

# 반응면 기법을 이용한 A필라/와이퍼 풍절음 예측 연구

## A study on A-pillar & wiper wind noise estimation using response surface methodology at design stage

임성남,<sup>1†</sup> 신성룡,<sup>1</sup> 신현수<sup>2</sup>

(Sungnam Rim,<sup>1†</sup> Seongryong Shin,<sup>1</sup> and Hyunsu Shin<sup>2</sup>)

<sup>1</sup>현대자동차 소음진동개발팀, <sup>2</sup>소형패키지기술팀

(Received May 29, 2018; revised July 23, 2018; accepted September 17, 2018)

**초 록:** 자동차 외장 디자인은 차량의 첫인상을 만들지만, 엔지니어링 입장에서는 공력 및 바람소리 성능에 중요한 요소이다. 외장 디자인은 차량의 프로토타입 시점에 변경하기는 불가능하기 때문에 차량 초기 디자인 단계에서 외장 디자인을 점검하고, 바람소리 수준을 예측하는 것이 중요하게 된다. 외장 디자인 요소 중 차량바람소리에 중요한 A필라와 와이퍼에 대한 바람소리 해석 기법은 개발되어 적용되고 있으나, 해석 및 모델링 과정이 복잡하고 시간이 많이 소모되기 때문에 엔지니어입장에서 디자이너 및 설계자와 함께 A필라 및 와이퍼 형상별 기여도를 검토하기엔 시간적인 여유가 부족하게 된다. 본 논문에서는 최적화를 위하여 A필라 형상 및 와이퍼 형상에 따라 바람소리 해석 S/W인 PowerFLOW(PowerClay 모델링 S/W, SEA-Based(Statistical Energy Analysis-Based) 실내소음 해석툴, Turbulent Acoustic Power 해석툴)를 이용하여 실내소음을 해석적으로 예측하고, 예측한 결과를 이용하여 반응 표면법을 이용하는 최적화 S/W인 modeFRONTIER를 이용하여 디자인 요소에 대한 반응면을 구축하여, 디자인 요소와 실내 소음간의 상관성을 구성하여, 디자인 단계에서 A필라와 와이퍼에 의한 바람소리 수준을 예측하였다. 최적화 결과 및 반응면 구축 예측 결과에 대하여 실제 시험을 통하여 예측 정확성을 판단하고, 해석 및 예측에 대한 신뢰성을 확인하였다. 최종적으로 해석 및 반응면 구축 과정을 통하여 A필라 및 와이퍼에 대한 차종별 CAT(Computer Aided Test) 분석툴을 개발하고, 실제 차량 개발 과정에 적용하여 효용성을 확인하였다.

**핵심용어:** 바람소리, A필라, 와이퍼, 반응 표면법, 해석, 디자인 파라미터 스터디

**ABSTRACT:** The vehicle exterior design is the main parameter of aerodynamic wind noise, but the modification of it is nearly impossible at a proto-type stage. Therefore, it is very important to verify exterior design and estimate the correct wind noise level at the early vehicle design stages. The numerical simulations of aerodynamic wind noises around A-pillar and wiper were developed for specific vehicle exterior designs, but could not be directly used for the discussions with designers because these need complex modeling and simulation process. This study proposes new approach to A-pillar and wiper wind noise estimation at design stage using response surface methodology of modeFRONTIER, of which database is composed of PowerFLOW simulation, PowerCLAY modeling, SEA-Based (Statistical Energy Analysis-Based) interior noise simulation, and turbulent acoustic power simulation. New design parameters are defined and their contributions are analyzed. A state-of-the-art, easy and reliable CAT (Computer Aided Test) tool for A-pillar and wiper wind noise are acquired from this study, which shows high usefulness in car development.

**Keywords:** Wind noise, A-pillar, Wiper, Response surface method, CAT (Computer Aided Test), Design parameter study

**PACS numbers:** 43.28.Ra, 43.50.Nm

## 1. 서 론

고속 주행시 차량의 디자인 형상에 의해 발생하는 바람소리인 풍절음은 Fig. 1에서 보듯이 A필라와 와이퍼에서 주로 발생하며, 전달 경로상 취약한 도어

†Corresponding author: Sungnam Rim (4everwithu@hyundai.com)  
NVH Development Team 1, Hyundai Motor Company, 150, HyundaiYeongguso-ro, Hwaseong-Si, 18280, Republic of Korea  
(Tel: 82-31-368-0014, Fax: 82-31-368-8229)

\*2017년도 한국음향학회 추계학술대회에서 발표하였던 논문임.\*

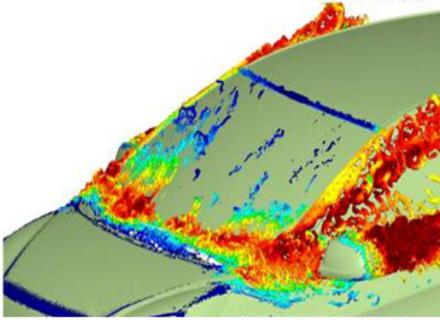


Fig. 1. Area of wind noise at high speed (analysis).

글래스와 윈드실드를 통해서 실내로 전달되어진다.

A 필라와 와이퍼의 형상과 위치에 의해 발생하는 풍절음 개선은 프로토타입 후의 단계에서는 지극히 어려우므로 디자인 변경이 가능한 선행 단계에서 이루어져야 하지만, 지금까지는 효과적인 선행 개발 도구가 없었다. PowerFLOW 를 이용한 해석 기법은 어느 정도 개발되었으나, 해석 모델 제작도 어려운 선행 단계에서 디자인 변경에 따라 재빨리 다양한 해석을 수행하여 디자이너와 협의한다는 것이 거의 불가능하였고, 그 대안이 될 수 있는 디자인 가이드도 디자인 인자에 대한 연구가 미미하였기 때문에 신뢰할 수 있고 설득력 있는 도구라고 하기 어려웠다. 특히, 소형차종 개발에 있어서는 패키지 레이아웃의 불리함으로 인하여 바람소리에 유리한 디자인을 유도하는 것이 불리하여 차량 성능 개발자들의 어려움이 더욱 컸다.

이에 본 연구에서는 이러한 어려움을 획기적으로 해소하기 위하여 반응면 기법을 이용한 최적화 소프트웨어인 modeFRONTIER 를 활용한 예측 기법을 개발하였다. A 필라 풍절음과 와이퍼 풍절음에 대하여 각각 이루어진 연구 진행 순서는 대체로 다음과 같다. 1 단계에선 성능에 영향을 주는 디자인 인자를 선정하고 인자값의 min-max 범위와 소음 개선 여부를 판단할 수 있는 해석상의 목적값을 설정한다. 2 단계에서는 A, B, C 세그먼트 대표 차종을 기준으로 반응면 데이터베이스(Response surface data-base)를 구축한다. 이 과정은 반응면 데이터베이스의 수립을 위해서 modeFRONTIER 에서 제시하는 일련의 인자 조합에 대한 PowerCLAY 모델링, PowerFLOW 해석, 실내소음 및 소음원 음향 파워 후처리 해석으로 이

루어진다. 3 단계에서는 반응면 데이터베이스를 분석하여 인자별 기여도 분석을 실시하되, 추가적으로 A 필라 풍절음의 경우처럼 인자 최적화 조합을 도출하거나, 와이퍼 풍절음의 경우처럼 min-max 조건 분석을 실시한다. 또한 선행 개발에 적용하여 그 유용성을 확인하였다.

## II. 본 론

### 2.1 디자인 인자 및 목적값 선정

#### 2.1.1 A필라 풍절음

A필라 풍절음 관련 디자인 인자를 아래와 같이 정

Table1. Detailed car list for analysis.

Segment	Car
A Seg.	Kia Morning, VW Up, Fiat Panda, Chevrolet Spark
B Seg.	Kia Pride, K2, Hyundai Verna, VW Polo, Peugeot 2008, Nissan Versa & Note, Honda City
C Seg.	Hyundai Avante, i30, Ford Focus, Honda Civic, VW Golf, Toyota Corolla

Table 2. Major design factor range of A-pillar for each car segment.

No.	Parameter	A Seg.	B Seg.	C Seg.
1	Rain gutter angle (Deg.)	90 ~ 110	90 ~ 110	90 ~ 115
2	Rain gutter height (mm)	5 ~ 15	8 ~ 20	7 ~ 20
3	A-pillar width (mm)	55 ~ 85	58 ~ 70	55 ~ 80
4	A-pillar curvature (mm)	55 ~ 120	66 ~ 110	65 ~ 120

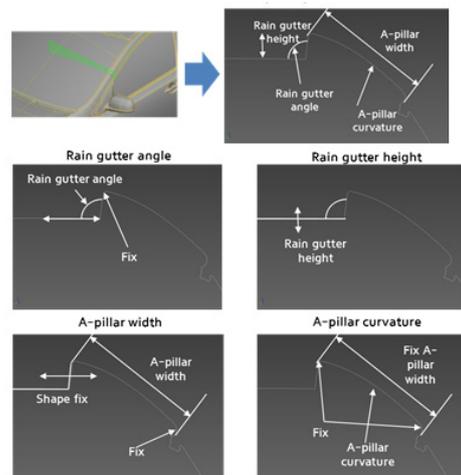


Fig. 2. Design factors of A-pillar wind noise and how to change design factors.

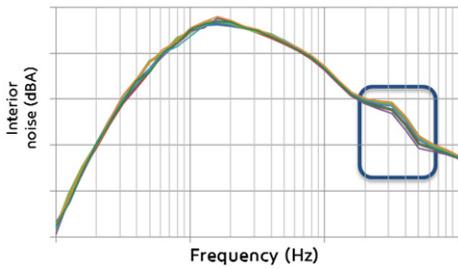


Fig. 3. Target value selection of A-pillar wind noise (A Seg. vehicle analysis results).

의하였다(Table 2와 Fig. 2 참조). 기존 디자인 가이드 및 설계 변수를 참조하여 구성하였으며, 각 요소간 서로 독립적으로 변경할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 A필라 구조의 일반적인 경향을 반영하고자 이중곡률 및 몰딩구조를 제외한 단일 곡률 형상에 대하여 해석을 수행하였다. 디자인 인자값 추출은 A 필라 아웃미러 베이스 끝단지점(혹은 A필라부 센터부)의 수직단면을 기준으로 진행하였다.

디자인 변수는 다른 변수를 최대한 유지하기 위하여 Fig. 2의 하단처럼 일정 부분을 고정시키고, 다른 부분을 변경하도록 하였다. 앞의 4가지 A 필라 디자인 인자의 범위는 경쟁차 및 당사 차량의 값들을 고려하여 아래와 같이 설정하였다(A-Seg. 4차종, B-Seg. 8차종, C-Seg. 6차종 고려).

반응면 수렴 판단을 위한 목적값은 A차종의 A필라 풍절음 해석 결과를 바탕으로 PowerFLOW를 이용한 운전석 2 kHz ~ 5 kHz 대역 실내음 해석값으로 선정하였다(Fig. 3 참조).

**2.1.2 와이퍼 풍절음**

운전석 와이퍼 최고 돌출 단면에서 와이퍼 풍절음에 영향을 줄 수 있는 독립적인 디자인 인자를 아래와 같이 추출하였다(Table 3과 Fig. 4 참조) 여기서 후드 끝단 길이는(환기성능 때문에 요구되는) 후드 끝단에서 시작하는 평편한 부분의 길이이다. 또한 와이퍼 높이는 후드 끝단과 와이퍼의 가장 높은 지점 사이의 상대 높이로 정의하였으며, 다른 인자와 독립적이면서 이해하기 쉽고, 실차에서 계측도 용이하여 매우 실용적이다.

디자인 인자의 범위는 Table 3과 같이 경쟁차 및 당사 차량을 조사하여 인자값 범위를 선정하였다.

Table 3. Major factor range of wiper for each car segment.

No.	Parameter	A Seg.	B Seg.	C Seg.
1	Wiper height (mm)	15 ~ 65	16.5 ~ 60	10 ~ 60
2	Windshield angle (Deg.)	59 ~ 61.1	61 ~ 64	63 ~ 66
3	Hood angle (Deg.)	10 ~ 14	8 ~ 12	6 ~ 12
4	Hood tip length (mm)	0 ~ 40	0 ~ 40	0 ~ 40

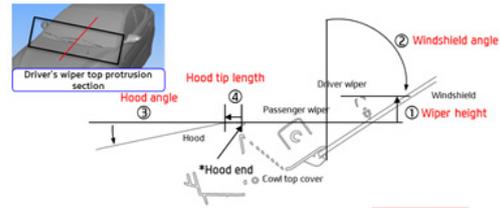


Fig. 4. Design factors of wiper wind noise.

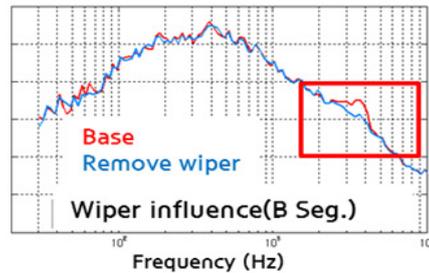


Fig. 5. Target frequency selection of wiper wind noise.

A필라 풍절음 해석은 통계에너지기법(Statistical Energy Analysis, SEA)을 활용하여 도어 글래스 표면 압력 해석 결과로부터 실내음을 예측하는 기법으로 해석 신뢰성이 시험으로 검증이 되어 실내 소음을 목적함수로 사용하고 있다. 그러나 와이퍼에서 발생한 풍절음의 경우, 시험적으로 실내소음의 변화 유무를 확인하는 것이 가능하나, 격자 볼츠만 방법(Lattice Boltzmann Methods, LBM)을 이용하여 획득한 해석 결과를 SEA를 통하여 얻은 실내소음의 경우, 시험 해석 상관성 검증이 되지 않았기 때문에 본 연구의 목적값으로 사용할 수 없어, 와이퍼 주변에 발생하는 유동소음을 모사하는 기법(FIND, Flow Induced Noise Detection, EXA 특허)을 통한 음향 파워를 본 논문의 목적값으로 하였다. 주파수 범위 선정은 시험적으로 풍동시험에서 와이퍼 유무시 실내소음에 영향을 주는 주파수를 선정하였다(Fig. 5).

FIND 기법을 사용하여 유동장내 존재하는 와동

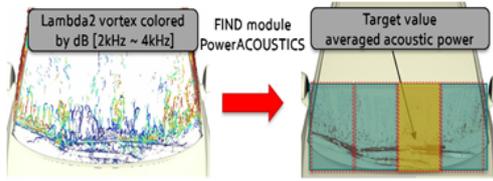


Fig. 6 Target value selection of wiper wind noise.

(vortex)의 움직임을 추적, 소음 발생에 관계 있는 와동과 그렇지 않은 와동을 구분하여 유동장내 존재하는 소음원의 강도, 위치를 확인할 수가 있다. 이렇게 가시화된 소음원은 원활한 규모 파악을 위해 군집화하여 표현 가능하게 된다. 와이퍼 소음은 와이퍼 최대 돌출 부분에서 최대가 되기 때문에 이 영역을 포함하는 부분의 소음원들의 전체 평균값을 목적함수로 사용하였다(Fig. 6).<sup>[1]</sup>

## 2.2 차급별/성능별 반응면 파악

### 2.2.1 modeFRONTIER 이용한 반응면 구축

인자별 기여도 파악을 위해서 기존에 많이 쓰이던 지교표를 이용하여 인자의 영향도를 분석하는 방법이 아니라 최근 유동에 의한 공력 특성 최적화에 성공적으로 적용된 바 있는 상용 다변수 최적화 소프트웨어인 modeFRONTIER를 이용하여 차급별 반응면(Response surface)을 구축한 후 이로부터 인자별 기여도를 추출하는 방법을 사용하였다. Fig. 7에서 mode-

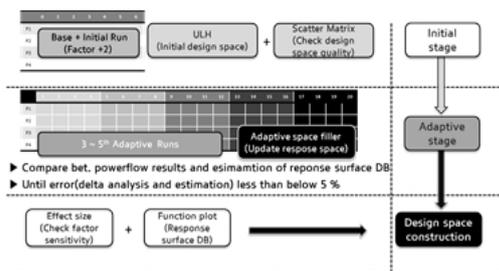


Fig. 7. Process of response surface method.

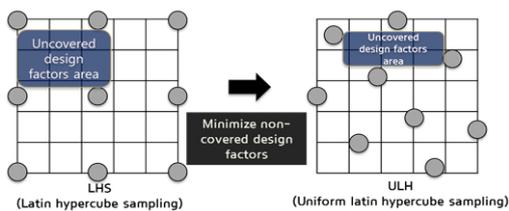


Fig. 8. Configuration method of initial run (LHS vs ULH).

FRONTIER를 활용한 반응면 구축 프로세스는 기본 해석 케이스 포함한 초기 반응면을 구축하는 Initial stage와 modeFRONTIER에서 제시하는 인자 조합의 해석을 오차 5% 미만일 때 까지 반복 수행하여 반응면을 업데이트하는 Adaptive stage로 이루어진다. 바람소리 해석 도구로는 차량 유동 분야에서 전 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 래티스-볼츠만 방정식을 지배방정식으로 하고 있는 상용 소프트웨어, PowerFLOW를 이용하였다.<sup>[2]</sup>

초기 Initial Run 과정은 인지+2개의 해석조건을 구성하고, Fig. 8과 같이 각 구성 조건의 인자 구성은 각 인자의 특성을 파악하기 위해 LHS(Latin Hypercube sampling), 인자로 이루어진 공간을 채우는 형식의 인자 추출 방법으로, 추출된 공간 이외에 상대적으로 비어 있는 공간에 인자 추출점을 연속적으로 추가하면서, 추출 인자가 갖는 분포의 질을 향상시키는 특성을 가짐) 방법 중 ULH(Uniform Latin Hypercube Sampling)을 이용하여 인자 영역 전반에 걸쳐 고르게 분포된 해석 케이스를 선정하도록 한다.<sup>[3]</sup>

구성된 초기 해석을 통하여 각 인자들의 상관관계를 파악하여 구성된 인자들이 서로 독립적으로 이루어져 있는지 판단하게 되는데 이 과정에서 Scatter Matrix Chart를 이용하여 상관성을 판단한다. 또한 초기 Base 조건과 인자를 구성한 Initial Run간의 차이를 통하여 큰 값과 작은 값이 적절히 분포되었는지도 판단하여 초기 조건 값들이 잘 구축되었는지 확인하게 된다. 상관성이나 Initial Run간의 차이가 크지 않다면, 디자인 요소가 서로 연관되거나, 인자간 구성이 잘 분포되어 있지 않기 때문에 인자 선정을 다시 하거나, 초기 Initial Run 구성을 다시 실시해야 한다.

Initial Stage를 통하여 구성된 초기 반응면의 완성도를 위하여 적절한 Adaptive Space Filler를 통하여 반복적으로 새로운 해석 조건을 현재의 인자 반응면 영역에 추가하여 반응면을 업데이트 하도록 한다. Adaptive Space Filler중에서 Response Surface Method는 비선형 반응면 예측에 적합한 Kriging surface를 사용한다. 이때 해석 전 반응면에서 예측한 값과 해석 결과와의 오차가 5% 미만이면 수렴으로 판단한다.<sup>[4]</sup> Figs. 9와 10에서 와이퍼와 A필라의 반응면 업데이트 결과를 확인할 수 있으며, Case가 진행할수록 해석

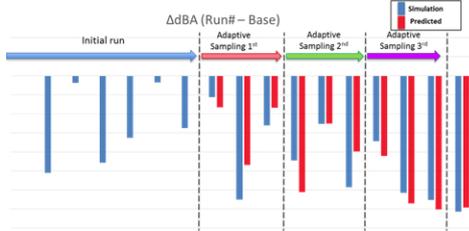


Fig. 9. Process for updating response surfaces of A Pillar wind noise (A Seg.).

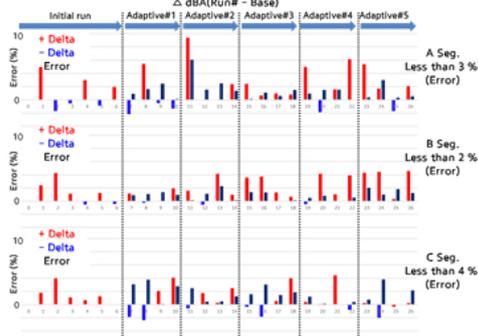


Fig. 10. Updated results of wiper wind noise.

결과와 예측결과 유사함을 볼 수가 있고, 최종 2%~4% 오차 범위 이내로 수렴되었음을 알 수 있다.

반응면 업데이트 과정에서 단계별로 제시되는 인자 조합에 맞는 모델의 생성을 위해서는 Geometry Morphing S/W인 PowerCLAY를 이용하여 모델을 수정하여 해석 진행 작업을 수행하였다.

### 2.3 인자별 기여도 분석/디자인 가이드

#### 2.3.1 A필라 풍절음 인자별 기여도 분석

최종 수렴된 반응면으로부터 A필라 풍절음의 인자별 기여도를 추출하면 Fig. 11과 같은 곡선을 얻을 수 있다. A, B, C Seg. 모두에서 A필라 폭이 가장 큰 영

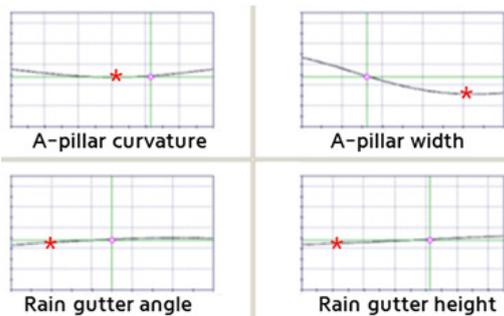


Fig. 11. Contribution analysis to A pillar (C segment).

향력이 있었고, 그 다음으로 레인거터 높이, A필라 곡률, 마지막으로 레인거터 각도 순으로 영향력이 있었다. 차량 개발시 경험상 레인 거터 높이에 따라 바람소리 개선 경험이 있었기에 곡률보다는 레인 거터 높이를 영향성이 있는 인자로 선정하였다. 또한 와이퍼 작동에 따라 빗물이 A필라로 넘어와 운전석 창문의 시야를 가리는 우적 성능 고려(우적성능은 높이가 높을수록 유리, 풍절음은 낮을수록 유리)하여 디자인 범위를 선정하였기 때문에 영향력이 크지 않게 나온 것으로 판단된다.

#### 2.3.2 A필라 풍절음 디자인 가이드

인자별 기여도 분석 결과로부터 다음과 같은 A 필라 풍절음 디자인 가이드를 도출할 수 있다.

1. A 필라 폭: 디자인 요소 중 제일 기여도가 크며, 폭이 넓을수록 바람소리 유리
2. 레인거터 높이: 낮을수록 유리하나, 우적 성능 고려하여 최적 수준 확인 필요
3. A 필라 곡률: 디자인 범위 안에서는 큰 분별력이 없으나, 곡률이 증대될수록 미소 유리(곡률은 90 이상)
4. 레인거터 각도: 디자인 범위 안에서는 큰 분별력이 없으나, 90°~100° 조건 미소 유리

#### 2.3.3 와이퍼 풍절음 인자별 기여도 분석

최종 수렴된 반응면으로 와이퍼 풍절음의 인자별 기여도를 추출하면 Fig. 12와 같은 곡선을 얻을 수 있다. A, B, C Seg. 모두에서 와이퍼 높이가 지배적인 인자임을 확인할 수 있었다. 윈드실드 경사각, 후드 경사각, 후드끝단 편평화량의 인자는 A, B, C Seg.에서

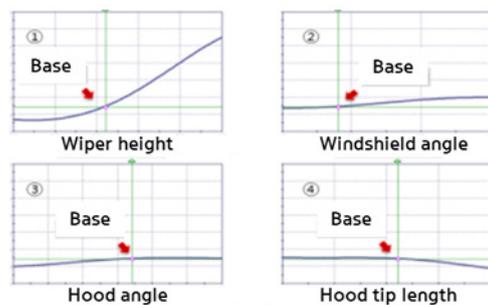


Fig. 12. Contribution analysis to wiper (C segment).

약간씩 우열이 달랐으며, A Seg. 에서는 상대적으로 후드 경사각과 후드 끝단 평편길이의 영향이 크게 나타났다.

**2.3.4 와이퍼 풍절음 디자인 가이드**

인자별 기여도 분석 결과로부터 다음과 같은 A 필라 풍절음 디자인 가이드를 도출할 수 있다.

1. 와이퍼 돌출 높이(가장 중요)
2. 후드 끝단 높이를 유지시키는 조건으로 후드 끝단 편평화량 가능(환기 성능 요구안과 병립 가능)
3. 윈드실드 경사각: 60° 조건으로 유도, 단, 디자인 변경 유도시 윈드실드 단차 증대와 같이 A 필라 및 카울탑 사이드 풍절음이 나빠지는 방향은 확인 필요

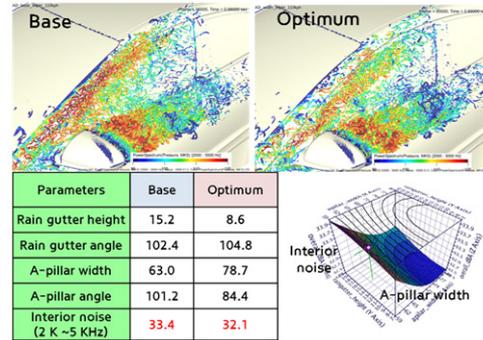


Fig. 13. Optimization result of A pillar wind noise (C Segment).

**2.4 심화 연구 및 차량 개발 적용 사례**

**2.4.1 A필라 풍절음 디자인 인자 최적화**

본 연구 방법의 장점은 목적값 최적화의 목적을 가지고 반응면 업데이트를 충분히 수렴시키면 mode FRONTIER에서 인자들의 최적 조합을 얻을 수 있다는 점이다. 이를 활용하여 CSeg 대표 차종에 대하여 인자 최적 조건을 찾아보았다. A필라 폭의 증가, 레인거터 높이의 축소, A필라 곡률의 축소 및 레인거터 각도의 증가를 통하여 초기 대비 실내소음 약 1.3 dB 개선되며, 유동 해석 결과를 보면 A필라와류의 강도가 상당히 감소함을 알 수 있다(Fig. 13). 또한 유사 형상을 실제 차량에 구현하여 평가시 동일하게 소음이 개선됨을 확인할 수가 있었다.

**2.4.2 와이퍼 풍절음 인자별 특성 연구**

Cseg. A차종에 대하여 풍절음 인자별 디자인 범위 min, max 조건에 대하여 상세 유동장을 상세 분석하여 각 인자의 영향을 살펴보고자 하였다. 4개 인자 중에서 본 연구에서는 특히 후드 경사각이 6°와 12°인 경우를 비교한 결과를 기술한다. 기존 상식에서는 유동 방향의 상향에 의해 와이퍼 풍절음이 감소할 것이라는 예상되었으나, 해석 결과는 소음이 미소 증가하는 것으로 나타났기 때문이다. 유동장과 소음장의 상세 분석 결과, Fig. 14에서 보듯이 후드 각도 6°

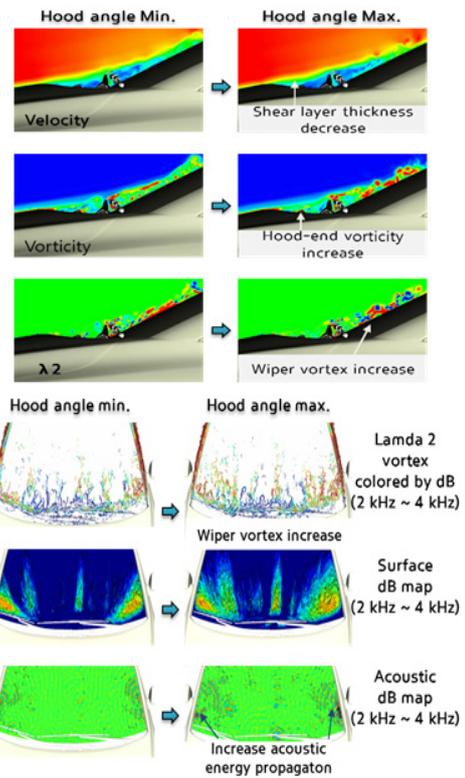


Fig. 14. Min-max condition comparison result of hood angle (C segment wiper wind noise).

상향시 후드 끝단에서 박리되는 전단층(shear layer)의 두께가 감소하고 후드 끝단 와도(vorticity)가 증가하면서 와이퍼 와동이 증가하는 것으로 나타났고 이것이 와이퍼 주변 소음원의 미소 증가를 가져오는 것으로 분석되었다. 이처럼 인자별 min-max 조건 비교 연구를 통하여 기존에 불명확했던 인자들의 영향을 구체화하여 정확한 메커니즘의 이해에 한층 더 다가설 수 있었다.

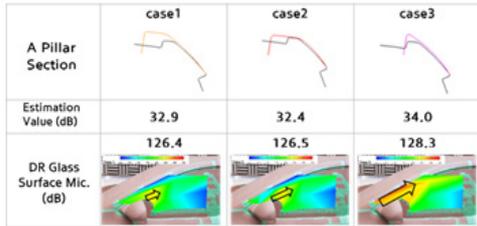


Fig. 15. A pillar wind noise and surface pressure of different shape.

**2.4.3 A Seg. A필라 풍절음 선행 개발**

본 연구에서 구축된 차급별 반응면 데이터베이스를 활용하여 A Seg. 개발 차급 승인 준비 모델의 A필라 형상별 바람소리 성능 예측을 실시하였다.

기존에는 차량 모델을 구성한 후, 케이스별로 PowerFLOW 해석을 실시하고 그 후처리 결과를 비교하는 방식이었지만, 본 연구 결과를 활용하면 각 케이스별 인자값을 구한 후 modeFRONTIER에서 구축된 반응면 데이터베이스에서 인자값을 조정하면 손쉽게 실내음 수준을 예측하여 상대 비교가 가능하다.

실차 클레이 모델에서 A 필라 형상만을 변경하여 실시한 선행 개발 연구 과정에서 도어글래스 표면 소음을 풍동에서 계측하였고, 동시에 본 연구의 반응면 데이터베이스를 활용한 실내음 예측을 실시하여, 그 결과를 비교하였다. Fig. 15에서 보듯이 case3와 case1에 대해서는 시험과 동일하게 경향을 보였으나, case2에 대해서 시험에서는 case1 동등 수준으로 나온 반면에 예측에서는 case1보다 개선되는 것으로 나타났다. 이는 A필라 풍절음에 대한 본 논문의 연구 대상을 단일 곡률의 A필라 형상으로 한정지었기 때문에 이중 곡률의 실제 형상 시험 결과와 차이가 나는 것으로 추정된다. 이중 곡률일 경우 인자 정의가 훨씬 더 복잡해지고 인자간의 비독립성이 너무 높아질 수 있기 때문에 예측 기법이 가지는 효율성과 정확성의 조화 목적에서 배제되었다. 실차 표면 마이크로폰 시험에는 시험 준비와 분석에 막대한 비용과 맨아워 투입이 소요되기 때문에 본 연구와 같은 예측 툴을 이용한 접근이 필수적이다.

**2.4.4 B Seg. 와이퍼 풍절음 선행 개발**

본 연구에서 구축된 차급별 반응면 데이터베이스

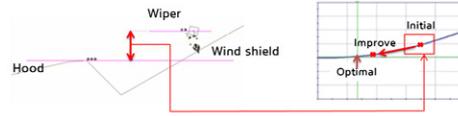


Fig. 16. Wiper noise estimation of B Seg.

를 활용하여 B Seg. 차급 고정 품평 준비 모델의 와이퍼 풍절음 성능을 예측하고 이를 바탕으로 개선 대책을 수립하였다(Fig. 16 참조).

먼저, 와이퍼 최고 높이 단면에서의 모델 분석을 통해 와이퍼 높이가 B Seg. 최적수준보다 높은 수준임을 파악하였고, B Seg. 차급의 반응면 데이터베이스를 이용하여 와이퍼 높이에 의한 소음 악화가 예측되었다. 윈드실드 경사각 등의 다른 인자들은 변경이 어려운 뿐만 아니라, 극단적으로 변경을 하여도 기여도가 미미하기 때문에 와이퍼 높이를 개선하는 것이 현실적이라고 판단하였다. 본 연구 결과를 활용하여 관련 부문 설득을 실시하였고, 후드 끝단 부 높이 상향, 와이퍼 위치 하향, Flat-type 와이퍼 적용을 통하여 과거차 대비 개선, 경쟁차 대비 동등 수준의 와이퍼 높이를 확보하였다.

**III. 결 론**

본 연구의 목적은 핵심 바람소리 성능인 A필라/와이퍼 풍절음에 대하여 디자인 단계에서 성능 예측, 관련 부문 협의, 개선 방향 도출에 실질적으로 쓰일 수 있는 선행 개발 도구를 개발하는 것이다. 디자인 인자별 변경을 통한 다수 시험데이터 확보가 거의 불가능하기 때문에 이미 정확도가 검증된 해석 기법을 활용하여 차급별 해석데이터베이스를 구축하고, 이를 활용하는 방법을 바람소리 부문에서는 최초로 적용하여 관련 기술을 개발하였다. 이것은 최적화 S/W modeFRONTIER, 유동 및 소음 해석 S/W PowerFLOW, 해석 모델 모핑 제작 S/W PowerCLAY를 복합적, 유기적으로 활용하여 성공적으로 구현할 수 있었다. 이미 선행 단계 차급 개발에 적용되어 과거의 근거가 부족한 차량 개발 프로세스와는 한 단계 다른 유용성과 편리성을 입증하고 있다.

향후 차급 데이터 베이스 확대, 해석 조건(목적값)의 추가, 디자인 인자 추가를 통하여 적용 범위와 정

확도를 지속적으로 향상시킬 수 있을 것이다. 풍절음에 있어서 시험 데이터 베이스를 이용한 사전 예측은 다양한 차량 스타일링으로 불가능 할 것으로 판단되기 때문에 이와 같은 해석 데이터 베이스를 이용한 향후 디지털 차량 개발 방향은 점차 확대되어 완전한 시험 대체에 이를 것으로 전망된다.

## 감사의 글

본 논문은 (주)엑사코리아와 함께 진행한 용역결과를 이용하였습니다(2016년).

## References

1. A. Mann, F. Pérot, M. Meskine, and M. S. Kim, "Designing quieter HVAC systems coupling LBM and flow-induced noise source identification methods," 10th FKFS-Conference, Progress in Vehicle Aerodynamics and Thermal Management (2015).
2. S. Senthoran, L. A. R. Mutnuri, J. Amodeo, R. Powell, and C. Freeman, "A computational approach to evaluate the automotive windscreen wiper placement options early in the design process," SAE-paper 2013-01-1933, (2013).
3. M. D. McKay, W. J. Conover, and R. J. Beckman, "Latin hypercube sampling: A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code," Technometrics **21**, 239-245 (1979).
4. T. Montrone, S. Silveti, and M. Engel, "Adaptive space filler: general description," ESTECO Technical Rep., 2015-002.

## 저자 약력

### ▶ 임 성 남 (Sungnam Rim)



2002년 7월: 전남대학교 자동차공학 학사  
2004년 7월: 고려대학교 기계공학 석사  
2004년 7월: 현대자동차 입사  
2012년 1월~현재: 현대자동차 책임연구원

### ▶ 신 성 룡 (Seongryong Shin)



1995년 2월: 서울대학교 항공우주공학 학사  
1997년 2월: 서울대학교 항공우주공학 석사  
2003년 2월: 서울대학교 항공우주공학박사  
2003년 3월~현재: 현대자동차 책임연구원

### ▶ 신 현 수 (Hyunsu Shin)



2000년 2월: 연세대학교 기계설계학 학사  
2002년 2월: 연세대학교 기계공학 석사  
2002년 1월: 현대자동차 입사  
2010년 1월~현재: 현대자동차 책임연구원