

# 파라미터 해석을 통한 차량 성능 예측 기법 연구

## Study on the Prediction Technique of Vehicle Performance Using Parameter Analysis

김기창\* · 김찬목\* · 김진택\*\*

Ki-Chang Kim, Chan-Mook Kim and Jin-Taek Kim

(2009년 10월 9일 접수 ; 2010년 9월 27일 심사완료)

**Key Words :** Design Sensitivity Factors(설계 기여 인자), Quality Deviation(품질 산포), Frequency Correlation Equation(주파수 상관 관계식), Design Variable(설계 변수), Robust Design(강건 설계)

### ABSTRACT

With the development of the auto industry, the automobile manufacturers demand to shorten development period and reduce the cost. Compared with the traditional method, applying the virtual prototype is more economical. This paper presents a method for parameters sensitivity analysis and optimizing the performance of vehicle noise and vibration. The existing design processes were repeatedly analyzed with a focus on vehicle performance to decide the design parameters of dimension, thickness, mounting type of body and chassis systems in the vehicle development period. This paper describes the prediction technique of vehicle performance using L18 orthogonal array layout, quality deviation analysis and parameter sensitivity analysis for robust design. This paper analyzed the performance correlation equation through the frequency and sensitivity database according to a design factor change. The new concept is that the performance prediction is possible without repeated activities of test and analysis. This paper described the parameter analysis applications such as bush dynamic stiffness and bush void direction of rear suspension. Design engineer could efficiently decide the design variable using parameter analysis database in early design stage. These improvements can reduce man hour and test development period as well as to achieve stable NVH performance.

### 1. 서 론

차량의 충돌, NVH, 내구 상품성 향상 및 경량화 설계를 위하여 차량 개발 단계 다수의 설계 변경이 발생하고 있다. 종래 프로세스에서는 설계 변경에 따

른 반복적인 해석 모델 구성을 통하여 성능을 예측해야 하기 때문에 개발 기간 단축에 어려움이 발생하고 있다. 또한 설계 초기 디자인 모델에 대한 기본 단면 레이아웃 검토 및 주요 제원 결정에 있어서 정확한 해석 모델 구성이 어렵기 때문에 성능 예측이 불가하며, 경쟁차 분석 또는 설계자의 직관에 의해 결정되고 있다.

선행 해석 프로세스에 대한 기술 동향 분석 결과 일본 T사에서는 선행단계 해석 비중을 높여 도면 품질 확보 및 설계 변경을 최소화 하고 있으며, 디지털 차량(DMU)에 의한 차량 성능 평가로 개발 기간 단축을 하고 있다. M사에서는 컨셉 단계 개발 차종 이

\* 교신저자; 정희원, 현대자동차 해석기술팀  
E-mail : 9362579@hyundai.com  
Tel : (031)368-5427, Fax : (031)368-5818

\* 정희원, 국민대학교 자동차공학전문대학원

\*\* 전북대학교 기계항공시스템공학부

# 이 논문의 일부는 2009년 추계 소음진동 학술대회에서 발표되었음.

전 모델을 이용하여 디자인 검토 모델에 대한 주요 제원 검토를 통한 설계 가이드를 제시하고 있다<sup>(1)</sup>.

당사에서도 개발 기간 단축을 위하여 산포 유발 항목에 대하여 강건 설계를 위한 해석을 수행하고 있다. 또한 패키지/설계/해석/시험 협업을 통하여 설계 변경안에 대한 신속한 결정을 위하여 CATIA 모델과 이진 단계 해석 모델을 이용 동시 분석을 수행하는 신개념 프로세스가 검토되고 있다.

이 논문은 차체, 의장 및 사시 시스템의 설계 변경에 따른 신속한 NVH성능 예측 및 해석 신뢰성 확보를 위하여 상관성 분석을 통한 파라미터 설계 프로세스 연구에 관한 것이다.

파라미터는 설계 변수(design variable)라고도 하며, 제품성능의 특성에 영향을 주는 인자중에서 제어 가능한 인자를 의미한다. 파라미터 설계(parameter design)는 이들 인자들의 최적 수준을 정해 주는 것을 의미한다. 파라미터 설계에서는 제품의 품질 변동이 노이즈 인자에 둔감하면서 목표 품질을 만족시키는 범위 내에서 가능한 비용이 적게 드는 조건이나 부품 등을 이용한다<sup>(2,3)</sup>.

이 논문은 파라미터 해석을 통한 차량 성능 예측 기법 연구에 관한 것으로, NVH 성능에 영향을 주는 주요 설계 파라미터 인자를 선정하고, 이를 플랫폼 대표 차종에 대한 해석을 통하여 상관 관계식을 도출하고자 한다. 설계 초기 단계 설계 주요 인자 변경에 따른 정확하고 신속한 성능 예측은 해석 공수 절감 및 개발 기간 단축에 기여할 것으로 판단된다.

## 2. 본 론

다구찌가 제안한 품질 개선 기법은 자동차를 비롯한 산업 현장에서 활발하게 사용되고 있으며, 시스템 설계, 파라미터 설계, 허용차 설계 단계를 제시하고 있다.

파라미터 설계는 품질 특성에 많은 영향을 미치지만 제어할 수 없는 인자인 노이즈 인자에 강한 제어인자의 수준을 찾는 것을 의미하며, 강건 설계(robust design)라고도 한다.

이 논문에서는 강건설계를 위하여 표준편차와 SN비를 통한 최적해를 구하는 방법, 품질 산포 해석 프로세스 및 파라미터 인자 선정을 통한 차량 성능 예측 기법에 대하여 소개하고자 한다.

### 2.1 표준편차와 S/N비를 통한 최적화

강건 설계 기법을 이용하여 스피커 가진원 대비 차체 패키지 트레이 판넬의 진동 감도 저감을 위한 설계 최적화 방안을 제시하고자 한다.

Fig. 1과 같이 스피커 가진력은 상하 방향으로 1kgf로 신호 인자를 부여하였고, 60~80 Hz 영역에서 판넬 센터<sup>(1)</sup>와 리어부<sup>(2)</sup>의 측정위치에 따른 진동 감도 산포를 최소화 하고자 한다.

목적 함수는 저주파 스피커 가진 주파수 대역에서 패키지 트레이 판넬의 센터부와 리어부의 진동 감도 산포를 최소화시키는 조합을 찾는 것이다. 이를 위하여 판넬의 제어 인자들을 Table 1과 같이 선정하였으며, Level 2는 현사양, Level 1은 불리한 수준, Level 3은 유리한 수준을 의미한다.

Table 2와 같이 L18 ( $2^1 \times 3^7$ ) 혼합 직교 배열표를 사용하기 위하여 8개의 제어인자의 수준을 3수준으로 차별화하여 해석을 수행하였다. 판단기준으로 S/N비와 표준편차( $\beta$ )를 사용하였고, 60~80 Hz 영역에서의 공진주파수 기준 판넬 센터부를 best condition(N1)으로 하고, 리어 멤버부를 worst condition(N2)로 하여 판넬 응답 위치 따른 진동 감도 산포를 최소화 가능한 최적안을 찾고자 한다.

강건 설계를 이용한 S/N비와 표준편차( $\beta$ )를 구하기

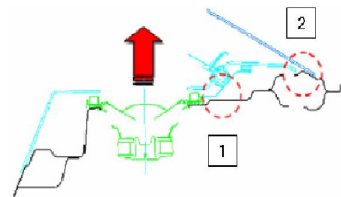


Fig. 1 The section of package tray center panel

Table 1 Control factors of package tray panel

Control factor	Level 1	Level 2	Level 3
A Mounting point of woofer	2	4	4
B Form height of panel(mm)	0	5	20
C Panel thickness(mm)	0.6	0.7	0.8
D Reinf thickness(mm)	0.6	0.8	1.4
E Form height of reinf(mm)	0	10	20
F Curved surface height(mm)	0	10	30
G Welding pitch(mm)	60	30	15
H Joint of rear member	Front	Rear	Bulk head

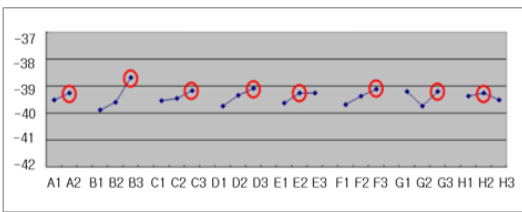
위하여 계산식을 간략화하였고, Fig. 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. S/N비는 강건성의 척도이며, 신호가 한 일 대비 노이즈 인자에 대한 비율로 계산되고, S/N비가 높을수록 시스템 기능은 더욱 강건해진다. Fig. 2(a), (b)의 가로축은 제어인자에 대한 각 수준이며, 세로축은 S/N비와 표준편차의 수치를 나타내고

있다. S/N비가 크고, 표준 편차가 작은 수준들을 선별하면 최적 조건은 Table 3에서와 같이 A2, B3, C3, D3, E2, F3, G3, H2이다.

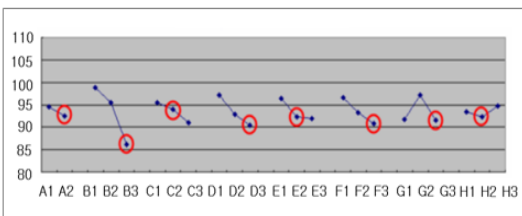
현 설계안 대비 최적안을 조합하여 모델을 구성후 비교 해석 결과 Fig. 3과 같은 결과를 얻었다. 우퍼 스피커 중앙부에서 가진 후 리어 클래스 하단의 리어

**Table 2** Orthogonal array layout of L18( $2^1 \times 3^7$ )

L18	A	B	C	D	E	F	G	H	Inertance		S/N ratio	$\beta$
	1	2	3	4	5	6	7	8	N1	N2		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	99.6	108.3	-40.3	103.9
2	1	1	2	2	2	2	2	2	91.1	99.3	-39.6	95.2
3	1	1	3	3	3	3	3	3	74.3	93.0	-38.5	83.6
4	1	2	1	1	2	2	3	3	93.9	105.5	-40.0	99.7
5	1	2	2	2	3	3	1	1	82.5	98.0	-39.1	90.2
6	1	2	3	3	1	1	2	2	91.6	106.5	-39.9	99.1
7	1	3	1	2	1	3	2	3	92.7	106.0	-40.0	99.3
8	1	3	2	3	2	1	3	1	85.5	95.4	-39.1	90.4
9	1	3	3	1	3	2	1	2	81.0	98.1	-39.1	89.6
10	2	1	1	3	3	2	2	1	101.4	106.5	-40.3	103.9
11	2	1	2	1	1	3	3	2	101.3	107.9	-40.4	104.6
12	2	1	3	2	2	1	1	3	97.4	106.0	-40.2	101.7
13	2	2	1	2	3	1	3	2	88.5	99.8	-39.5	94.2
14	2	2	2	3	1	2	1	3	88.0	99.8	-39.5	93.9
15	2	2	3	1	2	3	2	1	94.4	96.3	-39.6	95.3
16	2	3	1	3	2	3	1	2	68.2	74.5	-37.1	71.3
17	2	3	2	1	3	1	2	3	86.1	93.4	-39.1	89.7
18	2	3	3	2	1	2	3	1	78.9	75.1	-37.7	77.0



(a) S/N ratio response graph

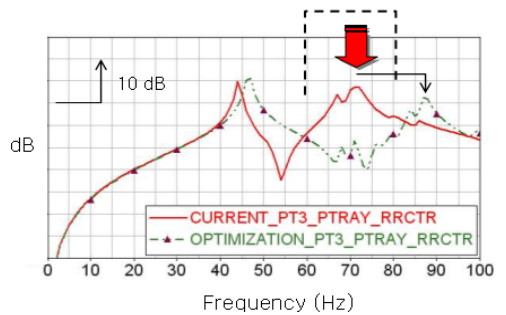


(b) Beta ( $\beta$ ) response graph

**Fig. 2** Graph of analysis result

**Table 3** Level of optimization

	A	B	C	D	E	F	G	H
Current	2	2	2	2	2	2	2	2
Optimization	2	3	3	3	2	3	3	2



**Fig. 3** Effects of design optimization

멤버 중앙부에서 응답을 분석 결과 현 설계안의 60~80 Hz 영역의 공진주파수가 최적인 적용 시 80 Hz 이후 후방으로 이동하면서 진동 감도가 저감되었다.

### 2.2 품질 산포 해석

강건 설계 기법을 이용하여 실차 아이들 진동 대비 안정적인 차체 강성 확보를 위하여 용접 품질 산포에 의한 불확실성 인자 도출 및 해석 프로세스를 제시하고자 한다.

전류의 크기는 2점 용접인 경우 8000 A, 3점 용접인 경우 9000~10000 A를 적용하며, 고장력강판과 도금 강판 적용 시 차이가 날수 있다.

점 용접 너겟(nugget)은 직경 6 mm를 표준으로 하며, NASTRAN Cweld element는 5 mm 기준으로 Fig. 4와 같이 area가 연결되게 구성된다.

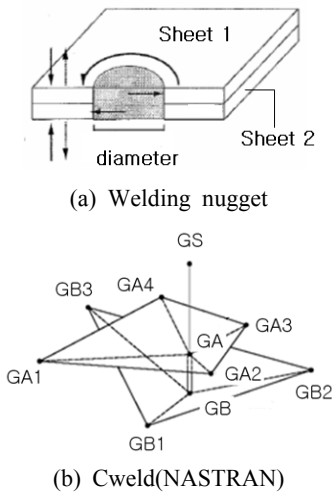


Fig. 4 NVH modeling guide of spot welding

Table 4 Analysis result using robust design

Frequency (Hz)	Minimum	Maximum	Difference	Mean value	Standard deviation	
Mode 1	28.46	27.57	28.68	1.11	28.09	0.35
Mode 2	30.34	29.41	30.56	1.15	29.96	0.33
Mode 3	44.78	42.26	45.22	2.96	44.07	0.60
Mode 4	45.93	43.57	46.43	2.86	45.31	0.64
Mode 5	47.42	44.73	47.86	3.13	47.12	0.63
Mode 6	49.96	46.67	50.64	3.97	49.33	0.79

용접 너겟 산포에 따른 골격 강성 해석 결과 모드에 따라 Table 4와 같이 0.15~1.49 Hz 강성 차가 발생할 수 있으며, 너겟 평균치로 계산하였다.

상기 결과는 용접 너겟 차이를 물성 변화에 반영하고, 22회 산포 해석을 수행하여 구하였다. 해석 S/W는 MSC사 Robust Design을 사용하였다. 해석 결과 모드에 따라 1.11~3.97 Hz까지 용접 품질에 따른 산포가 발생할 수 있으며, 실제 차량 제작 상태와는 차이가 있다고 판단된다. 이 연구의 직접적인 목표는 선행 영역에서의 용접 너겟과 물성치의 영향을 분석하기 위함이며, 충돌 및 내구 문제인 용접 파단 해석은 인장 강도를 고려한 비선형 영역으로 관심 영역이 다르다.

### 2.3 파라미터 해석

이 논문에서는 플랫폼 대표 차종의 해석 모델을 이용하여 성능 기여도가 있다고 판단되는 파라미터 인자를 분류하였고, 인자 변화에 따른 성능 결과 상관 관계 비교를 통하여 성능 상관 관계식을 도출하였다. 연구 결과에 대한 파라미터 DB를 이용하여 설계 변경 따른 반복적인 해석을 지양하고, 성능 예측이 가능하여 해석공수 절감 활용도가 높다고 판단된다.

파라미터 해석 프로세스 측면에서 설계 인자 분류, 인자 변경 따른 성능 상관 관계식 상세 분석 및 대표적인 해석 사례를 설명하고자 한다.

#### (1) 파라미터 인자 분류

이 연구에서는 설계 초기 단계 반복적으로 발생하는 설계 인자를 제원/패키지, 차체, 샤시, 파워트레인, 기타 항목과 같이 5가지 시스템으로 대분류하였다. 차체의 경우 엔진룸, 대시, 센터플로워, 리어 플로워, 사이드 스트러처, 루프, 카울, 리어 휠하우징과 같이 중분류로 관리한다.

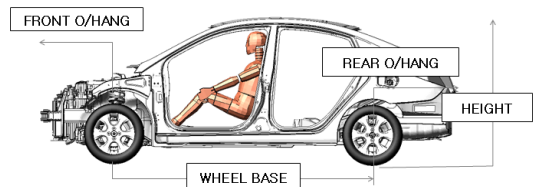


Fig. 5 Design parameters of body structure

Fig. 5는 플랫폼 공용화 차종을 이용하여 개발 차종의 성능 예측을 위하여 제원/패키지 관련 설계 인자를 소분류한 CASE를 도시하고 있다.

이와 같이 대분류/중분류/소분류로 표준화하여 관리하면 충돌, NVH, 내구 성능 관련 공통 인자 검토 및 설계 부문별 협의시 효율적인 장점이 있다.

(2) 성능 상관관계식

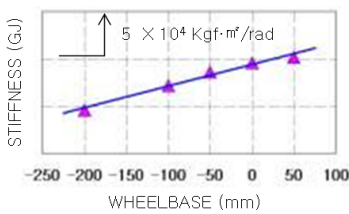
차량 제원 관련 WHEELBASE 변화 따른 차체 정강성변화를 Fig. 6과 같이 분석하였다.

제원 변화량을 50 mm로 하여 플랫폼 대표 차종 대비 증가 및 감소시 변화량을 4가지 CASE에 대해 해석을 수행하였으며, 설계 인자에 대한 차체 정강성 성능 상관관계식을 도출하였다.

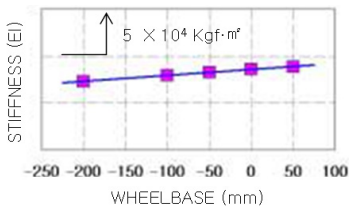
(3) 해석 사례

차량의 후륜허가장치는 멀티링크 타입과 CTBA (couple torsion beam axle) 타입이 적용되며, 전자는 고성능의 승차감을 위해 중대형 차종에 적용하고, 후자는 경량화 및 원가 절감 효과가 우수하여 중소형, 경소형 차종 중심으로 적용 추세이다.

Fig. 7은 완성차 주행시 노면 하중 입력에 따른 CTBA 전달계 진동 절연 및 실내 음향 감도에 대한 개념도이다. CTBA 후륜 허가장치는 차 길이 방향의 트레일링 암과 좌우 방향의 V빔으로 구성되며, 주행 입력 하중에 대하여 트레일링 암 부시 변형과 V빔의



(a) Torsional stiffness



(b) Bending stiffness

Fig. 6 Performance correlation equation

굽힘 및 비틀림 변형에 의하여 전달계 진동 절연을 하게 된다. 이 논문에서는 부시 통과 전단계인 CTBA 부시 경도 및 VOID 방향 관련 동특성을 설계 인자로 범위를 한정하여 연구를 진행하였다.

로드 노이즈 관련 CTBA 설계인자로 트레일링 암 부시 경도를 Hs65에서 Hs45로 변경하고, 부시 VOID를 현 X방향에서 Z방향으로 90도 회전시켰을 때 기여도 평가를 통하여 후석 소음 저감 효과를 확인하였으나 조종 안전성 대비 상반된 특성으로 최적화 설계가 요구된다. 이 논문에서는 트레일링 암 부시 경도 및 VOID방향에 대한 설계 변경 범위 적용시 후석 소음 영향도를 데이터베이스화 하여 선행 단계 성능 예측자료로 활용하고자 한다.

CTBA 트레일링 암 부시 현사양은 조종 안전성에 튜닝되어 경도가 Hs65를 적용하고 있으며, 로드 노이즈 관련 진동 절연을 위해서는 부시 경도 Hs60, Hs55, Hs45에 대한 성능간 최적안 검토를 위하여 파라미터 DB 구축이 필요하다.

Fig. 8은 CTBA 트레일링암 부시 경도 변화 따른 후석 감도 기여도 해석 결과를 도시하고 있다. 현사양 Hs65 대비 Hs60 특성은 유사하며, Hs55 적용시 Hs45 대비 감도 저감 효과 유사하며 3 dB 정도 감도 개선 예상되어 조종안전성 대비 절충안으로 적용 가능할 것으로 판단된다. 부시 경도 Hs55 적용시 부시

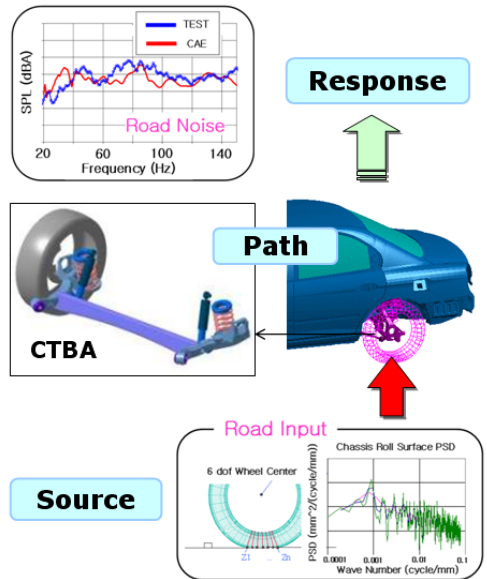


Fig. 7 Typical process of road noise

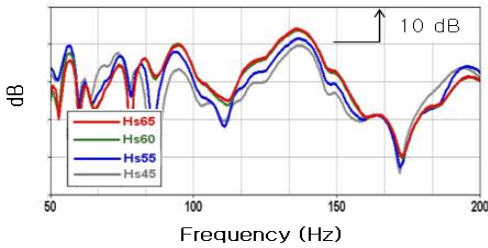


Fig. 8 Analysis result of bush stiffness

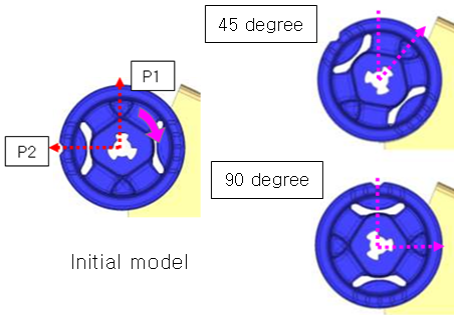


Fig. 9 Void direction of bush

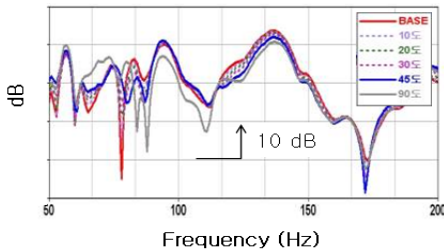


Fig. 10 Analysis result of bush void direction

동특성 대비 차체 입력점 강성이 10배수 수준으로 진동 절연 측면 우수할 것으로 예측된다<sup>(4)</sup>.

Fig. 9는 CTBA 트레일링 암 부시 VOID 각도 변화를 도시하고 있으며, 설계 변경 범위를 시계방향 10°, 20°, 30°, 45°, 90°로 하고, 반시계방향으로 45도에 대한 후석 감도 영향을 해석적으로 검토하였다. Fig. 10은 CTBA 부시 VOID 방향 기여도 해석 결과이며, 130 Hz 전후 영역의 후석 감도 분석결과 현사양 대비 10°, 20°는 영향 적으며, 45° 적용시 2 dB 정도 감도 저감 효과가 예상된다. 회전 방향에

대한 산포 검토 결과 시계방향 45도는 120~150 Hz 감도 저감 유리하며, 반시계 45도는 80~100 Hz 감도 저감 유리하다.

이 논문에서는 CTBA 부시 정도 및 VOID방향에 최적안으로 Hs55와 VOID 45도 사양을 추천하였다.

### 3. 결 론

이 논문에서는 차량의 선행 개발 단계 강건설계를 위한 해석 프로세스 관점에서 표준편차와 S/N비를 통한 최적해를 구하는 방법, 품질 산포 해석 및 파라미터 인자 선정을 통한 차량 성능 예측 기법에 대하여 연구를 수행 하였다. 차량의 NVH 성능에 영향을 줄 수 있는 시스템 파라미터 인자를 선정하여 설계 변경 범위에 따른 주파수 상관관계식을 분석하였고, 이후 해석 상관성 확보를 위하여 개발 차종에 대한 지속적인 DB구축을 하고자 한다. 이 연구의 기술적인 성과로는 설계 변경에 따른 반복적인 해석을 수행하지 않고도 성능 예측이 가능한 파라미터 해석 기법 개발로 업무 효율성 증대 및 개발 기간 단축에 기여할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- (1) Mazda Technical Review, 2005, No.23
- (2) Kim, C. K. and Kim Y. R., 2004, "Application of Taguchi Method to Improve Noise of Power Steering," Proceedings of the KSAE Annual Autumn Conference, pp. 1011~1016.
- (3) Kim, S. H., Kim, H. J. and Cho, H. J., 2005, "Robust Design of Vehicle Interior Noise Using Taguchi Method and Substructure Synthesis Method," Proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 134~139.
- (4) Kim, K. C. and Kim, C. M., 2005, "A Study on the Development of High Stiffness Body for Suspension Performance," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 7, pp. 645~651.