

BSR(Buzz, Squeak, Rattle)이음 발생 메커니즘 기본 원리와 시험평가 방법

Basic principle of BSR (Buzz, Squeak, Rattle) noise according to the generation mechanism

최성욱,[†] 안성철,¹ 이강덕¹

(Sung uk Choi,^{1†} Sungcheul Ahn,¹ and Kang Duck Ih¹)

¹현대자동차 차체의장개발팀

(Received May 29, 2018; revised July 3, 2018; accepted September 20, 2018)

초 록: 차량 주행 성능이 정숙화되고, 고객의 감성 품질에 대한 기대치가 높아지면서, 주행 중에 불규칙으로 발생하는 이음에 대한 개선 연구가 다양하게 수행되고 있다. 자동차에서 이음은 인접한 부품간의 접촉면에서 발생한다. 접촉면에 진동 또는 힘 등의 외력 작용하면, 접촉 표면 사이에 물리적인 상호작용이 발생되어 이음이 발생하는 것이다. 본 논문에서는 지난 10여년 간 자동차에서 발생하는 이음 현상을 관찰하고, 개선하기 위한 연구를 수행하면서 정리한 것으로 이음의 종류와 발생 기본 원리를 개념적으로 설명하고자 한다. 이를 통해, 향후 자동차뿐 아니라 다른 산업계에서도, BSR(Buzz, Squeak, Rattle) 관련 개선 연구를 진행 하고자 하는 연구자에게 이음 현상을 파악하고, 개선안을 도출하는 생각을 틀을 제공하여, 보다 향상된 연구가 진행될 수 있게 되길 기대한다.

핵심용어: 자동차 소음, 이음, 충격이음, 마찰이음, 접촉이음

ABSTRACT: Various studies have been conducted to improve the BSR (Buzz, Squeak, Rattle) noise generated irregularly while the vehicle is running. In vehicle, When an external force such as vibration or force flows into the contact surface, BSR noise is generated at the contact surfaces of nearby components. In this paper, BSR conceptually explain the kind of noise generation mechanisms and the basic principles of generation, which have been proven by observing and improving noise phenomena in automobiles over the last 10 years. Through this, it is expected that researchers who want to study BSR related improvement research not only in automobiles but also in other industries, It will be able to understand the BSR phenomenon and provide a framework for thinking out improvement ideas and to carry out further research.

Keywords: BSR (Buzz, Squeak, Rattle), Noise, Impact noise, Rattle, Stick-slip noise, Squeak, Separation noise

PACS numbers: 43.50.Gf, 43.50.Ed, 43.50.Pn

1. 서 론

자동차 산업이 발전하면서 파워트레인, 내구 성능, 충돌 안전, R & H 등의 차량 성능 외에 감성품질에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 감성품질은 제품의 선진화와 고급화를 위한 핵심 이슈로 등장하

였고, 자동차 최신 기술과 더불어 자동차 브랜드의 가치와 경쟁력을 대표하는 중요한 요소가 되고 있다. J.D. Power and Associates에서 발표한 초기 품질지수(Initial Quality Study, IQS) 및 내구성 지수(Vehicle Dependability Study, VDS)의 동향을 살펴보면, 감성 품질이 소비자의 제품 선택에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이 중, BSR(Buzz, Squeak, Rattle)은 감성 품질의 대표적 항목으로, 부품 조립 이음새, 체결부 또는 마찰부위에서 발생하는 소음이다.^[1,2]

[†]Corresponding author: Sung uk Choi (inspace0@hyundai.com)
Body&Trim Development Team, Hyundai Motor Company,
Yeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong, Gyeonggi-do 18280,
Republic of Korea
(Tel: 82-31-368-1453, Fax: 82-31-368-5748)

최근 NVH 저감 기술의 발달과 자동차의 주 소음 원인 엔진 및 변속기를 대신에, 정속성이 뛰어난 모터와 배터리를 사용하는 HEV(Hybrid Electric Vehicle), EV(Electric Vehicle) 등 친환경차의 대중화로 인해, 상대적으로 소홀하게 다루어졌던 BSR이 크게 노출되는 문제가 발생되고 있으며, 현재보다 미래에 친환경 자동차가 대중화될수록 더 큰 문제를 불러올 것으로 예상된다. 이를 방지하기 위한 산업계의 요구에 의해 최근 BSR 관련 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 차량에서는 부품의 종류만큼 다양한 이음이 발생되기 때문에, 개괄적으로 이음 현상을 설명하기 보다는 특정 이음 현상을 목표로 개선 방법이나, 예측 기법을 연구한 내용이 대부분이다.^[3,4]

본 논문에서는 자동차에서 발생하는 이음을 인접하여 위치한 부품간의 접촉면에서 발생하는 현상으로 규정하고, 접촉면에서의 물리적 운동 현상과 표면 특성을 기준으로 발생 메커니즘을 개념적으로 제시한다. 또한 접촉면 이음 발생 메커니즘 분석을 통해 설계적으로 개선할 수 있는 접근 방법도 제시하고 있다.

II. BSR이음 발생 원리

2.1 BSR 이음의 종류

차량에서 발생하는 이음의 종류를 톡톡 뿌욱, 푹 등 의성어로 표현하면, 개인 성향이 담긴 주관적인 표현으로 의사소통을 어렵게 한다. 따라서, BSR 이음의 종류를 구분할 때는 발생 음색을 기준보다는 발생 메커니즘을 기준을 하는 것이 필요하다. 하지만, 발생 음색으로 이음을 구분하는 것은 발생 주파수, 지속시간 등 특징 등을 프로파일링(profiling)하여 발생 부품을 추정할 수 있는 장점이 있어서, 고장 진단 등의 목적 사용하는 것이 좋다. 반면에 차량에서

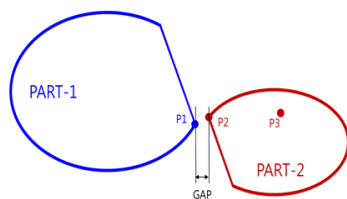


Fig. 1. Simplified model of vehicle parts.

는 매우 많은 음색의 이음이 있기 때문에 이음 분류가 용이 하지 않지만, 발생 메커니즘을 기준으로 이음을 분류하면 몇 개의 메커니즘으로 분류가 가능하다. 이런 분류는 이음 현상을 정확하게 파악하여, 설계적인 개선 솔루션 도출을 용이하게 한다.

Fig. 1은 일정한 이격거리(Gap)로 떨어져 위치한 차량 부품간의 매칭부를 단순한 도형 형태로 표현한 것이다. 부품1(Part-1)과 부품2(Part-2)가 서로 인접하여 위치해있고, 부품1에서 부품2의 가장 가까이 위치한 곳에 점 P1라고 하고, 동일한 방식으로 P2라 한다. 일반적으로 점 P1과 점 P2간의 거리를 부품간 이격거리라고 한다.

2.1.1 Buzz noise

Buzz noise는 Fig. 1에서와 같이 부품2의 고유 진동 주파수가 외부에서 유입하는 진동 주파수와 같을 때, 발생하는 이음으로 부품2 표면의 임의의 점 P3가 과도하게 진동하면서 발생하는 이음이다.

2.1.2 Rattle noise

Rattle noise은 Fig. 2와 같이, 외부에서 유입된 진동이나, 힘에 의해 부품간에 충돌 현상이 일어나고, 충격 에너지가 공기로 방출되어 발생하는 이음이다.

신체 접촉 등의 외부의 물리적인 힘에 의해, 또는 노면 진동이나 엔진을 진동에 의해, 부품 1이나 2가 이동될 때, 이동하는 거리가 이격거리보다 커지면,

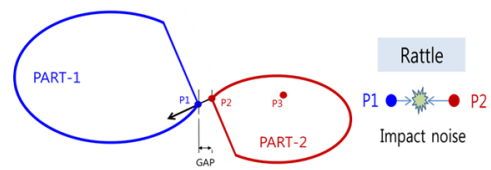


Fig. 2. Principle of rattle noise.

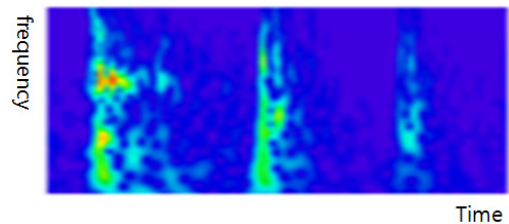


Fig. 3. Spectrogram of rattle signal.

P1과 P2가 충돌을 일으키게 된다.

충돌은 연속적으로 불규칙하게 일어나는 경우가 많다. P1과 P2의 표면 경도가 충분히 크고, 탄성계수 작으면, 부품 표면에서 발생하는 충격 에너지가 외부 공기로 방출되는 양이 많아서 가청화된 소리로 발생하게 되며, Fig. 3과 같은 이음으로 나타난다. 첫 번째 큰 충격 신호 발생되며, 이후 잔여 진동으로 인한 잔여 이음 신호가 보이는 특징이 있다. 이러한 특징으로 Rattle은 ‘달그락’이라는 음성어로 표현되기도 한다.

차량 인테리어 부품에서 주로 나오는 현상으로 부품간 조립 산포 흡수를 위한 공차가 원인이 되는 경우가 많다. 공차가 과도하게 설정된 경우, 부품이 체결된 상태에서도, 공차만큼 미세 유동하게 되는데, 이것이 주행 조건에서 인접한 부품과 충격을 일으켜서 이음을 유발하는 것이다.

2.1.3 Separation noise

Separation noise는 비교적 최근에 발생하는 현상으로 Rattle과 유사한 물리 운동을 하지만, 두 점이 충돌이 아닌, 점착 후 분리될 때 발생하는 현상이라는 점이 차이다.

부품1과 부품2의 표면 경도가 충분히 크지 않고, 표면이 끈적임(Tacky)성질을 가지고 있다면, Fig. 4와 같이, 점 P1과 점 P2가 서로 만나게 될 때, 두 접촉점간 결합에너지가 생기고, 점 P1과 점 P2사이에서는 일정한 점착력이 발생하게 된다.

Separation noise는 이러한 결합 에너지가 분리되면서, 공기중으로 방출되면서 발생하는 이음 현상이다. 두 점간 결합 에너지를 형성하는 인자 중 시험적으로 확인된 물성은 표면의 끈적임이다. 이 물성이 크면, P1과 P2가 점착이 되어 서로 결합력이 발생된다. 서로의 결합력이 클수록 P1과 P2가 분리될 때 외부로 방출되는 에너지가 커져서 가청화된 이음으로



Fig. 4 Principle of separation noise.

발생되게 된다. 자동차에서는 경화가 충분히 일어나지 않는 도료, 실러, 접착제 등에서 주로 발생한다.

2.1.4 Stick-slip noise

인테리어 트림에서 언급되는 Squeak noise는 대부분 Stick-slip 메커니즘으로 발생하는 이음(noise)이다. 이는 Fig. 5와 같이, 이미 접촉되어 있거나, 외력에 의해 접촉이 발생하는 부품에서 발생된다. 두 부품이 접촉된 이후, 표면에서 수평적인 변위가 생길 때, 두 부품의 체결과 분리가 반복되면서 발생하는 이음 현상이다.

부품간의 이격 거리 없이 인접해 있는 부품 1이나 부품2에서, 외력에 의해 부품 1이나 2가 위치가 이동되면, P1과 P2간 상대 변위가 발생하게 된다. 또는 일정한 이격거리가 확보된 경우라도, 외력이 충분히 크면 P1과 P2가 접촉하는 상대 변위가 발생하게 된다.

Stick-slip noise의 경우에는 부품간의 상대변위만으로 이음이 발생되지 않고, P1과 P2간의 Stick-slip 경향에 따라 이음 발생 여부가 달라지게 된다. P1과 P2 표면이 Slip의 경향이 강하면, P1과 P2간의 상대 변위가 크더라도 이음이 발생하지 않지만, Stick의 경향이 강하면, 부품간 상대 변위가 발생하는 동안 지속적으로 결합력(Stick)을 유지하려는 성질 때문에 Stick-slip이 발생되고, 결합 에너지의 방출량 정도가 클수록 가청화된 이음 수준으로 발생하게 된다.

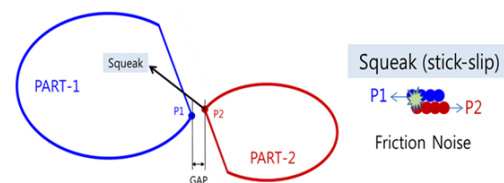


Fig. 5. Principle of squeak noise.

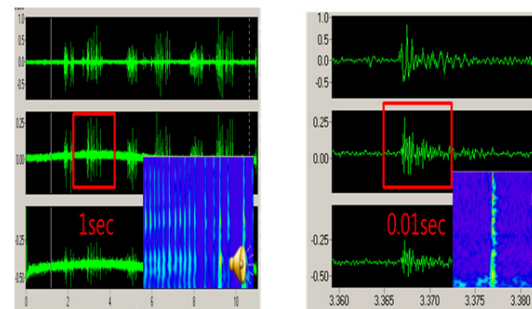


Fig. 6. Signal measurement of squeak.

그러나 Stick-slip 발생 경향은 외부 온도와 상대 습도 별로 다른 특성을 보이게 되어 특정한 온도와 상대습도 조건에서만 가청화된 이음을 유발하는 경향이 있다.

Fig. 6은 0.05 s 간격으로 발생하는 Stick-slip 현상들이 1 s 이내의 짧은 시간 동안 연속적으로 발생되면서 ‘찌그덕’, ‘뿌우욱’ 등의 의성어로 표현하는 Stick-slip 이음을 구성한다는 것을 보여준다.

Frank P. Bowden (1940)의 연구를 참조하면, 인접한 물질의 표면의 재료 특성에 의해, 물체간의 결합력이 증가하거나, 표면 구조간의 이빨 물림(micro-toothing) 현상에 의해 마찰력이 증가하면, 두 표면간의 결합(Stick)과 분리(Slip)가 반복되면서 이음을 발생시킨다고 한다.^[5]

2.1.5 차량 BSR 이음 발생 원리

자동차가 도로를 주행 할 때, 노면에서 가해지는 노면 진동력에 의해 차량이 가진된다. 서스펜션의 성능에 따라 많은 부분 노면 진동력(Road load)의 감쇄가 일어나지만, 150Hz까지의 노면 진동이 차량내부의 각부품들을 가진시킨다.

이러한 가진을 통해 차량 내부의 부품도 진동(Motion)이 일어나게 되며, 진동이 일어나고 있는 두 부품간의 상대적인 진동(Relative motion)에 의한 두 부품간의 이격거리의 변화를 상대 변위라고 한다. 따라서 BSR이음은 Fig. 7과 같이 부품1과 부품 2간의 가장 인접한 점 P1과 P2간의 이격거리보다, P1과 P2의 진동에 의해 발생하는 P1과 P2 사이의 상대변위

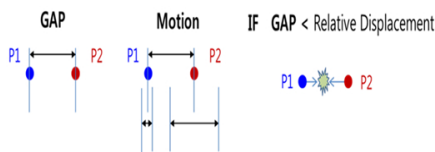


Fig. 7. Basic concept of BSR noise generation.

가 클 때 발생된다.

부품간의 이격 거리를 정의할 때, 고려할 점은 Design gap과 Dynamic gap, Effective design gap이다.

Design gap은 Fig. 8과 같이 정의 할 수있는데, 이는 Fig. 9와 같이 부품의 생산시 발생하는 형상산포(dimension)범위와 조립시 변경될 수 있는 부품의 위치의 변화 범위, 그리고, 부품이 온도에 따라 수축하고 팽창하는 변형량 등을 고려하여 설정된 이격거리를 의미한다. 예를 들어서 이격거리가 3.0 mm + 1 mm 라고 하면 Design Gap은 2.0 mm가 된다. 하지만 이 경우에는 부품들이 서로 단단하게 체결되어 있고, 부품의 강성도 충분히 강하다는 전체 조건이 있어야 한다.

그러나 차량이 요철로를 주행하는 조건에서도 차량 내부 부품들이 단단하게 체결되지 않으며, 조금 씩 진동을 하게 된다. 따라서, Fig. 10과 같이, 신체 접촉에 의해 외력이 유입되는 경우나, 차량 진동시 발생하는 진동력에 의해 부품이 움직이는 경우를 고려하여, 두 부품간의 이격거리를 설정해야 BSR 발생을 예방할 수 있다. 주행 조건에서 각 부품들의 실제 움직이는 진동량을 반영하여 이격거리를 Fig 11과 같이 Dynamic gap이라고 한다.

Dynamic gap은 부품의 강성과 부품의 고정력(Fixing stiffness) 등에 따라 달라 지게 된다. 만약에 Dynamic

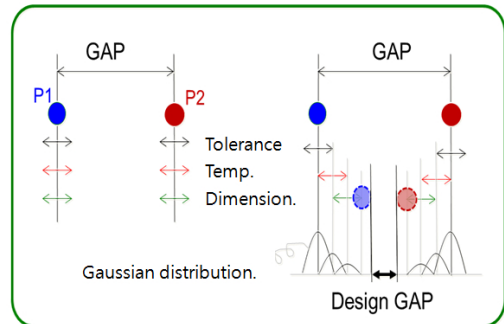


Fig. 9. Change of gap with clearance.

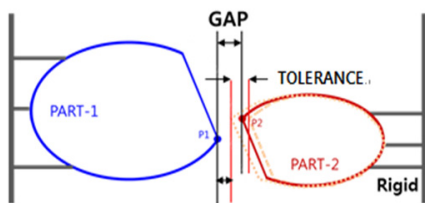


Fig. 8. Design gap.

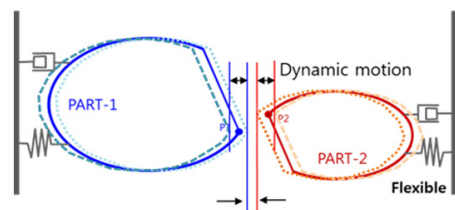


Fig.10. Dynamic gap.

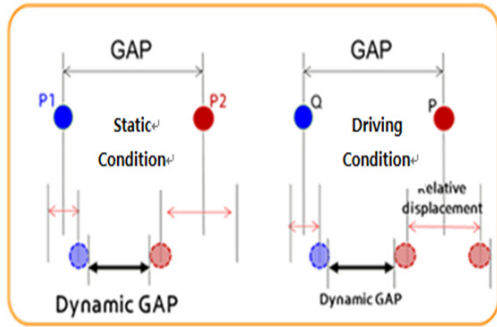


Fig. 11. Variation of dynamic gap according to external force.

gap이 0보다 크다면, 두 부품간의 표면 상호 작용은 일어나지 않는다. 따라서 BSR 현상은 발생하지 않는다. 그러나 Dynamic gap이 0보다 작다면, 두 부품간의 표면 상호 작용이 일어나며, 힘의 방향과 표면의 물성에 따라서 Squeak, Separation, Rattle 등의 이음이 결정된다.

결국, 차량 부품 접촉부에서 이음 현상을 제거하기 위해서는, 우선 두 부품간의 표면의 접촉 현상을 예방하면 된다. 이를 위해 고려해야 될 사항이 Effective design gap인데, 이것은 Design gap과 Dynamic gap을 모두 고려한 실제 유효한 이격 거리를 의미한다. 따라서, 부품간 이격거리를 설정할 때는 Effective design gap이 '0'보다 크게 설계해야 한다.

2.2 BSR 예방 설계

부품 접촉면에서 발생하는 이음 발생 메커니즘이 정확히 분석하면, 이음 개선을 위한 설계 개선 인자를 효율적으로 도출할 수 있다. 보다 구체적으로 기술하기 위해, 2.1장에서 개념 설명에 사용된 타원형태의 도형을, Fig. 12와 같은, 외팔보 빔 형태를 지닌 단순한 구조체의 형태로 변경하고자 한다.

부품1은 빔 구조의 판이며, 부품2는 외팔보 구조로 되어 있는 'ㄱ'자 형태의 구조이다. 부품1과 부품2의 오른쪽은 두 부품을 고정시키는 고정부(Fixing)가 위치되어 있고, 왼쪽은 일정한 이격거리로 부품간 이격되어 있는 구조이다. 이러한 구조체에 부품1을 가진시키면, 'ㄱ'자 형태의 부품 2의 왼쪽부가 쉽게 진동이 일어나는 구조로 구성되어 있다.

구조체는 외부 진동을 받아, P1과 P2간의 이격 거

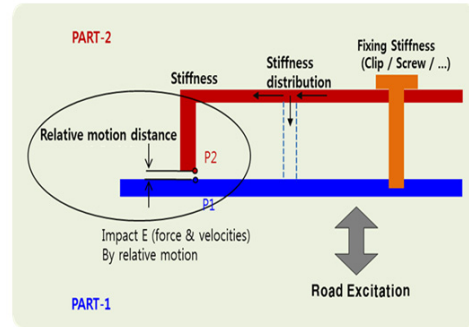


Fig. 12. BSR generating structure.

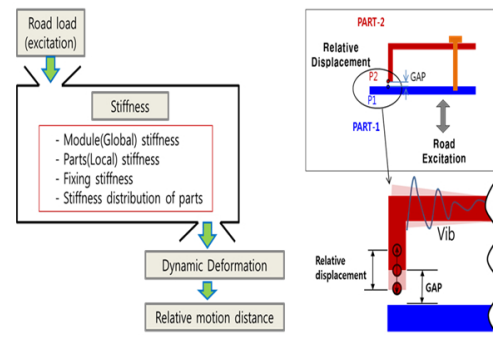


Fig. 13. Kind of stiffness related to BSR generation.

리가 줄어들거나, 늘어나는 현상이 발생되는데, 상대 변위라고 한다. 상대 변위가 이격거리(P1과 P2의 초기 이격 거리)보다 크면 부품간 충돌이나 점착 등의 물리적인 접촉 현상이 발생하게 된다. 물리적인 접촉 현상은 표면 물성에 따라 Rattle, Separation, Stick-slip등의 이음을 발생시킨다.

BSR 예방 설계 개념은 두 가지가 있는데, 하나는 접촉면의 표면 특성을 변경하는 것과 다른 하나는 접촉면의 상대변위를 제거하는 것이다. 제품의 개선 단계에서는 전자를, 초기 설계 단계에서 후자를 목표로 하는 것이 효율적이다.

이음을 개선하기 위해 표면 특성을 변경 하는 사례는 다음과 같다. Rattle이음은 표면 경도는 낮추고, 탄성력을 높인다. Separation 이음은 표면 점착력을 낮춘다. Stick-slip은 표면의 Slip력을 높이거나, Stick력을 매우 강하게 한다. Buzz는 강성의 변화를 준다.

상대 변위를 제거하여 이음을 개선하는 사례는 다음과 같다. 접촉면 인근에 고정구조를 추가하거나, 기존 고정 구조의 체결력을 증대한다. 접촉면을 구성하는 부품의 부분 강성과 부품 전체 강성을 확보

하여, 접촉면에서의 동적 변형량을 제거한다.

Fig. 13과 같이 두 부품간의 접촉현상이 발생하는 점 P1과 점 P2의 동적 변형(Dynamic deformation)에 영향을 주는 것은 시스템의 전체 강성(Global stiffness)이며, 이는 부품1과 2와 같은 단위 부품의 강성(Local stiffness)과 부품 1과 2를 연결하는 고정 강성(Fixing stiffness)이 있다.

부품 강성이 아무리 크다 할지라도, 고정 강성이 확보되지 않으면, 점 P2의 유동량은 커지게 된다. 따라서 두 부품간의 스크류나 Clip등의 고정 방식을 결정할 때, 접촉부 점 P1과 점 P2의 상대 변위를 고려하여 고정강성을 결정해야 한다.

부품2의 길이가 긴 경우에는 두께 증대 등을 통해 부품 강성을 확보하는 것 보다는, Fig. 12와 같이, 보강 구조를 추가하면, 점 P2의 동적변형을 줄이게 되는 효과가 있다. 이러한방법으로 효과적인 Design gap을 확보할 수 있다.

III. BSR시험 평가 방법

3.1 실차/모듈 BSR시험

BSR 문제를 사전에 발취하고 개선하기 위해 주행 시험 평가와 Fig. 14와 같이 환경 챔버 내의 가진 시험 평가를 진행한다. 주행 평가에는 고객 사용 조건으로 신체 접촉을 가하거나, 조작하는 정치 평가와 특정 노면을 주행하면서 이음 발생 여부를 평가하는 도로 주행 평가가 있다. 환경 챔버 내의 가진 시험 평가는 외부 온도 변화에 따라서 부품이 수축/팽창하고, 저온에서 물성이 경화되거나, 외부 습도 변화에 따라서 표면 마찰 특성의 변화로 이음이 발생하는 것을 상시 검증하기 위한 목적으로 사용된다. 이를 위해 환경 챔버 내에서 각종 노면을 주행할 때 차량에 발생하는 진동을 주기 위해 가진기가 설치된다. 가진기에는 타이어를 가진 하는 장비와 BIW(Body In White)를 가진 하는 장비 두 종류가 있는데, 샤시 부품의 BSR 평가는 타이어 가진기를 사용해야 되지만, 인테리어, 익스테리어, BODY 판넬 등의 어퍼 바디 BSR 평가는 BIW 가진기를 사용하는 것이 효율적이다. 2mm~300mm의 큰 노면 진동 변위는 샤시 부품을 통해 감쇄되기 때문에, 10mm 이하의 작은 변위만



Fig. 14. Environmental vehicle test equipment.



Fig. 15. Excitation profile for shaker.

으로 어퍼 바디 평가가 가능하기 때문이다.

BIW를 가진하여 어퍼 바디 BSR 평가를 실시하기 위해서는 BIW의 진동을 계측해야 한다. 진동 계측에는 가속도센서가 사용되며, 차체 판넬의 변형과 떨림에 의해 노이즈가 발생될 수 있어, 강성이 큰 도어 힌지부에 부착하여 계측한다. BSR 시험 노면과 속도에 따라서 Z 방향의 BODY 판넬의 진동 시간데이터를 계측한다. 진동 data는 주파수별 가진의 세기로 표현되는 PSD(Power Spectral Density)로 변환시킨다. BSR 평가 노면 별로 PSD 선도를 추출하고, 각각의 PSD 선도를 중첩시키면, 모든 평가 노면의 주파수별 가진 에너지를 가지는 표준 PSD 선도를 만들 수 있다. 어퍼 바디의 실차 BSR 환경 시험 평가에는 표준 PSD 선도를 기준으로 시험을 진행 하며, 가진기는 PSD로 규정된 주파수별 세기를 랜덤으로 가진시키게 된다. 가진 프로파일을 개발하는 과정은 Fig. 15과 같다.^[6]

이와 같은 방법으로 차량 각 부품이나 모듈의 진동 입력점에 가속도 센서로 주행 진동을 계측하면 단품/모듈용 가진 프로파일을 만들 수 있어서 단품/모듈 단위의 주행 재현 가진 시험이 가능하다. 이러한 시험을 통해 많은 대부분의 Rattle 문제를 사전에 발취하고 개선이 가능하여, 많은 글로벌 자동차 메이커에서 도입하여 사용하고 있다.^[7]

3.2 부품 접촉부 BSR시험

실차에서 발생하는 BSR 현상은 결국 부품간의 접

측면에서 발생된다. 부품간 접촉부에서는 양산시 부품/제조 등의 산포에 의해 이격거리의 변화 범위를 가지게 되고, 이에 따른 접촉력의 변화가 발생된다. 또한 플라스틱과 고무 부품은 온도뿐만 아니라, 습도의 영향에 따라 이음 발생 여부가 다르기 때문에 다양한 환경조건에서의 검증이 필요하다. 따라서 실차 시험의 경우, 양산 이후 발생하는 다양한 접촉 조건의 변화와 환경조건에 대한 BSR 검증에 한계가 있다. 때문에 접촉부에 대한 이음 시험 검증이 증가되고 있다.

Fig. 16은 stick-slip 발생 메커니즘을 보여주는데, 이는 인테리어의 플라스틱과 고무 제품 매칭 접촉부에서 발생하는 현상이며, 최근에는 부직포 등의 천(fabric)재질과 도장된 판넬 접촉부에서도 발생하는 현상이다.

접촉되는 부품간 Stick-slip이음 위험성을 저온, 상온저습, 상온다습, 고온저습, 고온다습 조건에서 접

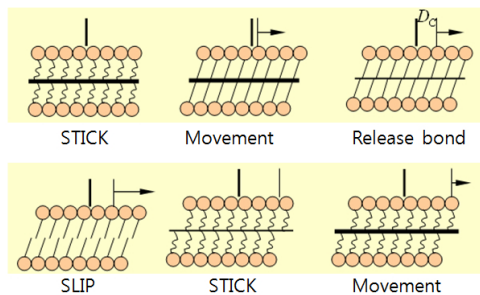


Fig. 16. Stick-slip mechanism.

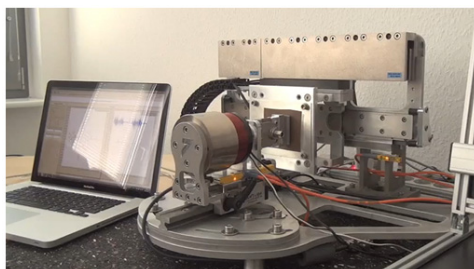


Fig. 17. stick-slip noise tester.

	ABS	PC	PC/ABS	RISK	Force	Temp	R/H	Speed
ABS	Red	Red	Red	High	High	High	High	High
PC	Red	Red	Red	High	High	High	High	High
PC/ABS	Red	Red	Red	High	High	High	High	High
POM	Green	Green	Green	Low	Low	Low	Low	Low
PPO	Green	Green	Green	Low	Low	Low	Low	Low

Fig. 18. Database of stick-slip pairs.

촉력 10 N과 40 N, 접촉속도 1 mm/s, 4 mm/s로 Fig. 17의 장비로 평가한다. 이 장비는 두 부품간 마찰 이음 위험성이 높은 경우에는 표면에서 Stick-slip 현상이 발생되고, 이는 표면의 가속도 신호로 나타나게 된다. 표면 가속도 신호의 크기, 발생 횟수, 총 에너지를 지수화 하여 위험성을 10단계로 분류한다. 이러한 시험 방법은 독일 지글러 회사에서 고안되어, 현재 독일 자동차 표준 VDA 230-206에 반영되어 있는 평가 방법이다.^[8]

이 방법을 이용하면, 부품의 각 접촉부에서 발생될 수 있는 산포에 의한 달라지는 접촉력에 대한 마찰 이음 수준을 미리 알 수 있으며, 양산 표면 조건을 미리 반영하여 선행 단계에서 판단할 수 있는 장점이 있다.

Fig. 18과 같이, 자동차 부품에 사용되는 매칭 부품간의 Stick-slip 시험 결과를 효율적으로 파악할 수 있도록 분석 tool 개발되었다. 왼쪽 그림은 가로와 세로 축에 있는 표면 재질간 접촉면을 형성 할 경우의 Stick-slip 이음 발생 위험도를 나타내는데 진한 색일수록 이음 발생 확률이 높다. 오른쪽 그림은 특정한 재질을 기준으로 다른 재질과의 Stick-slip 발생 위험도를 온도와 습도, 접촉 하중, 접촉 속도별로 도식화 하여 보여준 것이다.

매칭 부품간 Stick-slip 이음 특성 시험 데이터가 충분히 많을 경우에는 데이터 기반 마찰 이음 수준 예측이 가능하며, 선행 단계 매칭 재질의 선택에 도움을 줄 수 있을 뿐 아니라, 마찰 이음 위험수준을 미리 파악하고 방지를 위한 대책을 미리 세울 수 있다. Fig. 18은 자동차 부품에 사용되는 매칭 부품간의 Stick-slip 시험 결과를 효율적으로 파악할 수 있도록 개발되었다. 향후에는 Stick-slip뿐만 아니라, Separation 등의 다양한 이음 발생 메커니즘을 접촉부 조건에서 시험할 수 있는 기술들이 개발될 예정이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 차량에서 발생하는 BSR 이음을 단순화 하여 발생 개념을 설명하였다. 다양한 소리 현상이 아닌, 발생 메커니즘으로 BSR 분류하였고, 차량 각 부품에 적용 할 수 있도록 발생 원리를 단순한 구조로 설명하였다. 이를 통해 향후 부품 설계시 또

는 문제 개선시 설계자나 평가자가 개선 안을 도출하고 적용하는데 사고의 틀을 제공하여, 차량 BSR 향상에 도움을 줄 것이라 기대 한다.

- 1) Rattle은 충격에너지가 외부로 방출되면서 발생하는 이음으로 표면 경도가 충분히 크면 나타나는 현상이다. Rattle이 발생되기 위해서는 부품 가지는 Stiffness 보다 큰 진동력이 이격거리보다 큰 진동을 유발시켜 충격을 유발하는 시켜야 한다.
- 2) Separation은 점착에너지가 외부로 방출되면서 발생하는 이음으로 표면 끈적임이 충분히 크면 나타나는 현상이다. Separation이 발생하는 위한 진동 조건은 Rattle과 유사하나, 미세한 진동과 변위에서도 큰 이음 현상이 발생하는 특징이 있다.
- 3) Squeak은 Stick-slip 현상을 반복으로 Stick 에너지가 외부로 방출되면서 발생하는 이음으로 두 재질간의 표면 결합력 특성에 의해 발생된다. 특히, 온도와 습도에 의해 표면 결합력 특성이 달라지기 때문에 이를 고려한 개발이 필요하다.
양산 이후 발생 하는 다양한 접촉조건에 이음 현상을 검증하기 위해, 실차 시험 보다는 부품간 접촉부의 이음을 검증하는 것이 필요하다. 따라서, 향후 Stick-slip 뿐 아니라, Separation 접촉부, 무빙 부품 접촉부, 하부 이음 발생 접촉부 등에 적용할 수 있는 다양한 이음 평가 기술에 대한 진행될 예정이다.

References

1. S. H. Ji, H. H. Na, J. S. Kim, H. M. Park, I. K. Jang, and S. W. Kim, "Study of door trim's Buzz, Squeak and Rattle (BSR) evaluation of subsystem or components," 2008 The Korean Society of Automotive Engineers Conference, 1289-1295 (2008).
2. J. H. Kim, J. H. Jung, W. K. Lee, J. H. Cho, and B. J. Bang, "A experimental approach for Buzz, Squeak and Rattle Noise of the sunroof headlining module in the vehicle," KSME, 3158-3163 (2011).
3. G. Cerrato-Jay, J. Gabiniewicz, J. Gatt, and DJ. Pickering, "Automatic detection of buzz, squeak and rattle events," Society of Automotive Engineers Paper, **01NVC-43** (2001).
4. M. Trapp and F. Chen, *Automotive Buzz, Squeak and Rattle 1st Edition Mechanisms, Analysis, Evaluation and Prevention* (Elsevier, 2009), pp. 27-131.
5. P. Bowden and D. Tabor, *Friction and Lubrication of*

Solids (Clarendon, Oxford, 1950), pp. 21-151.

6. C. Song, W. Kim, S.-u. Choi, and S. W. Cha, "A study on control of shakers for BSR test" (in Korean), Proc. KSAE Spring Conference, 318 (2016).
7. S. Choi, Y. Jun, K. Kim, S. Choi, K. Lee, Y. Lee, and W. Ha, "A study of PSD profiles for BSR evaluation of automotive parts and modules," Proc. KSAE Spring Conference, 2013-2017 (2013).
8. VDA "VDA 230-206 Examination of the stick slip behaviour of material parts," VDA-Inspection Sheets. 1-26 (2007).

저자 약력

▶ 최 성 욱 (Sung uk Choi)



2002년 2월: 인천대학교 전기공학과 학사
2013년 8월~ 현재: 성균관대학교 기계공학과 석박사과정
2003년 6월 ~ 현재: 현대자동차 책임연구원

▶ 안 성 철 (Sungcheul Ahn)



1985년 2월: 한양대학교 기계설계학과 학사
1988년 2월 ~ 현재: 현대자동차 책임연구원

▶ 이 강 덕 (Kang Duck Ih)



1989년 2월: 서울대학교 조선공학과 학사
1991년 2월: KAIST 항공우주공학과 석사
1996년 2월: KAIST 항공우주공학과 박사
1996년 1월: 현대자동차 입사
2010년 1월 ~ 현재: 현대자동차 연구위원