

제동시 발생하는 리어 드럼브레이크 Grunt(stick-slip) Noise 개선 Rear Drum Brake Grunt(stick-slip) Noise Improvement on Braking During Nose-dive & Return Condition

홍 일 민† · 장 명 훈* · 김 선 호* · 최 흥 석**

Ilmin Hong, Myunghoon Jang, Sunho Kim and Hongseok Choi

(Received April 5, 2013 ; Revised July 17, 2013 ; Accepted July 17, 2013)

Key Words : Grunt Noise(그런트 노이즈), Nose-dive Condition(제동시 수직강하), Stick-slip(스틱-슬립)

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 1 kHz 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.

드럼 브레이크는 회전하는 원형의 드럼과 유압에

의한 작동 메커니즘을 가진 드럼 브레이크 어셈블리로 구성되어 있으며, 회전체인 드럼에 마찰체인 라이닝이 접촉하면서 운동에너지를 열에너지로 변환시키면서 차량의 감속 및 정지를 유도한다.

드럼 브레이크 어셈블리는 브레이크 슈와 휠실린더의 설치 방법에 따라 리딩 트레일링 슈형(LT형), 2리딩 슈형(2L형), 듀오 2리딩 슈형(D2L형), 듀오 서보형(DS형) 등으로 분류되며, 각각의 장점과 단점이 있지만, 이 논문에서는 승용차에서 가장 흔히

† Corresponding Author ; Member, GM KOREA Technical Engineering Center Brake Engineering Team
E-mail : ilmin.hong@gm.com
Tel : +82-32-520-0472

* GM Korea Brake Engineering Team

** Kdac Brake System Team

A part of this paper was presented at the KSNVE 2012 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Sung Soo Na

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

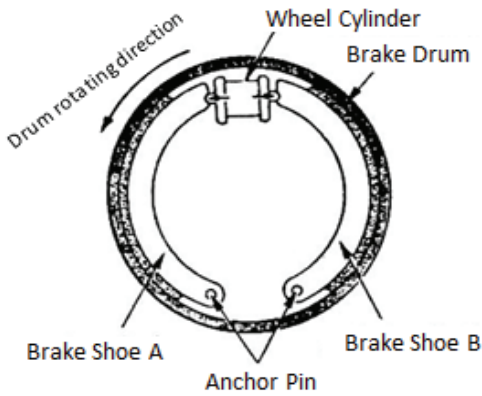
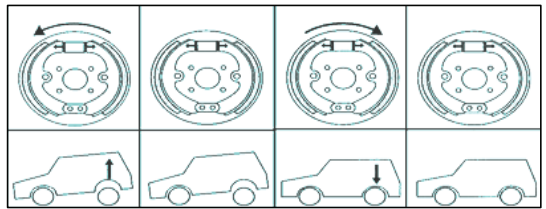


Fig. 1 Leading-trailing drum brake assy



1. Braking 2. Stopping 3. Swing back 4. Full stopping

Fig. 2 Nose-dive mechanism on vehicle

사용되고 있는 리딩 트레일링 슈형(LT형)을 기준으로 기술하려 한다.

리어 드럼 브레이크 그런트 노이즈(grunt noise)는 차량이 정지할 때 차량의 무게중심이동예 의해 시스템적으로 발생할 수 있는 리어 드럼과 리어 브레이크 어셈블리 라이닝간의 스틱-슬립 노이즈로 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, 소음 주파수 분석, 기술적 이론데이터 등을 활용하였으며, 최종적으로는 설계 변경을 통해 소음 발생 수준을 상당부분 저감한 사례를 바탕으로 이 논문을 기술하려 한다.

2. 그런트 노이즈 발생조건

2.1 실차 상태에서의 소음 발생조건

그런트 노이즈는 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 Fig. 2와 같다.

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 되돌아오게 되며, 이때 브레이크는 계속 드럼과 라이닝을 꽉 잡아주고 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 그런트 노이즈가 발생하지는 않으며, 이는 마찰재 라이닝과 드럼간의 접촉상태(특히 정지마찰계수와 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 소음인 그런트 노이즈에 직/간접적으로 영향을 주게 된다^(1,3).

이러한 특성을 가진 그런트 노이즈는 운전자가 브레이크 페달을 제동이 끝날 때까지 끝까지 밟고 있어야 발생한다. 제동 말기부분에 부드러운 정차를 위해 일반적으로 페달을 살짝 떼는 일반 운전자의 운전조건에서는 이러한 소음의 발생빈도가 현저히 줄게 된다. 다만 급작스런 운전상황에서 급제동을 하게 될 경우나, 언덕을 올라가는 도중 제동하는 경우 등 차량의 하중이동이 크게 발생하는 조건에서는 그런트 노이즈가 재현될 가능성이 커지게 된다.

2.2 그런트 노이즈 발생의 해석적 검증

그런트 노이즈가 실제 차량 프로그램 개발 도중

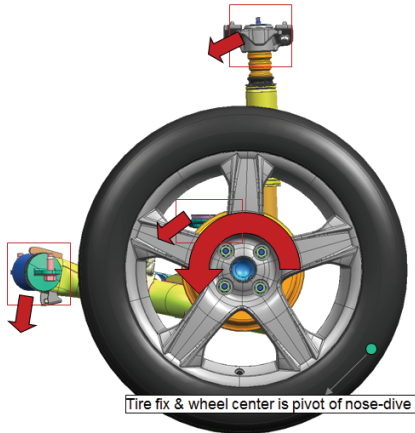


Fig. 3 1/4 vehicle analysis model

• Stick / slip modeling

- Define friction coefficient and threshold velocity of contact model
- Stick / slip test (simulation)
 - Drum brake module only
 - Drum backing plate fix to ground
 - All of parts is rigid body

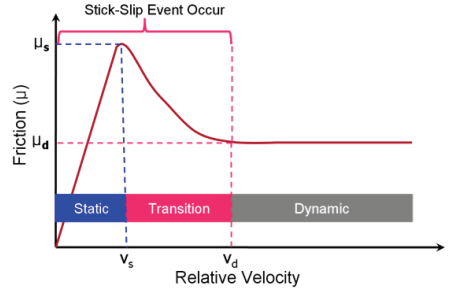


Fig. 4 Stick/slip modeling

• Anchor plate acceleration

- Static and dynamic friction coefficient : 0.34 / 0.5
- Static and dynamic threshold velocity [mm/sec] : 10 / 20
- Vehicle speed : 0.5 km/h
- Brake pressure : 10 bar
- Grunt noise source of drum brake stick / slip phenomenon
→ 483 Hz (Simulation)

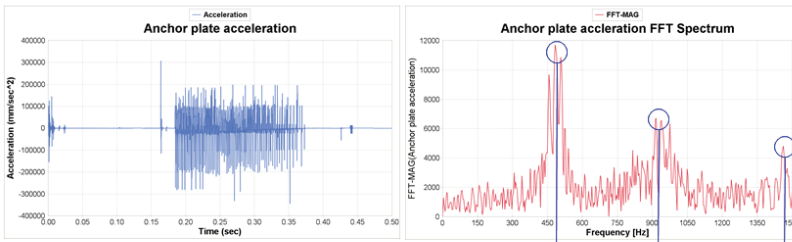


Fig. 5 Stick/slip analysis reproduction

일어난 문제 상황이었기에, 협력업체와 같이 해결 안 도출을 위해 해석적 검증을 진행하였다. 해석 툴은 동역학 해석 툴인 리커다인(RecurDyn)을 사용하였다.

기본적으로 스틱-슬립 현상을 해석 기능을 통해 재현하였으며⁽⁶⁾, Fig. 4와 같이 특정 정-마찰계수와 동-마찰계수 차이 및 차량 속도, 제동압 등의 입력값 제어를 통해 Fig. 5의 왼쪽그림과 같은 가속도값의 진동을 찾아내고 이를 우측그림과 같이 frequency domain으로 변경하여 483 Hz의 초기 피크 진동값을 찾아내었다.

그리고 Fig. 6과 같이 제동시 가장 큰 힘을 받는 부위 중 하나인 리어 드럼 브레이크 어셈블리의⁽⁴⁾

anchor plate의 강성값을 튜닝하여 Fig. 7의 실차에서 발생하는 600 Hz때의 진동값으로 변경시켜 해석 모델을 만드는데 성공하였다.

실제로 위와 같은 해석을 통해, 그런트 노이즈 발생에 영향을 주는 주된 요인이 무엇인지 파악하고자 하였고, 그에 따른 연구는 지금도 계속되고 있으나, 이 논문에서는 아래의 실차 평가를 통한 개선방향 연구에 주안을 두도록 하였다.

3. 실차 평가를 통한 소음 개선방향 연구

위에서도 언급했듯이 우리가 평가하는데 사용하는 신규개발 차량의 경우 실차 상태에서 측정된 그런트

- **Drum brake model**
 - Simplify drum brake
 - Reduce lining contact point (22 ea/side → 12 ea/side)
 - Remove complicate contact condition (shoe ~ backing plate, shoe ~ adjuster, operation lever)

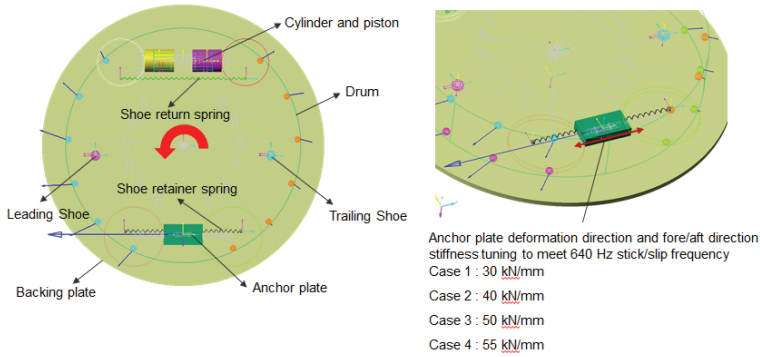


Fig. 6 Anchor plate stiffness tuning

• **Drum brake stick/slip result (Acceleration / Frequency)**

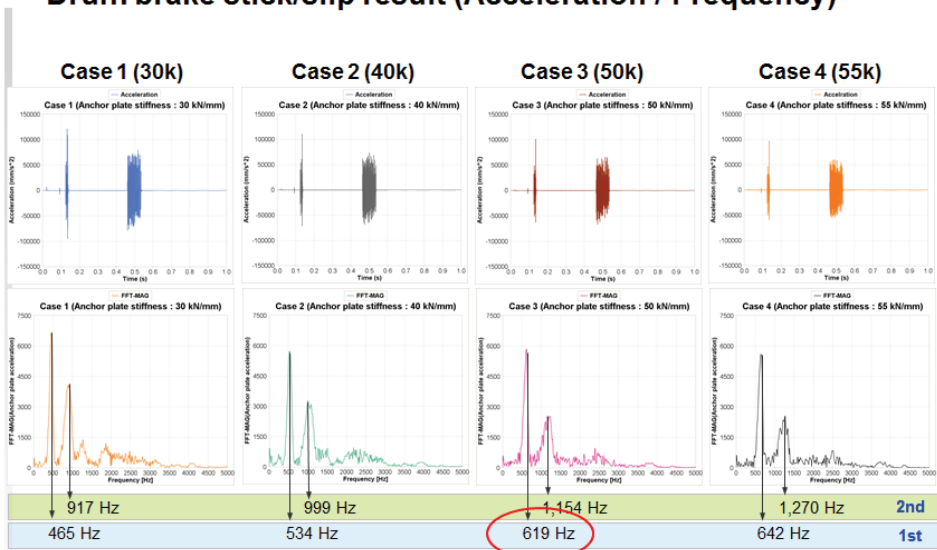


Fig. 7 Vibration(Hz) according to anchor plate stiffness

노이즈 주파수는 600 Hz 정도였으며, 이는 Fig. 8과 같이 소음을 발생시킬 수 있는 주요 부분에 가속도계를 장착하고 실제 소음 발생순간의 소음 주파수를 분석하여 찾아낸 값이다.

실제로 그런트 노이즈는 후륜 서스펜션에서 발생할 수 있는 부쉬류의 소음과 거의 흡사하다. 따라서 테스트 당시에, 후륜 완충기(shock absorber) 밀단과, 드럼 브레이크 어셈블리의 백 플레이트, 그리고 로어 스프링 밀단 플레이트에 가속도계를 달아 주파

수를 측정하였다⁽⁴⁾.

Fig. 9에서와 같이 실내로 들어오는 소음의 주파수대역과 드럼 브레이크에서 발생된 주파수대역이 600 Hz 부근에서 동일함을 알 수 있으며, 이를 근거로 드럼 브레이크에서 소음이 발현되었음을 파악하였다.

또한 G사의 차량 그런트 노이즈 발생 수준을 파악하기 위해 여러 경쟁사차량의 그런트 노이즈 수준을 평가하였으며, 결과는 Table 1과 같다.

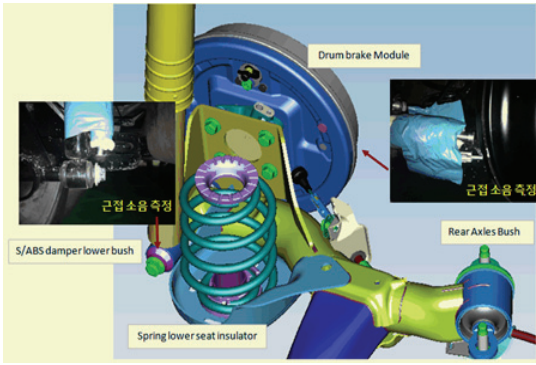


Fig. 8 Accelerometer installation position in test vehicle(shock absorber lower bush, spring lower seat insulator, drum brake assy)

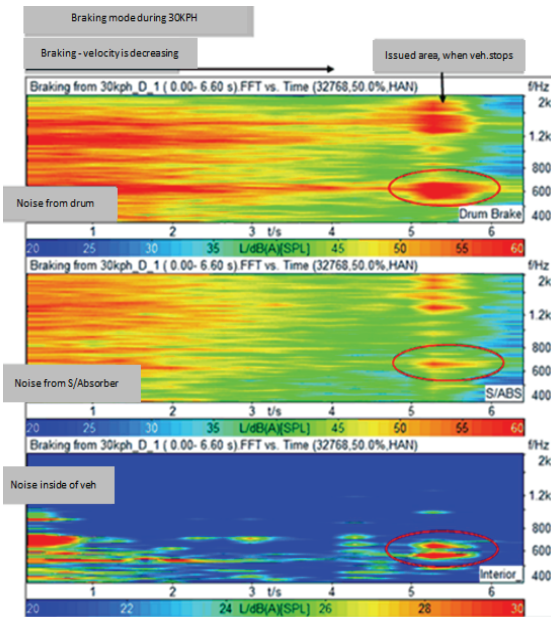


Fig. 9 Noise frequency analysis on each accelerometer position

Table 1과 같이 리어 드럼을 장착한 여러 회사의 여러 차량에서 대부분 모두 그런트 노이즈가 재현되었으며, G사 차량과 비슷한 수준의 정격을 가지는 것으로 판단되었다. 이는 그런트 노이즈가 드럼 브레이크 차량이 구조적으로 가질 수 밖에 없는 시스템적인 소음이라고 생각될 수 밖에 없는 부분이기도 하다. 하지만 여기서 멈추지 않고, 이를 개선하기 위해 당사는 여러 가지 시도를 아래의 내용들과 같이 진행하였다.

Table 1 Benchmarking vehicle test results

Benchmarking vehicle evaluation for rear grunt					
Marker	Vehicle	Veh. No.	Mileage (km)	Rating	Remark
G-Com	N-car	XXXXX	980	R 6.5~7.0	Low frequency
	C-car	XXXXX	7,322	R 6.5	
V-Com	P-car	XXXXX	23,000	R 6.5	A little high frequency
F-Com	F-car	XXXXX	1,954	R 6.5	Frt & Rr noise happen
H-Com	V-car	XXXXX	7,092	R 6.5	Frt & Rr noise happen
H-Com	F-car	XXXXX	1,789	R 6.5	
M-Com	D-car	XXXXX	3,495	R 6.5+	
G-Com	T-car	XXXXX	10,495	R 6.5	Low frequency
	M-car	XXXXX		R 6.5	
	J-car	XXXXX		R 8.0	

3.1 소음 전달 경로 감쇠

그런트 노이즈를 저주파 스트러쳐 본 노이즈로 생각하고, 운전석까지의 전달경로를 막아보고자, 관련 서스펜션 부시(러버) 및 완충기의 연결 볼트부근, 스프링시트 러버 부위를 순차적으로 여러 번 윤활제를 도포하였다. 윤활제가 도포된 러버류가 소음 전달 경로를 차단해줄 수 있으리라 판단하였으나, 그런트 노이즈에 영향을 주지 않는 것을 파악하였다^(1,3).

3.2 드럼 조도 영향도 평가

드럼의 조도가 그런트 노이즈에 영향을 주는 인자로 판단하여 조도를 변경한 제품을 제작하여 테스트하였다. 조도 Ra4.0의 샘플을 제작하여 Ra1.0의 샘플과 비교테스트 하였으나 Ra4.0의 차량에서도 그런트 노이즈가 눈에 띄게 재현되지 않아, 드럼 조도와는 큰 연관관계가 없음을 파악하였다.

3.3 드럼 강성 영향도 평가

드럼의 강성에 대한 영향성을 평가하였다. 원주방향의 림(rim)을 제거하여 드럼의 강성을 약화시킨 제품으로 그런트 노이즈 재현 평가를 진행한 결과, 그런트 노이즈와는 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, 그르نت 노이즈에도 어느 정도 효과가 있음을 볼 수 있었다. 다만 비정상적인 다른 소음이 일부 발생하였고, 드럼 강성을 높이는 아이디어 자체가 가격을 많이 상승시키는 요인이 되기 때문에 백업플랜으로 두고, 다른 개선택을 찾는데 초점을 맞추기로 하였다.

Table 2 Vehicle test results with each idea

Vehicle	AAAAA	AAAAA	AAAAA
Date	2011.11.17	2011.11.18	2011.11.19
Trial	Test with original lining & drum	Test with low stiffness drum(drum rim delete)	Test with high stiffness drum
Result	Grunt noise happen	Expansion noise happen and due to small stiffness or drum, test is not needed to continue.	- Abnormal noise happen - Similar noise happen but difficult to define -Need to study as backup idea
Rating	5.5	5.5	7.0
Test focusing		No effectiveness & expansion noise happen	Slight effectiveness & expansion noise going out

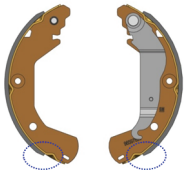
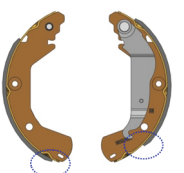
3.4 라이닝 지오메트리(geometry) 연구

라이닝의 장각을 기존의 110°에서 100°로 줄이고, 기존의 대칭형이었던 슈어샘블리를 비대칭 방향으로 변경한 샘플을 제작하여 테스트 하였다. 이러한 변경사항은 Table 3과 같이 라이닝과 드럼간의 접촉 면적을 기본적으로 줄이면서, 기존의 대칭형에서 나올 수 있는 불균일한 접촉 조건 및 마모 조건을 개선할 수 있는 방향이다.

이러한 변경에 대한 이론적 근거로, Fig.10과 Fig. 11을 참고할 수 있다.

Figs. 10, 11에서 보듯이 라이닝의 장각을 축소하고 접촉 위치를 비대칭형으로 변경했을 때, 제동중간 및 제동말기의 라이닝에 분포되는 최대면압이 리딩슈 끝단에서 중간부위로 이동됨을 볼 수 있고, 라이닝에 걸리는 면압의 차이가 줄어들음을 볼 수 있다.

Table 3 Lining geometry design change

	Current	After change
Angle	110°	100°
Position	Symmetry	Asymmetry
Feature		

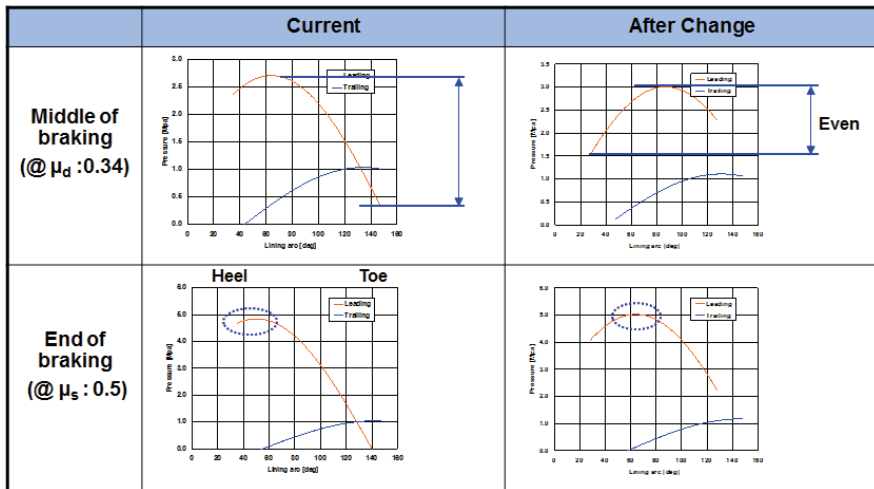


Fig. 10 Lining contact pressure comparison

특히 그런트 노이즈가 발생하는 높은 마찰계수의 제동 말기에서 라이닝 중간부분에서 최고의 면압이 안정되게 나오므로서 소음을 저감할 수 있는 이론적 근거가 된다고 판단되며, 또한 그런트 노이즈가 발생하게 되는 스윙백(swing back)에 의해 드럼이 후진방향으로 돌아가는 상황에서 BF값(마찰계수)이 훨씬 안정되고 적게 나오게 되는 것을 볼 수 있다^(2,5).

이러한 이론적 백그라운드를 가지고 샘플을 제작하여 실차에서 평가한 결과, 그런트 노이즈가 사라짐을 확인할 수 있었다. 4대의 차량에 대해서

주기적으로 평가하였으며, 차량 마일리지를 쌓으면서 계속적으로 모니터링을 하였으나 소음이 재현되지 않았다.

다만 추가적으로 라이닝과 드럼과의 접촉 면적이 줄어들므로 인하여 발생할 수 있는 사이드이펙트(side effect)인, parking 성능 영향성, 스컬노이즈 발생유무, 성능에 영향을 주는 마찰계수 영향 등의 확인이 필요하며, 이에 대한 평가 결과 개선전 사양과 동등 수준임을 확인하였다.

4. 결 론

리어 드럼 브레이크 그런트 노이즈 개선에 대한 결론을 정리해 보면 아래와 같다.

(1) 리어 드럼 브레이크 그런트 노이즈는 대부분의 드럼 브레이크가 장착된 차량에서 발생할 수 있는 구조적인 소음이며, 이전의 벤치마킹 차량의 소음 평가 데이터에서도 볼 수 있듯이, 대부분의 차량이 그런트 노이즈를 잠재적으로 가지고 있다.

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

(3) CAE를 통한 해석적 접근을 통해 스틱-슬립 노이즈 발생 모드를 재현하였고, 실차 시험을 통해 측정된 그런트 소음발생 주파수와외의 상관관계를 지정하여, 해석적 개선의 기초안을 수립하였다.

(4) 드럼 강성변경, 드럼 조도변경, 전달 경로 감쇠영향성 등등의 여러 가지 인자들에 대한 그런트 노이즈와의 영향성을 실제 샘플 제작 및 평가를 통해 살펴 볼 수 있는 계기를 얻었다.

(5) 라이닝의 장각을 축소하고 접촉 위치를 비대칭형으로 변경했을 때, 제동중간 및 제동말기의 라이닝에 분포되는 최대면압이 리딩승 끝단에서 중간 부위로 이동되는 것과 라이닝 전구간에 걸쳐 걸리는 면압의 최소/최대 차이가 줄어드는 이론적 배경 등을 근거로, 실제 차량에서 개선효과를 확인하였으며, 당사 양산차량에 적용을 하게 되었다.

Lining		BF @ Lining μ 0.34	
Angle	Position	Forward	Reverse
110°	Symmetry	1.97	1.97
100°	Asymmetry	1.97	1.76

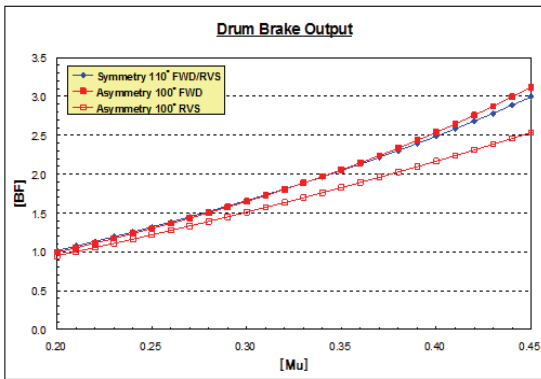


Fig. 11 Lining friction coefficient comparison

Table 4 Grunt noise evaluation test results

Vehicle	AAAAA	BBBBB
Date	2011.12.01	2011.12.15
Trial	- Grunt noise test with the sample of lining angle reduction(110°→100°) & asymmetry	- Grunt noise test with the sample of lining angle reduction(110°→100°) & asymmetry & new drum
Result	No grunt noise	Grunt noise intermittent happens but it disappears soon
Rating	8.0	7.5

References

- (1) Fieldhouse, J. D. and Rennison, M., 1998, An Investigation of Low Frequency Drum Brake Noise, SAE Technical Paper 982250.
- (2) Loannidis, P., Brooks, P. C. and Barton, D. C., 2003, Drum Brake Contact Analysis and Its Influence on Squeal Noise Prediction, SAE Technical Paper 2003-01-3348.
- (3) Fieldhouse, J. D., 2000, Low Frequency Drum Brake Noise Investigation Using a 1/4 Vehicle Test Rig, SAE Technical Paper 2000-01-0448.
- (4) Kung, S.-W., Stelzer, G. and Smith, K. A., 2004, A Study on Low Frequency Drum Brake Squeal, SAE Technical Paper 2004-01-2787.
- (5) Kung, S.-W. and Stelzer, G., 2003, Brake Squeal Analysis Incorporating Contact Conditions and Other Nonlinear Effects, SAE Technical Paper 2003-01-3343.
- (6) Kang, J. Y., 2012, Effect of Friction Curve on Brake Squeal Propensity, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 2, pp. 163~169.



Ilmin Hong Received his B.S. degrees in Mechanical engineering from Sungkyunkwan University, Korea, in 1994 and M.S. degrees in Mechanical design from Yonsei University, Korea, in 2001.

Currently he is a lead engineer of brake system of GM Korea, His research of interesting is brake system design, application and development.



Myunghoon Jang Received his B.S. degrees in Mechanical engineering from Sungkyunkwan University, Korea, in 2004. Currently he is a design engineer of brake system of GM Korea, His research interests are brake system design and development.



Sunho Kim Received his Master degrees in Mechanical Engineering from Kookmin University, Korea, in 1985. He is Senior Engineer of brake system of GM Korea as of today. His research interests are hydraulic brake system design and corner brake system noise.



Hongseok Choi Received his B.S. degrees in Mechanical engineering from Kyoungpook National University, Korea, in 2004. Currently he is a design engineer of brake system of Korea Delphi Automotive Company, His research interests are brake system design and development.