Transactions of KSAE, Vol. 33, No. 9, pp.703-710 (September, 2025)

Check for updates

Copyright © 2025 KSAE / 238-02
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2025.33.9.703

시트 레일의 래틀 해석 평가방법 개발 및 래틀 민감인자 연구

육 형 섭[1] · 편 종 권[1] · 박 종 진[1] · 남 재 현[2] · 박 동 규[*3] · 김 병 기[4]

다스 기술연구소[1] · 고등기술연구원 지능기계시스템센터[2] · 한국기술교육대학교 기전융합공학과[3] · 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부[4]

Development of Rattle Analysis and Evaluation Method of Automotive Seat Rail and Research on Rattle Sensitivity Factors

Hyungsub Yook[1] · Jongkweon Pyun[1] · Jongjin Park[1] · Jaehyoen Nam[2] · Dongkyou Park[*3] · Byungki Kim[4]

[1]DAS R&D Center, DAS Corp, 13 Heungdeok 1-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi 16954, Korea
[2]AI&Mechanical System Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28 Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi 17180, Korea
[3]Department of Electromechnical Convergence Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungnam 31253, Korea
[4]Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education, Chungnam 31253, Korea
(Received 22 January 2025 / Revised 18 April 2025 / Accepted 21 April 2025)

Abstract : In this study, an analytical methodology was developed by considering the rattle phenomenon in automobile seats during the early design stage to address a critical aspect of vehicle noise and other vibration issues. Its validity was verified through correlation analysis with experimental data. The results were then analyzed based on quantitative figures by considering emotional quality through Loudness N10 and other subjective evaluations. Changes in the main design factors of the rail can reduce rattle noise, and the proposed design factors were shown as sensitive to rattle noise in the lateral and vertical directions. The impact load showed a linear correlation with a coefficient of determination of 0.82 in the BSR quantitative indicators for both the lateral and vertical directions. The proposed robust design criterion was then verified to correspond to an impact load of 92 N.

Key words : Seat rail(시트 레일), BSR(자동차 이음), Sensitivity analysis(민감도 분석), Finite element method(유한요소법), Correlation analysis(상관도 분석)

1. 서 론

자동차에서 시트는 매우 중요한 의장 부품의 하나로 안전성 및 편의성과 더불어 최근에는 감성적인 부분까지 요구되고 있다.[1-3] 래틀 소음은 시트의 조립 이음새 및 체결 부위 등에서 상대적인 운동에 의하여 충격력이 발생하는 메커니즘으로 감성적인 부분을 저해하는 요인의 하나로써 그 정도를 최소화하여야 한다. 하지만 자동차 시트는 탑승자 체형에 맞는 운전 자세 변화를 요구하기 때문에 고정부품에 사용하는 흡음재를 사용할 수 없으며, 설계 시 필연적으로 작동에 의한 간극 및 공차 등으로 인한 타격 메커니즘을 발생시킨다. 간극과 공차는 시트의 제작 및 조립 작동을 위해 반드시 필요한 조건이며, 완성 시트 단계에서 래틀 발생 시 해결방법이 매우 난해하다.

최호일 등[4]은 시트 쿠션 프레임의 내구 전후 강성저하에 의한 공진 주파수 변화를 통해 래틀 소음의 발생원인을 분석하였다. 진동 전달률은 래틀 소음의 크기에 기인하여 진동 전달률의 크기가 낮아지면서, 래틀 소음의 절대적인 크기도 낮아지는 경향을 실험 분석결과로 제시하였다. 정철웅 등[5]과 Shin과 Cheong[6]은 개발의 초기 단계에서 BSR 문제를 체계적으로 정의하기 위한 테스트 절차를 개발하였으며, 음장 가시화 장비와 음질 메트릭을 이용하여 BSR 소음에 대해 체계적으로 분석하였다. 김석범 등[7]은 실험적으로 분석된 BSR 소음에 대한 데이

*Corresponding author, E-mail: pdongkyou@koreatech.ac.kr
*This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

터 셋을 구축하고, 정량적 지표인 라우드니스(Loudness) N10을 예측하기 위한 효과적인 머신러닝을 이용한 방법론을 제안하였다. 그러나 실험 기반 연구는 실험을 위한 제품이 반드시 요구되기 때문에 상대적으로 많은 비용과 시간이 소요된다. 특히, BSR의 정량적 지표 분석은 고가의 장비와 특정 소프트웨어가 반드시 요구되기 때문에 개발 단계에서 BSR 특성을 예측할 수 있는 방법론이 반드시 필요하다.

Squeak은 동적 불안정성에 기인하여 발생되는 메커니즘이 자동차 브레이크 시스템 연구를 통해 과거부터 수행되어왔다. 모드연성과 음의 기울기 메커니즘을 통해 발현되는 마찰소음은 환경에 의한 요인과 불확실성을 제외한다면, 수학적인 전개가 가능하기 때문에 발생 원인에 대한 물리적인 특성을 기술할 수 있다.[8-10] 반면에 래틀은 수학적 모델을 통한 단순화가 가능하지만, 메커니즘은 오직 상대변위와 비선형 접촉특성에 의해 기술된다. 그러나 감성품질은 현상적인 특성에 지배적이며, 래틀은 카오스와 같은 극단적인 비선형성이 발생되어 물리적 특성에 대한 제어가 매우 어렵다.[11,12] 해석적 분석 방법은 설계 시 필연적으로 발생하는 공차와 간극이 포함되어야 하며, 정확한 원인 분석을 위해서는 반드시 이에 상응하는 정밀한 모델링이 요구된다.

유한요소법 기반의 BSR 연구는 많은 양의 리소스를 요구하기 때문에 상대적으로 수행이 어려웠지만, 최근 하드웨어와 소프트웨어의 발달로 빈번하게 수행되고 있다. Shin 등[13]은 동강성 해석 기법, 열화 기법, 직접 버츄얼 방법을 통해 바디 시스템과 장착되는 시스템 모듈의 강건성 확보에 대한 연구를 수행하였다. 이화수 등[14]은 선형 해석 기반의 BSR 예측 방법이 E-Line Method의 단점을 보완하고자 파트간 공차와 동적 변형량을 통계 기반으로 적용하여 BSE 예측의 개선 방법에 대해 소개하였다. 김소울 등[15]은 선형 모델을 실험 모델과 보정하여 외연적 적분방법을 통해 BSR을 예측하였다. 그러나 전체 시스템에 대한 BSR 해석은 현재도 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 주요 원인을 추정하여 부품 설계 단위에서 BSR 예측 방법이 수행될 필요가 있다.

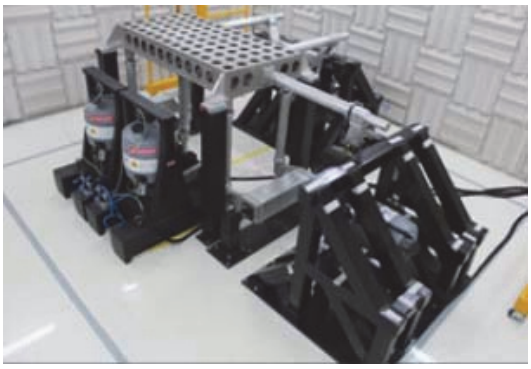
레일은 운전자의 주행조건의 편의성을 위해 전/후 이동을 통한 자세제어를 수행하며, 충돌 시 시트의 안정성을 결정하는 주요 부품이다. 레일은 시트의 이동이 가능해야 하기 때문에 고정 부품에 비해 흡음재 등의 절연에 의한 소음 및 진동 저감이 어렵고 완성 단계에서 후속조치가 제한적이기 때문에 초기 설계 단계에서부터 래틀에 대한 제어가 절대적으로 필요하다. 그러나 초기 설계 단계에서 분석할 수 있는 래틀 해석 프로그램은 매우 제한적인 상황에서만 사용이 가능하므로, 비선형성과 접촉해석의 의존이 높은 시트 레일에 대한 정밀한 결과가 반영되기 어렵다. 따라서 래틀 해석은 설계 단계에서 요구되는 성능을 만족하고, 설계 상의 제약조건을 정의하기 위해 새로운 개념을 도입한 방법을 고안해야만 한다. 본 논문에서는 새로운 래틀 해석의 방법을 소개하고, 그 유효성을 실제 시험을 통해서 검증하였으며, 시트 레일의 래틀을 저감 할 수 있는 설계 민감연구 연구도 같이 병행하였다.

2. 본 론

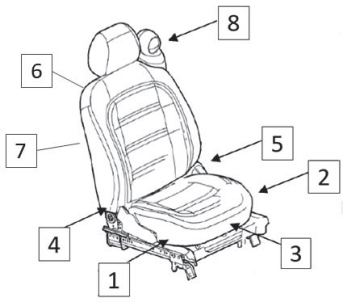
2.1 시트 래틀 소음 시험 평가 기준 고찰

자동차 시트 레일에 대한 래틀 소음의 정량적 평가 기준은 GWM14011 기반으로 수행된다. 시험 평가 방법은 Fig. 1에 나타냈다. Fig. 1(a)는 실험에 사용된 가진기이고, Fig. 1(b)는 BSR 측정시 마이크로폰의 위치를 나타낸다. 가진력은 배경소음 1.5 손(Sone) 이하의 다축 무소음 가진 장비를 이용하여, 3축 방향의 랜덤진동의 가진력을 시트 바닥에 적용하였다.

BSR의 정량적 평가 지수는 일반적인 음압의 단위인 데시벨(dB) 보다는 츠비커 라우드니스(Zwicker Loudness) 계산방법을 이용하여 상대적 크기를 비교하기 위한 손(Sone)과 N10의 개념을 도입하여 사용된다.

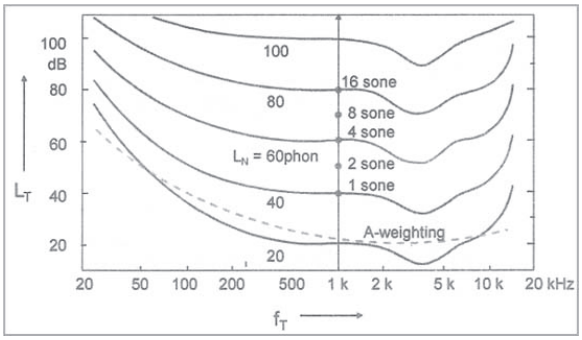


(a) Test system

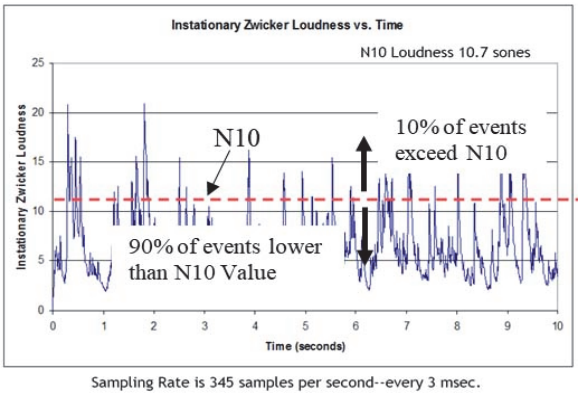


(b) Microphone position

Fig. 1 Rattle test evaluation method



(a) Sone



(b) Loudness N10

Fig. 2 Concept of Loudness

츠비커 라우드니스(Zwicker Loudness)는 Fig. 2에서 보듯이 시간에 따라 변동이 큰 소음을 등청감 곡선의 특성과 마스킹 효과를 고려하여 감성적 인지능력과 충격성 소음에 대해서 데시벨 보다 변별력이 뛰어난 것으로 알려져 있다. Fig. 2(a)는 등청감 곡선 기반의 손(Sone)에 대한 개념으로 1 kHz 순음 기준 40 폰(Phon)을 1 (손)Sone으로 실험식에 의해 상관관계가 정의되었다. Fig. 2(b)는 라우드니스(Loudness) N10에 대한 개념으로 정상상태의 90 %에 위치한 값을 정량적 지표로 값을 산출한다.

감성품질에 대한 평가는 심도 있는 검증을 위해, 약 30개의 음원 항목과 자동차 시트와 소음 진동 관련 연구자 42명을 선별하여 주관평가를 수행하고 소음에 대한 등급화를 정량화 하였다. 평가 인덱스 따른 등급화는 Fig. 3에 나타냈다.

완성차 평가지표는 라우드니스(Loudness) N10 기준 7.0 손(Sone)이지만 감성평가에서는 대체로 6.2~6.8 손(Sone) 범위에서 불쾌감이 크게 증대되었으며, 4.5 손(Sone) 이하는 소음에 예민한 사람들도 인지할 수 없는 매우 조용한 수치로 분석되었다. 따라서 상위 프리미엄급 차량 기준으로는 4.5 손(Sone) 이하의 개발이 요구될 것으로 예측된다.

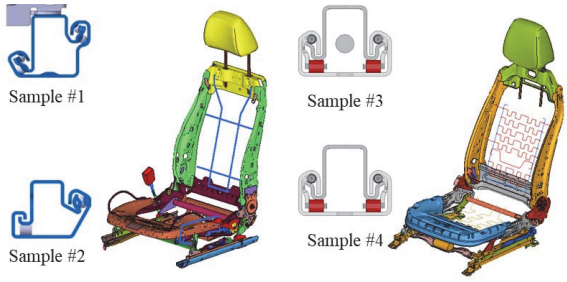
Rating	Performance	Complaint level	Disturbance	Transient Loudness (sone)	Index level
10	Not Noticeable Even By Trained Auditor	NONE	None	~ 3.4	~ 12
9	Noticeable Only By Trained Evaluators			3.4 ~ 4.5	12 ~ 26
8	Noticeable By Critical Customers		Trace	4.5 ~ 5.0	26 ~ 35
7	Noticeable By All Customers	SOME		5.0 ~ 5.4	35 ~ 40
6	Rated Disturbing By Some Customers		Moderate	5.4 ~ 5.7	40 ~ 45
5	Rated Disturbing By All Customers			5.7 ~ 6.2	45 ~ 50
4	Rated as Intolerable By Critical Customers	MANY	Annoying	6.2 ~ 6.8	50 ~ 60
3	Rated as Intolerable By All Customers			6.8 ~ 7.9	60 ~ 75
2	Perceived as Potential Loss of Veh. Function		Severe	7.9 ~ 9.6	75 ~ 100
1	Perceived as Potential Safety Issue			9.6 ~	100 ~

Fig. 3 Rattle noise standard according to subjective evaluation

2.2 벤치마킹을 통한 래틀 기준 평가 및 현 제품 래틀 수준 평가

래틀 수준은 Fig. 4(a), (b)와 같이 래틀에 대한 강건성 평가가 확보된 경쟁사의 시트 프레임과 자사의 프레임을 GMW 14011을 기준으로 평가 후 두 시트의 성능에 대해 비교 분석하였다. 여기서 Sample #1, Sample #2는 벤치마킹 시트를 의미하며, Sample #3, Sample #4는 자사의 파워, 매뉴얼 사양을 의미한다. 기하하적 주요 차이점은 벤치마킹 제품의 경우 레일 형상이 비대칭 형상으로 설계되었지만, 자사의 샘플은 레일이 대칭형태로 구성되었다. 래틀 성능은 Fig. 5와 같이 경쟁사 시트 프레임의 경우 프리미엄 타겟 4.5 손(Sone) 이하를 만족하지만 자사 시트 프레임은 6~7 손(Sone) 정도로 계산되어 주관 평가에 따른 래틀 소음 합격 기준의 경계선에 있는 것으로 측정되었다.

결과분석은 모달 시험 및 해석을 수행하여 상대적으로 높은 소음이 발생되는 원인을 모드 형상을 기반으로 예측하였다. 경쟁사의 프레임은 Fig. 6(a)에서 보듯이 1, 2차 모드가 상대적으로 이상적인 굽힘 모드가 전후와 수평방향으로 독립적인 모드가 발생되지만, 당사 시트 프레임은 시트 쿠션 높낮이를 담당하는 링크 위치 등의 구조적인 문제로 시트의 비틀림이 지배적인 모드로 나타났다. 비틀림 모드는 이상적인 굽힘 모드에 비해 상대적으로 레일의 모드 변화가 크기 때문에 레일의 작동을 위한 리테이너와 간극에서 래틀이 발생될 수 있는 조건임을 추정할 수 있다. 레일은 운전자의 편의와 주행안전을 위한 코어 부품이며, 차량의 진동이 전달되는 플로어와 직접 연결되어 있기 때문에 래틀 예측을 통한 구조적인 개선이 요구된다. 래틀 예측의 해석적 방법론은 설계 단계부터 래틀 소음에 대한 강건성을 기하학적으로 확보하기 위해 수행되었다.



(a) Competitor seat sample (b) Experimental seat sample

Fig. 4 Comparison of seat frame

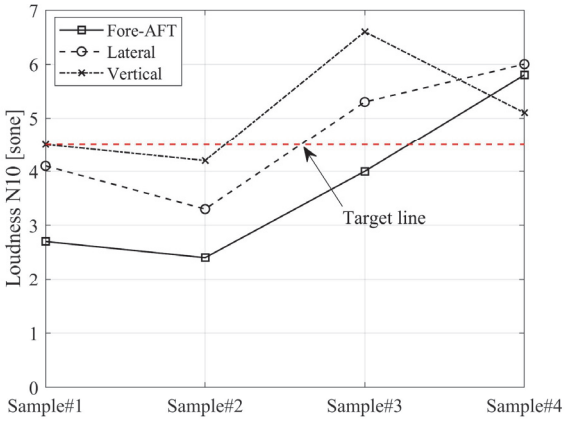
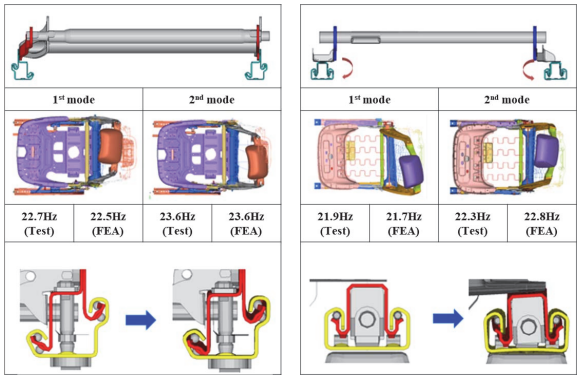


Fig. 5 Loudness N10 of each sample



(a) Competitor seat sample (b) Experimental seat sample

Fig. 6 Rattle noise standard according to subjective evaluation

2.3 래틀 해석 평가방법 개발

유한요소법을 통한 래틀 예측 방법은 설계 초기 단계에서 모달 해석을 통해 모드 분석을 기반으로 간접적으로 예측해 볼 수 있지만, 실제 현상에 대한 정확한 표현 및 개선을 위해서는 래틀 인덱스를 정량적 추정할 수 있

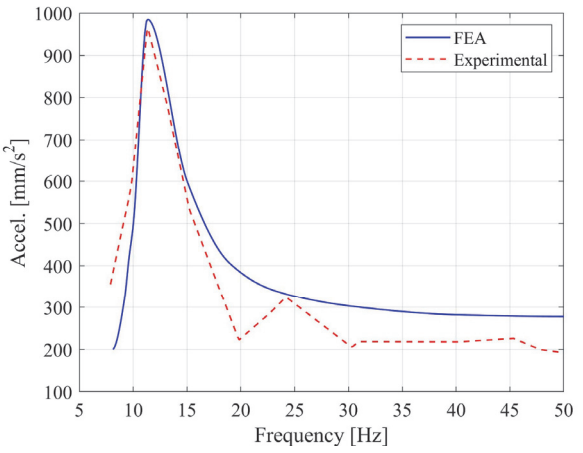


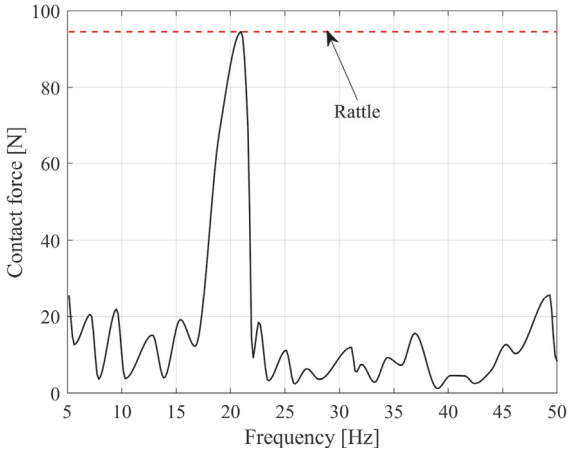
Fig. 7 Excitation profile

는 해석 방법이 필요하다. 현재 수준의 래틀 해석 방법은 선행 NVH 해석을 수행하여 부품간 간극의 오버랩을 조사하고 그 양에 따라 간접적으로 래틀 소음의 영향도를 추정한다. 현재 해석 방법론은 간극이 진동 모드에 영향을 거의 주지 않는 경우에 한해서만 사용될 수 있는 방법이다. 만약 진동 전달이 초기 간극이 없는 곳에서 시작되어 간극이 발생하면서 래틀이 발생하는 경우나 억지 끼움 등의 사전 하중 조건(Pre-load)이 존재하는 지점에서의 래틀 계산은 현재 방법론으로 예측이 불가능하다. 불행히도 시트 레일은 위에서 언급한 제한조건인 볼/롤러/Lock의 연결강성, 진동에 의한 간극, 억지끼워 맞춤이 모두 존재하기 때문에 기존의 해석 방법을 통해 예측이 매우 어렵다. 따라서 새로운 아이디어 기반의 래틀 해석 방법론이 필요하다.

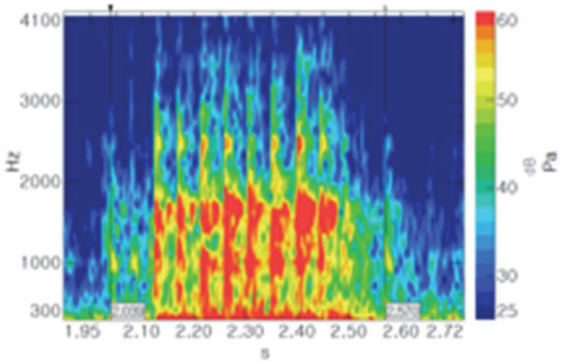
새로운 해석적 방법은 억지끼움 조건을 갖는 부품은 충격 하중을 가하기 이전 단계에서 자중과 함께 사전 하중 조건(Pre-load)을 적용하여 구현하였다. 연결 강성은 기존의 단품 시험을 통해 결과를 보정하였으며, 간극에 의한 충격하중을 구현하기 위해 외연적 적분 방법(Explicit Code)을 이용한 해석을 수행하였다.

래틀은 물리적으로 두 파트 간 간극이 공진이나 외력에 의해 상대변위가 0이 되면서 접촉에 의해 발생된다. 외연적 적분 방법(Explicit Code)에 의한 시간 이력 해석의 조건은 Fig. 7과 같이 실험에서 사용된 주파수 도메인을 모사하여 충격 하중과 함께 사용하였고, 시트의 차체 고정지검에서 발생하는 가진력을 해석 모델에 적용하였다.

시간 간격은 나이퀴스트(Nyquist) 주파수를 고려하여 FFT 변환시 주파수 해상도를 고려하였으며, 래틀이 예상되는 부위에 접촉 하중을 계산하였다. 리틀의 크기는 실시간으로 표현된 접촉 하중을 주파수 도메인에서 분

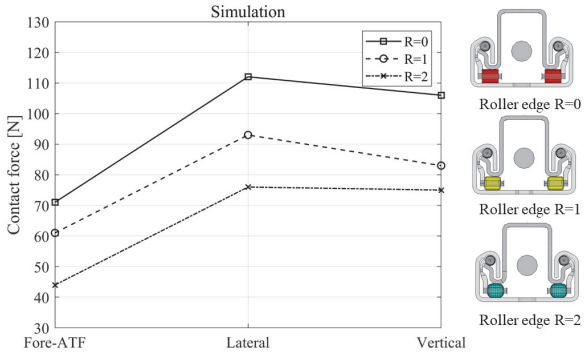


(a) Contact force by FFT

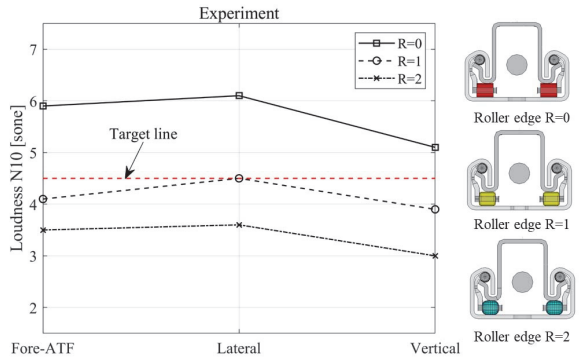


(b) Colormap of rattle noise

Fig. 8 Experimental results



(a) FEA



(b) Experiment

Fig. 9 BSR results with respect to roller parameter

석하였으며, 레일의 공진 주파수 근방에서 발생되는 최대 하중 크기를 래틀로 정의하였다. 실험을 통한 래틀 타격음은 Fig. 8에 나타냈다. 접촉하중은 Fig. 8(a)와 같이 주파수 도메인에서 최고 피크 하중을 래틀 지표로 정의하였다. 래틀 발생 이벤트는 Fig. 8(b)와 같이 시트 구조물의 기본 공진 주파수와 유사한 21.8 Hz에서 발생되어 구조물의 공진 주파수만큼 임팩트 이벤트가 발생되는 것을 예측할 수 있으며, 접촉 하중은 해석적 결과 기반의 래틀 예측의 타당한 지표임을 암시한다.

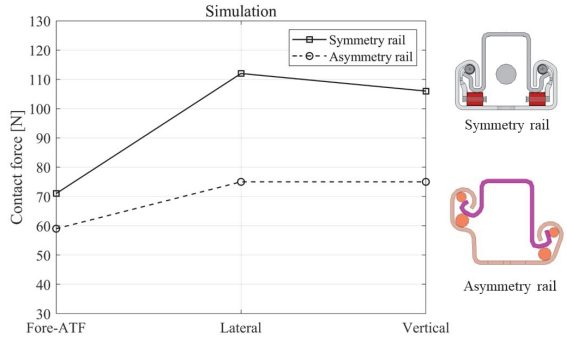
2.4 래틀 설계 인자분석 및 해석방법론 검증

래틀 해석방법론 검증은 래틀 저감 설계 인자에 대해 정의하고, 실험과 제안된 해석 방법론의 비교를 통해 분석되었다. 래틀 저감을 위한 설계인자는 레일로 정의하였으며, 파라미터는 앞선 진동 모드 분석을 기반으로 레일의 롤러의 모서리 R로 정의하였다. 설계안은 롤러의 R이 없는 경우 자동위치기능이 저하되어 진동 발생 시 롤러의 충격하중이 커질 것으로 예측되었으며, 모서리 R을 적용하여 충격하중이 저감될 수 있도록 유도하였다. 제안된 해석 방법론을 통한 충격하중결과와 래틀 실험 결과는 Fig. 9에 나타냈다. 충격하중은 R=0, R=1, R=2의 순서로 감소하는 경향이 나타났으며, 래틀 실험 결과인 라우드니스(Loudness) N10의 패턴과 매우 유사한 경향을 보였다.

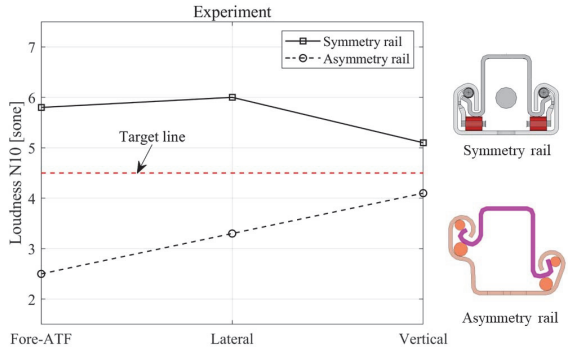
레일의 형상 변경을 통한 래틀 개선은 대칭 레일에서 비대칭 레일로 설계 변경을 수행하였으며, 기존의 리테이너 볼을 추가 설계하였다. 리테이너 볼은 Fig. 10과 같이 레일 한 개 기준 4개에서 비대칭 레일에서는 8개로 변경하였으며, 비대칭 레일은 수직방향 변위를 제한할 수 있도록 설계되었다.

비대칭 레일은 Fig. 10(a)와 같이 수평 방향의 하중이 분산되어 진동에 의한 충격하중이 감소하였으며, 이에 상응하여 Fig. 10(b)에서 보듯이 BSR 소음도 감소하는 것으로 나타났다. 리테이너 볼의 추가 설계 반영은 자기위치 기능을 부여함과 동시에 레일의 충격이 기존 4개 지점에서 8개 지점으로 분산되어 BSR 소음이 저감되는 것으로 예측할 수 있다.

실험과 해석의 상관성 분석은 정밀한 해를 얻기 위해

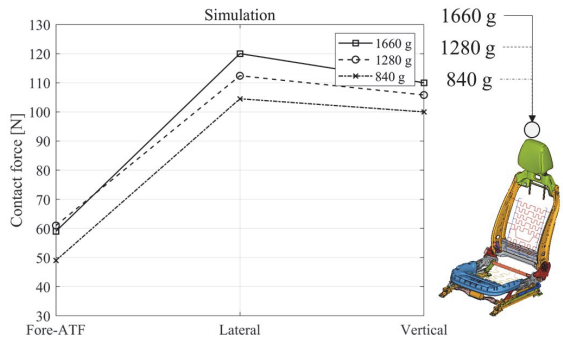


(a) FEA

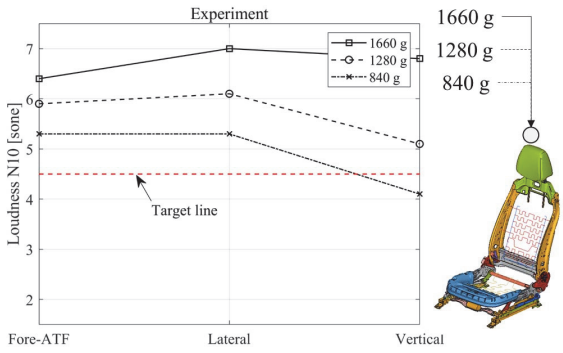


(b) Experiment

Fig. 10 BSR results with respect to rail parameter



(a) FEA



(b) Experiment

Fig. 11 BSR results with respect to head rest parameter

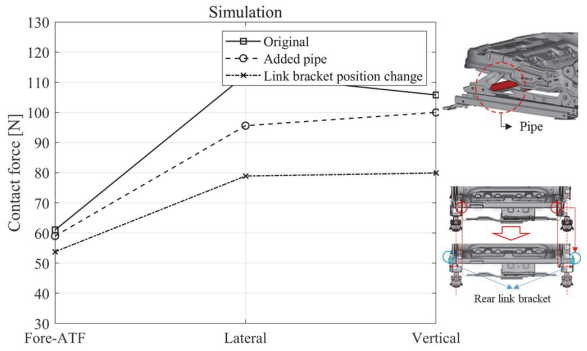
많은 데이터가 요구되기 때문에 프레임 설계 변경을 통해 추가적인 데이터 수집을 수행하였다. 프레임 설계 변경을 통한 래틀 개선은 시트 레일을 기존 사양으로 고정하고, 시트 프레임의 주요 요소들을 변경하여 실험과 해석을 수행하였다. 먼저 헤드레스트 중량 변화에 대한 BSR 특성에 대해 분석하였다. 결과는 Fig. 11에 나타냈으며, Fig. 11(a)는 해석결과, Fig. 11(b)는 실험결과이다. 헤드 레스트는 중량이 감소할수록 2차 가진력을 감소시키면서 BSR 크기가 낮아지는 경향이 나타났다. 특히, 수직 방향의 BSR 소음은 중량 840 g으로 변경 시 4.5 손(Sone) 이하 수준으로 매우 낮게 나타났다. 따라서 헤드레스트 중량은 시트 프레임 요소 중 BSR의 수직 방향에 기여하는 바가 매우 큼을 암시한다.

두번째 프레임 설계변경 안은 쿠션 프레임의 앞쪽 하이트 링크 사이에 파이프를 부착하여 레일의 수평 강성과 변위를 구속하여 소음을 줄이고, 하이트 링크의 옵셋을 시트 레일 외곽으로 변경하여 레일의 롤러에 고르게 충격 하중에 분포될 수 있도록 정의하였다. 해석과 실험 결과는 Fig. 12에 나타냈다. 쿠션 프레임의 설계 변경은 예측한 결과와 동일하게 충격하중이 감소하였고, BSR 실험과 유사한 경향이 나타났다. 쿠션 프레임의 BSR 저감은 프론트 파이프 추가와 리어 링크 브라켓의 위치 변경을 통해 수행될 수 있음을 보였다. 특히, 프론트 파이프 추가와는 프레임 자체의 수평 방향의 강성 증대에 기여하기 때문에 수평 방향의 BSR에 대한 강건 설계가 수행되었음을 나타낸다.

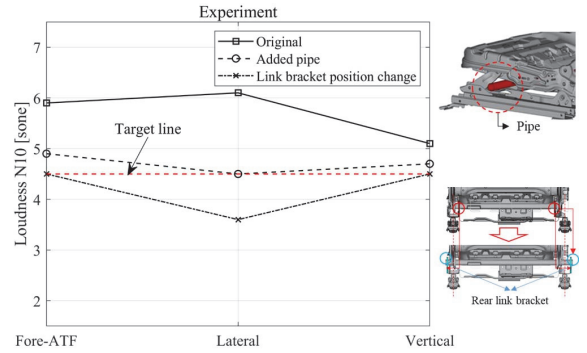
제안된 해석 평가방법은 실험결과와 해석결과의 선형성을 분석하여 판단하였다. 설계인자 분석에서 보듯이 제안된 래틀 저감 설계 방법은 수평 방향과 수직 방향에 강성을 보강하여 수행되었기 때문에 전후 방향의 민감성이 매우 낮게 나타난다.

실제 래틀 소음 특성은 가진력을 각 방향으로 분리하였을 때 전후 방향에 대한 민감성 보다 상대적으로 수평 방향의 민감성이 매우 크게 나타난다. 따라서 실험과 해석의 관계 분석은 전후 방향을 제외한 데이터만 사용하였다. 결과는 Fig. 13에 나타냈다.

래틀 평가 지수는 설계 파라미터에 상응하여, 감소되는 경향을 보이며, 해석적 평가 방법도 유사한 경향이 나타났다. 래틀 평가 지표와 접촉하중의 상관성은 결정계수 0.82 수준에서 선형적인 상관성을 보였으며, 제안된 해석방법론이 래틀 소음의 물리적인 특성을 타당하게 반영하고 있음을 암시한다. 래틀 강건설계는 직선의 방



(a) FEA



(b) Experiment

Fig. 12 BSR results with respect cushion frame parameter

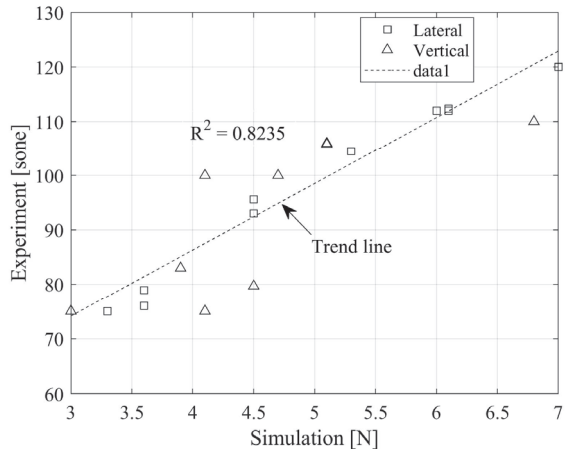


Fig. 13 Correlation of BSR data

정식으로부터 4.5 손(Sone) 수준에 상응하는 충격하중 약 92 N에 해당함을 예측할 수 있으며, 설계단계에서 해석적 기법을 통해 예측될 수 있음을 나타낸다.

3. 결 론

본 연구는 래틀 소음 평가에 대해 감성품질 요소를 주관평가를 기반으로 객관적 지표를 반영하여 수행하였으며, 래틀 해석의 평가방법을 제안하고 타당성에 대해 분석하였다. 래틀 소음 발생에 대한 기하학적 문제는 벤치 마킹을 통한 래틀 비교 평가 시험을 수행하여 문제점을 파악하였으며, 개선을 통해 실험과 제안된 해석 방법론의 결과에 대한 경향성을 분석하였다. 결과에 대한 타당성은 해석과 실험결과의 상관 분석을 통해 수행되었으며, 결정계수 0.82수준의 선형 상관관계가 있는 것으로 분석되었다. 제안된 해석 방법론은 설계 초기 단계에서 BSR 평가를 수행할 수 있는 방법이며, 시트 래틀 발생의 기여도가 높은 레일이 시트 프레임에 조립되기 전 단품 자체로 시행할 수 있는 유효한 검사 방법으로 품질 비용 등의 절감과 더불어 사전 품질 확보가 될 수 있는 기반이 될 것으로 예측된다. 개발된 방법은 시트 레일 부품에만 한정하는 것이 아닌 일반적인 다른 부품에도 적용이 가능한 방식으로 추후 타 부품에도 적용하여 그 확장성을 확인할 예정이며, 제조 산포에 기인하는 래틀 방지에 대해서도 연구를 수행하고자 한다.

향후 해석결과에 대한 예측은 많은 양의 데이터셋을 확보와 데이터 증강 방법을 기반으로 머신러닝을 적용하여 정확도 높은 예측 모델을 개발하고자 한다.

후 기

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('20018493').

References

1) J. Maeng, S. Hong and J. Yang, "Passengers Emotional Evaluation Depending on Seat Arrangement in an Autonomous Driving Simulator," Transactions of KSAE, Vol.30, No.3, pp.185–192, 2022.
2) G. Papaioannou, D. Ning, J. Jerrelind and L. Drugge, "A K-Seat-Based PID Controller for Active Seat Suspension to Enhance Motion Comfort," SAE International Journal of Connected and Automated Vehicles, Vol.5, No.2, pp.189–199, 2022.
3) J. Cho, K. Kim, D. Choi, S. Kim, S. Bang and C. Cho, "Development of Plastic Suspension System for Automotive Seat," Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.12, No.3, pp.1091–1097, 2011.

4) H. Choi, J. Nam, J. Kang and J. Park, “Investigation of the BSR Noise Characteristics in Seat Cushion-Frame with Respect to Vibration Durability Test Using Multi-Simulator,” Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.15, No.8, pp.4776–4783, 2014.
5) S. Shin, C. Cheong and S. Jung, “Experimental Evaluation of Buzz, Squeak and Rattle Noise of Vehicle Doors and Its Prevention,” Transaction of the KSNVE, Vol.17, No.12, pp.1217–1222, 2007.
6) S. Shin and C. Cheong, “Experimental Characterization of Instrument Panel Buzz, Squeak and Rattle (BSR) in a Vehicle,” Applied Acoustics, Vol.71, No.12, pp.1162–1168, 2010.
7) S. Kim, J. Nam and D. Ko, “A Study on the Prediction of BSR Noise Indicator in Automotive Seats Using K-Fold Cross Validation and Deep Neural Networks,” Transactions of KSAE, Vol.32, No.1, pp.83–93, 2024.
8) J. Nam and J. Kang, “Friction-Induced Vibration by Dust Effect,” Transaction of KSNVE, Vol.30, No.2, pp.201–210, 2020.
9) N. Hoffmann, M. Fischer, R. Allgaier and L. Gaul, “A Minimal Model for Studying Properties of the Mode-Coupling Type Instability in Friction Induced Oscillations,” Mechanics Research Communications, Vol.29, No.4, pp.197–205, 2002.
10) J. Kang, “Theoretical Model of Ball Joint Squeak,” Journal of Sound and Vibration, Vol.330, No.22, pp.5490–5499, 2011.
11) W. Serweta, A. Okolewski, B. Blazejczyk-Okolewska, K. Czolczynski and T. Kapitaniak, “Lyapunov Exponents of Impact Oscillators with Hertz’s and Newton’s Contact Models,” International Journal of Mechanical Sciences, Vol.89, pp.194–206, 2014.
12) W. Serweta, A. Okolewski, B. Blazejczyk-Okolewska, K. Czolczynski and T. Kapitaniak, “Mirror Hysteresis and Lyapunov Exponents of Impact Oscillator with Symmetrical Soft Stops,” International Journal of Mechanical Sciences, Vol.101, pp.89–98, 2015.
13) Y. Shin, H. Lee, J. Kim and S. Choi, “A Study on CAE Technology for Establishing the Vehicle BSR Virtual Development System,” KSME Spring Conference Proceedings, pp.149–150, 2022.
14) H. Lee, E. Kong, C. Hong and Y. Kim, “Study on Rattle Noise Analysis of In-Vehicle Infotainment System Considering Tolerance,” KSAE Spring Conference Proceedings, p.670, 2020.
15) S. Kim, D. Ko, H. Lee, J. Nam and J. Lee, “A Study on Design for BSR Noise Reduction Based on Simulation of Vehicle Seat,” Transactions of KSAE, Vol.31, No.3, pp.199–208, 2023.