

# 도어 모듈 플레이트의 동특성 분석에 관한 연구

## A Study on the Dynamic Characteristics of Door Module Plate

배철용†·김완수\*·김찬중\*·이봉현\*·장운성\*\*·모유철\*\*

Chul-Yong Bae, Wan-Su Kim, Chan-Jung Kim, Bong-Hyun Lee, Woon-Sung Jang, Yu-Chul Mo

**Key Words** : Shield Door Module(실드 도어모듈), Regulator Motor(레귤레이터 모터), Plastic Module Plate(플라스틱 모듈 플레이트), Steel Module Plate(스틸 모듈 플레이트).

### ABSTRACT

Currently, automotive industries improve the vehicle performance and reduce the development period of vehicle using each module part for the high quality and performance of vehicles. However each component part doesn't generate the noise and vibration problems, sometime these problems are generated on the assembly status between vehicle chassis frame and each module part. On this study, in order to analysis the dynamic characteristics of a shield door module that is a typical module part of vehicles, the acquisition and evaluation process about the vibration and noise of shield door module is developed. Also the possibility to apply to shield door module of the developed process is verified by the comparison with the dynamic characteristics between plastic and steel module plate.

### 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, 외부트림(Outer trim)과 내부트림(Inner trim) 사이에

모듈 플레이트를 구성하여, 모듈 플레이트에 윈도우 레귤레이터 시스템, 래치 시스템, 스피커 등 다양한 구성품을 집적시킴으로써 조립 효율성과 원가절감에 대한 효과를 거두고 있다.

특히 근래 도어관련 선진업체의 경우 모듈플레이트를 스틸재질에서 플라스틱 재질로 변경함으로써, 중량감소와 공정의 효율성을 극대화 시키면서 소음과 진동 측면의 흡음 및 흡진 성능을 향상시킨 제품을 개발하여 양산차종에 적용하고 있는 추세이다. 하지만 이러한 도어모듈화 부품의 소음 및 진동 측면에 대한 표준화된 평가기술은 현재까지 부족한 상황이며, 각 업체별로 개발환경에 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 관벨에 대하여 TPA (Transfer Path Analysis) 분석기법을 통한 기여도 분석을 수행하여 차량 실내에서

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

\* 자동차부품연구원 에너지부품연구센터

\*\* 대동하이텍스 기술연구소

발생하는 소음의 관심주파수 영역에서 판넬 설계 요소지점을 획득한 바 있으며,<sup>[3]</sup> 이외 도어의 외부트림 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 등에 대한 품질문제에 적용하기 위한 실제적인 진동/소음 평가와 관련된 기술개발은 활성화 되어있지 않다.

이에 본 연구에서는 도어모듈의 핵심이 되는 모듈 플레이트에서 레귤레이터 작동 중 발생할 수 있는 진동 및 소음에 대한 동특성 규명 및 이에 대한 평가기술 개발을 위한 첫 단계로써 레귤레이터 모터 구동에 따른 모듈 플레이트의 진동/소음 측정 및 분석 프로세스를 개발하였다. 또한 개발된 평가 프로세스를 통하여 스틸 도어모듈 플레이트와 플라스틱 도어모듈 플레이트에 대한 실험적 연구를 통하여 이에 대한 효율성과 각 도어모듈의 동특성 평가를 수행하였다.

## 2. 실드 도어 모듈 동특성 평가

### 2.1 시험대상의 선정

본 연구를 위해 선정되어진 도어모듈은 국내 중형차량에 적용되어지는 실드 도어모듈(Sealed Door Module)으로써 이에 대한 형상은 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)는 모듈 플레이트가 스틸재질로 이루어진 제품이며, Fig. 1(b)는 모듈 플레이트가 플라스틱 재질로 이루어진 제품으로써 이외의 구성부품은 두 도어간 동일하게 구성되어져 있다. Table 1은 두 도어모듈간 적용된 각 단품의 특성을 나타낸다. 플라스틱 모듈 플레이트가 스틸 모듈 플레이트 대비 약 24%의 중량 감소 효과가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다.



(a) Steel Door Module

(b) Plastic Door Module

Fig. 1 Configuration of each Sealed Door Module

Table 1 Specification of each part

Module Plate	
	
Plastic Module Plate Regulator : Dual Rail Weight : 2.3kg	Plastic Module Plate Regulator : Dual Rail Weight : 1.86kg
Window Regulator Motor	
	
Manufacturer : A Co. Driving Gear Type : Worm Gear Type	Manufacturer : K Co. Driving Gear Type : Worm Gear Type
Outer Trim	
	
Weight : 15.8kg	Weight : 16.6kg

### 2.2 동특성 시험항목 선정

실드 도어 모듈의 동특성 평가항목은 Table 2와 같다. 실드 도어모듈은 레귤레이터 모터에 의한 글래스 승/하강의 직선운동과 회전운동에 연성된 동특성을 갖게 되므로, 개발 초기에 다양한 동적특성에 대한 연구가 이루어져야 한다. 따라서 실드 도어모듈의 동특성 정보 중, 가장 기본적인 정보로 모달정보 수집을 위하여 전체 도어시스템 및 각 단품에 대한 실험적 모달해석을 수행하였다. 또한 도어 모듈 자체적으로 진동 및 소음의 가진원으로 작용하는 것은 윈도우 레귤레이터 모터이므로, 이러한 가진원이 작용하는 상황에서의 진동과 소음을 측정하여 도어모듈의 동특성을 분석하였다. 특히, 레귤레이터 모터의 경우 사용되는 반복 운동수가 많아질수록 성능효율이 상당히 저하되는 경향을 나타내기 때문에 이에 대한 실험적 보정이 반드시 필요하게 된다. 이러한 실험적 보정은 도어모듈에서 발생할 수 있는 가진원의 악조건을 형성하여, 발생 가능한 최대의 진동레벨을 형성하기 위해서이다.

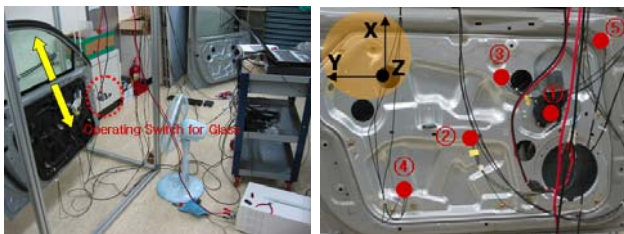
Table 2 Information of Test Items

Test Item	Description
Experimental Modal Analysis	To Acquire Modal Parameters
Test Mode Selection	To Consider the Efficiency of Regulator Motor
Vibration & Noise Acquisition	To Analyze Dynamic Characteristics

### 2.3 계측장비의 구성 및 측정

본 연구 수행을 위한 실험은 LMS社 Pimento<sup>[5]</sup>를 이용하였으며, 실험적 모달해석은 도어모듈 자체적인 모달변수 추출을 위하여 자유경계조건(Free-Free Condition)하에 수행되었다. 특히, 전체 도어시스템 및 도어모듈을 구성하는 각 단품에 대한 모달시험을 수행하여 추출된 각 모달변수에 대한 비교검증을 수행하였다.

모듈 플레이트의 진동 및 소음 측정은 윈도우 레귤레이터 모터의 성능효율을 고려하기 위하여 Fig. 2와 같이 총 5개 요소에 가속도계를 장착하여 시험모드 선정 시험을 수행하였다. 측정된 각 요소는 ①번부터 순서대로 레귤레이터 모터의 가진원과 모듈 플레이트 상에서 동적인 기여가 가장 클 것으로 예측되는 모듈 플레이트 중앙부, 폴리 상/하단부 및 글래스 런의 하단 외부 트림부를 선정하여 가속도계를 장착하였다. 시험모드의 선정은 윈도우 레귤레이터 모터의 효율성을 고려하는 것이 가장 중요하기 때문에 윈도우 레귤레이터 모터를 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30회씩의 왕복운동을 수행한 후 글래스의 승강 및 하강 방향에 따라 진동 신호를 측정하여 결과를 분석하였다. 각 시험케이스의 글래스 왕복운동 후에는 레귤레이터 모터에 발열현상이 발생하기 때문에, 초기의 레귤레이터 모터조건을 조성하기 위하여 팬 쿨링을 통하여 초기 상태로 환원시킨 후 시험을 진행하였다. 본 시험을 통하여 선정된 시험모드는 각 도어모듈에 적용되어 레귤레이터 모터 구동 시, 발생하는 진동과 소음을 측정하였으며, 진동신호는 5kHz, 소음신호는 50kHz로 샘플링하여 레귤레이터 모터 구동에 의해 발생가능한 모든 조화성분을 고려하였다. 특히 소음신호의 측정은 외부 소음 유입의 차단을 위하여 무향실에서 시험을 수행하였다.



(a) Test Condition (b) Measurement Positions

Fig. 2 Test Setup

## 3. 실드 도어모듈 동특성 평가결과 분석

### 3.1 실험적 모달해석 결과분석

Fig. 3은 실험적 모달 해석을 위해 구성되어진 실드 도어 모듈 및 모듈 플레이트 등에 대한 모달모델을 나타내고, Table 3~4는 도어 모듈 및 각 단품에 대한 모달시험 결과를 나타낸다. 외부 트림의 경우 스틸 및 플라스틱 도어모듈이 웨더 스트립 유/무만의 차이밖에 없기 때문에 한 번의 시험을 수행하였다.

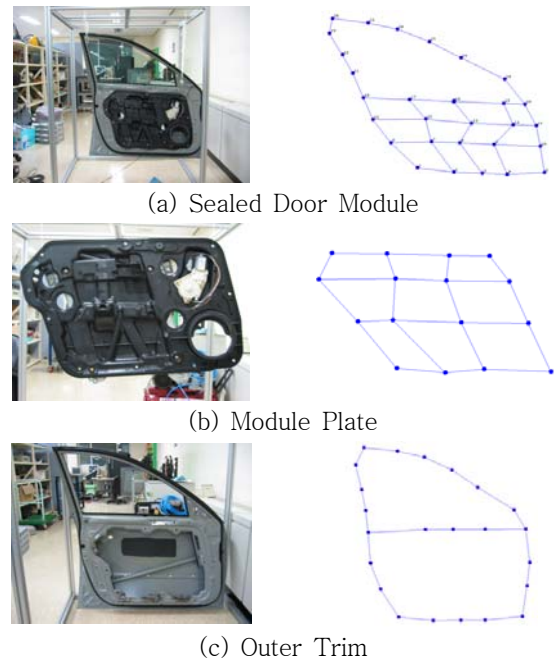


Fig. 3 Modal Model

각 모달시험 항목 중, 모듈 플레이트 단품에 대한 모달 시험결과에서 1차 고유진동수 및 각 모드에서 발생하는 고유진동수의 경향이 플라스틱 모듈 플레이트 대비 스틸 모듈 플레이트가 높게 발생하고 있다. 이러한 현상은 스틸 모듈 플레이트의 강성이 플라스틱 모듈 플레이트 대비 높기 때문에 발생하는 현상이다. 하지만 각 모드에서의 공진주파수 오차율이 크게 발생하지 않고 있는데, 이는 플라스틱 모듈 플레이트의 질량이 더 낮기 때문에 두 모듈 플레이트간 트레이드오프(Trade-off)관계가 형성되기 때문으로 분석되어진다. 전체 도어 시스템에 대한 모달시험에서 발생하는 1차 고유진동수는 도어 프레임의 고유성분으로 발생하고 있으며, 모듈 플레이트 대비 높은 주파수 영역에서도 공진주파수가 형성되고 있음을 알 수 있다.

Table 3 Result of Modal Frequency  
(unit : Hz)

Order	Door Module		Module Plate		Outer Trim
	Steel	Plastic	Steel	Plastic	
1	14.9	14.5	24.2	17.5	14.5
2	65.1	59.1	53.2	26.6	45
3	85.7	68.5	67.5	41.5	60.9
4	97.8	90.7	78	92.3	88.2
5	107.6	116.2	114.6	122.3	130
6	124.7	144.8	162	165.4	206
7	210.5	210.2	208	320.7	275.1
8	295.4	272	297.8	367	379.2

Table 4 Result of Modal Damping  
(unit : %)

Order	Door Module		Module Plate		Outer Trim
	Steel	Plastic	Steel	Plastic	
1	1.31	1.21	2.69	1.96	3.07
2	0.29	0.47	0.44	0.61	0.87
3	0.88	1.01	0.88	2.23	0.81
4	0.16	1.47	0.64	2.33	0.85
5	1.26	1.27	0.73	3.12	0.77
6	0.64	1.21	3.27	2.95	1.38
7	1.85	1.48	1.45	1.20	1.10
8	0.99	1.16	1.44	1.41	1.75

### 3.2 시험모드 선정 결과분석

윈도우 레귤레이터 모터의 효율을 고려한 시험모드의 선정은 측정된 5개 요소의 글래스 승강 및 하강에 따른 OA 레벨(Overall Level)을 계산하여 Fig. 4에 나타난 초기 임펄스 영역부터 두 번째 임펄스 영역까지에 대한 RMS(Root Mean Square) 값의 분포를 통하여 선정하였다. Fig. 5~Fig. 8은 분석된 각 도어모듈의 진동레벨을 나타내며, 지면의 한계상 결과데이터는 가진원으로 작용하는 모터부와 풀리 하단부만을 도시하였다. 윈도우 레귤레이터 모터의 성능효율을 고려하기 위하여 각 글래스의 왕복운동에 따른 진동레벨 분석결과 플라스틱 도어모듈의 경우 15회 글래스 왕복 운동 이후로는 큰 진동레벨 변화가 나타나지 않으며, 스틸 도어모듈의 경우 글래스 왕복 운동에 따른 진동레벨의 편차가 거의 발생하지 않았다. 이는 각 레귤레이터 모터의 고유 특성으로써 이러한 사항을 고려해야만 정확한 레귤레이터 모터의 가진특성이 반영되어진다. 따라서 본 연구 수행을 위한 각 도어모듈의 진동 및 소음측정 시험모드는 글래스 승/하강 15회의 왕복운동 후 측정하는 시험모드로 선정하였다.

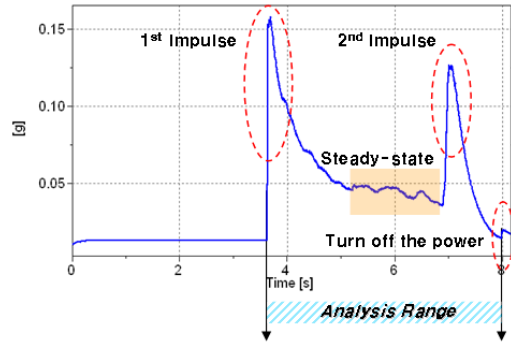
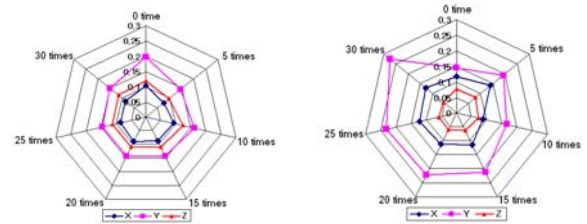
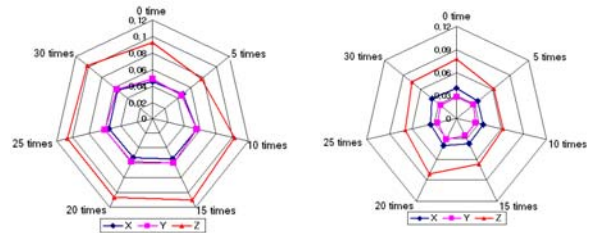


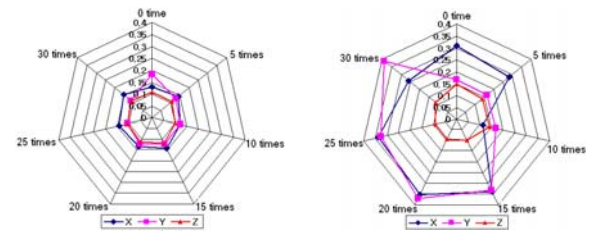
Fig 4 Selection of Analysis Range



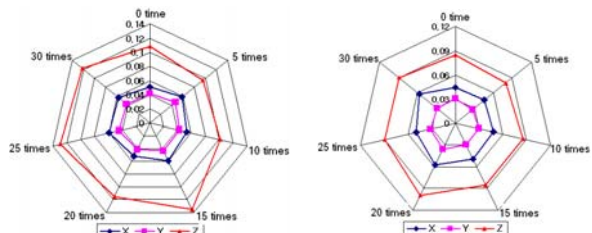
(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 5 Result at Regulator Motor Position(Up-dir.)



(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 6 Result at Lower Pulley Position(Up-dir.)



(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 7 Result at Regulator Motor Position(Down-dir.)

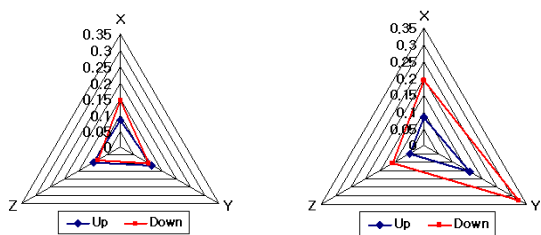


(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 8 Result at Lower Pulley Position(Down-dir.)

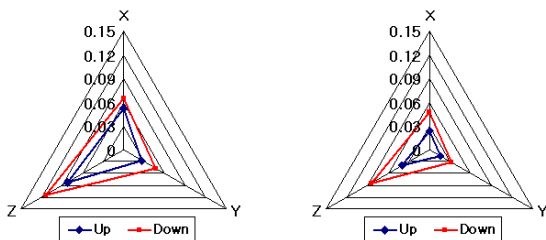


### 3.3 진동측정 결과분석

Fig. 9~Fig. 12는 선정된 시험모드를 통하여 얻어진 각 도어모듈의 진동레벨 및 주파수 분석결과를 도시한 것이다. 지면의 한계상 가진원으로 작용하는 기어박스부와 폴리 하단부의 결과만을 도시하였다. Fig. 6의 모터에서 발생한 진동레벨의 경우 플라스틱 도어모듈에 장착된 제품이 스틸 도어모듈에 장착된 도어모듈 대비 약 2배정도의 높은 진동레벨을 나타내고 있지만, 플레이트에서 측정된 진동레벨은 반대로 스틸 도어모듈에서 글래스 작동 방향에 따라 약 2배 이상 높은 진동레벨을 나타내고 있다. 이는 측정된 다른 지점에서도 동일하게 발생하는 현상으로써, 이러한 현상은 플라스틱 도어모듈의 진동 흡진 성능이 우수함을 보여주는 결과이다. Fig. 10과 Fig. 11의 주파수 분석결과는 모듈플레이트에서 발생하는 진동성분들을 보여주고 있다. 플라스틱 도어모듈의 상승모드는 70.8Hz, 하강모드는 83Hz의 조화성분으로 구성되어 있으며, 스틸 도어모듈은 상승모드에서 78Hz, 하강모드에서 90Hz의 조화성분으로 구성되어 있음 확인할 수 있다. 이러한 성분은 레귤레이터 모터의 회전주파수 성분 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다. 회전주파수 계산에 필요한 각각의 파라미터를 확보한 후, 계산되어진 스틸 도어모듈 상승모드에 대한 1차 회전주파수 성분은 79.3Hz로 계산되어졌다. 각 파라미터에 대한 측정오차를 고려할 때, 각 도어모듈에서 발생하고 있는 진동성분은 레귤레이터 모터의 회전주파수 성분임을 확인할 수 있었다. 특히, 측정위치 및 플레이트 재질에 따라 레귤레이터 모터 회전수의 10차 성분의 진폭이 크게 발생하게 되는데, 이는 레귤레이터 모터부의 웬기어 물림주파수 성분으로, 간헐적으로 발생하는 레귤레이터 모터의 공진음 대역이 700~800Hz 대역임을 감안할 때, 향후 발생가능한 공진음의 주요한 성분으로 작용하는 가진원으로 예측되어졌다.

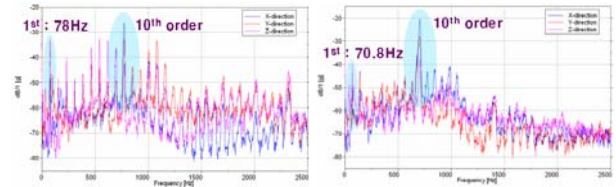


(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 9 Result at Regulator Motor Position

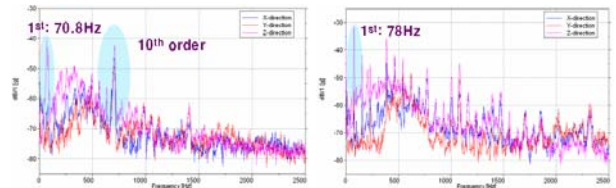


(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 10 Result at Lower Pulley Position

$$Frequency = \frac{velocity(glass)}{circular\ length(pulley)} \times Z(spurgear) \quad (1)$$



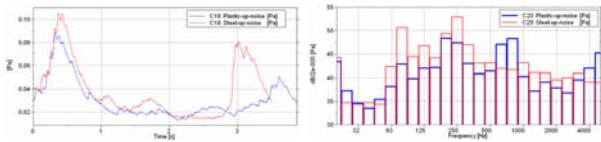
(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 11 Result at Regulator Motor Position(Up-dir.)



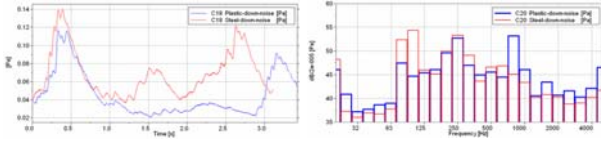
(a) Steel Door Module (b) Plastic Door Module  
Fig. 12 Result at Lower Pulley Position(Up-dir.)

### 3.4 소음측정 결과분석

Fig. 13은 선정된 시험모드를 통하여 측정된 레귤레이터 작동음에 대한 OA 레벨과 1/3 옥타브 분석결과를 나타낸 것이다. 음압을 기준으로한 전체적인 OA 레벨은 전반적으로 스틸 도어모듈이 높은 음압레벨을 나타내고 있었으나, 저주파 영역은 플라스틱 도어모듈이, 고주파 영역은 스틸 도어모듈이 낮은 음압분포를 나타내고 있었다. 또한 작동음을 구성하는 주파수성분은 진동성분과 동일하게 레귤레이터 모터 회전수의 조화성분으로 구성되어 있음 알 수 있다. 또한 모듈 플레이트 재질에 따른 레귤레이터 작동음의 동특성 분석은 MTS社 Sound Quality를 이용하여 음질요소(Sound Metrics) 분석을 수행하였다. Fig. 14와 Fig. 15는 다양한 음질요소 중, 두 도어모듈의 레귤레이터 모터 작동음을 판별할 수 있는 음질요소들을 분석한 결과를 나타내고 있다. 각 도어모듈에서 방사되어진 작동음은 음질요소에 있어서 유사한 음질특성을 나타내고 있으나, 충격성분을 표현하는 Kurtosis에서 두 도어모듈간 차이가 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 경향은 Fig. 14의 라우드니스 청감강도와 일치하는 경향으로써, 각 도어의 글래스 승/하강 시 발생하는 이음성분들에 기인한 것으로 분석되어진다. 따라서 글래스 승/하강 시 모듈 플레이트에서 방사되는 소음은 작동 중 이음성분을 표현할 수 있는 Kurtosis로 음질수준을 분석할 수 있음을 알 수 있다.



(a) Up-direction



(b) Down-direction

Fig. 13 Results of OA Level and 1/3 Octave

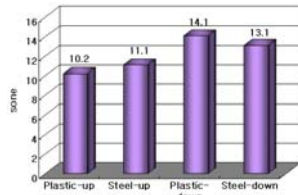
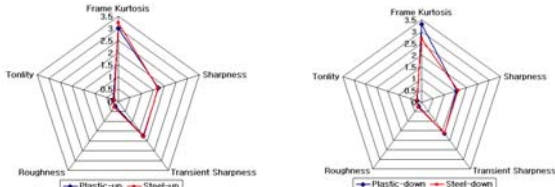


Fig. 14 Results of ISO 532B Loudness Analysis



(a) Up-direction

(b) Down-direction

Fig. 15 Results of Sound Metrics Analysis

#### 4. 실드 도어모듈 동특성 평가 프로세스

본 연구를 통하여 모듈화로 양산되어지는 도어부품에 대한 분석방법은 Fig. 16과 같이 도식화할 수 있다. 이를 통하여 도어 단품 및 모듈화 제품에 대한 모달시험과 진동 및 소음특성 결과를 이용하여 도어모듈에서 발생 가능한 공진문제 및 다양한 진동/소음특성에 대한 비교분석을 가능하게 하였다.

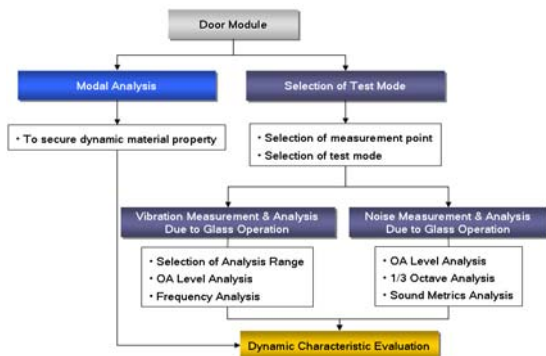


Fig. 16 Dynamic Characteristic Evaluation Process for Door Module

#### 5. 결론

본 연구에서는 자동차 도어모듈에 대하여 레귤레이터 모터의 가진에 의해 모듈 플레이트에서 발생하는 진동 및 소음의 평가 프로세스를 정립하고, 정립된 프로세스를 통하여 스틸 및 플라스틱 실드 도어모듈에 대한 동특성 평가를 수행하여 개발되어진 평가 프로세스의 적용가능성을 확인하였다. 두 도어모듈간의 평가 프로세스를 통하여 모듈 플레이트의 재질 변화에 따른 각 도어모듈의 동적 물성치를 확보하였으며, 진동측정평가를 통하여 플라스틱 도어모듈이 스틸 도어모듈 대비 약 2배 이상의 흡진성능을 확보하고 있음을 확인하였다. 또한 소음측정평가를 통하여 두 도어모듈에서 방사되어지는 레귤레이터의 작동음은 음압을 기준으로 스틸 도어모듈이 전반적으로 높은 음압을 발생시키고 있으나, 음질요소 측면에서는 Kurtosis 음질요소를 제외하고는 유사한 음질특성을 나타내고 있음을 확인하였다. Kurtosis 음질요소의 경우 글래스 작동상황 중 발생 가능한 충격성분에 기인한 현상으로써 작동이음의 발생유무는 Kurtosis 음질요소의 변화에 가장 민감함을 확인하였다. 향후 본 연구결과는 도어모듈의 전달함수를 통한 전달 경로 및 기여도 분석 등에 적용되어 도어모듈의 설계 단계에서 설계변경 요소에 반영이 가능한 진동 및 소음 등의 동특성 평가기술 개발에 적용되어질 예정이다.

#### 후 기

본 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) General Motors Test Procedure, 2005, "Noise and Vibration", 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., Seo, S. H., 2005, "Experimental Study On the Energy Flow Analysis of Vibration of an Automobile Door", SAE 2005-01-2323.
- (5) LMS Pimento User Guide, LMS, 2006