한국소음진동공학회 2009년 추계학술대회논문집, pp.130~136

미러 형상인자가 바람소리에 미치는 영향에 대한 연구

A Study on the Impacts of Mirror Design Parameters on the Wind Noise

이 강 덕†

Kang-Duck Ih

Key Words : Standard Mirror(표준 미러), Design Parameter(형상 인자), Design of Experiment(실험계획법), Computer Aided Testing(디지털 평가법), Taguchi Method(다꾸찌 방법).

ABSTRACT

The goal of this paper is to develop a standard side mirror geometry that will perform well across multiple vehicles. One of the important performance attributes of a side mirror is the amount of wind noise generated under the flow conditions on a car. PowerFLOW can be used for Computer Aided Testing of the aeroacoustics performance of a design in addition to directing design modifications based on a detailed analysis of the flow structures responsible for the noise generation. Alternatively, a Design of Experiment (DOE) approach is useful to explore the design space without any a-priori assumptions of the effects of design parameter changes. Some general design guidelines regarding the significant mirror geometry factors will be determined which may help to reduce vehicle development time and cost in the future. The results of this research will also allow us to estimate the trade-off between cost saving and performance optimum related to using a standard mirror shape for different vehicles.

1. 서론

아웃사이드 미러는 두 가지 본원적 기능이 있다. 하나는 주행 시 후방시계를 확보해야 하는 것이고 둘은 디자인이 그 차량에서 추구하는 디자인 개념을 만족해야 한다. 본원적인 기능 이외에도 바람소리, 빗물 씻김, 면경 떨림 등의 상품성이나 제조공정과 관련한 부가적 기능도 만족해야 한다.

본원적 기능과 부가적 기능을 모두 만족시키는 미러를 한번에 개발하기는 매우 어렵다. 실제 미러 개발기간이 늦어져 양산 후에까지 많은 문제를 야기하는 경우도 종종 있다.

경쟁사들은 이런 문제점에 대한 해결책을 표준미러에서 찾고 있다. 본원적 기능과 부가적 기능을 만족하는 미러를 미리 개발해 놓고 차종 별, 혹은 차급 별 이미지에 맞는 미러 하우징을 공유함으로써 개발기간 단축과 개발비 절감 효과를 동시에 보고 있다. 사전에 표준미러를 개발하면 제조과정에서 발생할 수 있는 품질문제를 사전에 충분히 검증을 할 수 있기 때문에 양산 후 발생할 수 있는 필드문제를 최소화 할 수 있는 효과도 기대할 수 있다.

Fig.1 은 경쟁사의 미러 공용화 현황을 보여주는 자료이다. 현황을 살펴보면, GM, VW, BMW 가 공용화 율이 400% 이상으로 미러 공용화에 적극적이다. 다시 말해서 한 개의 표준미러를 적어도 네 차종에 적용하고 있다. 포드나 도요타도 표준미러 당 평균 세 차종에 적용하고 있고 그 외 다른 회사들도 적어도 평균 두 차종에 적용하고 있는 실정이다.

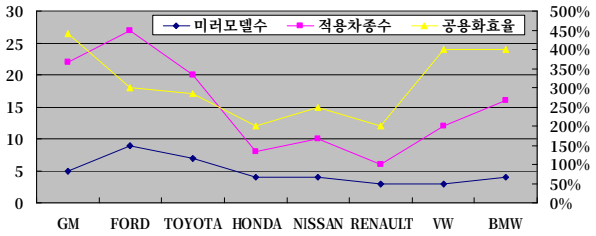


Fig. 1 경쟁사의 표준미러 적용현황

이에 비해서 현대기아자동차는 아직까지 표준미러를 적용한 사례가 거의 없었다. 가장 큰 이유는 미러의 본원적 기능과 부가적 기능을 만족하는 표준미러를 개발하지 못했기 때문이다.

표준미러를 개발하기 위해서는 경험에 의한 미러 개발보다는 체계적이고 과학적인 개발 절차에 의해 개발되는 것이 바람직하다. 그리고, 미러의 3 차원 형상을 만드는 형상인자가 본원적 기능과 부가적 기능에 어떻게 관련 맺고 있는지 명백히 해야 할 필요도 있다.

본 연구는 우선 바람소리와 형상인자간의 관련성을 중심으로 분석하고 이를 바탕으로 다른 부가적

† 교신저자; 현대자동차 기능시험 1 팀
E-mail : baramsolee@hyundai.com
Tel : (031) 368-6461

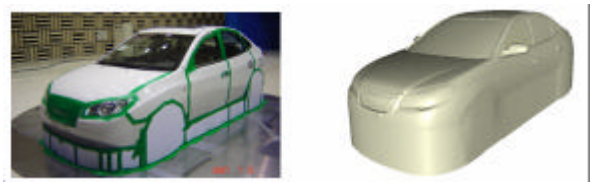
기능을 만족하는지를 확인하는 방식으로 연구를 수행하였다.

미러 형상인자와 바람소리를 연결하기 위해서는 실험적 방법과 CAE 를 이용한 디지털 평가법이 있다. 실험적 방법은 가장 확실한 방법이긴 하지만 실제 수행하기에는 많은 어려움이 있다. 우선, 형상인자의 종류와 수준이 많기 때문에 실제 제작해야 할 시험미러의 수가 기하급수적으로 증가하여 많은 노력과 비용이 들 뿐만 아니라 시험시간도 많이 필요하다. 이에 비해서 디지털 평가법은 디지털 모델을 만들기 때문에 다양한 형상인자 변화를 비교적 쉽게 시도할 수 있다. 그러나, 바람소리, 면경 떨림 등 주요 부가적 기능을 예측할 수 있는 높은 신뢰성을 필요로 한다.

본 연구는 디지털 평가법으로 형상인자 별 주요 부가적 기능을 분석하였다. 계산은 PowerFLOW 4.0d 를 사용하였다. 1), 2) 주요 형상인자 선정 및 분석은 다꾸찌 방법을 사용하였다. 초기 미러는 개발차종 중에서 본원적 기능을 충실히 만족하는 것으로 선정하였다. 최종적으로 결정한 최적화 미러는 목업을 제작하여 실차에서 확인하였다.

본 논문은 다꾸찌 방법과 해석적 방법을 사용하여 체계적이고 과학적으로 표준미러를 개발한 사례를 보여주고자 한다. 더불어 표준미러가 갖추어야 할 형상요소들의 조건을 제시하였다.

2. 연구방법



(a) (b)

Fig. 2 신뢰성 검증 시험:(a) 실차, (b)디지털 모델

Fig. 3 표면 마이크로폰 설치위치

평가에 앞서 디지털 시험법에 대한 신뢰성을 검증하였다. 신뢰성 검증을 위해 Fig. 2 의 실제 차량을 현대자동차 무향풍동에서 시험한 결과와 PowerFLOW 로 계산한 결과를 직접 비교하였다. 풍속은 110km/h, 요오각은 0 도와 -10 도 조건이다. 미러 풍절음의 S/N 비를 크게 하기 위해, 엔진룸을 포함한 하부 유동과 도어, 후드 등 파팅 갭에서 발생하는 소음을 제거하기 위해 그림과 같이 모두 테이프로 발랐다. Fig.3 과 같이 16 개의 B&K 표면 마이크로폰을 운전석 유리창에 부착하여 압력 교란을 측정하였다.

비교 결과는 Fig. 3 에 나타냈다. 실차 시험결과와 계산에 의한 결과가 전 주파수 대역에서 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 세단과 SUV 2 개 차종으로 신뢰성을 검증한 결과, 전 주파수 대역에 대하여 절대오차가 3dB 미만으로 나타났다.

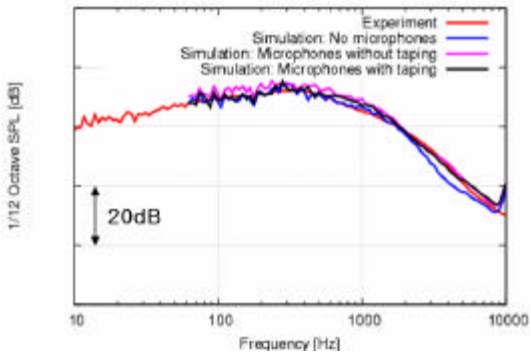


Fig. 4 디지털 시험법의 신뢰성 검증시험 결과

계산속도는 한 경우당 4500 CPU? hrs 이며 128 CPU 로 계산하면 35 시간이 소요된다.

3. 미러의 형상인자 선정

3.1 미러 형상인자

미러 형상인자는 우선 다수 차종의 개발경험을 가진 인원들의 의견을 종합하여 10 개 형상인자를 선정하였다. Fig.5 는 선정된 주요 형상인자들이다. 각 인자의 정의는 Fig. 6 나타냈다.

3.2 주요인자 선정

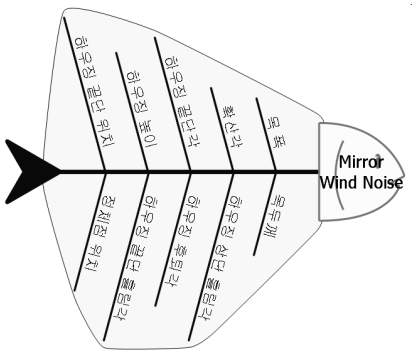


Fig. 5 미러 바람소리 형상인자

선정된 10 개의 형상인자는 개발자들의 주관적인 측면이 있기 때문에 각 인자의 기여도를 구하여 재 선별 하는 과정을 거쳤다. 인자 재 선별은 2 수준 인자를 11 개 쓰는 $L_{12}2^{11}$ 직교표를 사용하였다.

Fig.7 은 12 가지 조합에 대해 운전석 유리창에서의 압력 스펙트럼을 계산한 결과를 보여주고 있다. 스펙트럼은 2 차 함수의 비선형적으로 나타나기 때문에 표준 S/N 비로 분석하였다. 이상함수는 12 가지 경우의 조합에 따른 계산 결과 중 최소값으로 된 스펙트럼으로 선정하였다. 표준 S/N 비 분석에 의한 S/N 비 및 평균 기울기의 반응표를 Fig. 8 에 나타내었다.

NO	항 목
1	확산각
2	목폭
3	하우징 위치
4	하우징 끝단각
5	하우징 후퇴각
6	하우징 끝단 흘림각
7	하우징 상단 흘림각
8	정체점 위치
9	하우징 끝단첨점 위치
10	목두께

Fig. 6 주요 형상인자 및 정의

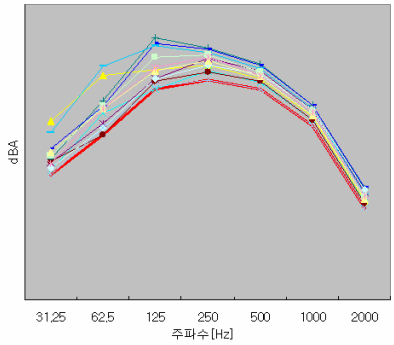


Fig. 7 운전석 창유리 위의 면적평균 스펙트럼

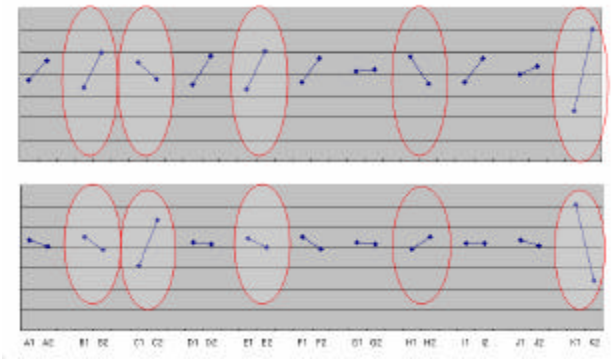


Fig. 8 S/N 비 반응표(위) 및 기울기 반응표(아래)

주요인자 선정은 S/N 비 및 기울기의 변화가 큰 인자로 선정하였다. 두 반응표 상에서 기울기의 곱으로 주요 인자를 선정하면 Table 1 과 같이 7 가지 주요인자를 선정할 수 있다.

Table. 1 주요인자

1	목 두께
2	하우징 위치
3	목 폭
4	하우징 후퇴각
5	정체점 위치
6	끝단 흘림각
7	확산각

3.3 디지털 목업

계산에 사용하는 디지털 목업은 PowerCLAY 를 사용하여 형상인자의 수준에 맞는 디지털 목업을 준비하였다. 제작된 디지털 목업의 예는 Fig.9 와 같다.

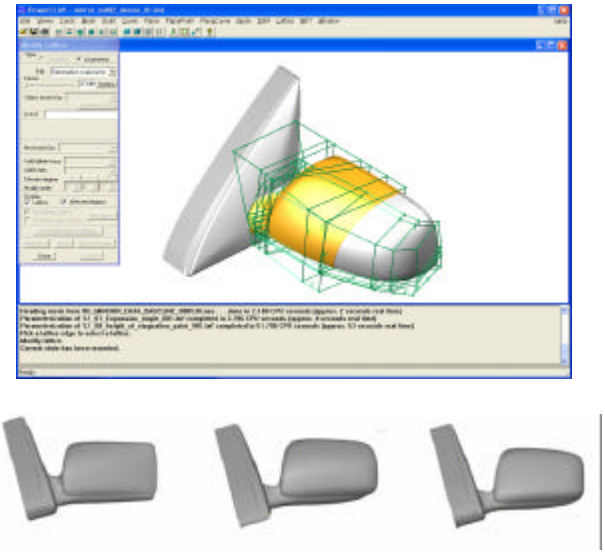


Fig.9 디지털 목업 제작과정 및 완성품

미러는 형상이 복잡하고 형상인자 간의 종속성이 있기 때문에 선정된 7 가지 형상인자를 정의할 필요가 있다. Fig.10 은 본 연구에서 수행한 형상인자의 정의를 나타낸다.

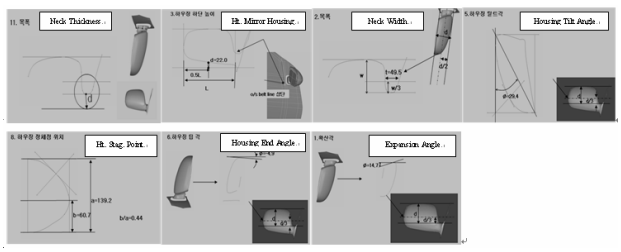


Fig.10 선정된 형상인자의 정의

4. 최적화

4.1 직교표

7 개 형상인자에 맞는 직교표는 L186135 를 선정하였다. Table 1 과 같이 가장 영향력이 큰 목 두께를 6 수준 인자로 선정하였고 나머지는 3 수준 인자로 선정하였다.

Table 2. 형상인자 별 인자수준

No	형상인자	인자수준					
		1	2	3	4	5	6
1	목 두께	10	25	40	55	60	75
2	하우징 위치	-4.3	8.4	21.1			
3	목 폭	~	~	~			
4	하우징 후퇴각	~	~	~			
5	정체점 위치	~	~	~			
6	끝단 흘림각	~	~	~			
7	확산각	~	~	~			

4.2 인자수준

인자수준은 경쟁차 20 대와 당사 개발차량 5 대 미러에 대한 형상인자 값을 모두 조사하여 선정하였다. 선정한 인자수준은 Table 2 와 같다.

18 가지 인자수준 조합에 따라 제작한 디지털 미러는 Fig. 11 과 같다.

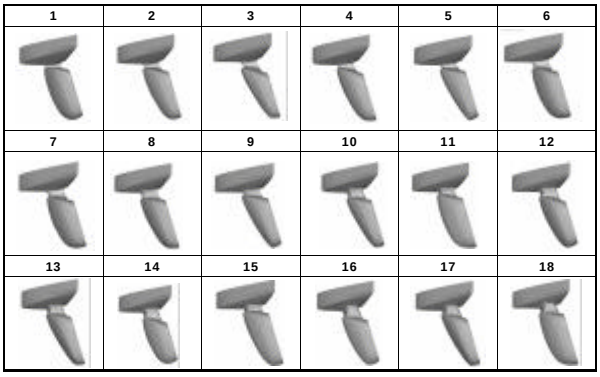


Fig.11 인자수준 별 디지털 목업 형상

4.3 최적화 분석

직교표에 따른 시뮬레이션을 수행한 후 면적평균 스펙트럼을 구하였다. 표준 S/N 비에 의한 분석을 수행하면 Fig.12 와 같은 반응표를 얻을 수 있다.

최적화는 S/N 비가 크게 하는 방향을 선정하든지 이상함수의 기울기인 β=1 에 가까운 조합을 선정하였다.

최적화 조합은 A4C1D2E3F3G3H1 이고 최적화에 의한 추정이득은 Table 3 과 같다.

최적화 미러와 초기 미러의 형상은 Fig. 13 과 같다. 초기 미러 대비 최적화 미러는 전체적인 이미지의 변화는 크지 않다. 그러나 두드러지게 달라진 점은 최적화 후 미러 하우징 경사각이 초기 대비 많이 눕고 하우징 끝 단 흘림 각이 작아졌다는 점이다.

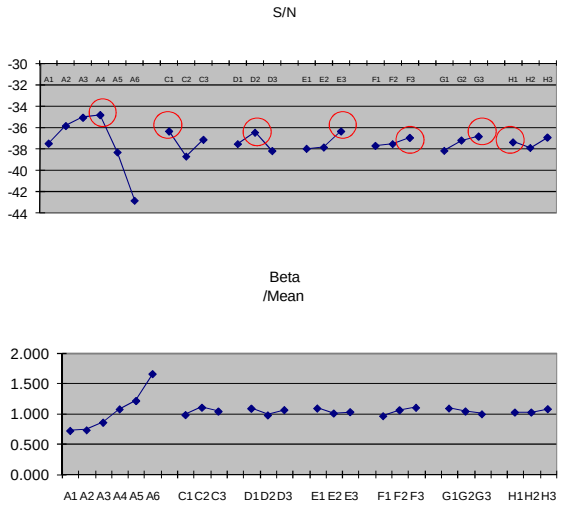


Fig. 12 최적화 반응표

Table 3. 추정 최적화 이득

	초기	최적화 후	추정이득
S/N 비	-38.3	-33.6	4.7
b	0.703	0.99	0.29

미러 형상 변화 별 유동구조 변화와 압력교란의 변화를 보면 일정한 상관성을 갖는 것으로 나타났다. Fig.14 는 case 4 와 case 17 에 대해 비교한 결과를 나타낸다. 두드러진 특징은 A-필라 와동에 의해 나타나는 압력손실 영역은 거의 비슷하게 나타난다. 다시 말해서, 미러 형상변화에 의해 A-필라 와동은 거의 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 변화를 보이는 영역은 목 부위 후방 영역이다. 이 변화는 목 두께 및 하우징 형상 변화에 의한 영향이다.

Fig.15 는 압력 교란 dB 분포를 나타낸 것이다. 유동구조 비교에서 나타난 후류 압력손실 영역의 차이는 공간 상에 dB 분포의 변화로 나타난다. 미러 후방의 후류 영역의 변화는 보다 뚜렷하게 나타나며 목 부위 후방에서 더욱 두드러지게 나타나는 것을 볼 수 있다.

4.4 실차 검증

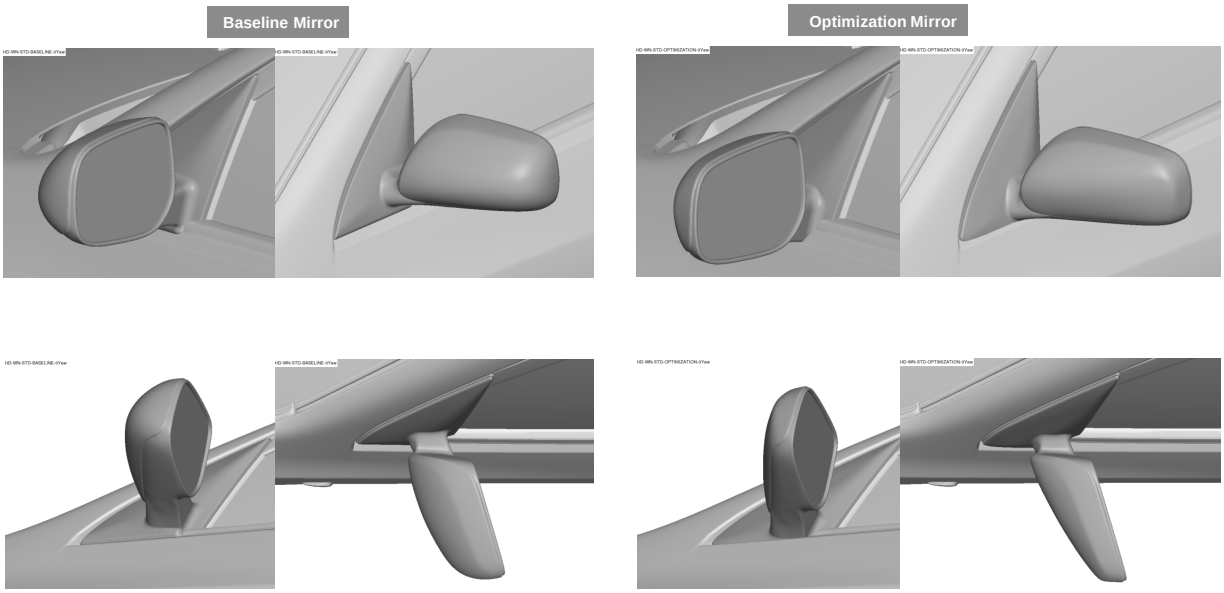


Fig. 13 초기 미러와 최적화 미러 형상

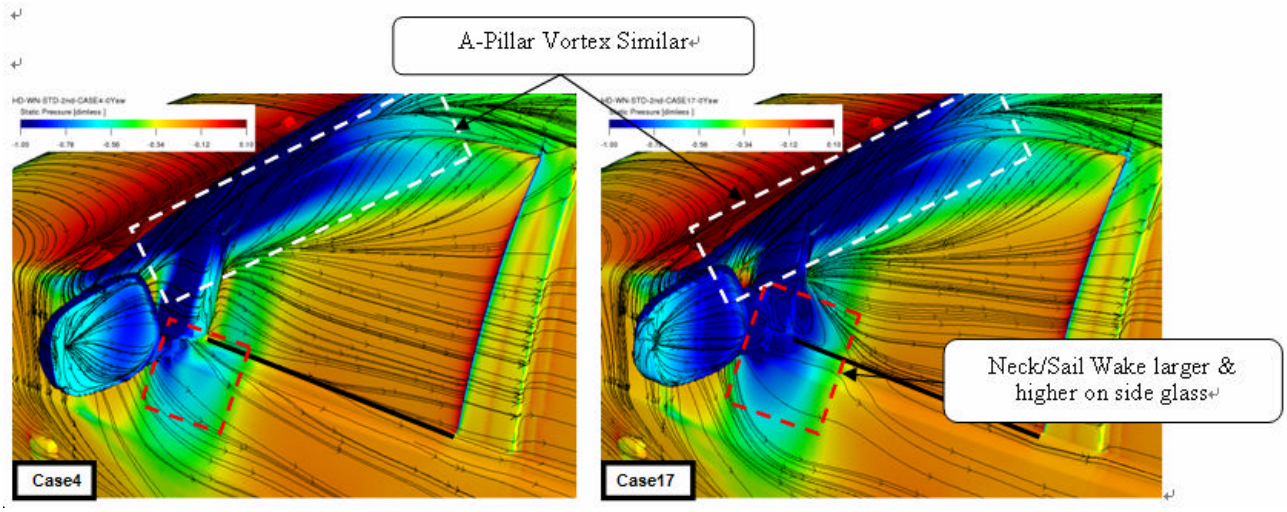


Fig. 14 미러 형상변화에 따른 유동구조의 변화

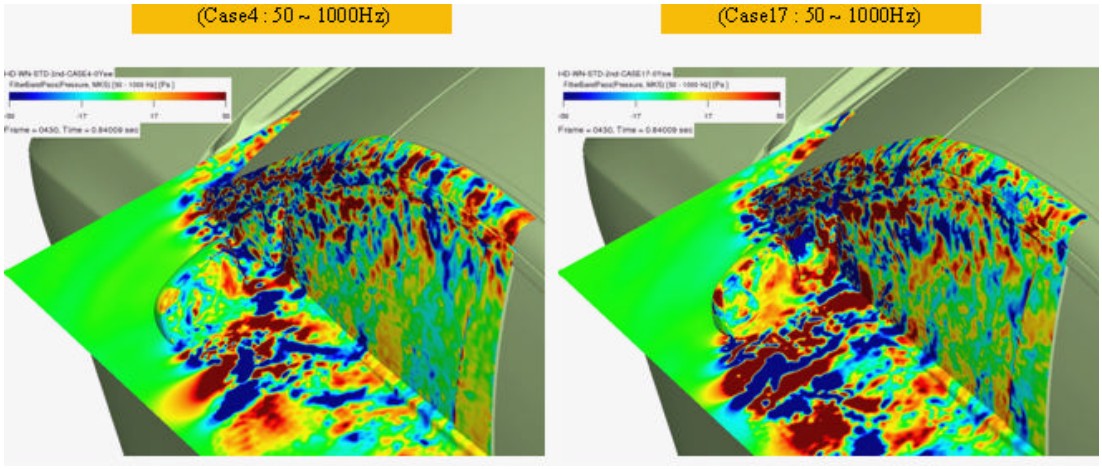


Fig. 15 미러 형상 변화에 따른 압력교란 dB 분포

Fig. 16 실차 시험용 목업 미러

(1) 바람소리

바람소리에 대한 실차 시험을 수행하기 위해 Fig. 16 과 같이 목업 미러를 제작하였다. 시험 차량은 아반테, 투싼 및 i10 이었다. 속도는 110, 130, 150km/h 에서 수행하고 요오각은 0 도와 10 도로 하였으며 실차 무향풍동에서 시험하였다. 미러 탈 부착에 따른 실내음 변화로 개선여부를 판단하였다.

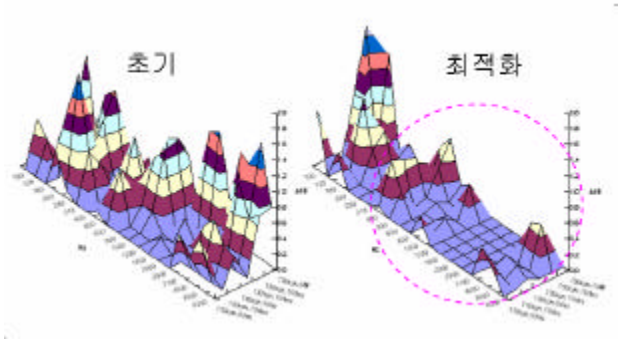


Fig. 17 미러 탈 부착에 따른 실내음 변화

미러 탈 부착에 따른 실차 시험 결과는 Fig.17 에 나타내었다. 최적화 미러는 속도변화 및 풍향 변화에 대해 초기미러 대비 둔감한 특성을 나타내고 있다. 즉, 500Hz 이상 대역에서 탈 부착에 의한 영향이 거의 없는 것으로 나타나 필링을 한 단계 이상 개선하는 것으로 나타났다.

남양 시험장의 고속주행 시험장에서 실시한 등급 판정 시험 결과를 Fig.18 에 나타냈다. 110km/h 에서는 동일한 등급이나 130km/h 이상 영역에서는 1 등급 정도 개선되는 것으로 나타났다. 1 등급은 1.5dB 의 차이가 있다.

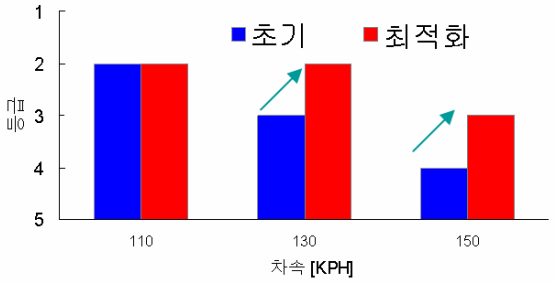


Fig. 18 미러 탈 부착에 따른 바람소리 비교

(2) 빗물 씻김 성능

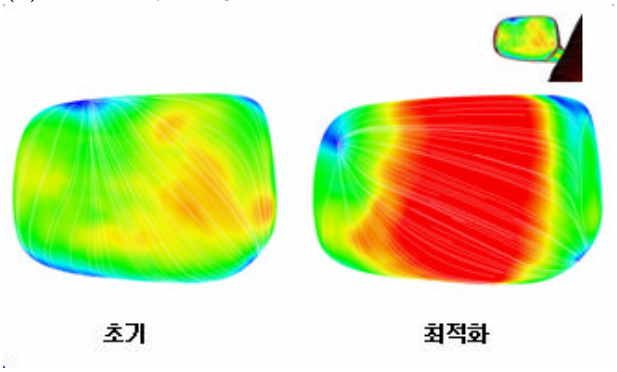


Fig.19 면경상의 압력분포 비교

Fig.19 는 빗물 씻김 성능에 영향을 미치는 면경상의 압력분포를 그린 것이다. 초기 미러는 고압영역과 저압영역의 차가 불분명하여 뚜렷한 유선이 생기지 않는다. 이 경우, 면경상에 빗방울이 떨어지면 씻겨나가기 어려워 쉽게 시계를 방해할 수 있다. 이에 비해 최적화 미러는 고압영역과 저압영역의 분포가 뚜렷하고 면경 상에 강한 유동을 형성하기 때문에 빗물 씻김에 유리하다.

(3) 면경 떨림

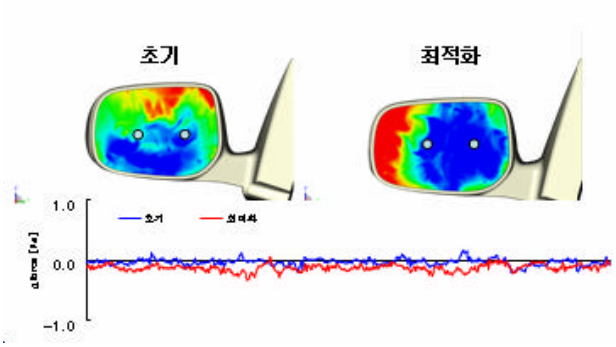


Fig. 20 공력에 의한 면경 상에 작용하는 모멘트 비교

Fig.20 은 면경상에 작용하는 공력 모멘트를 나타낸다. 시간에 따른 모멘트의 변화가 거의 비슷하게 나타나 면경 떨림은 거의 비슷한 수준인 것을 알 수 있다.

본 연구를 통해 얻은 형상인자 별 가이드 라인을 Fig.21 에 나타내었다. 목 폭과 목 두께는 어떤 최적값이 있는 것으로 나타났다. 하우징 후퇴각은 뒤로 누울수록 좋아지는 경향을 보인다. 하우징 높이는 벨트라인 대비 아주 높이든가 낮추는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 하우징 끝단 흘림각은 작을수록 좋아지는 것으로 나타났다.

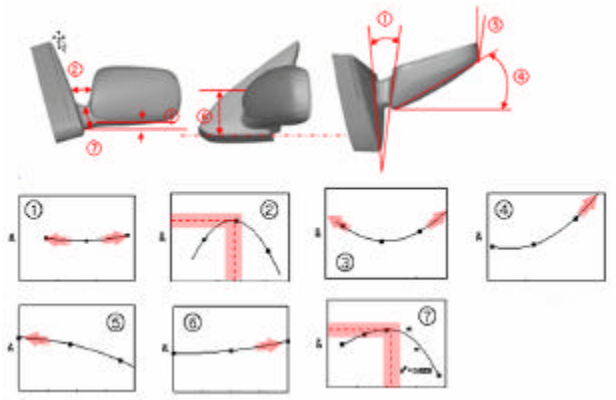


Fig. 21 형상 인자별 가이드 라인

5. 결론

다꾸찌 방법과 PowerFLOW 를 사용한 해석적 방법을 통해 표준미러를 체계적으로 개발하였다. 기여도 분석을 통해 7 가지의 미러 관련 주요 형상인자를 선정하였다. 7 가지 형상인자에 대한 수준을 정하고 직교표에 의한 분석을 함으로써 최적화 형상을 찾을 수 있었다. 본 연구는 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

(1) 표준미러 형상을 얻었다. 표준미러는 형상이 다른 세 차종에서 비교 검증하였으며 차종변화, 속도 변화, 횡풍변화에 둔감한 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 형상 인자별 최적화 방향에 대한 가이드라인을 제시하였다. 주요 형상인자로 선정된 7 가지 형상인자에 대한 디자인 가이드를 얻을 수 있었다.

(3) 최적화 미러를 개발하기 위한 프로세스를 제시할 수 있었다.

(4) 본 연구를 통해 형상인자가 미러의 성능에 미치는 영향을 체계적으로 분석할 수 있었으며 미러 품질문제 방지에도 도움을 줄 것으로 판단한다.

참 고 문 헌

(1) Teixeira, C., 1992, “ Continuum Limit of Lattice Gas Fluid Dynamics, ” MIT, Ph.D. Thesis

(2) Strumolo, G., Viswanthan, B., Anagnost, A., Alajbegovic, Chen, H., 1997, ” Digital Physics Analysis of Vehicle Aerodynamics Noise, ” ISATA