

차량용 스테빌라이저 링크의 유격과 이상소음 발생의 상관관계

한 창 완 · 김 한 종 · 유 영 재 · 박 성 훈*

부산대학교 기계공학부

Relationships between Free Gaps and Abnormal Noises of Vehicle Stabilizer Links

Changwan Han · Hanjong Kim · Young-Jae Yoo · Seonghun Park*

Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
(Received 8 September 2016 / Revised 13 October 2016 / Accepted 18 October 2016)

Abstract : The vehicle stabilizer link is one of the suspension components that reduces the bumping and rolling during vehicle driving. However, this stabilizer link could be a source of the abnormal noises when its free gaps have higher than normal values. Therefore, the current study aims at investigating the quantitative relationships between the abnormal noises and free gaps of the vehicle stabilizer links, as well as the length of time that the vehicle stabilizer links could be used without generating abnormal noises. In this study, the abnormal noises were measured based on the magnitude of the stabilizer link vibration, while the free gaps were quantified through the force-displacement curves of the stabilizer links. Harsh durability tests were also conducted in order to quantify the operating cycles of the stabilizer links before generating the abnormal noises, along with the concomitant measurements of the free gaps. The current results showed that the abnormal noises of the stabilizer links were detected when its free gaps were larger than 0.12 mm. However, the free gaps of the stabilizer links, which are bigger than 0.1 mm, produced the abnormal noises at 1.5 million cycles under harsh durability test conditions. A parametric study in the future that would reflect the different shapes and sizes of the stabilizer links for diverse vehicles could determine more generalized relationships between the abnormal noises and free gaps of the vehicle stabilizer links.

Key words : Stabilizer link(스테빌라이저 링크), Free gap(유격), Abnormal noise(이상소음), Harsh durability test(가혹내구시험)

1. 서론

최근 자동차 산업의 연구동향은 안전성 확보와 승차감 및 편의성 향상을 동시에 달성할 수 있는 기술들의 개발이다. 이러한 기술들은 전기배터리, 전후방 위성카메라와 같은 센서, 자세제어 자율주행, 무인주행 등이 있고, 기계공학 이외에도 전기전자, 화학, 인공지능 기술들이 다양하게 접목되고 있다.¹⁻⁴⁾ 이와 같은 자동차 산업의 최신 연구동향에도

불구하고, 지금까지 꾸준히 발생하는 문제가 바로 자동차 주행 시에 발생하는 이상소음이다. 자동차 주행 중에 발생하는 자연적인 소음과 달리, 비정상적으로 발생하는 이상소음은 탑승자들에게 불쾌감과 불안감을 동시에 유발시킨다. 또한, 이러한 이상소음들은 차량의 안전성과 내구성 감소에 영향을 미친다.^{5,6)}

본 연구에서는 자동차용 스테빌라이저 링크(stabilizer link)에서 발생하는 이상소음에 초점을 맞추고, 그 발생 원인을 정량적으로 조사하고자 한다.

*Corresponding author, E-mail: paks@pusan.ac.kr

자동차용 스테빌라이저 링크는 스테빌라이저 바(stabilizer bar)의 양쪽 끝단과 쇼크 업소버(shock absorber) 사이를 연결하는 부품이다. 그 역할은 차량 주행 시에 발생하는 범핑(bumping)과 롤링(rolling)을 감소시켜서 차량의 자세 제어 성능을 향상시키는 것이고, 이로 인하여 차량 운전자의 승차감과 안정성을 동시에 향상시킨다.^{7,8)} 이러한 스테빌라이저 링크는 차량의 주행성능에 크게 영향을 미치는 부품은 아니지만, 차량 기술 개발의 또 다른 중요한 부분인 운전자의 승차감 개선과 차량의 자세 안정성 확보를 위하여, 설계 최적화와 강성 설계 등을 통하여 이 부품의 엄격한 내구성 확보를 요구하는 추세이다.⁹⁾ 그러나 이러한 스테빌라이저 링크의 기계적 내구성 확보에도 불구하고, 양쪽 볼 조인트(ball joint) 내부로 수분이나 이물질이 유입되는 것과 같이 볼 조인트의 씰링 성능 저하로 인한 내부 마모에 대한 약점은 여전히 극복해야 할 과제로 남아 있다. 스테빌라이저 링크의 기계적 내구성능이 어느 정도 보장된다고 하더라도 차량 주행시의 여러 가지 조건에 의한 더스트 커버(dust cover)의 손상 또는 저온 경화, 주행 도로의 조건, 돌맹이나 자갈의 칩핑(chipping) 그리고 차량 정비시 정비사의 부주의에 의한 씰링 부품 손상 등은 곧 스테빌라이저 링크의 양쪽 볼 조인트 내부에 수분이나 이물질이 침입하게 되는 주요한 원인이 되기도 한다. 이러한 내부 수분 또는 이물질의 유입은 볼 조인트 내부의 그리스(grease)와 섞여 이들의 화학적 기능을 저하시킨다. 따라서, 스테빌라이저 링크가 가지고 있는 특성 중에 볼 조인트의 강성을 저하시켜서, 내부의 볼 스테드(ball stud)를 감싸고 있는 플라스틱 재질의 베어링을 급속히 마모시키고 유격(free gap)이 발생한다. 이와 같이 유격 발생은 결국 차량 주행 시 “턱 턱” 또는 “덜그덕 덜그덕”과 같은 이상소음을 유발시키는 원인이 된다. 스테빌라이저 링크의 이상소음은 주로 요철도로를 통과할 경우 발생하게 되며, 이는 차량이 평탄도로보다 요철도로를 운행할 때 스테빌라이저 링크의 거동이 가장 커지기 때문이다.¹⁰⁾ 이와 같은 이상소음이 지속해서 발생하거나 수리 후 재발한다면, 승차감과 안정성 저하뿐만 아니라 심각한 자동차의 품질 문제로 악화될 수 있다.^{11,12)}

따라서, 본 연구의 목적은 자동차의 현가장치 구성품인 스테빌라이저 링크의 이상소음 발생 원인에 대한 분석을 바탕으로, 스테빌라이저 링크의 이상소음을 예측하고 제거할 수 있는 정량적이고 규격화된 파라미터를 제시하는 것이다. 이를 위하여, 실제 이상소음이 발생한 차량의 스테빌라이저 링크 10개를 수거하여 그 특성을 분석하고 유격을 측정하였다. 또한 스테빌라이저 링크에서 이상소음이 발생하는 시점을 분석하기 위하여, 실험실에서 가혹내구시험을 수행한 스테빌라이저 링크 10개를 차량에 장착해서 이상소음 발생유무를 조사하였고, 또한 이들의 유격을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 스테빌라이저 링크

본 연구에서는 실제 동일한 차종에서 장착되어 주행된 스테빌라이저 링크 중에서, 이상소음 문제로 수거된 제품 10개에 대하여 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 내부 유격을 측정하였다(아래 2.2 참조). 또한, 이상소음과의 상관관계를 분석하기 위하여, 이들 10개의 스테빌라이저 링크를 다시 차량에 장착해서 이상소음 발생 여부를 조사하였다(아래 2.4 참조).

그리고, 스테빌라이저 링크에서 이상소음이 발생하는 시점을 분석하기 위하여, 실험실에서 가혹내구시험(아래 2.3 참조)을 거친 스테빌라이저 링크 10개를 제작하였다. 이들 10개의 스테빌라이저 링크에 대하여 볼 조인트 내부의 유격을 조사하였고(아래 2.2 참조), 차량에 장착해서 이상소음 발생유무를 조사하였다(아래 2.4 참조).

2.2 유격 측정 방법

스테빌라이저 링크의 구성품인 볼 조인트에 대하여, 볼 스테드의 축 직각 방향의 총 이동변위로부터 유격을 측정하였다. 국내 모 자동차 양산 회사의 시험규격(ES 54830-01)을 바탕으로, 볼 조인트를 지지하고 있는 로드(rod)와 볼 스테드 부위를 지그로 완전히 고정하고, 볼 스테드의 축 직각 방향으로 5 mm/min의 속도로 ± 150 kgf 하중을 가하여 축 직각 방향의 총 이동변위를 측정하였다(Fig. 1).

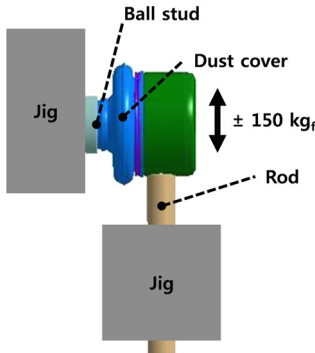


Fig. 1 Measurements of total displacements

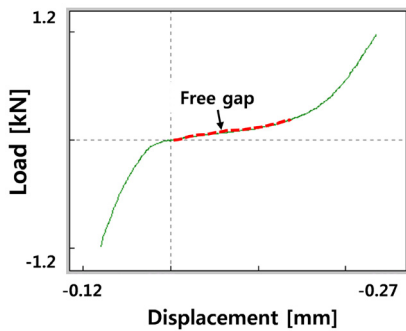


Fig. 2 Measurements of free gaps from total displacement test results

측정된 축 직각 방향의 하중-변위 선도에서 특정 구간에서 하중은 작용하지 않고, 변위만 발생하는 구간이 발생하는데 이를 유격이라고 한다(Fig. 2). 유격은 볼 조인트 내부의 자유 틈새로 볼 수 있는데, 자동차에서의 이상소음 발생 여부와 매우 밀접한 관계가 있다.

2.3 가혹내구시험 방법

스테빌라이저 링크는 자동차에 장착되어 사용될 때, 반복 하중과 동시에 회전(rotation) 및 요동(oscillation) 운동이 함께 가해진다(Fig. 3).

이러한 다양한 반복 운동 조건과 더불어 부식 조건도 함께 가하여 가혹내구시험 조건을 정의할 수 있다(Table 1). 본 연구에서는 스테빌라이저 링크에서 이상소음이 발생하는 시점에 대한 내구성을 조사하기 위하여, 국내 모 자동차 양산 회사의 시험규격(ES 54830-01)에 명시되어 있는 가혹내구시험 조건을 사용하여 스테빌라이저 링크 10개에 대한 내구성

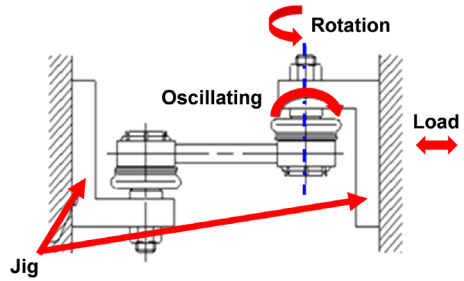


Fig. 3 Schematic of harsh durability test conditions



Fig. 4 Durability test machine

Table 1 Harsh durability test conditions

Corrosion	Waiting for 30 days after inserting 5 cc of salt water
Load	±150 kg _f (12Hz)
Rotation	±15° (0.6Hz)
Oscillation	±15° (1.9Hz)
Temperature	~25 °C

시험을 수행하였다(Fig. 4).

가혹내구시험은 먼저 부식 조건을 재현하기 위하여 염수 5 cc를 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 내부에 강제로 주입하고 30일간 기다린다. 그 다음에, 상온에서 반복 요동각과 회전각을 각각 ±15°, 반복 하중(load) 150 kg_f를 동시에 가하였다(Table 1).

여기서, 스테빌라이저 링크에 이상소음이 발생하는 시점을 조사하기 위하여, 총 10개의 링크에 대하여 반복 하중을 가한 사이클 횟수를 50만~200만 사이클까지 다르게 가하였다. 즉, 스테빌라이저 링크 2개는 반복 하중을 50만 사이클까지 가하였고, 3개는 100만 사이클까지, 3개는 150만 사이클까지, 2개는 200만 사이클까지 가하였다. 반복 하중을 가한 사이클 횟수를 50만~200만까지로 결정한 것은, 차

량의 실제 주행 시에 발생하는 유격과 유사한 크기의 유격이 발생하는 사이클 횟수를 먼저 시행착오에 의하여 조사하였다.

2.4 이상소음 측정 방법

실제 주행 차량에서 회수한 스테빌라이저 링크 10개와 가혹내구시험을 통하여 유격 현상을 재현한 스테빌라이저 링크 10개를 실제 차량에 장착하여서 주행 시험을 수행하였다. 이 때 발생하는 소음들을 진동소음 측정 장비(ENS Check, NVB-150, ENS Co., Korea)와 진동 센서(607M101, ENS Co., Korea)를 이용하여 측정된 후에, 이상소음 여부를 판별하였다. 진동 센서는 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 측면에 장착되었는데, 이는 이상소음 발생의 원인인 볼 조인트의 거동 측정을 가장 잘 측정할 수 있는 위치이기 때문이다(Fig. 5).

이상소음은 평지보다 요철이 있는 직선도로에서 운전자가 직접 느낄 수 있는 이상소음이 발생하였다. 이 때, 진동소음 측정 장비로 측정된 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 부위에 발생하는 진동은 이상

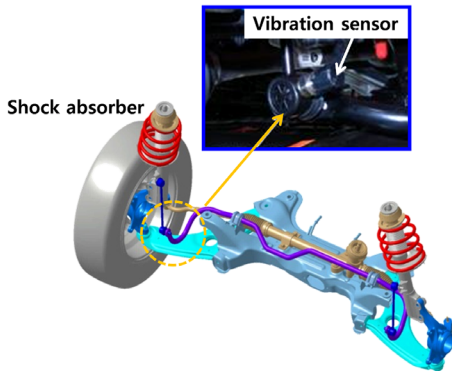


Fig. 5 Installation of vibration measurement sensors

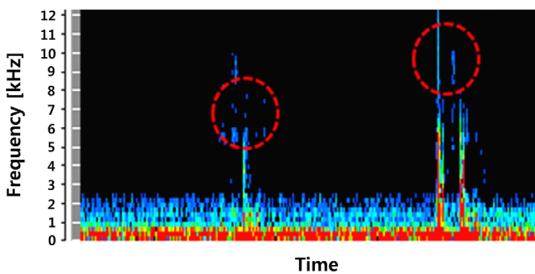


Fig. 6 Detection of abnormal noises

소음이 발생하지 않는 구간에서는 1 kHz ~ 3 kHz인 반면에, 운전자가 직접 느낀 이상소음 발생구간에서는 약 6 kHz ~ 13 kHz로 측정되었다(Fig. 6).

3. 실험결과 및 분석

3.1 실제 주행한 차량에 수거한 스테빌라이저 링크의 이상소음과 볼 조인트 유격

실제 동일한 차종에서 장착되어 주행된 스테빌라이저 링크 중에서, 회수한 제품 10개에 대하여 볼 조인트 내부의 유격을 측정하였고, 다시 차량에 장착하여서 이상소음 발생 여부를 조사하였다(Table 2). 이상소음이 발생한 차량의 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 내부 유격은 0.12 mm 이상임을 알 수 있다. 특히 볼 조인트 내부의 유격이 큰 제품들의 특징은 외력에 의하여 더스트 커버(dust cover)가 손상된 후에, 볼 조인트 내부에 수분이나 이물질이 유입되어 마모가 진행되었음을 알 수 있었다(Fig. 7).

Table 2 Abnormal noises and free gaps (use in real vehicles)

No.	Free gap [mm]	Abnormal noise detection
1	0.05	X
2	0.00	X
3	0.20	O
4	0.08	X
5	0.10	X
6	0.12	O
7	0.13	O
8	0.15	O
9	0.00	X
10	0.18	O



Fig. 7 Water ingress by dust cover damage

이와 같이 볼 조인트 내부의 마모가 진행된다면, 볼 조인트 내부의 유격이 증가됨은 물론이고, 볼 조인트의 강성이 저하되어 내구성에도 심각한 영향을 줄 수 있다.

3.2 가혹내구시험을 거친 스테빌라이저 링크의 이상소음과 볼 조인트 유격

단계별로 반복 하중 사이클을 다르게 가하여 가혹내구시험을 거친 스테빌라이저 링크들(50만 사이클: 2개, 100만 사이클: 3개, 150만 사이클: 3개, 200만 사이클: 2개)에 대하여 볼 조인트 내부의 유격을 조사하였다. 그리고, 다시 차량에 장착하여서 이상소음 발생유무를 조사하였다(Table 3). 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 내부 유격은 가혹내구시험 조건에서 반복 하중이 50만 사이클이 될 때까지는 발생하지 않았다. 하지만 150만 사이클 이상의 반복 하중이 가해졌을 때, 볼 조인트 내부 유격은 0.1 mm 이상이었고, 실제 차량에 장착하였을 때에도 이상소음이 발생하였다. 국내 모 자동차 양산회사에서 조사한 결과를 바탕으로, 실차에서 0.1 mm의 유격이 발생할 때의 주행거리는 약 160,000 km ~ 250,000 km에 해당한다. 이 결과로부터, 부식 조건(염수 5 cc를 스테빌라이저 링크의 볼 조인트 내부에 강제로 주입하고 30일간 기다림)과 가혹한 반복 운동 및 하중 조건($\pm 15^\circ$ 요동, $\pm 15^\circ$ 회전, 150 kg_r 하중)을 함께 가한 스테빌라이저 링크는 150만 사이클 이전까지는 이상소음이 발생하지 않음을 알 수 있다. 그리고, 이 때 볼 조인트 내부의 유격도 0.1 mm 미만임을 알 수 있다.

Table 3 Abnormal noises and free gaps (harsh durability tests)

No.	Cycles [10^3]	Free gap [mm]	Abnormal noise detection
1	500	0.00	X
2	500	0.00	X
3	1,000	0.05	X
4	1,000	0.09	X
5	1,000	0.05	X
6	1,500	0.10	O
7	1,500	0.11	O
8	1,500	0.12	O
9	2,000	0.17	O
10	2,000	0.20	O

3.3 이상소음 발생의 원인 분석

실제 주행한 차량에서 수거한 스테빌라이저 링크와 실험실에서 가혹내구시험을 거친 스테빌라이저 링크 모두, 실제 차량에서 장착했을 때 이상소음이 발생하는 볼 조인트 내부의 유격 크기는 0.1 mm 이상임을 알 수 있다(Fig. 8). 실제 주행한 차량에 장착된 경우와 가혹내구시험을 거친 경우 모두, 스테빌라이저 링크에 반복적으로 가해지는 운동과 하중은 볼 조인트의 마모를 진행시킬 뿐만 아니라, 볼 조인트 내부의 방수 성능을 저하시킨다. 이러한 방수 성능 저하는 볼 조인트 내부로 수분을 유입되게 만들어서 부식을 촉진시키는 원인이 된다. 따라서, 이러한 볼 조인트의 마모와 부식은 볼 조인트 내부의 유격을 증가시키고, 이는 스테빌라이저 링크의 이상소음 발생의 원인이 됨을 알 수 있다.

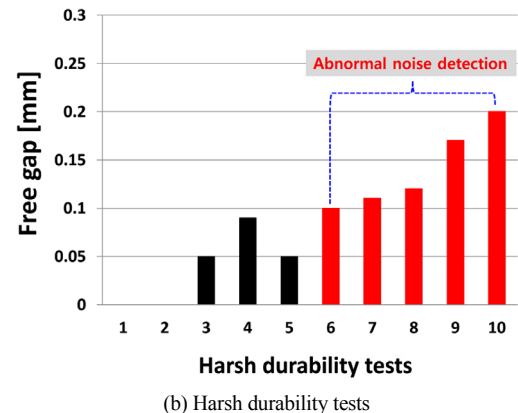
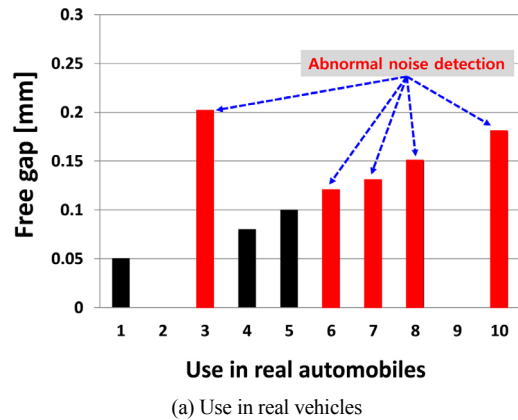


Fig. 8 Relationships between abnormal noises and free gaps

4. 결 론

본 연구는 스테빌라이저 링크의 이상소음과 그 구성품인 볼 조인트 내부의 유격간의 상관관계를 분석하였다. 또한, 본 연구에서는 스테빌라이저 링크의 내구성을 분석하기 위하여, 볼 조인트 내부의 유격 발생을 재현하는 가혹내구시험을 수행한 후에, 이상소음과 유격 사이의 상관관계와 이상소음이 발생하는 시점과 그 때의 볼 조인트 내부의 유격 크기를 분석하였다.

실제 주행한 차량에서 수거한 스테빌라이저 링크는 볼 조인트 내부의 유격이 0.12 mm일 때, 이상소음이 발생하였고, 실험실에서 가혹내구시험(부식과 반복 운동 및 하중을 동시에 가함)을 거친 스테빌라이저 링크는 볼 조인트의 내부 유격이 0.1 mm일 때, 이상소음이 발생하였다. 또한, 실제 차량에 가해질 수 있는 가혹내구시험으로부터, 0.1 mm의 유격이 생성되는 시점은 150만 사이클의 반복 하중이 가해질 때임을 조사하였다.

이와 같이 본 연구에서는 스테빌라이저 링크에서 발생하는 이상소음의 원인으로 볼 조인트 내부의 유격임을 제시하였고, 이때의 볼 조인트 내부의 유격 크기를 정량적으로 분석하였다. 또한, 가혹내구시험 조건을 통하여, 이 유격 크기가 발생하는 시점을 조사하였다. 하지만, 실제 차량마다 현가장치 시스템이 다양하고, 스테빌라이저 링크의 형상 및 설 계용량도 서로 상이하기 때문에, 이를 반영할 수 있는 정량적 분석에 대한 연구가 추가적으로 필요하다고 사료된다. 본 논문의 가혹내구시험에서 부식 조건을 선정할 때, 염수의 양은 볼 조인트가 충분히 잠길 수 있는 5 cc로 결정하였다. 하지만, 부식시간을 30 일로 결정한 것은 기존의 연구(7, 14, 30, 60 일의 부식시간에 대하여 서스펜션 재료의 표면처리가 부식에 미치는 영향을 연구)¹³⁾를 참고로 하였다. 향후 좀 더 정확한 부식시간 선정을 위하여, 다양한 부식시간이 스테빌라이저 볼 조인트의 부식에 미치는 영향을 조사하는 연구가 수행될 필요가 있다.

후 기

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

- 1) T. H. Yoon and J. H. Lee, "A Study on the Factor in Gratification of the Car A/Vsystem Design," Transactions of KDDC, Vol.7, No.1, pp.201-213, 2007.
- 2) M. K. Kim, J. H. Park and Y. W. Cho, "Current Trends and Industrial Strategies of IT Convergence," Transactions of ETRI, Vol.25, No.1, pp.1-10, 2010.
- 3) M. Goldhammer, E. Strigel, D. Meissner, U. Brunsmann, K. Doll and K. Dietmayer, "Cooperative Multi Sensor Network for Traffic Safety Applications at Intersections," IEEE Annual Conference Proceedings, pp.1178-1183, 2012.
- 4) A. Broggi, P. Cerri, M. Felisa, M. Laghi, L. Mazzei and P. Porta, "The VisLab Intercontinental Autonomous Challenge: an Extensive Test for a Platoon of Intelligent Vehicles," Int. J. Vehicle Autonomous Systems, Vol.10, No.3, pp.147-164, 2012.
- 5) P. Branton, "Behaviour, Body Mechanics and Discomfort," Int. J. Ergonomics, Vol.12, No.2, pp.316-327, 1969.
- 6) Y. W. Jin, M. D. Hur and K. R. Han, "An Experimental Study for Clutch Modification to Reduce Erratic Idling Noise in Automotive Neutral Condition," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.1001-1006, 1998.
- 7) J. H. Lee, Development of Composite Stabilizer Link using Injection Molding Process, Ph. D. Dissertation, Pukyong National University, Busan, 2005.
- 8) D. G. Park, Development of Functional Stabilizer Link for Automobile Major Axis using Metal and Composite, M. S. Thesis, Ulsan University, Ulsan, 2010.
- 9) K. W. Nam, Y. M. Woo, J. H. Oh and C. K. Moon, "Analyzing Materials Property using Optical Sensing Technique of Stabilizer Link for Automobile Parts," Transactions of KSPSE, Vol.14, No.6, pp.47-53, 2010.
- 10) D. H. Ha, S. C. Park, B. H. Min, W. W. Jung and H. Y. Kim, "The Mechanism Analysis and

- Reproducibility Test Method Development of the Stabilizer Bar Clamping Bush Noise in Winter Season,” KSME Annual Conference Proceedings, pp.40-44, 2010.
- 11) R. W. Allen, T. J. Rosenthal and H. T. Szostak, “Steady State and Transient Analysis of Ground Vehicle Handling,” SAE 870495, pp.49-78, 1987.
 - 12) B. Y. Park and S. J. Heo, Vehicle Dynamics: an Introduction, Munundang, Seoul, 2001.
 - 13) K. D. Park and H. J. Ryu, “A Study on Corrosion Characteristics of Suspension Material by Surface Processing,” Transactions of the KSAE, Vol.13, No.3, pp.17-23, 2005.