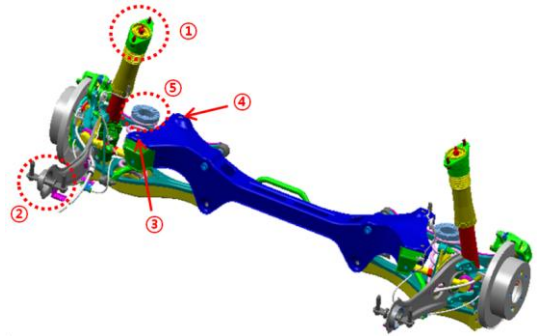


Fig.4 TPA Case1: Transfer path based on chassis module

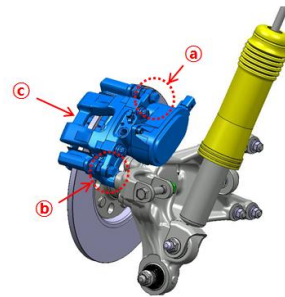


Fig.5 TPA Case2: Transfer path based on MoC type EPB

2.4 TPA 결과

(1) TPA Case1 결과

Fig.6 는 샤시 모듈이 차체에 연결되는 점을 전달경로로 설정하여 EPB 작동시와 해제시 측정값과 TPA에 의한 계산값을 비교한 결과이다.

50Hz 이하 구간에서는 과다하게 계산되는 경우도 있지만 전반적으로 측정값과 일치함을 보여준다. 특히 기어 맞물림 주파수(Gear Meshing Frequency)에서는 잘 일치한다. 이 결과로부터 EPB 작동소음

은 주로 구조전달음이 지배적임을 알 수 있다.

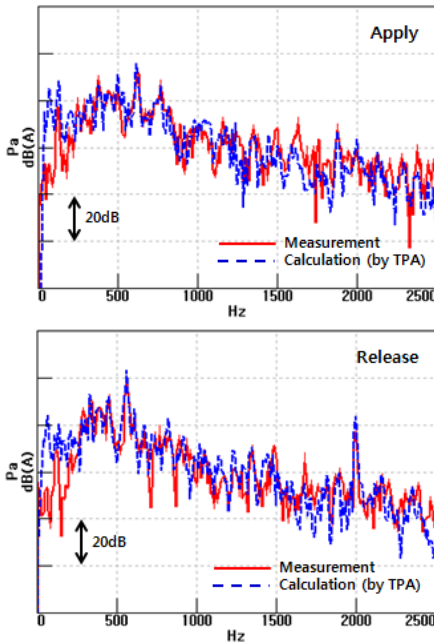


Fig.6 TPA Case1: Comparison between measurement and calculation on applying and releasing EPB

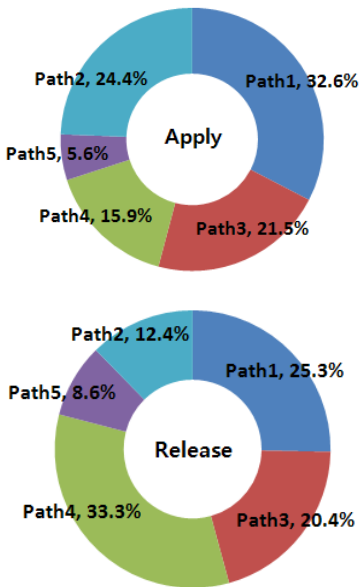


Fig.7 TPA Case1: Contribution of EPB noise on applying and releasing EPB

Fig.7은 사시모듈이 차체에 연결되는 전달경로의 기여도를 분석한 그래프이다. EPB 작동 시에는 Path1, 해제 시에는 Path4의 기여도가 크다. 오버 올 레벨(Overall Level)을 기준으로 기여도 분석을 했기 때문에 발생 주파수 특성에 따라서 기여도가 달라 질 수 있다. Path5는 EPB 작동 및 해제 시 기여도가 제일 작은 경로로 분석되었다.

(2) TPA Case2 결과

Fig.8은 EPB가 너클에 연결되는 곳과 브레이크 디스크를 전달경로로 설정하여 EPB 작동시와 해제 시 측정값과 TPA에 의한 계산값을 비교한 결과이다. 전반적으로 TPA Case1 보다 작게 계산이 되었으나 잘 일치하는 것을 알 수 있고 일부 구간에서는 TPA Case1 보다 측정값과 잘 일치하는 것을 보여준다. 이 결과는 EPB가 너클에 연결되는 곳을 전달경로로 설정하여 TPA 분석시에도 측정값과 계산값이 잘 일치하며, EPB NVH 목표 개발시 너클을 기준으로 한 TPA 방법이 적합하다는 것을 보여준다. 이 결과는 향후 차량에서 EPB가 장착되는 너클 위치에서 작동진동, 입력점 강성 및 음향 감도의 목표를 개발하는데 사용할 예정이다.

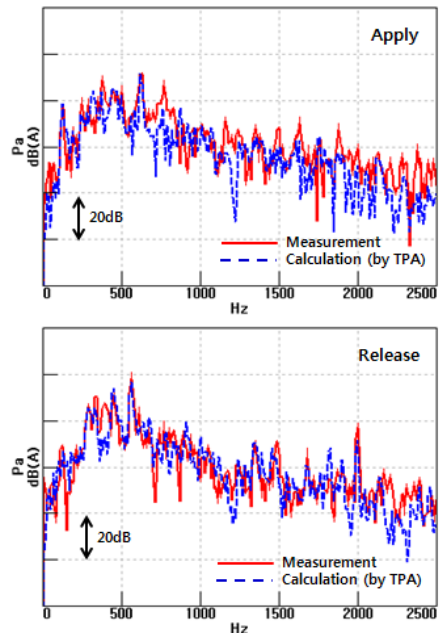


Fig.8 TPA Case2: Comparison between measurement and calculation on applying and releasing EPB

Fig.9은 EPB가 너클에 연결되는 곳과 브레이크 디스크 전달경로의 기여도를 분석한 그래프이다.

EPB 작동 및 해제시 Path ㉠의 기여도가 크며, 해
제시 보다 작동시 Path ㉠의 기여도가 증가하는 것
을 알 수 있다.

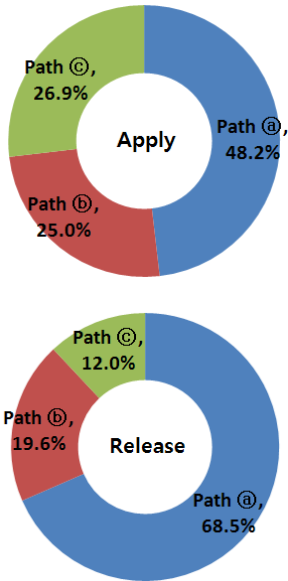


Fig.9 TPA Case2: Contribution of EPB noise
on applying and releasing EPB

3. 결 론

본 연구에서는 캘리퍼 일체형 EPB 작동소음에 대
해서 2가지 전달경로를 설정하여 전달경로 분석을
하였다. 이로부터 EPB가 너클에 연결되는 곳과 브
레이크 디스크를 전달경로로 설정했을 경우 측정값
과 계산값이 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있었
고, EPB NVH 목표 개발시 너클을 기준으로 한
TPA 방법이 적합하다는 것을 확인하였다.

이러한 결과를 바탕으로 EPB가 장착되는 너클 위
치에서의 작동 진동, 입력점 강성 및 음향감도의 목
표를 차량 등급별 및 샤프시모듈 타입별로 데이터 베
이스를 구축하여 캘리퍼 일체형 EPB NVH 개발에
이용할 예정이다. 또한 향후 차량에서 EPB가 장착
되는 너클에서 작동 진동과 단품 진동의 상관관계
를 연구하여 EPB 단품에서 진동 목표값을 개발할
예정이다.

참 고 문 헌

- (1) Park, D. C., Hong, S. K. and Jo, K. C., 2012, Sound Quality Improvement of Electric Parking Brake, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 461~466.
- (2) Cha, H. B. and Yoon, S. H., 2007, Sensitivity Analysis using TPA for Slosh Noise of Fuel Tank, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 766~770.
- (3) Kim, Y. H., Kim, K. S., Kim, J. M., Kang, Y. J., Kim, C. M., Lee, J. W., Kim, U. J. and Hong, S. K., 2009, Estimation of Sound Pressure Level in a Car Interior through the Control of Local Stiffness, KSAE Annual Conference, pp.1051~1056.