

EPB(Electric Parking Brake) 작동음질 개선에 관한 연구

Sound Quality Improvement of Electric Parking Brake System

박동철† · 홍석관* · 조기창*

Dong Chul Park[†], Seok Kwan Hong and Ki Chang Jo

Key Words : EPB, Electric Parking Brake(전자식파킹브레이크), Noise Control(소음제어), Psychoacoustics(심리음향), Sound Quality(음질)

ABSTRACT

Customers want to have more convenient and comfortable vehicle. Motor-on-caliper EPB(Electrical Parking Brake) System is one of the new systems for customer's convenience. It is applied for Midsize vehicle for reducing weight/price compared to cable puller type EPB. In this paper we studied sound quality improvement of motor-on-caliper EPB system. We developed the sound quality index and suggested the interior sound quality target value. To meet the target value cascading target was also suggested. EPB motor vibration level & sound radiation level, vibro-acoustic transfer function level from EPB to interior was defined. To find out effective way of sound quality improvement and find cascading target, TPA(Transfer Path Analysis) was carried out

1. 서론

자동차에 대한 소비자의 다양한 요구 만족과 운전자의 작동 편의성 향상을 위해 새로운 시스템들이 도입되고 있다. 이러한 시스템의 동작시에는 작동음이 발생하게 된다. 차량의 감성 품질에 대한 고객 요구가 증가함에 따라 새로운 편의 시스템들의 작동음을 제어하기 위한 노력이 이루어 지고 있다. 중소형 차량에서도 작동의 편의성을 위해서 간단한 스위치 조작으로 파킹 브레이크를 손쉽게 작동시킬 수 있는 전자 파킹 브레이크 (Electric Parking Brake, 이하 EPB)가 차량에 적용되고 있어 작동음에 대한 체계적인 개발 관련 연구가 필요하다.

EPB 시스템은 크게 케이블 풀러형과 캘리퍼 일체형이 있다. 케이블 풀러형은 액츄에이터 케이스에 들어 있는 모터가 와이어를 통해 양쪽 후륜의 파킹 브레이크를 제어하는 반면, 캘리퍼 일체형 EPB 는 캘리퍼에 직접적으로 장착된 모터가 회전하면서 피스톤을 밀어내어 브레이크 디스크와 체결 시키게 된다. 이때 발생하는 모터 작동음과 EPB 내부 톱니바퀴 그리고 피스톤과 브레이크 디스크 체결부의 진동 등이 소음의 주 원인이 되며, 이는 공기 혹은 차량 구조물을 통해 실내로 전달된다. 캘리퍼 일체형 EPB 는 액츄에이터가 직접 캘리퍼에 장착되어 진동절연층면에서 불리하고 모터가 직접 외부로 노출되어 있어 작동음 측면에서도 불리하지만 케이블 풀러형에 비해 구조가 단순하여 원가와 중량 측면에서

† 교신저자 ; 현대자동차

E-mail : dc.park@hyundai.com,

Tel : 031-368-0877 , Fax : 031-368-8194

* 공동저자 ; 현대자동차

유리하다.

본 연구에서는 중소형 차량에 확대 적용되고 있는 캘리퍼 일체형 EPB의 작동음질 향상을 위해 차량 실내음질 기준, 전달계의 개발기준 그리고 단품의 개발기준을 설정하여, 체계적인 개발가이드를 제안하였다.

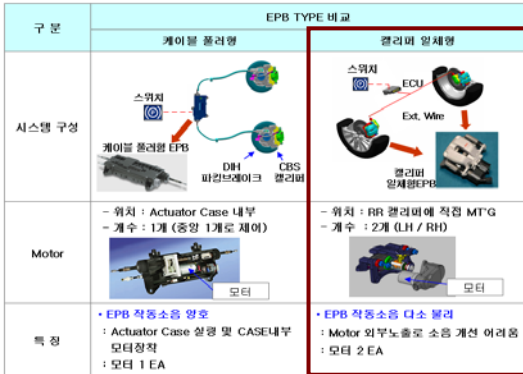


Fig.1 Comparison of EPB Type

2. 본 론

2.1 작동음질 분석

(1) 작동음질 분석법

일반적으로 EPB 작동음 개발을 위해 EPB 단품 방사음 및 실내 전석, 후석에서의 전 주파수 대역(Overall)의 음압레벨이 제시되고 있다. 그러나 전 주파수 대역에서의 음압레벨은 운전자가 느끼는 실제 작동음과 차이가 나므로 감성적인 측면에서 느낌과의 상관성을 반영하기에 부족하다. 본 연구에서는 차량 실내 EPB 작동음을 측정하고 청음평가와 심리음향 Parameter의 상관성 분석을 통해 감성측면에서 EPB 작동음에 맞는 새로운 기준을 제시하였다.

EPB 실내 음질을 분석하기 위하여 SPL, Loudness, Sharpness, Relative Approach, Impulsive, 그리고 소음패턴분석을 위해 Wavelet을 사용하였다.

(2) 청음평가 상관성 분석 및 음질 Index

EPB 작동음의 선호도를 파악하기 위하여 NVH 전문가를 대상으로 여러 차량의 EPB 작동음 청음평가를 실시하였다. 그리고 청음평가 결과와 음질 관련 Parameter의 상관성 분석을 통해 EPB 작동음의 음질 선호도를 나타내는 분석법을 도출하였다.

Table 1 과 같이 사람들은 A 차량의 EPB 작동음을 가장 좋은 소리로 판단하였으며, 연구대상차량인 D(Init)의 EPB 작동음을 가장 나쁜 소리로 인식하였다.

청음평가 결과 특정 주파수 대역의 음압레벨과 Loudness의 최대값이 높은 상관관계를 보였고, 특정 주파수 대역의 음압레벨이 작고 Loudness의 최대값이 작은 소리를 선호한다는 것을 알 수 있다.

구분	A	B (Improve)	B (Init)	C	D (Improve)	E	F	D (Init)	상관도 (%)
청음순위 (점수)	1 (8.2)	2 (6.8)	3 (6.2)	4 (6)	5 (5.1)	6 (3.6)	7 (2.9)	8 (1.6)	
Wavelet									
SPL _{OA}	45.6	47.2	47.3	48.0	48.7	51.0	53.6	58.0	95
SPL _{avg}	41.3	44.3	46	46.7	47.5	50.6	53.4	54.9	99
Loudness _{OA}	2.96	3.45	3.77	3.67	4.39	4.33	4.31	8.51	81
Loudness _{max}	0.30 (@140Hz)	0.33 (@200Hz)	0.40 (@200Hz)	0.43 (@180Hz)	0.43 (@400Hz)	0.58 (@400Hz)	0.63 (@400Hz)	0.74 (@1.2kHz)	98
Sharpness _{OA}	1.41	1.25	1.34	1.12	1.50	1.15	0.99	1.51	10
Relative Approach _{avg}	5.09	5.41	4.49	5.36	7.25	5.19	6.15	6.72	55
Impulsive _{peak}	0.441	0.393	0.332	0.346	0.443	0.314	0.347	0.324	61

Table 1 Correlation of Subjective Preference Value & Objective Analysis for EPB Operating Sound

(3) 실내작동음 목표 설정

Table 1에서 청음평가와 상관성이 가장 높은 특정주파수 대역의 음압레벨을 음질 Index로 선정하고, Loudness의 최대치는 개발 참고치로 설정하였다. 그리고, 청음평가에 사용된 실차를 대상으로 감성적 측면에서 실내 EPB 작동음이 적합한 차량을 선택하여, 그 차량의 분석결과를 기준으로 실내 작동음 개발 목표를 설정하였다.

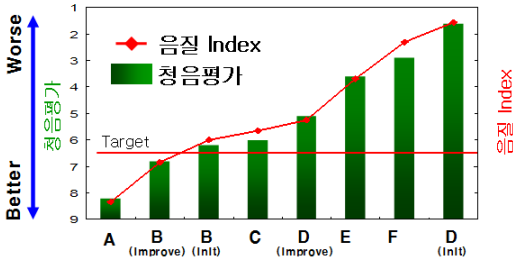


Fig.2 EPB Sound Quality Target

2.2 전달계 분석

(1) 소음 전달계 분석

Fig.3 에서 나타내는 것과 같이 EPB 가 작동할 때 발생하는 실내 소음의 전달 경로는 EPB 에서 방사되는 작동음이 실내로 유입되는 공기전달음과, 차체를 통해 실내로 유입된 EPB 진동에 의해 소음이 발생하는 구조전달음으로 나눌 수 있다.



Fig.3 Interior Noise Transfer Path

이러한 전달경로의 전달식은 다음과 같다.

구조전달:

$$\sum a_{body} \cdot \frac{F_{body}}{a_{body}} \cdot \frac{P_{int}}{F_{body}} = P_{int} \quad (\text{식 1})$$

공기전달:

$$\sum P_{음원} \cdot \frac{P_{int}}{P_{음원}} = P_{int} \quad (\text{식 2})$$

여기서, a_{body} 는 차체진동, F_{body} 는 차체 가진력, P_{int} 는 실내 음압, $P_{음원}$ 은 음원의 음압을 나타내며, a_{body}/F_{body} 를 차체 동강성, P_{int}/F_{body} 는 음향감도, $P_{int}/P_{음원}$ 을 음향전달합수이다.

본 연구에서는 EPB 작동음이 문제시 되고 있는 D 차량의 전달경로의 특성을 파악하고, 이를 개선하기 전달경로 분석 (TPA:Transfer Path Analysis)을 수행하였다.

Fig.4 에 나타나 있는 TPA 합성 결과를 보면, 레벨에서 약간의 차이는 보이나 1kHz 와 500Hz, 300~400Hz 부분에서 공진에 의한 소음이 동일하게 나타나고 있어 TPA 결과에 신뢰성이 있음을 보여준다. 그리고 거의 모든 소음이 공기전달 보다는 구조전달에 의해 전달 되는 것을 확인 할 수 있다.

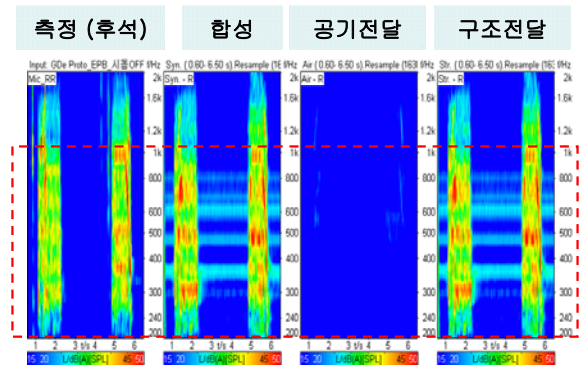


Fig.4 TPA result of D Vehicle (Air/Structure borne noise)

연구대상차량 D 는 멀티링크 서스펜션을 적용하고 있으며 EPB 가 장착되는 브레이크 디스크에서 실내로 다양한 진동 전달 경로를 통해 소음이 전달된다. 후륜의 각 링크별 전달특성에 대한 세부적인 분석을 실시한 결과, Fig.5 에 나타내는 것과 같이 스프링과 Assist Arm, Trailing Arm 의 전달 기여도가 큰 것을 알 수 있었다.

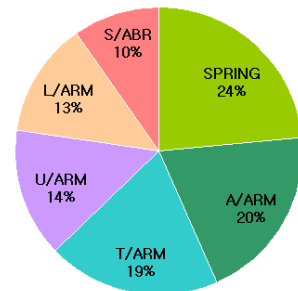


Fig.5 TPA result of Structure Born Noise

(3) 전달계 개선 원리시험

전달계의 특성변화에 의한 음질개선 정도를 확인하기 위하여 Assist Arm 과 Upper Arm 에 집중질량을 부과하여 그 기여도를 파악하였다. 음질 Index 는 2.3dB 감소하고 청감상 개선되었지만 차량 중량증가로 실차개선에는 적용하지 않았다.

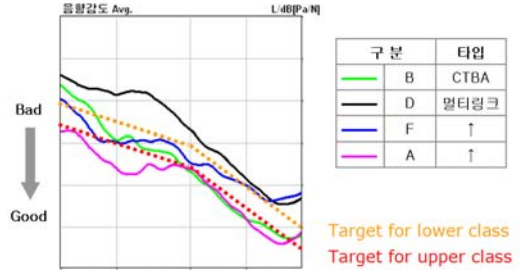


Fig.7 Target for Vibro-acoustic Transfer Function

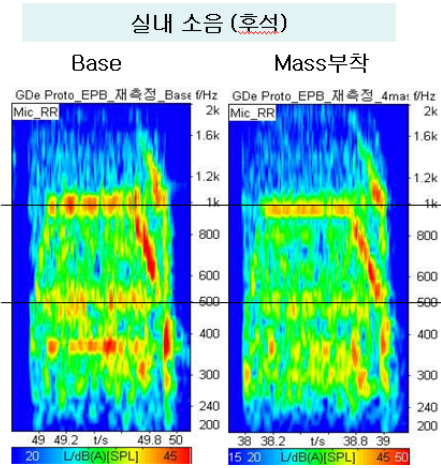


Fig.6 Count measurement of Transfer Path changing

(3) 음향감도 목표 설정

P_{int}/F_{body} 로 나타나는 음향감도는 진동가진에 의한 실내 소음 전달함수이며 EPB(가진원)가 마운팅 되는 위치를 방향별로 Impact Hammer 로 가진하고 실내에서 소음을 측정함으로써 얻을 수 있다. 본 연구에서는 개선대상차량 D 와 타 차량에 대해서 EPB 마운팅부를 가진하여 방향별 음향감도를 측정하고 그 평균값을 대표값으로 구하였다.

Fig.7 에서 나타내듯이 D 차량은 거의 모든 주파수 영역에서 타 차종에 비해 높은 음향감도를 나타냈고, 이는 작은 가진에도 큰 소음이 발생됨을 나타내어 개선의 필요성이 있음을 알 수 있다. 작동음이 양호한 차종의 음향감도를 바탕으로 음향감도 목표를 설정하였다.

2.3 EBP 단품 개선 및 목표 설정

(1) 단품 개선

전달계 개선을 통한 작동음 개선은 타 성능과의 최적화 문제로 인해 적용이 어렵기 때문에 EPB 단품에 대한 개선 작업을 실시하였다.

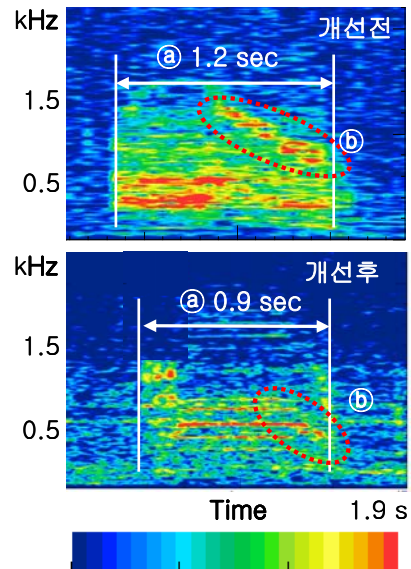


Fig.8 The Comparison of Interior Noise Improvement by EPB Assembly Changing

Fig.8 을 보면 개선전에 500Hz 대역과 작동음 후반부에 발생하는 고주파성의 소음이 개선후에는 사라지거나 많이 감소된 것을 확인할 수 있다.

개선된 EPB 를 기준으로 단품 개발 목표를 설정하였다. 단, TPA 결과에서 기술한 것과 같이 EPB 실내 작동 소음은 구조전달에 의한 기여도가 높으며, 이러한 구조전달은 EPB 단품의 방사음보다 작동시 마운팅부 혹은 체결부에서 발생하는 진동이 실내 소음의 주 원인이 된다. 하지만, 차외 EPB 작동 소음도 간과할 수는 없으므로, EPB 단품의 방사음과 진동 두 가지 측면에서 개발 목표를 설정하였다.

(2) 단품 방사음 목표 설정

일반적인 시스템 개발기준으로는 전 주파수 대역의 음압레벨을 규제한다. 본 연구에서는 청음평가 결과를 반영하여 특정 주파수대역(실내소음 개선 관점)과 전 주파수대역(차외음 개선 관점)에 대해 조건을 추가하였다. 그 기준으로는 실내소음 개발목표를 만족하는 단품을 리그상에서 10 개를 측정하여 통계 처리하여 목표를 수립하였다.

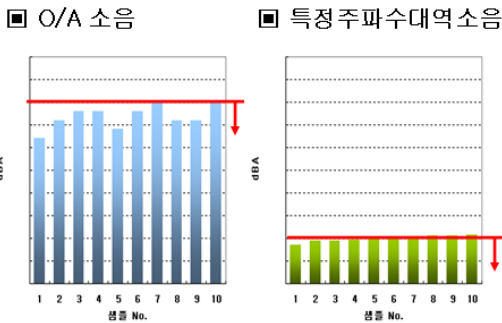


Fig.9 EPB Assy Noise Radiation Level Target

(3) 단품 진동 목표 설정

EPB 실내 작동음은 구조전달의 기여도가 크다. 본 연구에서는 단품 방사음 목표 설정법과 같이 실내소음 개발목표를 만족하는 단품을 기준으로 단품 진동 목표를 선정하였다. 실내로 전달되는 구조전달 소음이 집중되어 있는 특정 주파수대역으로 한정 지었으며, 방향별 진동값 기준을 설정하였다.

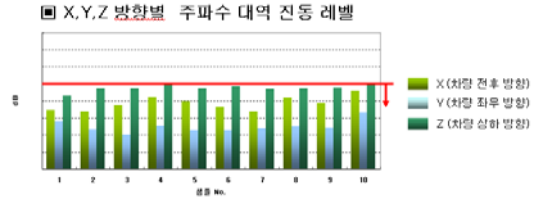


Fig.10 EPB Assy Vibration Level Target

여기서 x 는 차량 전후, y 는 차량 좌우, z 는 차량 상하 방향을 나타내며, 일반적으로는 z 방향의 진동레벨이 가장 크다.

3. 결 론

본 연구에서는 캘리퍼 일체형 EPB 의 작동음 개선을 위해 감성측면에서 개발 가능한 음질 Index 제안하였으며, 체계적인 개선을 위해 소음전달경로분석을 실시하였다. 또한 음질개선을 위해 전달계에서의 원리시험과 단품의 개선을 실시하였으며 전달경로별, 그리고 단품에 대한 기준을 설정하여 향후 개발에 대한 가이드를 제시하였다.

참 고 문 헌

- (1) C.H. Choi and S.G. Lim Jang, G, 1998, A Study of Interior Noise Reduction trough In-Vehicle Measurement Test the Windshield Wiper Motor System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 8, No. 5, pp. 862~869.
- (2) D.C. Park, D.H. Lee and S.G. Jung, 2000, Sound Quality analysis for Fuel Filler Door open system, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp1467~1472
- (3) K. Genuit, 2000, Application of Binaural Transfer Path Analysis to Sound Quality Task, IMechE, 10, London, England.
- (4) E. Zwicker, H. Fastl.,1999, Psychoacoustics ~Facts and Models~ second updated edition, Springer

(5) 박군동, 윤지현, 양인형, 이유엽, 오재응, 2011, 전달경로해석을 이용한 차량 전자식 주차 브레이크 소음의 기여도 분석, KSME 11DC030

(6) 한민규, 이재용, 김승환, 문진동, 2010, 캘리퍼 일체형 전자식 주차브레이크의 작동소음저감에 관한 실험적 연구, KSAE 정기학술대회, pp1447~1453

(7) 손영섭, 정한별, 김광일, 2009, Caliper 일체형 EPB에 관한 연구, KSAE09-A0220