

제동시 발생하는 리어 드럼브레이크 grunt (stick-slip) noise 개선

Rear drum brake grunt (stick-slip) noise improvement on braking during nose-dive & return condition

홍일민† · 장명훈* · 김선호** · 최홍석***.

Imin Hong, Myunghoon Jang, Sunho Kim and Hongseok Choi

Key Words : Grunt noise(1kHz 이하의 저주파 마찰음), Nose-dive condition(제동시 차량 무게중심 이동상태), Stick-slip(접촉하는 두 물체간의 동적, 정적 마찰계수차이에 의한 비정상 떨림 및 움직임)

ABSTRACT

Grunt (Stick-slip) noise happens between rear lining and drum on braking condition while vehicle is returning to steady position after nose-dive. The study presents a new testing and analysis methods for improving brake grunt noise on vehicle. Grunt noise is called a kind of stick slip noise with below 1kHz frequency that is caused by the surfaces alternating between sticking to each other and sliding over each other with a corresponding change in friction force. This noise is typically come from that the static friction coefficient of surfaces is much higher than the kinetic friction coefficient. For the identification of the excitation mechanism and improvement of grunt noise, it is necessary to study variable parameters of rear drum brake systems on vehicle and to implement CAE analysis with stick slip model of drum brake.

The aim of this study has been to find solution parameters throughout test result on vehicle and dynamo test.

As a result of this study, it is generated from stick slip between rear lining and rear drum and it can be solved to reduce contact angle of lining with asymmetric and is effected not only brake drum strength but also rear brake size and brake factor.

1. 서 론

드럼 브레이크는 차량 제동 시스템 중 디스크 & 캘리퍼와 함께 가장 많이 사용되는 주요 제동시스템 중 하나로써, 주로 차량 후륜 제동시스템에 사용되어 자기 배력(Self energizing) 효과를 통해 차량의 충분한 제동력을 확보하는 장치이다.

드럼브레이크는 회전하는 원형의 드럼과 유압에 의한 작동 메카니즘을 가진 드럼 브레이크 어셈블리로 구성되어 있으며, 회전체인 드럼에 마찰재인

† 교신저자, 한국지엠 기술연구소 Brake 설계팀

E-mail : ilmin.hong@gm.com,

Tel : 032-520-0472 ,

* 한국지엠 기술연구소 Brake 설계팀

** 한국지엠 기술연구소 Brake 설계팀

*** 한국델파이 제동제품개발팀

라이닝이 접촉하면서 운동에너지를 열에너지로 변환시키면서 차량의 감속 및 정지를 유도한다.

드럼브레이크 어셈블리는 브레이크 슈와 휠실린더의 설치 방법에 따라 리딩 트레일링 슈형(LT 형), 2리딩 슈형(2L 형), 듀오 2 리딩 슈형(D2L 형), 듀오서보형(DS 형)등으로 분류되며, 각각의 장점과 단점이 있지만, 본 논문에서는 승용차에서 가장 흔히 사용되고 있는 리딩 트레일링 슈형(LT 형)을 기준으로 기술하려 한다.

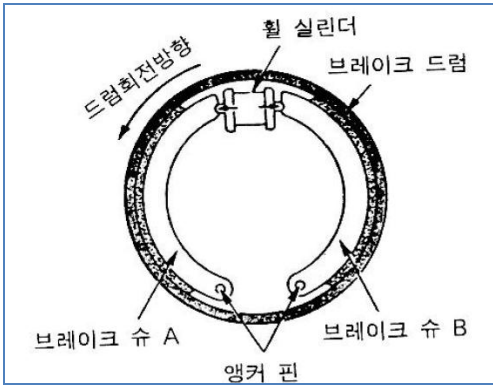


Fig. 1 리딩 트레일링 슈형 드럼브레이크 어셈블리

리어 드럼 브레이크 grunt 노이즈는 차량이 정지할 때 차량의 무게중심이동에 의해 시스템적으로 발생할 수 있는 리어 드럼 과 리어 브레이크 어셈블리 라이닝 간의 stick-slip noise 로 설명되는 저주파 소음으로, 운전자에게 불쾌함을 줄 뿐 아니라 소비자 불만으로 연결될 수 있는 민감한 부분이다.

이를 개선하기 위해 당사 차량의 실차 테스트 및 해석적 접근, 노이즈 주파수 분석, 기술적 이론데이터 등을 활용하였으며, 최종적으로는 설계 변경을 통해 노이즈 발생 수준을 상당부분 저감한 사례를 바탕으로 본 논문을 기술하려 한다.

2. Grunt noise 발생조건

2.1 실차 상태에서의 Noise 발생조건

Grunt noise 는 차량이 정지하는 순간에 발생한다. 차량이 제동으로 인해 무게중심이 차량 앞쪽으로

쏠린 후, 완전히 정지되어 무게중심이 원 위치로 원복되는 상황에서, 라이닝과 드럼간의 마찰 제동력으로 인해 압축된 리어 서스펜션 및 리어 액슬의 원복력이 큰 하중이동과 함께 타이어를 노면에서 움직이게 만들고, 이로 인해 타이어 및 휠과 연결되어 있는 리어 드럼이 같이 회전하며 라이닝과 스틱 슬립 조건을 발생시키게 된다. 이를 간단히 그림으로 도식화 하면 아래 Fig.2 와 같다.

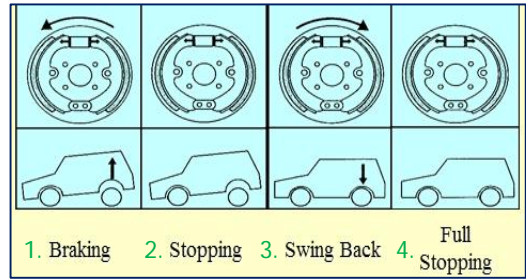


Fig. 2 차량의 Nose-Dive 메커니즘

1번 조건에서 제동으로 인해 차량 전륜으로 하중이 이동되면서 후륜이 들리게 되고 2번 조건에서 라이닝과 드럼간의 마찰력으로 차량은 완전히 정지하게 된다. 3번 조건에서 전륜으로 이동된 차량하중이 후륜으로 되돌아 오게 되며, 이때 브레이크는 계속 드럼과 라이닝을 짊어 잡고 있는 상황이나, 차량하중이 후륜으로 원복되어 타이어와 휠이 드럼을 강제적으로 회전 시키도록 만든다.

위와 같은 제동시의 차량 움직임은 모든 차량에서 나타날 수 있으며, 특히 리어 드럼이 장착된 대부분의 차량에서 라이닝과 드럼간의 스틱 슬립 조건이 쉽게 유발된다. 그러나 모든 차량에서 grunt noise 가 발생하지는 않으며, 이는 마찰재 라이닝과 드럼간의 접촉상태(특히 정지마찰계수 와 운동마찰계수의 차이가 클수록 많이 발생) 및 리어 서스펜션의 스트러처나 드럼&드럼 브레이크 어셈블리의 강성, 그리고 서스펜션 부쉬(러버)류의 강성 등의 여러 가지 조건에 영향을 받게 된다.

결국 이러한 모든 조건들이 스트러처 본 노이즈(차량의 바디나 스트러처를 따라 진동 및 소음이 유입/이동)일뿐 아니라, 동시에 저주파 노이즈인 grunt noise에 직/간접적으로 영향을 주게 된다.^(1,3)

이러한 특성을 가진 grunt noise 는 운전자가 브레이크 페달을 제동이 끝날 때까지 끝까지 밟고 있

어야 발생한다. 제동 말기부분에 부드러운 정차를 위해 일반적으로 페달을 살짝 떼는 일반 운전자의 운전조건에서는 이러한 노이즈의 발생빈도가 현저히 줄게 된다. 다만 급작스런 운전상황에서 급제동을 하게 될 경우나, 언덕을 올라가는 도중 제동하는 경우등 차량의 하중이동이 크게 발생하는 조건에서는 grunt noise가 재현될 가능성이 커지게 된다.

2.2 Grunt Noise 발생의 해석적 검증

Grunt noise 가 실제 차량 Program 개발 도중 일어난 문제상황이었기에, 관련부서와 같이 해결안 도출을 위해 Fig.3 모델을 이용, 해석적 검증을 진행하였다. 해석툴은 동역학 해석툴인 리커다인 (RecurDyn)을 사용하였다.

기본적으로 스틱 슬립 현상을 해석Tool 을 통해 재현하였으며, Fig.4 와 같이 특정 정-마찰계수와 동-마찰계수 차이 및 차량 속도, 제동압, 등의 입력값 제어를 통해 Fig.5의 왼쪽그림과 같은

Acceleration 값의 진동을 찾아내고 이를 우측그림과 같이 Frequency domain으로 변경하여 483Hz 의 진동을 찾아내었다.

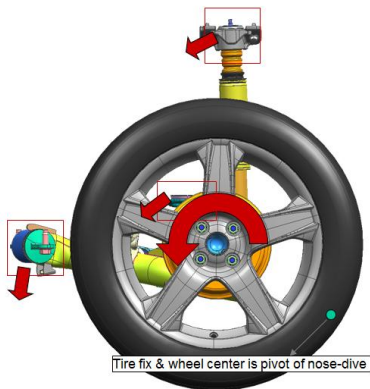


Fig.3 1/4 차량 간이 해석모델

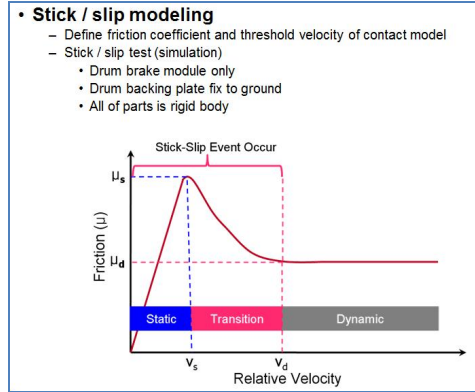


Fig.4 Stick/Slip modeling 구성

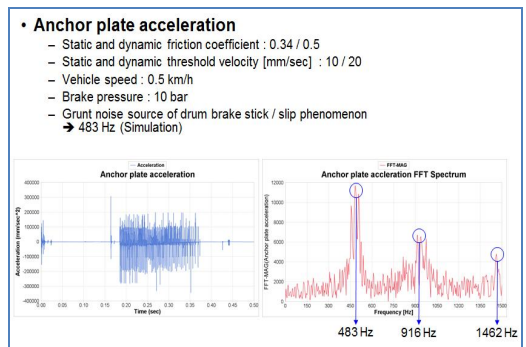


Fig.5 Stick/Slip 해석 재현

또한 Fig.6과 같이 제동시 가장 큰 힘을 받는 부위 중 하나인 리어 드럼브레이크 어셈블리의(4) Anchor plate 의 강성값을 Tuning 하여 Fig.7 의 실차에서 발생하는 600Hz 때의 진동 값으로 변경시켜 해석 모델을 만드는데 성공하였다.

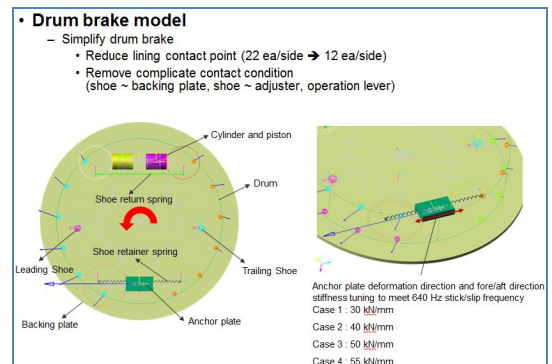


Fig.6 Anchor Plate 강성튜닝

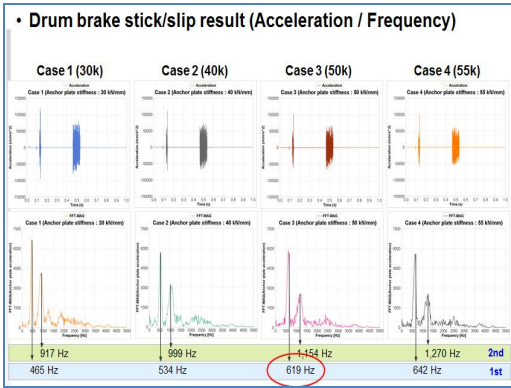


Fig. 7 Anchor Plate 강성에 따른 진동 Hz

실제로 위와 같은 해석을 통해, grunt noise 발생에 영향을 주는 주된 요인이 무엇인지 파악하고자 하였고, 그에 따른 연구는 지금도 계속되고 있으나, 본 논문에서는 아래의 실차 평가를 통한 개선방향 Study에 주안을 두도록 하겠다.

3. 실차 평가를 통한 noise 개선방향 Study

위에서도 언급했듯이 우리가 평가하는데 사용한 신규개발 차량의 경우 실차 상태에서 측정된 Grunt noise 주파수는 600Hz 정도였으며, 이는 noise를 발생시킬 수 있는 주요 부분에 가속도계를 달고 실제 노이즈 발생순간의 노이즈 주파수를 분석하여 찾아내었다.

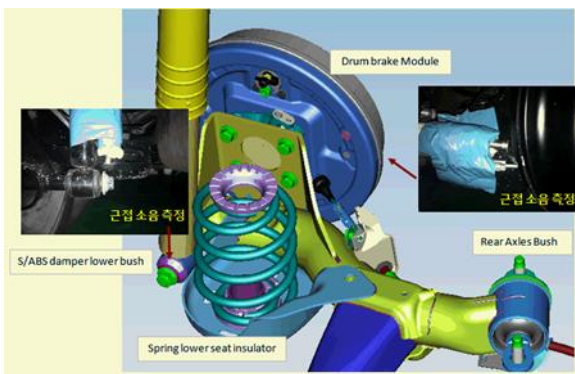


Fig. 8 차량에서의 가속도계 장착 부위(Shock Absorber lower bush, Spring lower seat insulator, Drum brake assy)

실제로 grunt noise 는 후륜 서스펜션에서 발생할 수 있는 부쉬류의 노이즈와 거의 흡사하다. 따라서 테스트 당시에, 후륜 Shock Absorber 밑단과, 드럼 브레이크 어셈블리의 백킹 플레이트, 그리고 로우어 스프링 밑단 플레이트에 가속도계를 달아 주파수를 측정하였다.(4)

Fig.9 에서와 같이 실내로 들어오는 소음의 주파수대역과 드럼브레이크에서 발생된 주파수 대역이 600Hz 부근에서 동일함을 알 수 있으며, 이를 근거로 드럼브레이크에서 노이즈가 발생되었음을 파악하였다.

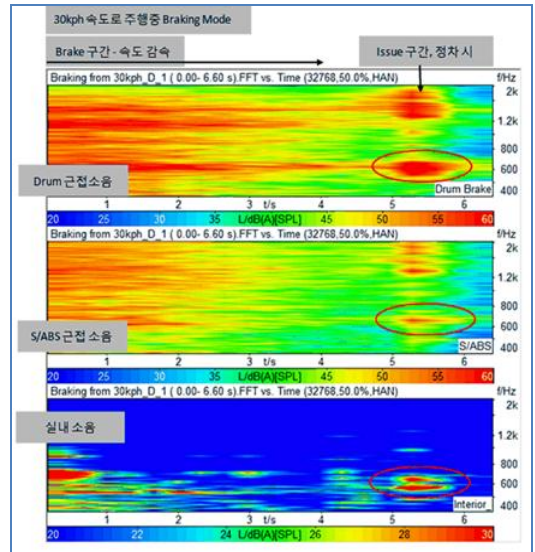


Fig. 9 각 부위에서의 노이즈 주파수 분석

또한 당사 차량의 grunt noise 발생 수준을 파악하기 위해 여러 경쟁사차량의 grunt noise 수준을 평가하였으며, 결과는 Fig.10 과 같다.

Rear grunt noise 관련 경쟁사 비교평가결과					
Maker	Vehicle	Veh. No.	Mileage	Rating	Remark
G-사	N-car	XXXXX	980 km	R 6.5 ~ R 7.0	Freq. 조금 낮음 (끄옥)
	C-car	XXXXX	7,322 km	R 6.5	
V-사	P-car	XXXXX	23,000 km	R 5.5	Freq. 높음 (쫄)
F-사	F-car	XXXXX	1,954 km	R 6.5	Frt & Rr 모두 발생
H-사	V-car	XXXXX	7,092 km	R 6.5	Frt & Rr 모두 발생
H-사	F-car	XXXXX	1,789 km	R 6.5	
	D-car	XXXXX	3,495 km	R 6.5+	
G-사	T-car	XXXXX	10,495 km	R 6.5	Freq. 조금 낮음
	M-car	XXXXX		R 6.5	
	J-car	XXXXX		R 8.0	

Fig. 10 경쟁사 벤치마킹 테스트 결과

Fig.10 같이 리어 드럼을 장착한 여러 회사의 차량에서 대부분 모두 grunt noise 가 재현되었으며, 당사 차량과 비슷한 수준의 Rating 을 가지는 것으로 판단되었다. 이는 grunt noise 가 드럼브레이크 차량이 구조적으로 가질 수 밖에 없는 시스템적인 노이즈라고 생각될 수 밖에 없는 부분이기도 하다. 하지만 여기서 멈추지 않고, 이를 개선하기 위해 당사는 여러 가지 시도를 아래의 내용들과 같이 진행하였다.

3.1 Noise 전달경로 Damping

Grunt noise를 저주파 스트럭처 본 노이즈로 생각하고, 운전석까지의 전달경로를 막아보고자, 관련 서스펜션 부쉬(러버) 및 속 옵서버의 연결 볼트부근, 스프링시트 러버 부위를 순차적으로 여러 번 윤활제를 도포하였다. 윤활제가 도포된 러버류가 노이즈 전달경로를 차단해줄 수 있으리라 판단하였으나, grunt noise 에 영향을 주지 않는 것을 파악하였다.^(1,3)

3.2 Drum 조도 영향도 평가

드럼의 조도가 grunt noise 에 영향을 주는 인자로 판단하여 조도를 변경한 제품을 제작하여 테스트 하였다. 조도 Ra4.0 의 샘플을 제작하여 Ra1.0 의 샘플과 비교테스트 하였으나 Ra4.0의 차량에서도 grunt noise 가 눈에 띄게 재현되지 않아, 드럼 조도와는 큰 연관관계가 없음을 파악하였다.

3.3 Drum 강성 영향도 평가

드럼의 강성에 대한 영향성을 평가하였다. 원주방향의 Rim 을 제거하여 드럼의 강성을 약화시킨 제품으로 grunt noise 재현 평가를 진행한 결과, grunt noise와는 별개로 드럼 확장음이 크게 증폭되어 차량평가를 진행하기 힘든 조건이 되었으므로 강성축소는 해결책이 아님을 인지하였고, 추가로 드럼의 강성을 보강한 샘플을 제작하여 대체 테스트를 진행하였다.

강성 보강한 드럼의 경우 먼저 드럼 확장음이 확연히 줄어드는 효과를 볼 수 있었고, grunt noise 에도 어느 정도 효과가 있음을 볼 수 있었다. 다만 비정상적인 다른 noise 가 일부 발생하였고, 드럼 강성을 높이는 아이디어 자체가 가격을 많이 상승시키는 요인이 되기 때문에 백업플랜으로 두고, 다

른 개선책을 찾는데 초점을 맞추기로 하였다.

Vehicle	AAAAA	AAAAA	AAAAA
Date	2011.11.17	2011.11.18	2011.11.19
Trial	Original Lining & Drum 장착 후 평가	강성 축소 Drum 장착 (원주방향 Rim 제거)	강성 강화 Drum 장착 (주물소재상태에 Wheel matching 면만 가공)
Result	- Grunt Noise 발생	- 확장이 심해지고 Drum 강성부족으로 추가 test 진행 불가	- 비정상적인 Noise 발생 - Grunt noise 비슷한 Noise 발생하나, 정확히 판단하기 어려움 - Back-Up plan 으로 추후 Further study 진행
Rating	- 5.5	5.5	7.0
Test Focusing		강성축소드럼→ 효과 X 확장음 심해짐	강성보강드럼→ 효과 △ 확장음 줄어듦

3.4 라이닝 지오메트리(Geometry) Study

라이닝의 장각을 기존의 110도 에서 100도로 줄이고, 기존의 대칭형이었던 슈어셈블리를 비대칭 방향으로 변경한 샘플을 제작하여 테스트 하였다. 이러한 변경사항은 아래그림과 같이 라이닝과 드럼간의 접촉 면적을 기본적으로 줄이면서, 기존의 대칭형에서 나올 수 있는 불균일한 접촉 조건 및 마모 조건을 개선할 수 있는 방향이다.

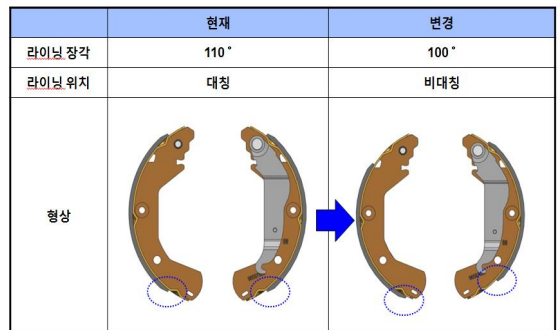


Fig. 11 라이닝 지오메트리 변경 사항

이러한 변경에 대한 이론적 근거로, Fig.12와 Fig.13을 참고할 수 있다.

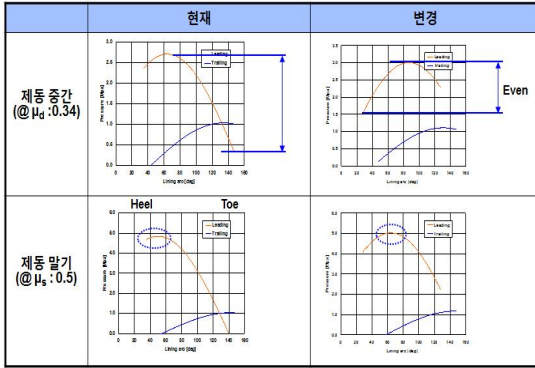


Fig. 12 라이닝 면압 분포 비교

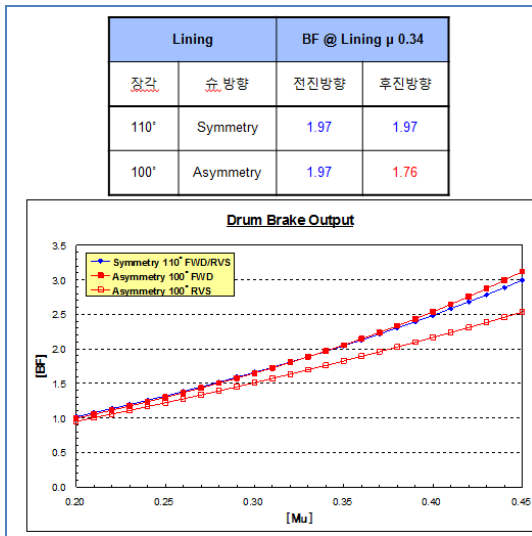


Fig. 13 라이닝 마찰계수 비교

Fig. 12에서 보듯이 라이닝의 장각을 축소하고 접촉 위치를 비대칭형으로 변경했을 때, 제동중간 및 제동말기의 라이닝에 분포되는 최대면압이 리딩슈 끝단에서 중간부위로 이동됨을 볼수 있고, 라이닝에 걸리는 면압의 차이가 줄어들음을 볼수 있다.

특히 grunt noise가 발생하는 높은 마찰계수의 제동 말기에서 라이닝 중간부분에 최고의 면압이 안정되게 나오음으로서, Noise를 저감할수 있는 이론적 근거가 된다고 판단되며, 또한 grunt noise 가 발생하게 되는 스윙백(Swing back)에 의해 드럼이 후진 방향으로 돌아가는 상황에서 BF값(마찰계수)이 훨씬 안정되고 적게 나오게 되는 것을 볼 수 있

다.(2.5)

이러한 이론적 백그라운드를 가지고 샘플을 제작하여 실차에서 평가한 결과, grunt noise 가 사라짐을 확인할 수 있었다. 4대의 차량에 대해서 주기적으로 평가하였으며, 차량 마일리지를 쌓으면서 계속적으로 모니터링을 하였으나 노이즈가 재현되지 않았다.

Vehicle	AAAAA	BBBBB
Date	2011.12.01	2011.12.15
Trial	- Lining 장각축소(110° → 100°) & 비대칭 Type 장착된 차량의 Grunt noise 재현 평가	- Lining 장각축소(110° → 100°) & 비대칭 Lining + New Drum 장착된 차량 Burnish 완료 후 평가
Result	Grunt noise 여전히 미발생	Grunt noise 발생한 적 있지만 간헐적으로 발생함. 어느정도 후에는 발생하지 않음.
Rating	8.0	7.5
Test Focusing	[1] 장각축소+비대칭+New Drum → OK	[1] 장각축소+비대칭+New Drum → OK

Fig. 14 실차 테스트 grunt noise 평가 결과

다만 추가적으로 라이닝과 드럼과의 접촉 면적이 줄어들음으로 인하여 발생할수 있는 사이드이펙트(Side Effect)인, Parking 성능 영향성, 스킵노이즈 발생유무, 성능에 영향을 주는 마찰계수영향등의 확인이 필요하며, 이에대한 평가 결과 개선전 사양과 동등수준임을 확인하였다.

4. 결 론

리어 드럼브레이크 grunt noise 개선에 대한 결론을 정리해 보면 아래와 같다.

1. 리어 드럼브레이크 grunt noise 는 대부분의 드럼브레이크가 장착된 차량에서 발생할 수 있는 구조적인 노이즈이며, 이전의 벤치마킹 차량의 노이즈 평가 데이터에서도 볼 수 있듯이, 대부분의 차량이 grunt noise 를 잠재적으로 가지고 있다.

2. 대부분의 다른 차량의 경우에, 모든 운전자가 쉽게 재현할 수 있는 noise 모드가 아니라는 판단에서인지, 큰 개선 없이 방치되고 있는 상황으로 판단된다. 하지만 당사에서 여러가지 평가기준으로 판단해 보았을 때, 소비자에게 충분히 불편, 불만사항이 될 수 있는 노이즈 수준이라 판단되어 개선노력을 기울이게 되었다.

3. CAE를 통한 해석적 접근을 통해 Stick Slip noise 발생 Mode를 재현하였고, 실차 시험을 통해 측정된 grunt noise 발생 주파수와의 상관관계를 지정하여, 해석적 개선의 기초안을 수립하였다.

4. 드럼 강성변경, 드럼 조도변경, 전달경로 감쇠(Damping) 영향성 등등의 여러가지 인자들에 대한 Grunt noise와의 영향성을 실제 sample 제작 및 평가를 통해 살펴 볼 수 있는 계기를 얻었다.

5. 라이닝의 장각을 축소하고 접촉 위치를 비대칭형으로 변경했을 때, 제동중간 및 제동말기의 라이닝에 분포되는 최대 면압이 리딩슈 끝단에서 중간부위로 이동되는 것과 라이닝 전구간에 걸쳐 걸리는 면압의 Min/Max 차이가 줄어드는 이론적 배경 등을 근거로, 실제 차량에서 개선효과를 확인하였으며, 당사 양산차량에 적용을 하게 되었다.

참 고 문 헌

(1) John D. Fieldhouse and M. Rennison The University of Huddersfield SAE982250 An Investigation of Low Frequency Drum Brake Noise.

(2) P. Ioannidis, P. C. Brooks and D.C. Barton University of Leeds SAE2003-01-3348 Drum Brake Contact Analysis and its influence on Squeal Noise Prediction

(3) John D. Fieldhouse University of Huddersfield SAE 2000-01-0448 Low Frequency Drum Brake Noise Investigation Using a 1/4 Vehicle Test Rig

(4) Shih-Wei Kung, Greg Stelzer and Kelly A. Smith Delphi Corporation SAE2004-01-2787 A Study on Low Frequency Drum Brake Squeal

(5) Shih-Wei Kung, Greg Stelzer Delphi Corporation and Vladimir Belsky and Andrzej Bajer ABAQUS, Inc SAE2003-01-3343 Brake Squeal Analysis Incorporating Contact Conditions and Other Nonlinear Effects