

<논문>

승용차 외장측면거울 주위의 유동 특성

한용운[†] · 김정현* · 황인호** · 서정복** · 임병훈** · 정의현**

Wake Flow Characteristics around the Side Mirror of a Passenger Car

Yong Oun Han, Jung Hyun Kim,
In Ho Hwang, Jung Bok Seo, Byung Hoon Lim and Ui Hyun Jung

Key Words: Side mirror[측면거울], Wake vortex control[후류와류제어], Pressure distribution[압력 분포], Flow visualization[유동가시화], Hot-wire anemometry[열선유속계], Wind tunnel experiment[풍동실험]

Abstract

In order to investigate the vortex body frame interaction around the side mirror of a passenger car, velocity vector fields in the wake, pressure distributions and boundary layer flows over both the mirror surface and the mirror housing, have been measured by several experimental tools. It was resulted that only within an half downstream distance of the mirror span there appears the recirculation zone, and also found that vortex trail towards to the driver side window between A and B pillars, making the acoustic noise and vibration. Wake vortex rolls up after this recirculating zone and makes the trail of the vortex center towards the driver side window, which was also confirmed by measurements of wake velocity vectors in the vertical sections of the trail and visualization over the side mirror surfaces as well. It was also observed that total pressure distribution over the mirror surface has the minimum peak near the lower tip region which can be considered as the origin of the vortex center. It can be concluded that the geometrical modification of the lower tip and the upper root area of the mirror housing is the key to control the wake vortex.

1. 서 론

승용차의 사이드 미러는 공기역학적으로 최적화되어 있는 차체의 형상에 측.후면의 시야를 확보하기 위해서 필수불가결하게 설치하는 돌출방

식의 비공기역학적 개념의 저항발생 장치이며 운전자에게 소음을 발생시키는 장치에 해당된다. 최근에 차량의 속도가 증가함에 따라 운전자에게 불쾌한 소음을 부가하며 거울면 떨림에 의해 야기된 불안정한 시야에 대한 문제가 대두가 되므로 사이드 미러 전후의 상세한 공기역학적 측정 및 해석이 요구되고 있다.

거울면 진동과 불유쾌한 소음은 기본적으로 뭉툭한 물체 주위에서 발생하는 주기적 와류에 의하여 발생된다. 따라서, 설계 단계에서 이러한 비정상 와류의 발생을 억제할 수 있는 이상적인 기하학적 형상이 제시되어야 한다. 특별히, 소음의

[†] 책임저자, 회원, 영남대학교, 기계공학부

E-mail : yohan@yu.ac.kr

TEL : (053)810-2454 FAX : (053)810-4627

* 영남대학교 기계공학부 학생회원

** 에스엘 주식회사 기술연구소

원인은 발생한 와류가 운전자 근접위치에 놓여있는 창유리 또는 B 필라에 부딪치면서 생기는 와류파단(Vortex breakup)이기 때문에 주기적 와류의 세기와 경로를 제어해야 하는 매우 어려운 문제가 된다.

기본적으로, 와류파단에 의한 소음제어를 위해서는 미러에 의한 와류의 생성과정을 계측한 후에 미러 형상을 변경함으로써 고유와류의 특성을 변화시키는 방법과 이들의 경로를 제어함으로써 파단의 기회를 최소화하는 방법으로 나누어 볼 수 있다. 고유와류는 소음에 간접적 영향을 주지만 주로 거울면 떨림 문제로 발전하며 와류경로는 거울면 각도, 하우징 형상 및 미러 마운팅 구조 등을 변화시켜 경로를 최적화하는 파단제어 문제로 발전한다.

본 논문에서는 기존에 생산된 미러를 사용하여 다양한 실험적 방법을 적용함으로써 와류의 구조를 계측하고 그 경로를 추적함으로써 와류 파단에 의한 소음 발생을 경감시킬 수 있는 방안을 모색하고자 하였다. 이를 위하여, 단품과 부분 실차 풍동실험을 실시하여 미러 후류 구조를 실험적으로 밝혀내고 소음 경감 방법에 대하여 전략을 세워 보기로 한다.

2. 실험장치

2.1 미러단품 실험장치의 구성

사이드 미러 단품의 후류를 측정하기 위하여 시중에서 상품화 되어있는 실제의 뉴프라이드 미러를 모델로 사용하였다. 미러 단품은 승용차에 장착하는 것과 동일한 조건을 갖도록 알루미늄 블록을 이용한 마운팅 지그를 제작하였으며 배출식(Blow Down) 풍동의 시험부 중앙에 위치하도록 설치하였다(Fig.1). 실험용 단품은 각각, 압력모형, 스모그모형 및 표준모형의 3가지로 구성하였다. 압력모형은 Fig.2 에서 제시된 바와 같이 미러의 하우징 면에 약 100개의 압력공(Pressure hole)을 갈도록 하였으며 거울면에도 100개의 압력공을 갈도록 제작하여 48홀 슬레노이드 스케니 밸브와 압력변환기를 이용하여 압력분포를 측정하였다.

정상유동을 가정한 경우의 미러 후류에 대한



Fig. 1 Sketch of a side mirror unit on mounting zig in the wind tunnel test section.



Fig. 2 RP pressure model with 100 static holes both on the mirror housing and on the mirror surface.

속도벡터를 측정하기 위하여 2차원 열선유속계를 사용하여 유동축에 대하여 수직하게 선정된 실험 그리드면에서 유입속도 방향과 수직방향의 속도벡터를 측정하였다. 또한, 유막법을 이용하여 경계층 유동 가시화 및 Tuft 면을 이용한 와류 궤적에 대한 실험을 수행하였다.

2.2 부분실차 실험 기법

승용차 사이드 미러 주위에는 주유동 이외에 앞 유리면에서 유도된 측방향 유동과 A필라의 형상에 따른 코너유동 등 매우 복잡한 혼합유동이 전개된다. 이러한 유동조건은 미러단품과 지그에 의한 실험 조건만으로는 얻을 수 없기 때문에 A 필라와 미러를 포함한 실차 일부를 풍동시험부에 돌출시켜 배치함으로써 최대한 실차 조건의 실험을 수행하려 하였다. 일반적으로, 차체 대칭면을 시험부 옆면에 위치시키고 약 10~30% 이내의 Blocking Ratio를 유지하는 반차 실험이

미리 실험에 가장 이상적인 조건을 제시할 수 있으나, 경제성을 고려하면서 미리 주위의 유동만을 관찰하기 위해서는 부분실차 실험도 유용한 결과를 얻을 수 있다.

이러한 부분실차 실험에서는 단품실험에서 사용한 모든 실험 기법을 반복하여 실시한 후에 단품과 부분실차와의 결과를 관찰하였다.

3. 측정결과 및 고찰

3.1 단품실험 결과

3.1.1 압력분포

속도 25m/sec 인 유동 중에 실차에 부착한 경사 조건을 유지한 지그에 장착된 실물 사이드 미러의 실험은 예측시 계열의 재료를 이용한 RP공정을 이용하여 하우징과 미러면을 각각 분리하여 실험하도록 실물 크기로 제작되었다. Fig. 3 은 거울면의 측정된 압력분포와 상용코드를 이용한 계산 결과를 보이는 거울면 전압분포들로서 미러의 연결부인 Root 근처의 하단에 낮은 압력분포를 보이고 있다.

미러의 하우징 면은 두 단의 꺾인면을 사용하되 하단부에 수평면을 유지하고 상단부는 곡면을 주어 미러면의 하단부에 와류가 집중하도록 설계되었다. 또한, 미러 하우징의 Tip형상은 완만한 곡선을 유지하되 하단에 급한 커브를 주어 Tip 하단에 와류 생성 가능성이 존재하였다. 예상대로 미러의 수직단면을 따라서 측정된 전압분포는 하우징 중심부에서 최대압을 보이며 꺾는 위치에서 낮아지는 전형적인 압력분포를 나타냈다. Span 방향으로 측정된 전압분포는 Span 방향으로 점차 낮아지는 추세를 보이는데 전 구간을 걸쳐서 압력의 극대점이 없는 것은 하우징 자체가 주 유동의 수직면에 대하여 이미 30도 정도 기울어져 있기 때문에 전면의 각 정압분포는 단순 감소 형태를 보였다.

3.1.2 표면유동 가시화

3차원의 둔탁한 몸체의 형상을 가지는 사이드 미러는 가능한 낮은 세기의 와도를 가지는 분포 와류를 만들어서 와류시트가 하류에서 크게 말리는 현상을 지체 시키도록 하는 것이 유리하다. 복잡한 3차원 형상을 가지는 미러 하우징은 계측이나 계산을 통하여 표면유동에 대한 상세한 정

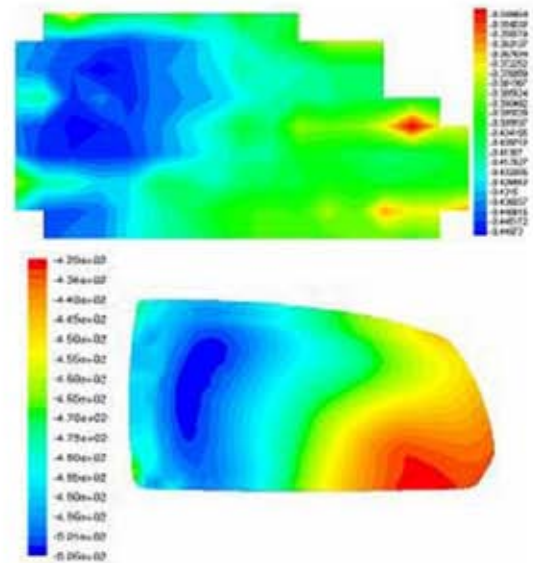


Fig. 3 Contour plot of total pressure distribution; measured (upper) and calculated (lower) on the mirror surface.

보를 얻기가 매우 어려움으로 유막법에 의한 와류 생성위치를 파악해 내는 것이 매우 유리하다.

Fig.4 는 하우징 및 거울면에 미립의 탄소가루를 혼합오일에 섞어서 전 표면에 바른 다음 정상 유동장에서 충분히 시간이 경과한 후 탄소입자의 위치가 정제 되었을 때 얻은 이미지를 제시한다. 많은 시행착오 후에 얻어진 이미지에서 검은 띠로 보이는 부분은 경계층 내의 유동이 표면에서 분리되는 분리선(separation line)이면서 표면와류의 궤적이 되는데 미러면에서 떨어져 나갈 때 와류를 형성하여 미러 후류에서의 와류 생성 위치를 파악하는데 매우 유용한 정보를 제시한다.

거울면에서의 검은띠의 궤적은 미러 하단부 스펠에 걸처서 분포하면서 Root 근처에서 상부로 말리는 것을 보이고 있는데 이는 압력분포에서 최소압의 위치가 Root쪽 하단인 것과 일치한다. 하우징면의 가시화 결과는 위단 이후에 유동이 즉각적으로 분리되면서 분리선이 Tip 부근의 코너로 물리는 현상이 관찰된다. 이는 상당한 세기의 와류가 미러 후류 영역에서 전개될 것으로 예측되나 하우징의 형상이 코너에서 매우 완만한 커브를 갖게함으로써 그 세기를 조절한 특징을 보였다. 또한 몸체와 연결부인 목부근에서는 매우 강한 표면와류가 형성되는 것을 볼 수 있는데 많은 경우 미러의 형상을 최적화함에 치중하다 보면 목 부근에서 발생하는 와류가 더 커져서 이



Fig. 4 Separation lines and surface vortices on side mirror visualized by the oil-film techniques.

와류의 궤적이 운전자의 창에 부딪쳐서 와류 파단에 의한 소음의 원인이 되어 버리므로 전략적인 수정이 필요한 결과를 나타낸다.

3.1.3 후류 속도 벡터장

열선유속계를 이용하여 정상유동에서의 3방향 속도 벡터를 미리 Tip으로부터 주유동 방향으로 각각 $0.5d(8cm)$ 와 $2d(33cm)$ 에 위치한 수직 단면에서 측정하였다. 실험그리드는 미러의 후류를 충분히 포함한 $40 \times 30cm$ 단면에 각 $1cm$ 간격의 측정 간격을 선정하여 측정하였으며 그 결과 Fig.5 을 얻었다.

축방향 속도의 크기를 형상분포(Contour Plot)로 볼 때, 미러에 의한 후류 영역의 크기를 짐작할 수 있다. 특별히 관찰되는 것으로는 미러의 연결목과 미러 Root 면 사이에 상대적으로 강한 가속 유동이 존재하는 것이 관측되는데 이 부근에서 강한 음압 영역이 존재함을 예측할 수 있다. 이러한 경향은 와류의 궤적이 쉽게 이루어지는 특성이 되므로 향후 하우징 형상과 연결목과의 기하학적 선형의 재고가 필요한 것을 의미한다. 또한, 수직속도 성분에 의한 쓸림을 관찰하면 $8cm$ 단면에서의 유동은 거울면을 제외하고는 전반적으로 Tip 방향을 향하는 것으로 관측되며 하우징과 거울 경계면에서 내부로 강한 쓸림 유동이 존재함을 알 수 있다. 또한, 미러면 중간 영역에 미약한 와류가 생성되고 있음을 볼 수 있는데 이는 실험의 특성상 비정상적인 주기적 와류의 발생을 정상유동으로 가정하여 평균한 것이기 때문에 그 영향을 뚜렷하게 볼 수 없는 문제가 있으나 이 영역에서 비정상특성이 강한 주기적 성향을 가질 수 있음을 짐작할 수 있다.

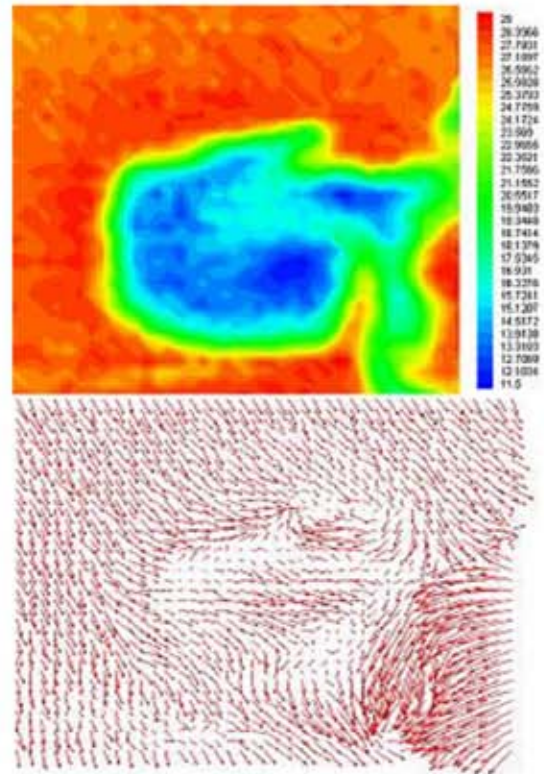


Fig. 5 Contour plot of inflow velocity (upper) and vector plot of vertical velocity components (lower) at the vertical section, $0.5d$ to the vortex trail.

동일한 실험을 운전자가 위치한 근접 단면인 $2d$ 에서 측정한 결과, 비교적 후류의 영역이 줄어들어서 전반적으로 속도구배가 완만해지는 것을 볼 수 있었다. 수직속도 성분은 마찬가지로 그 세기가 약해지며 앞의 단면에서와 마찬가지로 미러 중심에서 Tip 부근에서 약한 선회 성분을 관측할 수 있었다.

이러한 정상유동 측정결과는 주기적 특성을 관측하는 면에서 약점을 가지고 있지만 그 외의 후류 영역에서의 유동 경향성 및 정량적 평가에 유용한 자료로 활용된다. 그렇지만 비정상 특성을 관측하기 위해서는 순간적인 이미지를 얻는 가시화 기법과 평균되지 않은 속도벡터장을 제시함으로써 그 성향을 파악함이 바람직하다.

3.2 실차실험 결과

2장에서 살펴본 단품 미러 주위의 공기역학적 특성은 미러가 독립적으로 설계되는 과정에서 가능한 와류의 세기를 줄이고 역학적으로 저항과 모멘트를 줄이는 개념적 설계가 요구되므로 독립

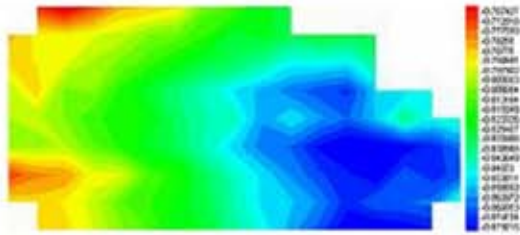


Fig. 6 Total pressure distribution on the mirror surface mounted on the real scale model.

적으로 발생하는 와류의 형상을 추적함에서 유용한 결과를 제시한다. 그러나, 운전자의 입장에서는 독립적 와류 소음보다는 와류 궤적이 A필라와 B필라 사이의 창문에 충돌하여 와류 파단이 진행될 때 발생하는 소음이 창문의 진동뿐만 아니라 소음의 요인으로 작용하기 때문에 실차에 미러를 장착했을 때, 와류의 궤적이 가능한 후방으로 진행되어 차체와의 간섭을 줄이도록 설계되어야 한다. 실제로, 곡면인 전방시야면(wind shield)에서 유도된 곡선유동은 미러 주변에서 진행되는 주유동 방향을 변하게 하므로 실차의 경우 와류 궤적은 단품의 경우와 많은 차이를 보이게 된다.

3.2.1 실차미러의 압력측정

단품 압력 모형을 실차에 장착하여 실험을 수행한 결과 거울면과 하우징의 압력분포에 대한 결과를 얻었으며 거울면 압력분포를 Fig.6 에 도식하였다. 거울면의 경우 단품에서 Root 쪽 하단에 최소압이 나타났지만 실차의 경우는 Tip 부근의 하단부에 최소압 영역이 나타나 Tip 부근의 곡면형상 주위에 실질적인 와류의 생성 기운이 존재함을 알 수 있다. 하우징 전면에 대한 압력 분포는 단품과 특별한 차이를 보이지 않았으나 몸체의 연결 목 부근에서의 압력분포는 차체 형상과 곡선 유입유동에 의하여 변화가 있음을 알 수 있다.

3.2.2 유막법실험 결과

실차에 장착된 미러의 표면유동 실험 결과 단품실험결과와 다른 점은 단품에서 보였던 목부근의 강한 표면와류가 소멸되었으며 대신 Tip 부근과 하우징 윗면 및 하단부에 표면와류의 궤적들이 물리는 것을 관찰할 수 있었다. 거울면 역시 Tip부근의 하단부에 물리면서 표면에서 분리된 유막들은 운전자 도어의 차문 하단 경계면을 따라서 차체에 붙는 현상들을 목격할 수 있었다



Fig. 7 Separation lines and surface vortices on side mirror mounted on the real scale vehicle, visualized by the oil-film technique.

(Fig.7). 이러한 유막들의 경로를 와류 궤적으로 생각해보는다면 미러 코너에서 발생되어 전개된 와류들이 차체에 도달하여 파단되는 현상으로 이해되기 때문에, 차체에 달라붙는 유막들이 공기에 비해 무거운 것으로 감안하면 와류 궤적은 유막의 접촉 위치보다 약간 위로 지나갈 것으로 예측되므로 미러 코너에서 발생한 와류가 운전자 창에 도달하여 파단이 진행될 때 소음과 미세 진동이 진행될 것으로 판단된다.

3.2.3 후류벡터장 결과

열선유속계에 의한 속도벡터를 측정한 결과를 0.5d 하류(Tip 끝에서 80mm 거리)에서 측정한 결과를 Fig.8 에 제시하였다. 유동방향속도의 경우 단품에서 관측되었던 상단의 돌출부가 사라진 것으로 보아 단품의 돌출현상은 지그의 영향이 지배적이었다는 것을 확인할 수 있다. 비교적 타원의 분포를 이루는 것을 근거로 판단할 때, 분포 와류(distributed vortices)를 생성하여 최종 와류의 세기를 최적화하였음을 유추할 수 있다. 수직속도벡터의 분포를 관측할 때, 하우징의 경계면을 통하여 유입된 유동이 급하게 거울면 내부로 유입되는 현상을 볼 수 있다. 거울면 중앙에 Tip 부근의 와류 중심이 형성되어 전체적으로 단일 와류가 만들어져 하류로 전개될 가능성이 관측된다. 또한, 거리 2d의 위치에서 측정한 속도장은 다분히 속도구배가 약화되었으며 특히 차체에 유동이 강하게 쏠리는 분포를 나타낸다. 계측 결과를 보고 판단할 때, 사이드 미러 단면을 통하여 거울면을 향하여 말려진 분포와류는 하류로 향하면서 단일의 큰 와류를 형성하여 2d 근처에서 급격히 차체 쪽으로 향하여 B필라 근처에서 와류

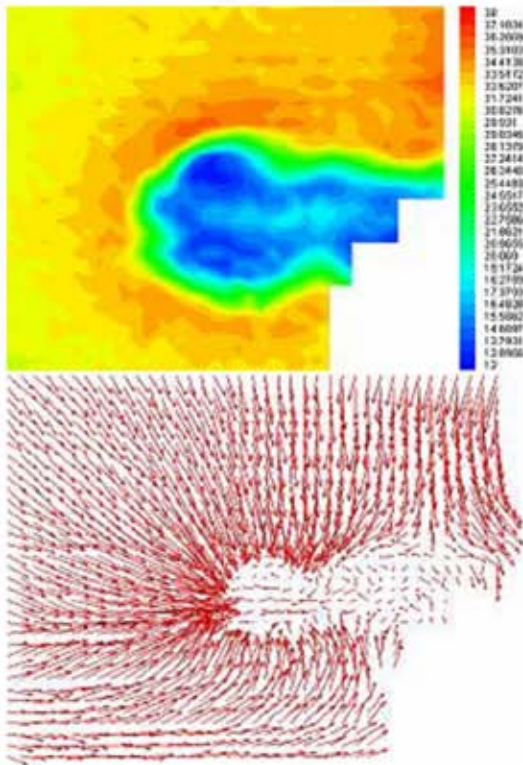


Fig. 8 Contour plot of inflow velocity(upper) and vector plot of vertical velocity components (lower) at the vertical section, 0.5d to the vortex trail.

파단이 이루어지면서 운전자 창문 하단에 소음을 야기 시킬 것으로 판단된다.

3.3 와류 궤적에 대한 고찰

비정상 유동의 특징을 나타내는 와류의 순간 궤적을 측정하기는 매우 어렵기 때문에 풍동 시험부 전체단면에 Tuft그리드를 제작하여 순간 와류의 위치를 얻을 수 있다. Fig. 9 은 실의 크기를 동일한 길이로 달았을 때 보여지는 순간와류의 형상을 얻은 것으로서 동일한 수직벡터의 크기로 표현된 와류의 형상을 나타낸다. 이러한 그리드를 하류로 단계적인 이동을 하면서 와류의 궤적을 파악하여 창문에서 파단 현상을 감지하였다. 결과적으로 Tuft 방법이나 순간유동 가시화를 통하여 궤적을 파악할 수 있는 방법이 매우 유용함을 알 수 있었다.



Fig. 9 Wake vortex image visualized by a tuft grid section behind the side mirror of the real scale vehicle.

4. 결 론

미러의 스팬으로 계산된 Re 수가 2.5×10^5 인 풍속 조건에서 실시한 미러단풍과 실차미러의 표면압력과 경계층유동 및 후류의 구조를 계측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

실차의 거울면 전압분포는 단풍과 달리 Tip 하단에 최소압 조건이 얻어지면서 미러 후류와류의 중심으로 발전되었다.

사이드 미러에 의해 발생한 와류의 궤적은 25m/sec의 유동조건 (90km/h의 주행속도)에서 운전자 창의 하단과 B 필라 부근에서 차체에 부딪쳐서 와류 파단으로 전개되었다.

본 논문에서 수행한 실험적 방법으로 와류의 크기와 궤적에 대한 정량적 평가가 가능함으로 향후 미러 선형 및 마운팅 방식의 개발에 유용한 평가 도구로 활용될 수 있음을 증명하였다.

후 기

위 실험에 도움을 주신 이민화 군과 에스엘 주식회사 기술연구소 김동현 씨 및 소음 측정팀에 감사를 드립니다. 이 연구는 에스엘 주식회사 연구비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌은 지면 관계로 생략합니다.