

자동차용 모듈화 도어의 동특성 평가 시험법 개발

The Development of Evaluation Process for Dynamic Characteristics of Door Module

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

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 evaluation 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 6x6 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. 서론

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. 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, 외부판넬(outer panel)과 내부트림(inner trim) 사이에 모듈 플레이트를 구성하여, 모듈 플레이트에 윈도우 레귤레이터, 래치, 스피커 등 다양한 구성품을 집적 시킴으로써 조립 효율성과 원가절감에 대한 효과를 거두고 있다. 하지만 이러한 도어모듈화 부품의 소음 및 진동 측면에 대한 표준화된 평가기술은 현저히 부족한 상황이며, 각 업체별로 개발환경에 부합하는 각각의 평가기술을 보유하고 있는 상황이다. 미국 GM社의 경우 도어 모듈의 글래스 작동에 대하여 정상상태영역에서 ISO 532B에 근거한 라우드니스(loudness) 음질분석을 통하여 발생소음에 대한 평가를 수행하고 있다.⁽¹⁾ 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 있다.⁽²⁾ 이러한 다양한 연구들은 전체 차량을 중심으로 한 거시적인 연구에 방향이 맞추어져 있으며, 도

† 자동차부품연구원 에너지부품연구센터
E-mail : cybae@katech.re.kr
Tel : (041) 559-3339, Fax : (041) 559-3070

* 자동차부품연구원 에너지부품연구센터

** 대동하이텍스 기술연구소

*** 기아자동차 기능시험3팀

어 모듈 단품상태에서 발생 가능한 진동/소음 관련한 품질 문제에 적용하기 위한 실제적인 평가 프로세스의 개발은 활성화 되어있지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 모듈 플레이트에서 레귤레이터 작동 중 발생할 수 있는 진동/소음에 대한 동특성 및 발생가능한 공진현상의 가진원을 규명한 후, 이를 설계개선에 반영할 수 있는 도어 모듈의 동특성 평가 시험법을 제시하였다.

2. 도어모듈 동특성 평가

2.1 시험대상 선정 및 계측장비의 구성

본 연구를 위해 선정되어진 도어모듈은 국내 대형 SUV에 적용 적용되어지는 운전석측 실드 도어모듈(Sealed Door Module)으로써 이에 대한 형상은 Fig. 1과 같다. 실드 도어 모듈의 동특성 평가는 윈도우 레귤레이터 모터에 의한 글래스 승/하강의 직선운동과 회전운동에 연성된 동특성을 갖게 되므로 개발 초기에 다양한 동적 특성에 대한 연구와 도어 모듈의 진동 및 소음의 가진원으로 작용하는 윈도우 레귤레이터 모터에 대한 동특성 분석이 이루어져야만 한다.

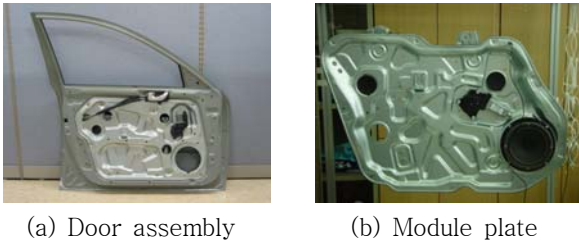


Fig. 1 Front door module for SUV

본 연구에서는 앞서 언급한 도어모듈의 동특성 평가를 위하여 기 수행되어진 연구결과를⁽³⁾ 바탕으로 총 세 단계의 평가 프로세스를 개발하였다. 첫 번째 단계는 도어모듈의 모달정보 수집을 위한 실험적 모달해석이며, 두 번째 단계는 시험모드 선정에 위한 진동 측정시험이다. 마지막 단계는 선정된 시험모드를 통하여 도어의 동특성 평가 및 설계 개선안 도출을 위한 6x6 어레이 형태의 모듈 플레이트 진동측정 시험이다. 이러한 실험적 연구는 LMS社 Pimento를 이용하여 데이터 측정이 이루어졌으며, 샘플링은 관심주파수 영역과 발생가능한 조화성분의 주파수 대역을 고려하여 5kHz로 선정하였다. 또한 각각의 신호는 3축 가속도계를 이용하여 세 가지 병진운동방향의 좌표를 모두 고려하였다.

2.2 실험적 모달해석

실험적 모달해석은 도어 어셈블리 상태에 대하여 수행되었으며, 총 46개 노드로 도어시스템의 형상을 구현하였다. 도어 모듈의 자체적인 모달변수 추출을 위하여 자유경계조

건 하에서 수행되었으며, Fig. 2는 도어모듈의 모달 모델 및 측정좌표를 나타낸다. Table 1은 도어모듈 어셈블리에 대한 실험적 모달해석 결과를 나타낸 것이다. 도어 시스템의 경우 저주파 영역에서 고주파 영역까지 고른 공진주파수 대역을 포함하고 있기 때문에 모듈 플레이트 내에 1,000Hz 미만의 가진원이 작용할 경우 다양한 공진문제가 발생할 수 있음을 예측 할 수 있다.

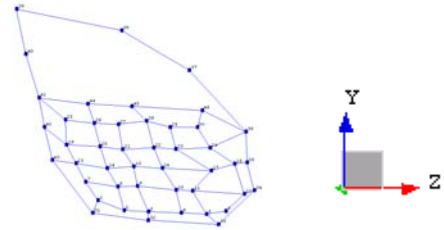


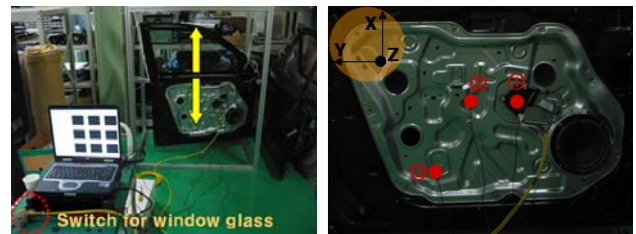
Fig. 2 Modal model for door module assembly

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

2.3 시험모드 선정 시험

일반적으로 윈도우 레귤레이터 모터의 경우 사용 빈도수가 증가할수록 성능효율이 상당히 저하되는 경향을 나타내기 때문에 이에 대한 실험적 보정이 반드시 필요하게 된다. 이러한 실험적 보정은 도어모듈의 진동측정 시, 발생 가능한 최적의 가진특성을 찾기 위해서이다.⁽³⁾



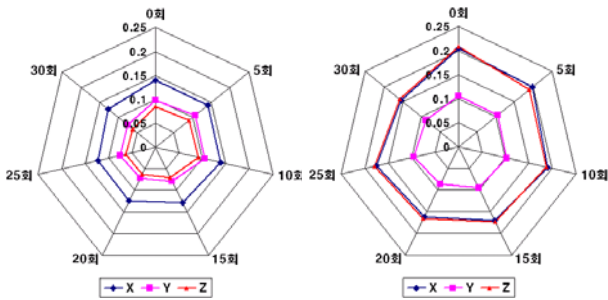
(a) Test Condition (b) Measurement Positions

Fig. 3 Test setup

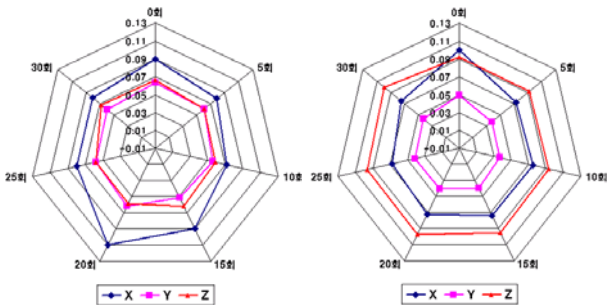
시험모드 선정 시험은 Fig. 3과 같이 글래스 승/하강 시 동적인 기여가 클 것으로 예상되는 레귤레이터 모터부, 플레이트 중앙부 및 와이어 폴리 하단부를 측정지점으로 선정

하였으며, 레귤레이터 모터의 효율성을 고려하기 위하여 글래스를 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30회씩의 왕복운동을 수행한 후 이에 대한 진동신호를 측정하였다.

일반적으로 글래스 승/하강 시 발생하는 진동신호의 형태는 초기 구동충격 성분과 글래스가 이동하는 정상상태 그리고 글래스 구동이 멈출 때 발생하는 충격성분으로 나누어진다. 이에 본 연구에서는 시간영역 응답에 대하여 양단 충격 성분을 제외한 정상상태의 동적구간에 대한 OA 레벨의 RMS값을 통하여 시험모드를 선정하였다.⁽²⁾ Fig. 4~5는 시험모드 선정을 위한 진동측정 시험의 결과를 나타낸 것이다. 지면의 한계 상, 레귤레이터 모터 및 풀리 하단부의 결과만을 도시하였다. Fig. 4~5를 통하여 윈도우 레귤레이터 모터의 성능효율을 고려할 때, 약 15회 왕복 운동이 이루어진 이후에는 큰 진동레벨 변화 없이 일정한 수준을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이에 본 연구에서는 도어모듈의 가진원으로 작용하는 레귤레이터 모터의 가진특성을 정확히 반영하기 위하여 글래스 승/하강 15회 왕복운동 후 데이터 측정이 이루어지는 시험모드를 선정하였다.



(a) Regulator motor
(b) Pulley
Fig. 4 Result at up-dir. of glass



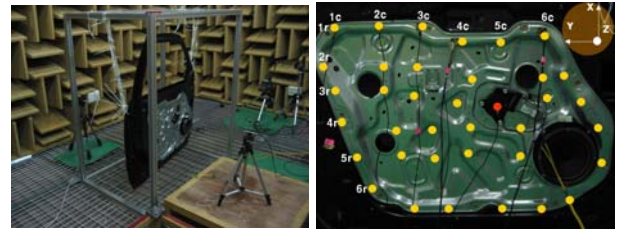
(a) Regulator motor
(b) Pulley
Fig. 5 Result at down-dir. of glass

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 본 연구에서는 두 가지 측면

에서 시험을 수행하였다. 첫 번째는 가진원에 대한 규명이며, 두 번째는 설계 개선안 도출을 위한 측면이다. 이러한 두 가지 측면을 고려하여 본 연구에서는 선정된 시험모드를 적용하여 무향실에서 글래스 작동음을 측정할 후, 모듈 플레이트를 6x6(36개 노드) 어레이 형태로 구분하여 레귤레이터 모터부의 가진신호와 응답신호를 동시에 측정하였다. 시험의 진행은 가속도계의 보유수를 고려하여 가진신호 및 한 행에 해당하는 6개 요소의 신호를 동시에 측정하였다. 이는 가진 및 응답에 대한 측정신호를 동기화시키기 위해 구성한 시험방법이다. 데이터의 분석은 앞 절과 동일하게 정상상태 영역에서만 데이터 분석이 수행되어졌다. Fig. 6은 무향실에서의 소음측정 시험과 6x6 어레이 형태의 진동측정 시험에 적용된 시험 노드를 보여주고 있다.



(a) Noise measurement
(b) Node(6x6) for Vibration measurement
Fig. 6 Test set-up for noise & vibration signal

3.2 도어모듈 가진원의 규명

도어모듈 글래스의 승/하강 운동은 레귤레이터 모터의 회전력에 의한 와이어의 병진운동으로 이루어진다. 따라서 모듈 플레이트에서 발생하는 진동 및 소음의 주요한 가진원은 레귤레이터 모터로 한정 시킬 수 있게 된다. Fig. 7과 Fig. 8은 무향실에서 측정된 글래스 작동음과 모듈 플레이트의 (1x3) 노드의 정상상태 영역에 대한 주파수 분석결과를 나타낸 것이다. 작동소음의 경우 레귤레이터 모터 회전주파수의 조화성분으로 구성되어 있으며, 실제 청음은 A가중합수가 적용된 형태이므로 8차 및 16차의 조화성분이 지배적 성분으로 작용하고 있음을 알 수 있다. 또한 모듈 플레이트에서의 진동응답도 소음측정 결과와 동일하게 레귤레이터 모터 회전주파수의 8차 및 16차 성분이 주요한 응답인자로 작용하고 있다. 레귤레이터 모터의 회전주파수 성분은 실측된 데이터를 통하여 식 (1)과 같은 관계식을 통하여 확인할 수 있었다. 특히, 8차 및 16차에 해당하는 조화성분이 지배적 인자로 작용하고 있는 것은 Fig. 9와 같이 레귤레이터 모터의 정류자 및 회전자가 총 8개의 부분으로 구성되어, 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.

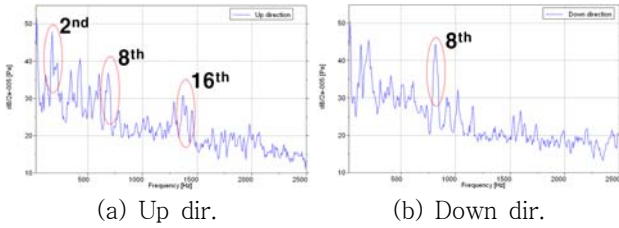


Fig. 7 Frequency analysis of glass operating noise

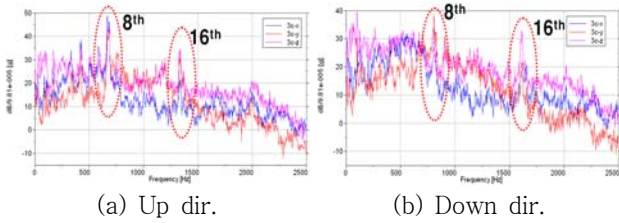


Fig. 8 Frequency analysis of vibration at (1x3) node

$$\text{회전주파수 성분} = \frac{\text{글래스 승/하강 속도}}{\text{폴리 원주길이}} \times \text{평기어 기어잇수} \quad (1)$$



Fig. 9 Confirmation of excitation frequency

3.3 모듈 플레이트 진동레벨 분석

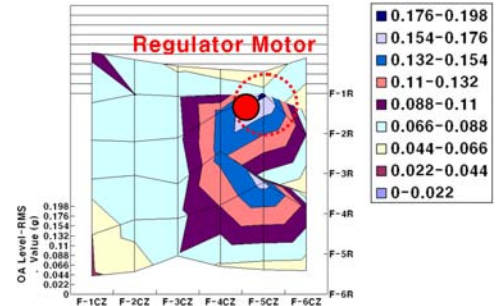
도어 모듈에 대한 설계 개선안을 도출시키기 위해서는 플레이트 상에 발생한 진동이 어느 정도의 레벨로 발생하고 있는지를 확인하여야 한다. 이에 본 연구에서는 6x6 어레이 형태로 측정된 진동신호를 바탕으로 각 측정된 신호의 정상 상태 영역의 OA 레벨에 대한 진동레벨 분석을 수행하였다.

Fig. 10은 모듈 플레이트에서의 진동레벨 분석결과를 나타낸 것으로, 지면의 한계상 주진동방향인 Z축에 대해서만 결과를 도시 하였다. 여기서 붉은 원점은 레귤레이터 모터의 위치를 나타내며, Fig. 6의 모듈 플레이트와 동일한 방향으로 분석한 결과이다. 결과에 도시한 Z축 외에 X와 Y축의 진동레벨을 분석한 결과, 주요한 진동레벨 발생영역은 플러그 홀, 핸들 브라켓 및 레귤레이터 모터 주변임을 확인할 수 있었다. 이는 가진원 근처 및 플러그 홀 등의 진동 전달의 불연속이 발생하는 지점에서 상대적으로 큰 진동레벨이 발생하고 있음을 의미한다.

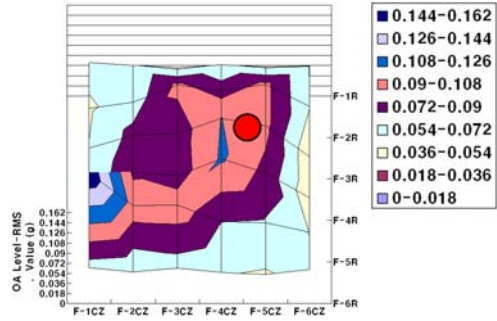
3.4 모듈 플레이트 주파수 기여도 분석

일반적으로 진동 및 소음문제 개선을 위한 시스템 변경은 어느 주파수 영역이 개선되어야 할지가 정의되어 있지 못하

면 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.



(a) Up dir.



(b) Down dir.

Fig. 10 Vibration level analysis of each node

시스템의 기여도 분석은 관심 있는 노드의 가진에 대한 응답의 전달함수를 구하여 해석이 필요한 주파수대역에 대한 민감도 계산을 통하여 분석이 수행되기도 한다.⁽⁴⁾ 하지만 모듈 플레이트의 경우 뚜렷한 전달경로 없이 방사형태의 전달경로를 갖기 때문에 이러한 기여도 분석법이 적용되기 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 Coherent 파워 스펙트럼을 이용하여 주파수 대역에 기인한 각 6x6 노드에서의 주파수 기여도 분석을 수행하였다.⁽⁵⁾ 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 파워스펙트럼은 아래의 식으로 표현이 가능하다.

$$\begin{aligned} G_{xx}(f) &= G_{uu}(f) + G_{nn}(f), \\ G_{yy}(f) &= G_{vv}(f) + G_{mm}(f) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 상호상관 파워스펙트럼은 식 (3)과 같이 표현할 수 있으며, 두 입/출력 신호의 Coherence는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. 또한 Coherence에 출력측의 파워스펙트럼을 곱한 형태는 식 (5)과 같이 표현이 가능하다.

$$G_{xy}(f) = G_{uv}(f) \quad (3)$$

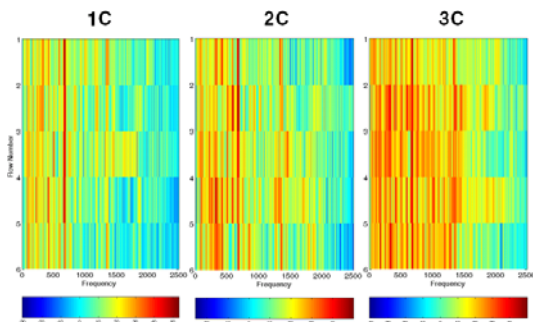
$$\gamma_{xy}^2 = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \quad (4)$$

$$\gamma_{xy}^2 G_{yy}(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)} = \frac{|G_{uv}(f)|^2}{G_{xx}(f)} \quad (5)$$

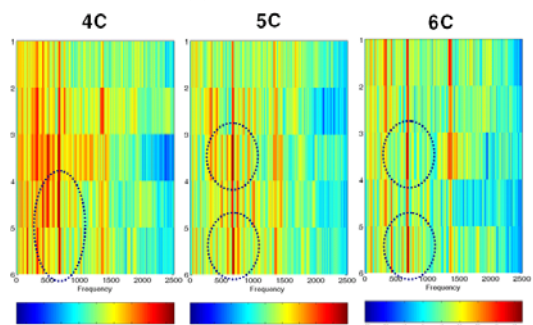
식 (5)를 이용하여 최종적인 Coherent 파워스펙트럼은 식 (6)과 같은 형태로 나타낼 수 있다. 이러한 Coherent 파워스펙트럼은 입력측의 노이즈성분을 최소한으로 줄일 수 있으며, 출력측 파워스펙트럼에 Coherence의 가중치가 곱해지는 형태이므로 SISO 시스템에서 주파수 대역별 기여도 분석에 적절히 활용이 가능하다.

$$\gamma_{xy}^2 G_{yy}(f) = \frac{G_{vv}(f) \cdot G_{uu}(f)}{G_{uu}(f) + G_{nn}(f)} = \frac{G_{vv}(f)}{1 + \left(\frac{G_{nn}(f)}{G_{uu}(f)} \right)} \quad (6)$$

본 연구에서는 모듈 플레이트의 각각 노드와 가진점을 각각의 SISO 시스템으로 가정하여 이에 대한 시스템 응답분석을 통하여 주파수 대역별 기여도 분석을 수행하였다.



(a) 1~3 column



(b) 4~6 column

Fig. 11 Contribution analysis by frequency band

Fig. 11은 모듈 플레이트의 주진동방향인 Z축에 대하여 주파수 대역별 기여도 분석결과를 나타낸 것이다. 글래스 승강 시, 모듈 플레이트 상에서 2,000Hz 이상의 주파수 대역은 기여도가 미미하게 발생하고 있으며, 전반적으로 레귤레이터 모터의 회전주파수 성분의 8차 및 16차 성분이 가

장 지배적인 진동현상의 기여도를 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 특히 50dB 이상 높은 레벨의 진동은 (4x4)~(6x4), (3x5)~(4x5), (5x5)~(6x5), (3x6)~(4x6) 및 (5x6)~(6x6) 노드에서 가장 크게 발생하고 있음을 알 수 있다. 따라서 진동/소음 문제 개선을 위한 시스템 설계 변경은 이러한 위치에서 해당 주파수 대역을 저감시킴으로써 얻어질 수 있게 된다.

4. 설계 개선안 도출

본 연구에서는 도어모듈의 소음 및 진동시험을 통하여 모듈 플레이트에 공진현상을 유발시킬 수 있는 가진원을 규명하고, 모달정보를 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 2 Selected nodes for system modification

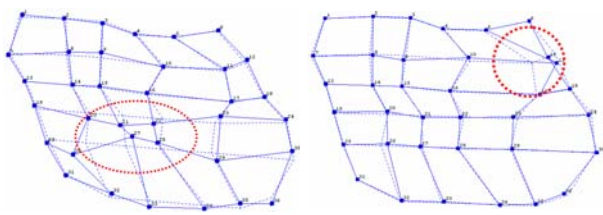
	Frequency Contribution													
	X dir.				Y dir.				Z dir.					
	2x2 3x2	4x3 5x3	3x4 5x4	4x2 5x2	3x3 4x3	4x4 5x4	2x3 3x3	3x5 4x5	4x4 5x4	3x5 4x5	5x2 6x2	5x3 6x3	3x4 5x4	2x5 4x5
Vib. Map	2x2													
	2x3													
	4x2													
	3x3													
	3x5													
	5x1													
	5x3													

Selected Node for SDM Superposition Node

Table 2의 각 과대진동 영역과 주파수 기여도가 높은 지점의 상관성을 통하여 최종적으로 3개의 요소지점이 선정되었다. 본 연구에서는 선정된 요소지점의 타당성을 확인하기 위하여 36개 진동측정 노드에 대한 ODS(Operational Deflection Shape)분석을 수행하였다. ODS 분석은 LMS社 Test. Lab을 이용하여 측정된 각 노드에 대하여 가진신호에 대한 상호파워스펙트럼의 진폭 및 위상정보를 통하여 분석되었다. Fig. 12는 글래스 승/하강의 8차 회전주파수 성분에 대응하는 ODS 분석결과를 나타낸다. Fig. 12에서와 같이 글래스 승/하강 시 발생하는 8차 회전주파수 성분의 가진에 대한 실제 모듈플레이트의 거동의 진폭이 가장 큰 위치는 Table 2에서 선정되어진 설계변경 요소지점과 정확히 일치함을 나타내고 있다.

본 연구에서는 진동측정 시험 및 ODS분석을 통해 얻어진 설계변경 요소지점의 발생 가능한 공진회피안을 LMS社 Test. Lab의 SDM(structural dynamic modification) 분석을 통하여 예측해 보았다. Fig. 13은 도어 어셈블리 상태의 모달모델을 이용하여 각 요소지점과 가장 근접한 위치에

각각 0.5, 0.6, 0.7kg의 질량을 부과한 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 결과 Fig. 4.2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 14에서 푸른색 표기영역은 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 양상을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구를 통하여 얻어진 도어모듈의 동특성 분석과 공진회피를 위한 다양한 실험결과의 적용 가능성이 확인되었다.



(a) Down direction of glass at 678.1 Hz (b) Up direction of glass at 812.3 Hz

Fig. 12 Result of ODS analysis

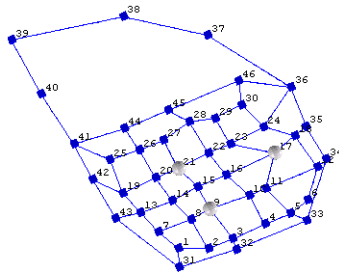


Fig. 13 Modified model for SDM analysis

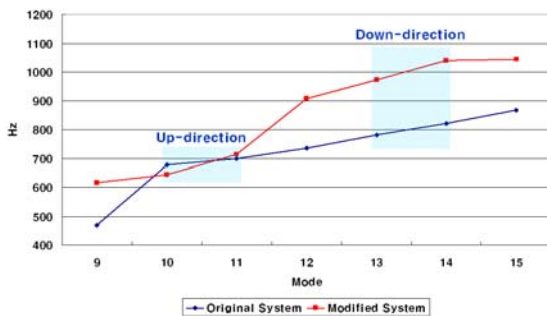


Fig. 14 Result of system modification

5. 결 론

본 연구에서는 자동차 도어모듈에 대하여 레귤레이터 모터의 가진에 의해 모듈 플레이트에서 발생하는 진동 및 소

음의 평가 및 공진현상 회피를 위한 설계 개선안 도출을 위한 동특성 평가 프로세스를 정립하고, 정립된 프로세스를 통하여 SUV 차량에 적용되는 도어모듈에 대하여 도어모듈의 동특성을 평가하고, 6x6 어레이 형태의 진동측정을 통하여 발생 가능한 공진현상을 예측하였으며 예측된 공진현상을 회피할 수 있는 설계 요소지점을 확보하였다. 또한 확보된 설계 요소지점을 ODS 분석을 통하여 실제 거동에 따른 신뢰성을 검증하였으며, 검증되어진 설계변경 요소지점에 대한 SDM 분석을 수행하여 공진현상 회피의 가능성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국부품소재산업진흥원에서 주관하는 부품소재전문기업기술지원사업의 지원 하에 수행되었으며, 이에 관계자분들에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) GM Worldwide Engineering Standards, 2005, "Customer Actuated Sound Vehicle Level Evaluation Procedure", GMW 14055.
- (2) 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.
- (3) 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", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, KSNVE07S-26-06.
- (4) 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.
- (5) Matthew Harrison, 2004, "Vehicle Refinement : Controlling Noise and Vibration in Road Vehicle", SAE.