

# 자동차용 모듈화 도어의 동특성 분석에 관한 연구

## A Study on the Dynamic Characteristics of Door Module for Vehicle

배철용† · 김찬중\* · 권성진\* · 이봉현\* · 장운성\*\* · 이준우\*\*\*

Chul-Yong Bae, Chan-Jung Kim, Seong-Jin Kwon, Bong-Hyun Lee,  
Woon-Sung Jang and Joon-Woo Lee

(2007년 8월 20일 접수 ; 2007년 10월 23일 심사완료)

**Key Words** : Sealed Door Module(실드 도어모듈), Regulator Motor(레귤레이터 모터), Cross Correlation Function(상호상관함수), Frequency Contribution Analysis(주파수 기여도분석)

### ABSTRACT

This study presents the design improvement process for door module. Its objective evades the resonance generated at module plate due to the operation of window regulator motor. For this study, the design improvement process is composed of experimental methods having three steps. First step is modal analysis at door assembly status for acquisition of dynamic characteristics which are modal frequency and damping. Second step is a vibration experiment to get the test mode considered an efficiency of window regulator motor. Last step is a vibration measurement by the form of 6x6 array on module plate. A vibration measurement of 6×6 array form can be got to three analysis results which are a transfer path of vibration using cross correlation function, a vibration map using OA level and a contribution by frequency band using coherent output power spectrum on module plate. These results are applied to SDM(structural dynamic modification) for design improvement to get around the resonance on module plate by the excitation of window regulator motor.

### 1. 서 론

근래의 자동차 부품의 기술개발은 경량화, 조립효율성의 향상 및 원가절감을 위하여 다양한 형태로 개발되어지고 있다. 그중 가장 많은 경우가 동일한 성격과 성능을 지향하는 부품들을 모듈화시켜 개발하는 경우를 들 수 있다. 이러한 부품의 모듈화는 완성차 업체의 주도하에 이루어지는 일본형 모듈화

형태와 부품업체 주도하에 이루어지는 구미형 형태로<sup>(1)</sup> 나누어 발전되어지고 있다. 현재 이러한 모듈화 부품으로는 샤시코너모듈, 현가시스템의 모듈화, 실드 도어 모듈화 등 다양한 형태가 있다. 하지만 이러한 모듈화 부품은 기존의 각 단품들을 모아서 조립하는 어셈블리 형태의 부품이 아닌 전혀 새로운 개념의 부품들로 개발되어지는 경우가 많다. 따라서 이에 대한 다양한 평가기술의 개발도 동시에 이루어져야만 한다. 이중 자동차 도어모듈의 경우, 외부패널(outer panel)과 내부트림(inner trim) 사이에 모듈 플레이트를 구성하여, 모듈 플레이트에 윈도우 레귤레이터 시스템, 래치 시스템, 스피커 등 다양한 구성품을 집적시킴으로써 조립 효율성과 원가절감에

† 교신저자: 정회원, 자동차부품연구원 에너지부품연구센터  
E-mail : cybae@katech.re.kr

Tel : (041)559-3339, Fax : (041)559-3070

\* 정회원, 자동차부품연구원 에너지부품연구센터

\*\* 대동하이텍 기술연구소

\*\*\* 기아자동차 기능시험3팀

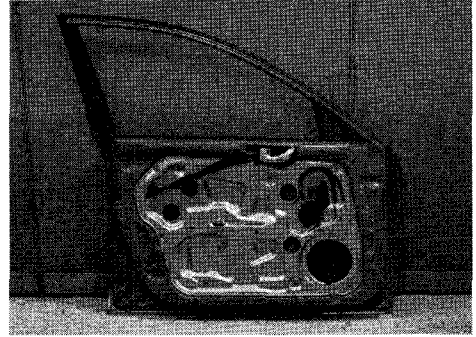
대한 효과를 거두고 있다. 하지만 이러한 도어모듈화 부품의 소음 및 진동 측면에 대한 표준화된 평가 기술은 현저히 부족한 상황이며, 각 업체별로 개발 환경에 부합하는 평가기술을 개발하거나 소수의 연구결과가 도출되고 있는 상황이다. 미국 GM社의 경우 기존의 정성적인 분석과 더불어 정량적인 측정 데이터를 평가하기 위하여 도어 모듈의 클래스 작동음에 대한 정상상태영역에서 ISO 532B에 근거한 라우드니스(loudness) 음질분석을 통하여 발생소음에 대한 평가를 수행하고 있다<sup>(2)</sup>. 또한 미국 다임러클라이슬러社는 도어 및 차량 판넬에 대하여 TPA(transfer path analysis) 분석기법을 통한 기여도 분석을 수행하여 차량 실내에서 발생하는 소음의 관심주파수 영역에서 판넬 설계 요소지점을 획득한 바 있으며<sup>(3)</sup>, 이외 도어의 외부 판넬 및 내부트림 등에 EFA(energy flow analysis) 기법을 통한 중/고주파 영역에서 발생하는 구조진동을 EFFEM(energy flow finite element method)을 통하여 예측하고 이를 실험적으로 입증한 바 있다<sup>(4)</sup>. 이러한 다양한 연구들은 전체 차량을 중심으로 한 거시적인 연구에 방향이 맞추어져 있다. 하지만 실제 레귤레이터 모터 구동 시, 간헐적으로 모듈 플레이트에서 발생하게 되는 공진음 등의 진동/소음 관련한 품질문제에 적용하기 위한 실제적인 진동/소음 평가와 설계기술 개발은 활성화 되어있지 않은 실정이다.

이에 이 연구에서는 모듈 플레이트에서 레귤레이터 작동 중 발생할 수 있는 진동/소음에 대한 동특성 및 발생가능한 공진현상의 가진원을 규명한 후, 이를 개선할 수 있는 설계 개선 프로세스를 개발하여 SDM(structural dynamic modification) 분석을 통한 공진회피 방안을 제시하였다.

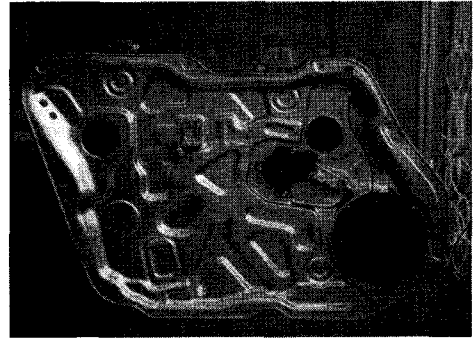
## 2. 도어모듈 동특성 평가

### 2.1 시험대상 선정 및 계측장비의 구성

이 연구를 위해 선정되어진 도어모듈은 국내 대형 SUV에 적용되어지는 운전석측 실드 도어모듈(sealed door module)로써 이에 대한 형상은 Fig. 1과 같다. 실드 도어 모듈의 동특성 평가는 윈도우 레귤레이터 모터에 의한 클래스 승/하강의 직선운동과 회전운동에 연성된 동특성을 갖게 되므로 개발 초기에 다양한 동적 특성에 대한 연구와 도어모듈의 진동 및 소음의



(a) Door assembly



(b) Module plate

Fig. 1 Front door module for SUV

가진원으로 작용하는 윈도우 레귤레이터 모터에 대한 동특성 분석이 이루어져야만 한다.

이 연구에서는 앞서 언급한 도어모듈의 동특성 평가를 위하여 기 수행되어진 연구결과를<sup>(5)</sup> 바탕으로 총 세 단계의 실험적 모드를 개발하였다. 첫 번째 단계는 도어모듈의 모드정보 수집을 위한 실험적 모드해석이며, 두 번째 단계는 시험모드 선정을 위한 진동 측정시험이다. 마지막 단계는 선정된 시험모드를 통하여 도어의 동특성 평가 및 설계개선안 도출을 위한 6×6 어레이 형태의 모듈 플레이트 진동 측정 시험으로 나누어 수행되어졌다. 이러한 실험적 연구는 LMS社 Pimento<sup>(6)</sup>를 이용하여 데이터 측정이 이루어졌으며, 샘플링 비율은 관심주파수 영역과 발생가능한 조화성분의 주파수 대역을 고려하여 5 kHz로 선정하여 시험을 수행하였다. 또한 각각의 신호 측정은 3축 가속도계를 이용하여 세 가지 병진운동방향의 좌표를 모두 고려하였다.

### 2.2 실험적 모드해석

실험적 모드해석은 도어 어셈블리 상태에 대하여

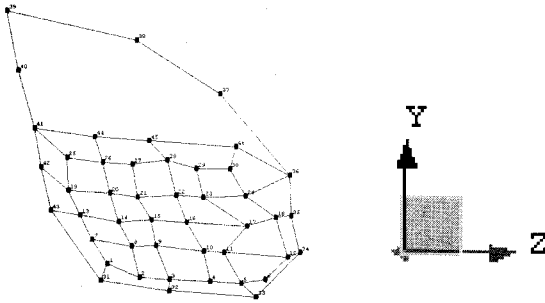


Fig. 2 Modal model for door module assembly

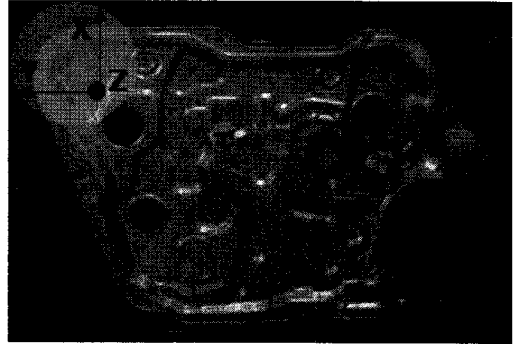


Fig. 3 Measurement positions

Table 1 Result of experimental modal analysis

Mode	Modal frequency (Hz)	Modal damping (%)	Mode	Modal frequency (Hz)	Modal damping (%)
1	36	1.41	9	470	0.56
2	80	1.94	10	678	0.80
3	108	1.47	11	700	0.55
4	149	1.51	12	735	0.95
5	201	1.23	13	781	0.78
6	279	0.66	14	821	0.68
7	357	1.35	15	868	0.69
8	441	0.95	16	1024	0.51

수행되었으며, 총 46개 노드로 도어시스템의 형상을 구현하였다. 도어 모듈의 자체적인 모드변수 추출을 위하여 자유경계조건 하에서 수행되었으며, Fig. 2는 도어모듈의 모드 모델 및 측정좌표를 나타낸다. Table 1은 도어모듈 어셈블리에 대한 실험적 모드해석 결과를 나타낸 것이다. 도어 시스템의 경우 저주파 영역에서 고주파 영역까지 고른 공진주파수 대역을 포함하고 있기 때문에 모듈 플레이트 내에 1,000 Hz 미만의 가진원이 작용할 경우 다양한 공진문제가 발생할 수 있음을 예측 할 수 있다.

### 2.3 시험모드 선정 시험

일반적으로 윈도우 레귤레이터 모터의 경우 사용빈도수가 증가할수록 성능효율이 상당히 저하되는 경향을 나타내기 때문에 이에 대한 실험적 보정이 반드시 필요하게 된다. 이러한 실험적 보정은 도어 모듈의 진동충격 시, 발생 가능한 최적의 가진특성을 찾기 위해서이다.

시험모드 선정 시험은 Fig. 3과 같이 글래스 승/하강 시 동적인 기여가 클 것으로 예상되는 레귤레이

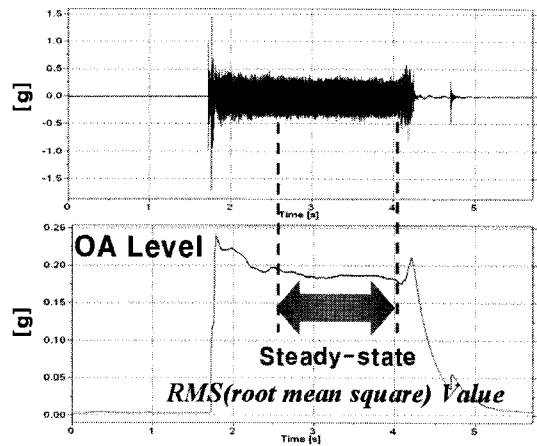


Fig. 4 Selection of analysis range

터 모터부, 플레이트 중앙부 및 와이어 폴리 하단부를 측정지점으로 선정하였으며, 레귤레이터 모터의 효율성을 고려하기 위하여 글래스를 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30회씩의 왕복운동을 수행한 후 이에 대한 진동신호를 측정하였다. 또한 글래스 왕복운동 후에는 레귤레이터 모터에 발열현상이 발생하기 때문에, 초기의 레귤레이터 모터조건을 조성하기 위하여 환쿨링을 통하여 초기 상태로 환원시킨 후 시험을 진행하였다.

일반적으로 글래스 승/하강 시 발생하는 진동신호의 형태는 Fig. 4와 같이 초기 구동충격 성분과 글래스가 이동하는 정상상태 그리고 마지막 글래스 구동이 멈출 때 발생하는 충격성분으로 나뉘어진다. 이에 이 연구에서는 시간영역 응답에 대하여 충격성분을 제외한 정상상태의 동적구간에 대한 OA(overall) 레벨의 RMS값을 통하여 시험모드를 선정하였다<sup>(2)</sup>. Fig. 5 및 Fig. 6은 시험모드 선정을 위한 진동측정

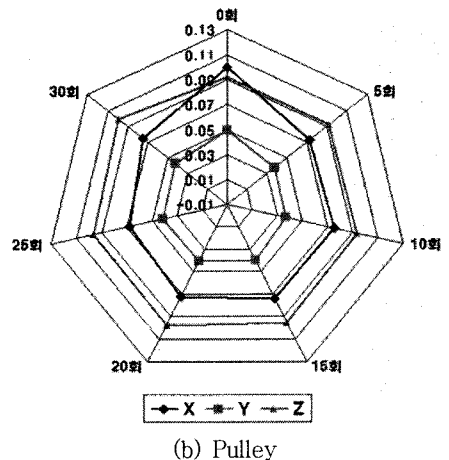
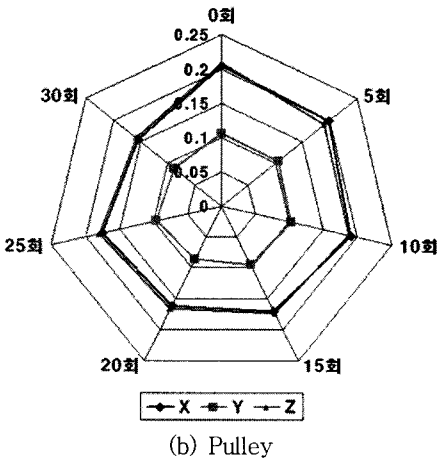
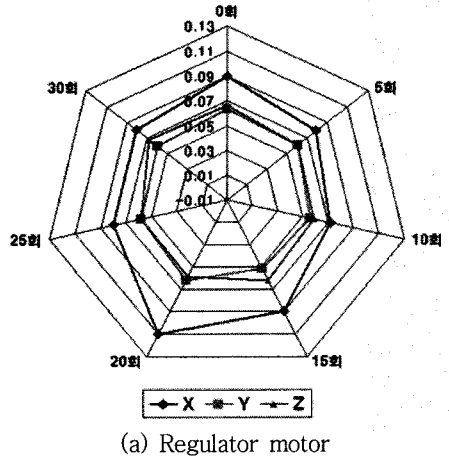
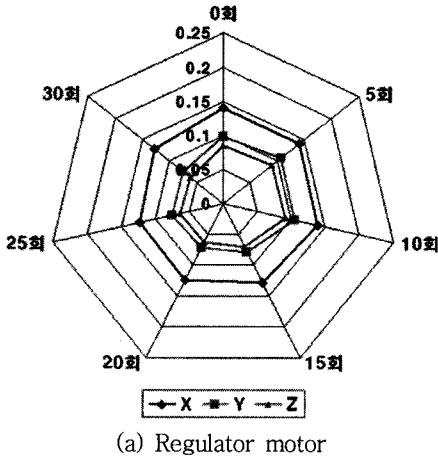


Fig. 5 Up-direction of glass (unit : g)

Fig. 6 Down-direction of glass (unit : g)

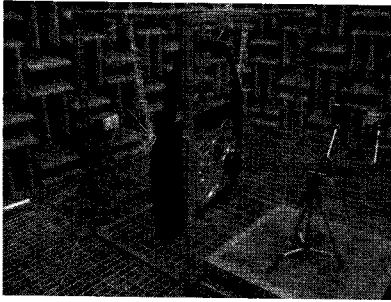
결과를 나타낸 것이다. 지면의 한계 상, 레귤레이터 모터 및 풀리 하단부의 결과만을 도시하였다. Fig. 5 및 Fig. 6을 통하여 윈도우 레귤레이터 모터의 성능 효율을 고려할 때, 약 15회 왕복 운동이 이루어진 이후에는 큰 진동레벨 변화 없이 일정한 수준을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이에 이 연구에서는 도어모듈의 가진원으로 작용하는 레귤레이터 모터의 가진특성 반응을 위하여 글래스 승/하강 15회 왕복 운동 후 데이터 측정이 이루어지는 시험모드를 선정하였다.

### 3. 모듈 플레이트 진동 및 소음측정 시험

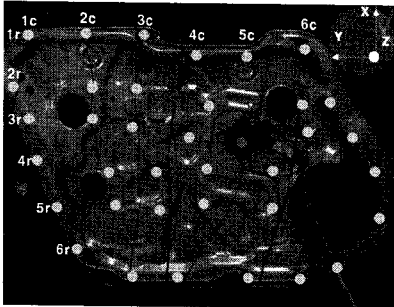
#### 3.1 시험 개요

선정되어진 글래스의 승/하강 15회 시험모드를 통하여 모듈 플레이트에서 발생 가능한 공진현상 및

이에 대한 설계 개선 프로세스 개발을 위하여 이 연구에서는 두 가지 측면에서 시험을 수행하였다. 첫 번째는 가진원에 대한 규명이며, 두 번째는 설계 개선안 도출을 위한 측면이다. 이러한 두 가지 측면을 고려하여 이 연구에서는 선정된 시험모드를 적용하여 무향실에서 글래스 작동음을 측정 한 후, 모듈 플레이트를 6×6(36개 노드) 어레이 형태로 구분하여 레귤레이터 모터부의 가진신호와 응답신호를 동시에 측정하였다. 시험의 진행은 가진신호 및 측정 노드의 한 행에 해당하는 6개 노드의 신호를 동시에 측정하였다. 이는 가진 및 응답에 대한 측정을 동기화시키기 위한 것이다. 각각의 측정지점은 3축 가속도계를 장착하여 병진운동방향의 3방향 진동을 모두 고려하였다. 소음측정은 가청주파수 영역을 고려하여 50 kHz의 샘플링 비율을 선정하였고, 진동신호는 5 kHz로 샘플링 비율을 선정하였다. 또한 한 행에



(a) Noise measurement set-up



(b) Node(6x6) for Vibration measurement

Fig. 7 Test set-up for noise & vibration signal

대한 측정이 이루어진 후, 레귤레이터 모터의 초기 상태 환원을 위하여 헨 쿨링을 통해 일정한 시험조건을 형성시켰다. 측정된 데이터는 Fig. 4와 같이 초기 및 말기 충격성분을 제외한 정상상태 영역에 대해서만 데이터 분석이 수행되어졌다. Fig. 7은 무향실에서의 소음측정 시험과 6x6 어레이 형태의 진동 측정 시험에 적용된 각 시험 노드를 보여주는 그림이다.

### 3.2 도어모듈 가진원의 규명

도어모듈 글래스의 승/하강 운동은 레귤레이터 모터의 회전에 의한 와이어의 병진운동으로 이루어진다. 따라서 모듈 플레이트에서 발생하는 진동 및 소음의 주요한 가진원은 레귤레이터 모터로 한정시킬 수 있게 된다. Fig. 8과 Fig. 9는 무향실에서 측정된 글래스 승강방향에 대한 작동음과 모듈 플레이트의 (1x3) 노드의 정상상태 영역에 대한 주파수 분석결과를 나타낸 것이다. 작동소음의 경우 레귤레이터 모터 회전주파수의 조화성분으로 구성되어 있으며, 실제 정음은 A가중합수가 적용된 형태이므로 8차 및 16차의 조화성분이 지배적 성분으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 모듈 플레이트에서의 진동

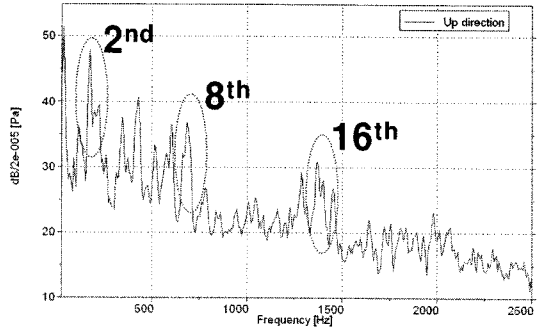


Fig. 8 Frequency analysis of glass operating noise

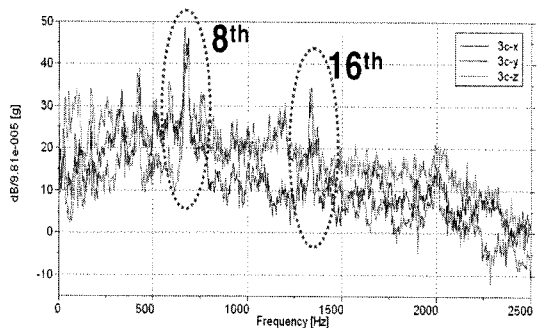


Fig. 9 Frequency analysis of vibration at (1x3) node

응답도 소음측정 결과와 동일하게 레귤레이터 모터 회전주파수의 8차 및 16차 성분이 주요한 응답인자로 작용하고 있다. 레귤레이터 모터의 회전주파수 성분은 실제 글래스 이동거리와 작동시간 및 윈도우 레귤레이터 풀리의 원주길이에 대한 실측 데이터를 통하여 식(1)과 같이 정의하여 확인할 수 있었다. 특히, 8차 및 16차에 해당하는 조화성분이 지배적인자로 작용하고 있는 것은 Fig. 10과 같이 레귤레이터 모터의 정류자(commutator) 및 회전자(rotor)가 총 8개의 부분으로 구성되어져, 모터 회전 시 이러한 회전성분이 가진성분으로 작용하고 있는 것으로 분석되어진다. 따라서 모듈 플레이트에 작용되는 주요한 가진원은 레귤레이터 모터의 회전주파수 성분이며, 특히 정류자 및 회전자 구성 파트수의 회전주파수 성분인 8차와 16차 성분이 가장 중요한 가진성분으로 규명되어졌다.

$$\text{회전주파수 성분} = \frac{\text{글래스승/하강 속도}}{\text{풀리 원주길이}} \quad (1)$$

× 평균여기어잇수

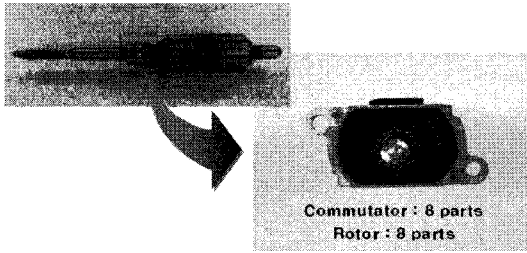


Fig. 10 Confirmation of excitation frequency

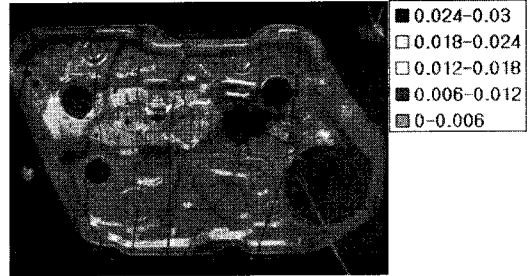


Fig. 11 Transfer path analysis using time-delay

### 3.3 모듈 플레이트 진동전달 경로 분석

시스템에 있어서 진동전달 경로의 분석은 가진원에 대한 시스템의 응답특성을 고찰하고, 응답특성을 개선하기 위한 요소지점 확보 등에 있어서 상당히 중요한 분석요소로 인식되어져 있다. 이에 따라 이 연구에서는 레귤레이터 모터의 가진에 대한 모듈 플레이트의 응답에 대한 전달경로를 분석해보았다. 일반적인 페루프 구조를 갖는 시스템의 경우 진동전달 경로는 직선상으로 표현이 가능하지만, 모듈 플레이트의 경우 일반 평면이기 때문에 이러한 분석에 상당한 어려움이 발생한다. 따라서 이 연구에서는 6×6 어레이 형태로 측정된 진동신호와 레귤레이터 모터의 가진신호에 대하여 상호상관함수(cross correlation function)를 이용한 시간지연추정법을 통해 진동 전달경로를 분석해보았다<sup>(7)</sup>.

일반적인 SISO(single input-single output) 시스템의 경우 입력  $x(t)$ 와 출력  $y(t)$ 에 대한 상호상관함수는 식 (2)와 같이 표현되어지며, 여기서  $\tau$ 는 두 신호간의 시간지연을 의미하게 된다. 이러한 상호상관함수에 의한 최대피크는 식 (3)과 같이 표현된다. 즉, 시간지연이 이루어진 입력의 자기상관함수(auto-correlation function)에 감쇠상수  $\alpha$ 가 포함된 형태로 나타낼 수 있다. 따라서 6×6 어레이 형태의 진동신호와 가진신호를 각각의 SISO 시스템으로 가정하여 각각에 대한 상호상관함수를 분석한다면 모듈 플레이트 내에서 발생하는 진동의 전달경로를 파악할 수 있게 된다.

$$R_{xy} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)y(t+\tau)dt \quad (2)$$

$$R_{xy}(\tau)_{peak} = R_{xy}(\tau_0) = \alpha R_{xx}(\tau_0) \quad (3)$$

Fig. 11은 모듈 플레이트에서의 진동전달경로 분석결과를 나타낸 것으로, 지면의 한계상 주진동방

향인 Z축의 글래스 하강 방향에 대한 전달경로만을 도시 하였다. 우측의 수치는 전달시간을 초단위로 나타낸 수치이다. 윈도우 레귤레이터의 경우, 모터부의 회전을 폴리와 와이어를 이용하여 글래스를 승/하강 시키며, 이러한 와이어와 폴리가 조립되어 있는 부분을 채널부로 정의하게 된다. 모듈 플레이트에서의 진동전달은 레귤레이터 모터를 중심으로 방사형태로 나아가고 있음을 확인할 수 있다. 또한 폴리 주변도 레귤레이터 모터와 동일한 가진효과에 의한 빠른 진동전달을 나타내고 있다. 이러한 현상은 레귤레이터 모터가 회전 시, 와이어를 통해 폴리를 직접 구동시키기 때문이다. 따라서 시간지연추정법을 이용한 진동 전달경로 분석을 통하여 가진원으로 작용하는 요소가 레귤레이터 모터 외에 채널부의 폴리도 동일한 작용을 하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 설계 개선안 개발 시, 플레이트 상에 모터와 폴리부가 동시에 고려되어져야 함을 의미한다.

### 3.4 모듈 플레이트 진동레벨 분석

도어 모듈에 대한 설계 개선안을 도출시키기 위해서는 플레이트 상에 발생한 진동이 어느 정도의 레벨로 발생하고 있는지를 확인하여야 한다. 이에 이 연구에서는 6×6 어레이형태로 측정된 진동신호를 바탕으로 모듈 플레이트를 총 36개 노드로 가정하여 진동레벨 분석을 수행하였다. 진동레벨의 분석은 측정된 신호의 정상상태 영역의 OA 레벨에 대한 RMS 값을 이용하였다.

Fig. 12는 모듈 플레이트에서의 진동레벨 분석결과를 나타낸 것으로, 지면의 한계상 주진동방향인 Z축의 승강방향에 대해서만 결과를 도시 하였다. 여기서 원점은 레귤레이터 모터의 위치를 나타내며, Fig. 7의 모듈 플레이트와 동일한 방향으로 분석한 결과이다. 결과에 도시한 Z축 외에 X와 Y축의 진동

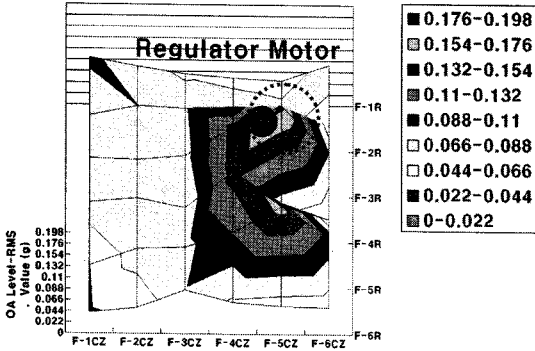


Fig. 12 Vibration Level analysis of each node

레벨을 분석한 결과, 주요한 진동레벨 발생영역은 플러그 홀, 핸들 브라켓 및 레귤레이터 모터 주변임을 확인할 수 있었다. 이는 가진원 근처 및 플러그 홀 등의 진동전달의 불연속이 발생하는 지점에서 상대적으로 큰 진동레벨이 발생하고 있음을 의미한다.

### 3.5 모듈 플레이트 주파수 대역별 기여도 분석

일반적으로 자동차 및 기계 시스템에서 발생한 진동 및 소음 문제를 해결하기 위해서는 가진원의 규명 및 전달경로, 그리고 진동이 발생하는 위치를 규명하는 것이 중요하다. 하지만 진동 및 소음문제 개선을 위한 시스템 변경은 어느 주파수 영역이 개선되어야 할지가 정의되어 있지 못하면 개선비용 및 시스템 개선을 위한 시간적 소모가 커지게 된다. 이에 따라 기여도 분석을 통해 각각의 주파수 대역이 시스템에 어느 정도의 기여를 갖고 있는지는 중요한 분석항목으로 인식되어져 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이다.

시스템의 기여도 분석은 관심 있는 노드의 가진에 대한 응답의 전달함수를 구하여 해석이 필요한 주파수대역에 대한 민감도 계산을 통하여 분석이 수행되기도 한다<sup>(8)</sup>. 하지만 모듈 플레이트의 경우 뚜렷한 전달경로 없이 방사형태의 전달경로를 갖기 때문에 이러한 기여도 분석법이 적용되기가 어려운 실정이다. 이에 이 연구에서는 Coherent 파워스펙트럼을 이용하여 주파수 대역에 기인한 각 6×6 노드에서의 주파수 기여도 분석을 수행하였다<sup>(9)</sup>. 일반적인 SISO 시스템에서 입력과 출력을 각각  $x(t) = u(t) + n(t)$  와  $y(t) = v(t) + m(t)$  의 정규신호와 노이즈 신호의 합으로 가정할 때, 이에 대한 자기상관 파워스펙트

럼은 아래의 식으로 표현이 가능하다.

$$G_{xx}(f) = G_{uu}(f) + G_{nn}(f), \tag{4}$$

$$G_{yy}(f) = G_{vv}(f) + G_{mm}(f)$$

여기서 상호상관 파워스펙트럼은 식 (5)와 같이 표현할 수 있으며, 두 입/출력 신호의 Coherence는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다. 또한 Coherence에 출력측의 파워스펙트럼을 곱한 형태는 식 (7)과 같이 표현이 가능하다.

$$G_{xy}(f) = G_{uv}(f) \tag{5}$$

$$\gamma_{xy}^2 = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \tag{6}$$

$$\gamma_{xy}^2 G_{yy}(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)} = \frac{|G_{uv}(f)|^2}{G_{xx}(f)} \tag{7}$$

식 (7)을 이용하여 최종적인 Coherent 파워스펙트럼은 식 (8)과 같은 형태로 나타낼 수 있다. 이러한 Coherent 파워스펙트럼은 식 (8)에서와 같이 입력측의 노이즈 성분과 출력측의 노이즈 성분을 최소한으로 줄일 수 있으며, 출력측 파워스펙트럼에 Coherence의 가중치가 곱해지는 형태이므로 SISO 시스템에서 주파수 대역별 기여도 분석에 적절히 활용이 가능하다.

$$\begin{aligned} \gamma_{xy}^2 G_{yy}(f) &= \frac{G_{vv}(f) \cdot G_{uu}(f)}{G_{uu}(f) + G_{nn}(f)} \\ &= \frac{G_{vv}(f)}{1 + \left( \frac{G_{nn}(f)}{G_{uu}(f)} \right)} \end{aligned} \tag{8}$$

이 연구에서는 전달경로 분석과 동일한 방법으로 각각의 노드와 가진점을 각각의 SISO 시스템으로 가정하여 이에 대한 시스템 응답분석을 통하여 주파수 대역별 기여도 분석을 수행하였다. Fig. 13은 모듈 플레이트에서의 주파수 대역별 기여도 분석결과를 나타낸 것으로, 지면의 한계 상 클래스 승강모드의 주진동방향인 Z축에 대해서만 결과를 도시하였다. 클래스 승강 시, 모듈 플레이트 상에서 2,000 Hz 이상의 주파수 대역은 기여도가 미미하게 발생하고 있으며, 전반적으로 레귤레이터 모터의 회전주파수

Table 2 Selected nodes for system modification

		Frequency Contribution												
		X dir.				Y dir.				Z dir.				
		2×2~ 3×2	4×3~ 5×3	3×4~ 5×4	4×2~ 5×2	3×3~ 4×3	4×4~ 5×4	2×3~ 3×3	3×5~ 4×5	4×4~ 5×4	3×5~ 4×5	5×2~ 6×2	5×3~ 6×3	3×4~ 5×4
Vib. Map.	2×2	■												
	2×3							■						
	4×2				■									
	3×3					■								
	3×5								■		■			■
5×1												■		

■ : Selected Node for SDM    ■ : Super position Node

성분의 8차 및 16차 성분이 가장 지배적인 진동현상의 기여도를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 50 dB 이상 높은 레벨의 진동은 (4×4)~(6×4), (3×5)~(4×5), (5×5)~(6×5), (3×6)~(4×6) 및 (5×6)~(6×6) 노드에서 가장 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 진동/소음 문제 개선을 위한 시스템 설계 변경은 이러한 위치에서 해당 주파수 대역의 진폭을 저감시킴으로써 얻어질 수 있게 된다.

4. 설계 개선안 도출

이 연구에서는 도어모듈의 소음 및 진동시험을 통하여 모듈 플레이트에 공진현상을 유발시킬 수 있는 가진원을 규명하고, 모드정보를 확보한 후, 모듈 플레이트 내에서 진동전달 경로와 진동레벨 및 주파수 대역별 기여도분석을 수행하였다. 이를 통하여 과대 진동 혹은 공진현상을 회피할 수 있는 설계 변경지점을 확보하였다. Table 2는 각 분석항목을 통해 설계 변경이 필요한 요소지점을 나타낸 것이다.

Table 2의 각 과진동 영역과 주파수 기여도가 높은 지점의 상관성을 통하여 최종적으로 3개의 요소지점을 선정하였다. 이 연구에서는 이러한 요소지점의 설계 변경을 통하여 발생 가능한 공진회피의 신뢰성을 LMS社 Test. Lab의 SDM(structural dynamic modification) 분석을 통하여 검증하였다. Fig. 14는 도어 시스템의 모드 모델을 이용하여 각 요소지점과 가장 근접한 위치에 각각 0.5, 0.6, 0.7 kg의 질량을 부가한 상태를 나타낸 것이다. 이를 통하여 Table 1의 공진주파수 대역 중, 레귤레이터 모터의 8차 회전주파수 성분과 공진을 유발시킬 수 있는 10차 및 14차 공진주파수 대역을 예측해 본 결

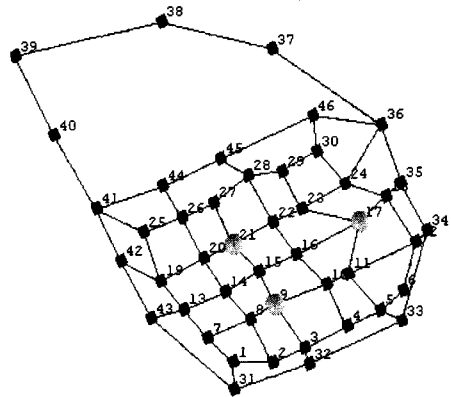


Fig. 14 Modified model for SDM analysis

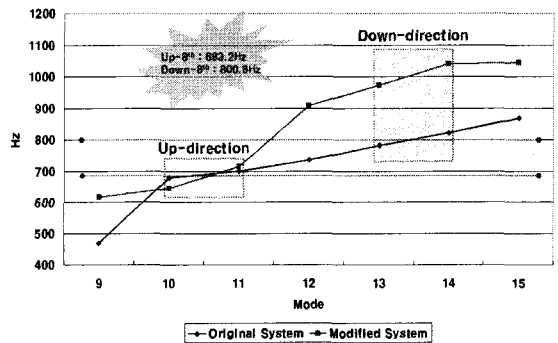


Fig. 15 Result of system modification

과 Fig. 15와 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 15에서 점선으로 표기된 두 지점은 글래스 승/하강에 따라 공진을 유발시킬 수 있는 레귤레이터 모터의 8차 회전주파수 성분이 존재하는 영역으로써, 모델 수정 이전대비 두 공진 예상부근의 주파수 대역이 완벽하게 회피되어져 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 이 연구를 통하여 얻어진 도어모듈의 동특성



분석과 공진회피를 위한 다양한 실험결과의 적용 가능성이 확인할 수 있었다.

### 5. 결 론

이 연구에서는 자동차 도어모듈에 대하여 레귤레이터 모터의 가진에 의해 모듈 플레이트에서 발생하는 진동/소음의 평가 및 공진현상 회피와 설계 개선안 도출을 위한 프로세스를 정립하였다. 또한 정립된 프로세스를 정립하고, 정립된 프로세스를 통하여 SUV 차량에 적용되는 도어모듈에 대하여 도어모듈의 동특성을 평가하고, 6×6 어레이 형태의 진동측정을 통하여 발생 가능한 공진현상을 예측하였으며 예측된 공진현상을 회피할 수 있는 설계 요소지점을 확보하였다. 또한 확보된 설계 요소지점의 신뢰성을 검증하기 위하여 SDM 분석을 수행하여 공진현상 회피의 가능성을 확인하였다.

### 후 기

이 연구는 한국부품소재산업진흥원에서 주관하는 부품소재종합기술지원사업의 지원 하에 수행되었으며, 이에 관계자분들에게 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

(1) Jeong, J. W., 1999, "The Trend and Prospect regarding Module of Vehicle Parts", Hyundai Research Institute Report, Vol. 99~11.

(2) GM Worldwide Engineering Standards, 2005, "Customer Actuated Sound Vehicle Level Evaluation Procedure", GMW 14055.

(3) Gregor Koners, 2003, "Panel Noise Contribution Analysis: An Experimental Method for Determining the Noise Contributions of Panels to an Interior Noise", SAE, 2003-01-1410.

(4) Kil, H. G., Lee, B. C., Hong, S. Y., Park, Y. H. and Seo, S. H., 2005, "Experimental Study On the Energy Flow Analysis of Vibration of an Automobile Door", SAE 2005-01-2323.

(5) Bae, C. Y., Kim, W. S., Kim, C. J., Lee, B. H., Jang, W. S. and Mo, Y. C., 2007, "A Study on the Dynamic Characteristics of Door Module Plate", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 9, pp. 583~861.

(6) LMS社 Tutorial Guide, 2005.

(7) Julius S. Bendat and Allan G. Piersol, 1993, "Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis", Wiley Interscience.

(8) Kim, C. J., Lee, B. H. and Kim, K. H., 2005, "Contribution Analysis on a Sub-frame of Vehicle", Proceedings of the KSNVE Autumn Conference, pp. 155~158.

(9) Matthew Harrison, 2004, "Vehicle Refinement : Controlling Noise and Vibration in Road Vehicle", SAE.