

# HILS Rig 시험을 통한 실차 ABS 실내작동소음 예측 기법에 대한 연구

Research on Correlation Method of ABS Interior Operational Noise via HILS Rig Test

김승환† · 육지용\* · 한민규\*\* · 전남일\*\*\*

Seunghwan Kim, Jiyong Yook, Mingyu Han and Namill Jeon

**Key Words :** Anti-lock Brake System(ABS), Hardware In the Loop Simulation(HILS), Minitab S/W(미니탭 통계분석 S/W), Correlation Analysis(상관분석), Regression Analysis(회귀분석), NVH(Noise, Vibration & Harshness, 소음 진동).

## ABSTRACT

The psychoacoustic quality of ABS is now considered more important than before as the focus of recent ABS function is expanded to basic function from typical emergency function. Thus, the automotive parts manufacturing companies are actively working to improve NVH (Noise, Vibration, and Harshness) in ABS module. In terms of time, test place, and cost, however, it is very inefficient to have all the operating noise validation test in real vehicle configuration especially for partially improved ABS module. To contribute to reducing the development period and to grasping the improvements faster, this research presents the study of a correlation to predict ABS operating noise inside vehicle via HILS rig test. The regression equation in this paper was statistically drawn from using Minitab S/W, and based on that equation, the noise spectrum of vehicle interior was analogized.

## 기호설명

#I~#V: 샘플 No.

$A_H \sim B_H$ : HILS 시험시 가속도센서 부착 위치

$A_V \sim D_V$ : 실차 시험시 가속도센서 부착 위치

$Y_H$ : HILS 진동 스펙트럼 (단위 : g)

$H_H$ : HILS 동특성 FRF(단위 : g/N)

$F_H$ : HILS 미지의 힘 스펙트럼 (단위 : N)

$Y_{PS}$ : 실차 예측 실내소음 스펙트럼,

Predicted Sound (단위 : Pa)

$H_V$ : 실차 동특성 NTF(단위 : Pa/N)

$H_{V,DZ}$ : D 위치 Z 방향 Impact 시 실차 동특성 NTF

$Y_V$ : 실차 실측 실내소음 스펙트럼 (단위 : Pa)

$Y_{PS,R}$ : 회귀분석 예측 실내소음 스펙트럼

최근 차량의 휠락을 방지하여 조향 조정성을 향상시키는 ABS 기능이 기존 Emergency 측면에서 기본기능으로 확대됨에 따라 점차 감성적인 소음품질이 중요시 되고 있다. 이에 업계에서는 소음을 유발하는 유압맥동을 저감하기 위해 다양한 메커니즘을 모듈안에 삽입하여 ABS 작동시의 실차 실내 작동소음을 개선하려는 노력이 활발히 진행되고 있다.

그러나 이 과정에서 일부 개선된 모듈의 작동소음 평가를 위해 모든 시험을 실차에서 진행하는 것은 시간, 시험장소 및 비용적 측면에서 효율적이지 못하다. 이에 본 연구에서는 Rig 상태인 HILS 시험을 통해 차량의 ABS 실내작동소음을 예측하기 위한 Correlation 기법에 대해 연구하여 개선효과의

## 1. 서 론

† 김승환: 정회원, (주)만도 Global R&D, NVH 팀

E-mail : seunghwan2.kim@halla.com

Tel : 031-680-5262, Fax : 031-680-5481

\* 육지용; (주)만도 Global R&D, NVH 팀

\*\* 한민규; (주)만도 Global R&D, NVH 팀

\*\*\* 전남일; (주)만도 Global R&D, NVH 팀

빠른 파악 및 개발기간 단축에 이바지하고자 한다. 본 논문에서는 HILS vs. 실차 ABS 작동소음의 Correlation 정도를 Minitab S/W를 이용한 통계적 방법으로 도출하였고, 회귀분석을 통한 회귀방정식을 이용해 실차 실내작동소음 스펙트럼을 유추하였다. 따라서, 대상차종 선정 후 1회에 한해 HILS & 실차 평가가 진행되면, 추후 해당차종에 대해서는 HILS 평가 결과만으로 실차 실내소음을 예측할 수 있는 평가 기법을 도출하였다.

## 2. 시험 방법

### 2.1 HILS 시험

#### (1) ABS 작동 진동 측정

HILS Simulation시 3축 가속도센서를  $A_H$ ,  $B_H$  2개 소에 부착하고, 압력 모니터링을 위해 Master Pipe 상에 압력센서 장착하였다. 시험 조건은 차속 50kph, 브레이크 담력 100bar, 노면마찰조건  $0.2\mu$ 로 ABS 구동 시키는 상황에서 진동 및 유압을 측정하였다. 초반 브레이크 담력 인가시 노면조건 판단을 위해 제어진입이 바로 되지 않아 딥슬립이 발생되는데 이 구간의 데이터는 ABS 작동구간을 분석하는데에 외란 인자가 된다. 따라서 Figure 1과 같이 안정화구간의 데이터를 취해  $B_H$  위치 진동의 RMS 수치를 기록하고 스펙트럼 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 샘플 #I~#V 5개에 대해 진행하였고, Figure 2에 진동 스펙트럼 결과를 도시하였다.

#### (2) HILS 챔버 동특성(FRF) 도출

Figure 3과 같은 HILS 챔버의 동특성은 시험대상 ABS 모듈이 장착된 상태에서 Impact Hammer를 이용하여, 가진과 응답 위치가 같은 Driving Point로 측정하고, 본 연구에서는  $B_H$ 지점으로 하여 동특성함수(FRF, Frequency Response Function)를 Figure 4와 같이 도출하였다.

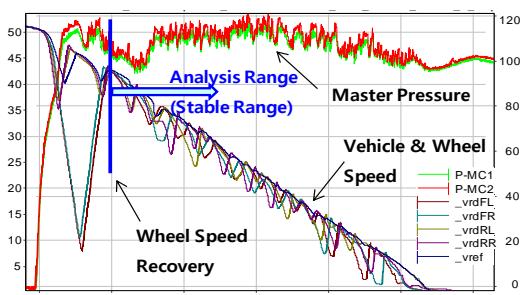


Figure 1 Stable Range for Spectrum Analysis

Left Axis : Speed(km/h), Right Axis : Pressure(bar)

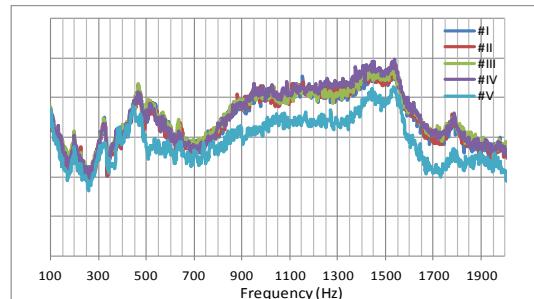


Figure 2 Spectrum of HILS Vibration for 5ea Samples



Figure 3 Picture of HILS Chamber

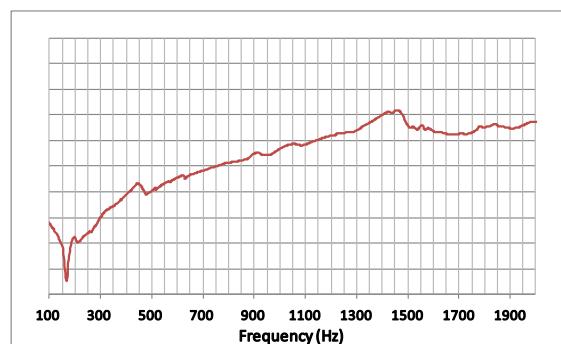


Figure 4 Dynamic Characteristic FRF of HILS Chamber

### 2.2 실차 시험

#### (1) ABS 작동 실내소음 측정

상기 HILS 시험시 사용된 5개 모듈을 그대로 실차에 장착하여 실차 작동소음 평가하였다.

가속도센서는 HILS에서 측정한 지점과 동일한  $A_V$ ,  $B_V$  위치 및 차량 자체의 진동을 모니터링 할 수 있는  $C_V$ ,  $D_V$  위치에도 장착하고, 실내 운전석 좌, 우측에 마이크로폰을 설치하였다.

차량 운용조건은 HILS와 동일한 차속 50kph, 브레이크 담력 100bar, 노면은  $0.2\mu$ 에 해당되는

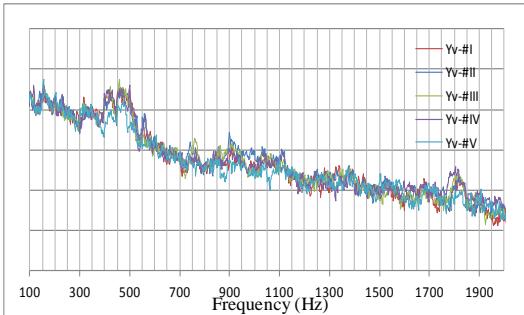


Figure 5 Spect. of Vehicle Interior Noise for 5ea Samples

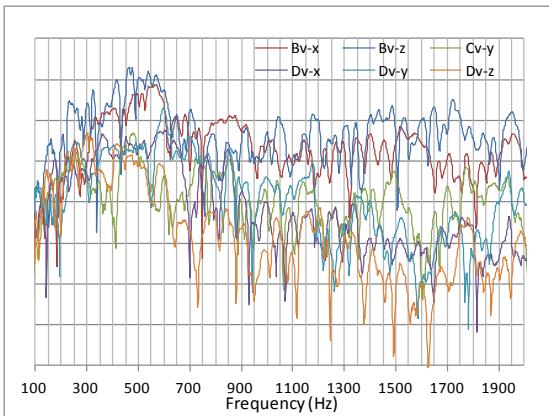


Figure 6 Dynamic Characteristic NTF of Vehicle

Basalt 상에서 ABS 구동시켜 데이터 측정하고, 안정화구간의 데이터를 취해 실내소음 스펙트럼 분석 실시하여 Figure 5에 도시하였다.

#### (2) 실차 동특성(NTF) 도출

실차 동특성은 ABS 모듈이 차량에 장착된 상태에서 Impact Hammer를 이용하였다. 가속도센서가 장착된 위치인  $A_v$ ,  $B_v$ ,  $C_v$ ,  $D_v$  지점을 가진하여 Reference로 취하고, 차량 실내에 설치된 마이크로폰을 응답함수(Response)로 지정, 각 가진 위치별 실차 동특성함수(NTF, Noise Transfer Function) 도출하였다. 본 연구에서는 차량과 직접 연관된  $B_v \sim D_v$  지점에 대해서는 각 3축(X,Y,Z) 방향별로 Impact하여  $B_{v-x}$ ,  $B_{v-z}$ ,  $C_{v-y}$ ,  $D_{v-x}$ ,  $D_{v-y}$ ,  $D_{v-z}$ 의 총 6개소의 Impact에 따른 동특성을 도출하였고, Figure 6에 도시하였다.

### 3. 실차 실내소음 예측 기법

#### 3.1 예측 방안

HILS 진동 결과를 이용한 실차 실내소음 유추 방안은 아래와 같다.

$$Y_H = H_H \cdot F_H \Rightarrow F_H = Y_H / H_H$$

$$Y_{PS} = H_V \cdot F_H$$

$$Y_V = \alpha Y_{PS} + \beta$$

여기서, Minitab S/W를 이용, 회귀분석을 통해 회귀계수 $\alpha$  와 오차항 $\beta$  를 구할 수 있다.

#### 3.2 예측 기법

##### (1) 최적 실차 동특성 선정

6개의 실차 동특성(B~D 각 위치 및 방향별 Impact된 NTF함수) 함수에 대한 각각의  $Y_{PS}$ 를 도출하여 실측된  $Y_V$ 와 Minitab S/W 상관분석을 실시하였다. 샘플#I~#V에 대해 상관분석 실시 결과, 상관계수가 가장 높은 동특성은 모든 샘플에 대해  $D_{v-z}$ 지점을 Impact한  $H_{V,D-z}$ 로 결정되었고, 모두 90%이상의 상관성을 나타내었다. 예시로 샘플#I에 대한 상관분석 결과를 Figure 7에 도시하였다.

##### (2) 공통회귀방정식 도출

앞서 선정된 실차 동특성을 적용한 샘플 5개에 대해 각각의  $Y_{PS}$ 가 존재하며, 5개 샘플의  $Y_{PS}$ ,  $Y_V$ 스펙트럼 결과를 일렬배치하여 다음과 같은 공통회귀방정식 도출하였다. 일치도  $R^2$ 은 85.5%로 매우 우수한 수준이었고 Figure 8에 회귀분석 결과를 도시하였다.

$$Y_V = 0.348Y_{PS} + 22.6 \Rightarrow Y_{PS-R}$$

여기서 상기 회귀식에 스펙트럼 결과 직접 계산하여 구해진  $Y_{PS-R}$  와  $Y_V$ 를 Figure 9과 같이 각 샘플별로 그래프화하여 비교하였다. 400~600Hz 구간에서 샘플#I~IV의 그래프 일치도가 저하되는 것을 확인하였고 추가 개선을 진행하였다.

##### (3) 추가개선

추가개선을 위해 주파수 벤드별로 회귀분석 재실시하여 결과를 Table 1에 도시하였다. 여기서  $R^2$ 값이 50% 미만인 1st Band(150~400Hz) 결과는 Full Band(150~2000Hz) 회귀식으로 대체하여 벤드별 결과를 조합하였다. 벤드별 조합된 스펙트럼 결과를 다시  $Y_V$ 와 그래프 비교하여 Figure 10에 도시하였다. 150~2000Hz 전 영역에서  $R^2$  87.3%로 일치도가 더 향상된 결과를 얻었으며, 400~600Hz 대역 레벨의 일치도도 우수함을 확인하였다.

본 연구에서의 예측 기법 프로세스를 Figure 11에 도시하였다.

상관 분석: Yv-I, Yps-I,Bv-x, Yps-I,Bv-z, Yps-I,Cv-y, Yps					
Yps-I,Bv-x	Yv-I	Yps-I,Bv-x	Yps-I,Bv-z	Yps-I,Cv-y	Yps
Yps-I,Bv-z	0.845	0.885			
Yps-I,Cv-y	0.796		0.812		
Yps-I,Dv-x	0.812	0.853	0.872	0.883	
Yps-I,Dv-y	0.901	0.895	0.870	0.870	0.936
Yps-I,Dv-z	0.892	0.896	0.861	0.874	0.946
Yps-I,Dv-z	0.903	0.856	0.860	0.874	0.946

Yps-I,Dv-y

Yps-I,Dv-z 0.918

셀 내용: Pearson 상관 계수

Figure 7 Correlation Analysis with Minitab S/W for #I

### 회귀 분석: Yv 대 Yps

$$\text{회귀 방정식} \quad Yv = 22.6 + 0.348 Yps$$

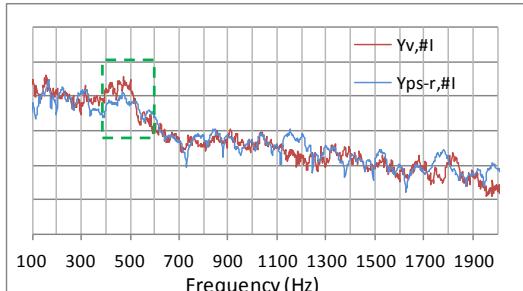
예측 변수	계수	SE 계수	T	P
Yps	22.5823	0.0518	436.28	0.000
Yps	0.347951	0.002102	165.51	0.000

S = 3.09417 R-제곱 = 85.5% R-제곱(수정) = 85.5%

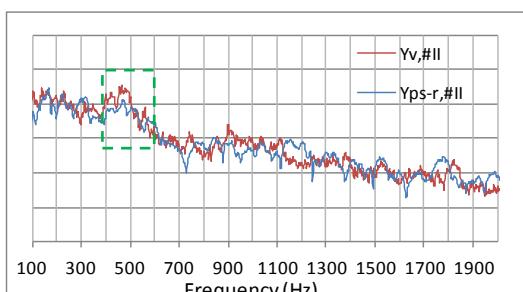
### 분산 분석

총차	회귀	잔차	오차	SS	MS	F	P
			4628	262267	262267	27393.99	0.000
			4629	44308	10		
			4629	306574			

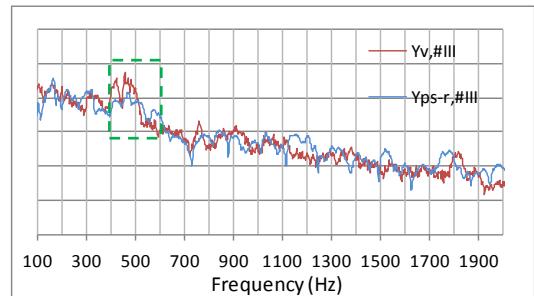
Figure 8 Common Regression Analysis with Equation



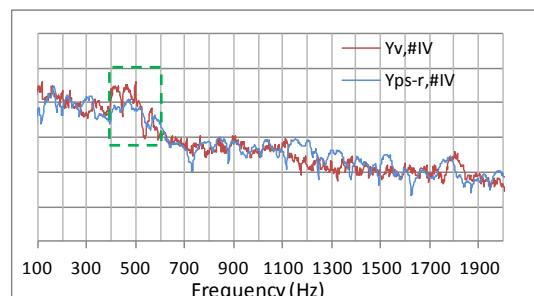
(a) Sample #I



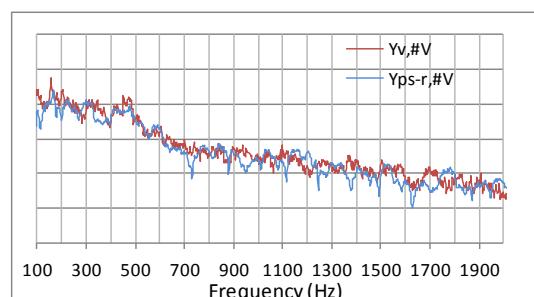
(b) Sample #II



(c) Sample #III



(d) Sample #IV

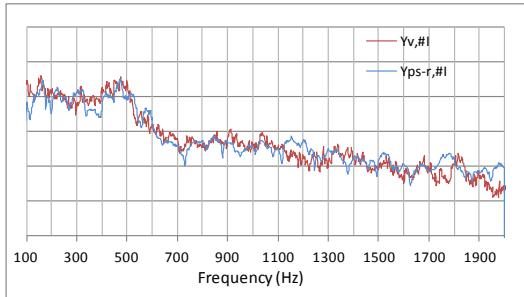


(e) Sample #V

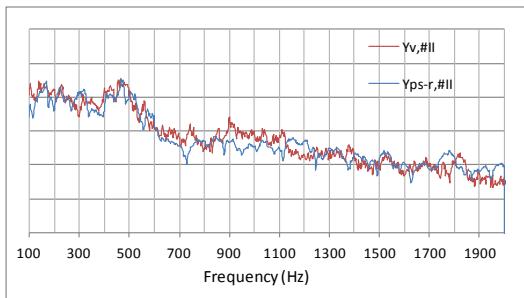
Figure 9 Comparison of Yv vs. Yps-R with each Sample

Table 1 Regression Analysis Results according to Frequency Band

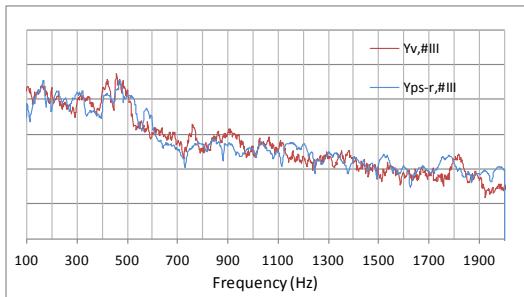
회귀 분석	Full Band (150~2000Hz)	1st Band (150~400Hz)	2nd Band (400~600Hz)	3rd Band (602~2000Hz)
$\alpha$	0.348	0.113	0.565	0.271
$\beta$	22.6	34.3	14.8	22.4
$R^2$ (%)	85.5	14.5	62.2	57.6
P Value	0.0	0.0	0.0	0.0
적용여부	-	Drop Full Band 결과로 대체	적용	적용



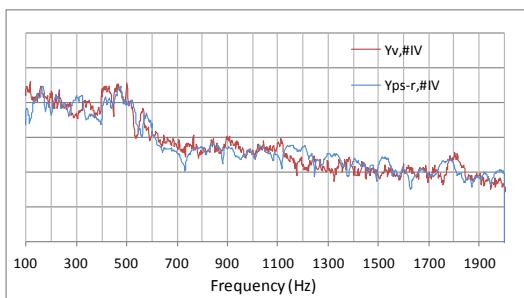
(a) Sample #I



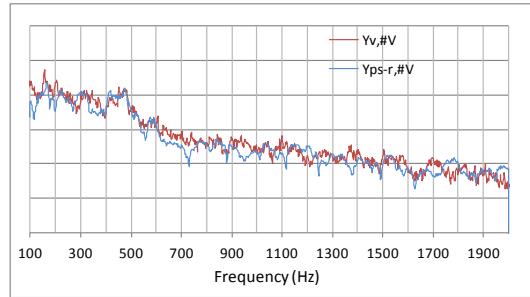
(b) Sample #II



(c) Sample #III

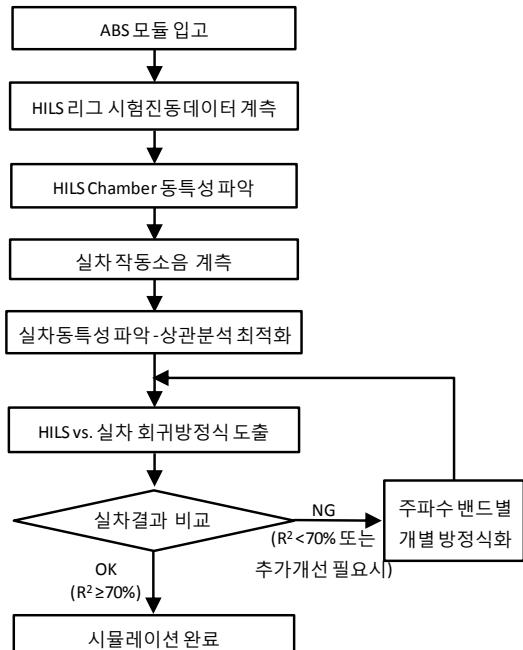


(d) Sample #IV



(e) Sample #V

**Figure 10** Comparison of  $Y_V$  vs. Improved  $Y_{PS-R}$  with each Sample



**Figure 11** Prediction Process

#### 4. 결 론

ABS 작동시 실차의 실내 작동소음을 HILS Rig 시험으로 예측하기 위해 실차 & HILS에서의 시험 방법 소개 및 예측기법에 대한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) HILS 시험시  $B_H$  지점의 진동스펙트럼을 이용하였고, HILS Chamber 동특성 함수 도출을 통해 미지의 힘  $F_H$ 를 계산할 수 있다.

(2) 신규차종에 대해서는 실차 ABS 작동소음의

실측데이터 및 실차 동특성 결과가 필요하며, 1회에 한해 HILS와 실차 평가를 완전히 동일 샘플로 진행하여 Correlation 과정을 거쳐야 한다.

(3) 실차 동특성은 ABS 작동소음의 전달경로를 의미하며, 차종마다 다르므로 상관분석등의 툴을 이용해 최적의 동특성(전달경로)을 정의한다.

(4) 회귀분석을 통해 유추된 실내소음 결과는 통계적 일치도 수치인  $R^2$ 값으로만 판단해서는 안되며, 실측된 실내소음 스펙트럼과 그래프 비교하여 레벨 측면 일치여부 검토해야 한다.

(5) 본 연구에서는 예측 스펙트럼이 85.5%의 우수한 일치율을 보였으나, 주파수 밴드별 회귀분석을 통한 추가개선을 통해 소음의 퍼크치인 400~600Hz 구간에서의 레벨 일치도 개선 및  $R^2$  87.3% 일치율을 확보하였다.

(6) 본 연구를 통해 시험 대상인 A사의 대형 SUV 차량에 어떠한 ABS 모듈이 장착되더라도 HILS Rig 시험만으로 실차의 실내작동소음을 예측 할 수 있는 기법을 구축하였다.

## 참 고 문 헌

(1) Jeon, J. C., Maeng, Y. J. and Choi, S. B., 2010, Pressure Control of a Valve Modulator Using a Piezo Actuator for Vehicle ABS, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 377~378.

(2) Kim, K. Y., Choi, S. H. and Lee, J. G., 2004, Compensation of PWM Duty Rate at ABS Using LFC, KSAE Annual Spring Conference, No. 2, pp. 770~775.