

경계층 이론에 의한 스포일러 선루프의 윈드 디플렉터 설계

조 현 덕[#]

Wind Deflector Design of Spoiler Sunroof by Boundary Theory

Hyun-Deog Cho[#]

ABSTRACT

Sunroof is getting widely used in automobiles since it maintains, compare to window, better air circulation as well as less noise while driving in high speed. In this study, we consider an electronic control type spoiler sunroof which slides backward after tilting a rear part of a glass. Installing a wind deflector on the sunroof reduces noise much more effectively. The height of the wind deflector is designed using a boundary theory related to incompressible air layer. The developed wind deflector is investigated experimentally by measuring a wind noise. When the height of the wind deflector is designed by a fixed type, the sunroof maintains a very quiet interior noise over a certain driving speed, nevertheless it produces relatively loud noise in low driving speed.

Key Words : Air Layer(공기층), Boundary Theory(경계층이론), Spoiler Sunroof(스포일러 선루프), Wind Deflector(윈드 디플렉터)

1. 서 론

최근 레저문화의 발달과 교통체증 등으로 인하여 자동차안에서 보내는 시간이 늘어남에 따라 각종 편의 장비의 수요가 증가하고 있다. 자동차 지붕(roof)에 설치되는 선루프는 내부 공기를 효과적으로 순환 시키면서 창문 개방보다 작은 소음과 공기외류를 발생하기 때문에 중요한 자동차 편의장치 중 하나이다. 유럽 등에서는 자동차 선루프 장착이 보편화되어 있고 기술도 발달되어 있는데, 대표적인 메이커로는 네덜란드의 인알파(Inalfa)사, 독일의 웨바스토(Webasto)

사 및 독일의 메리터(Meritor)사 등이 있다. 국내의 경우 대부분 외국과의 합작기업으로 웨바스토-동희, 인알파-코리아 등이 있다. 선루프는 얇은 두께, 설치의 간편화, 공기저항과 진동에 대한 견고성 및 내구성, 주변 환경에 안정감 등 복합적인 기능을 필요로 한다. 특히 최근에는 단순 구조의 열고 닫는 장치로부터 지붕의 개구부를 넓게 할 수 있는 구조로 변화되고 있다^[1].

전자제어식 선루프는 장착 차종의 지붕 곡면에 따라 다양한 곡면을 갖고 있으며, 작동 메커니즘도 모델에 따라 다양한 형태로 이루어져 있는데, 선루프가 열리는 방식에 따라 스포일러 타입(spoiler type)과 내부 슬라이딩 타입(inner-sliding type)으로 구분되고 내부 메커니즘은 주로 링크(link) 타입과 캠(cam) 타입이 있고 경우에 따라 복합적으로 사용하기도 한다. 본 연구

* 경일대학교 기계자동차학부

E-mail : hdcho@kiu.ac.kr

에서 사용된 선루프는 글라스 후면이 먼저 틸팅(tilting)된 후 후방으로 슬라이딩하는 전자제어식 스포일러 선루프이다. 스포일러 선루프는 윈드 디플렉터(wind deflector)를 설치함으로써 소음을 더욱 감소시킬 수 있는데, 일반적으로 국내외적으로 생산되는 선루프는 윈드 디플렉터가 분리되어 있거나 없는 경우가 대부분이다. 본 연구에서는 하우스징(housing)과 일체형으로 윈드 디플렉터를 제작하여도 선루프 자체의 소음을 방지할 수 있음을 알 수 있었다^[1].

본 연구에서는 두 개의 다른 비압축성 공기층에 대한 경계층이론을 적용하여 윈드 디플렉터의 적정 높이를 설계하였고 그 결과에 대하여 주행속도에 따른 소음을 측정하고 분석하였다. 실험결과 일정 속도 이하에서 저주파의 소음이 일부 발생하였으나 운전자의 감성에 전혀 영향을 미치지 않았고 일정속도 이상에서는 오히려 선루프에 의한 소음이 줄어들음을 알 수 있었다.

2. 이 론

2.1 윈드 디플렉터 설계

스포일러 선루프를 개방(open)한 상태에서 고속 주행할 때, 차 내부에는 높은 주파수의 소음이 발생할 수 있는데 이러한 소음 감소를 위해 윈드 디플렉터를 장착한다. 일반적으로 고속주행에서는 윈드 디플렉터의 높이가 작아도 되는 특징이 있고 저속에서는 윈드 디플렉터의 높이가 커야 되나 일반적으로 저속에서는 저주파수의 소음이 발생하기 때문에 본 연구에서는 제작비용 측면을 강조하여 윈드 디플렉터를 하우스징과 일체형으로 설계하였다. 따라서 본 연구의 윈드 디플렉터 설계는 자동차 지붕의 바깥 면에서 윈드 디플렉터까지의 최대높이를 결정하는 것이며, Fig. 1은 윈드 디플렉터와 공기 흐름선 사이의 관계를 보여준다.

Fig. 2는 윈드 디플렉터에 의한 공기 흐름의 속도 벡터를 보여주고 있는데, 외부 공기가 고속으로 유동될 경우 실내로 공기가 유입되지 않아 공기유입에 의한 직접적인 소음이 거의 발생하지 않는다. 비압축성 공기층이 다른 비압축성 공기층과 혼합되었을 때 Fig. 2와 같이 혼합 공기층이 만들어지는데, 윈드 디플렉터

의 외부 속도는 안전설계를 위하여 균일한 흐름으로 간주하였다. 두 공기층의 혼합 관계는 식(1)과 같다^[2].

$$\eta = y \sqrt{\frac{U_1}{\nu_x}} \quad (1)$$

여기서 η 는 무차원 상수, y 는 층의 높이, ν 는 동 점성계수(dynamic viscosity), U_1 은 바깥 공기의 흐름속도로 본 연구에서는 설계속도이며, x 는 혼합되면서 이동되는 수평거리이다. Fig. 3은 두 공기 흐름 층이 혼합되었을 때 발생하는 혼합정도를 나타낸다^[2].

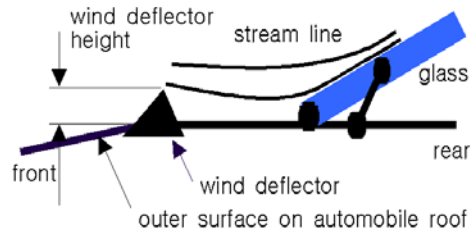


Fig. 1 Air flow lines on wind deflector

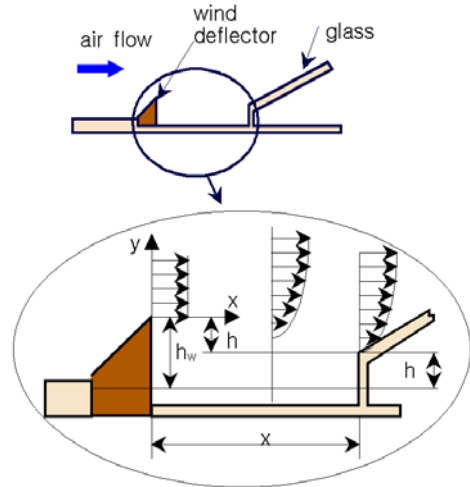


Fig. 2 Air flow velocity by a wind deflector

따라서 Fig. 3, 식(1)에 주어진 x 에 대하여 y 를 구함으로써 윈드 디플렉터 높이를 구할 수 있다. 선루프 글라스 앞쪽 끝단부분의 높이 h_0 가 존재하므로 윈드 디플렉터의 전체 높이 h_w 는 다음과 같이 표현된다.

$$h_w = h_0 + h$$

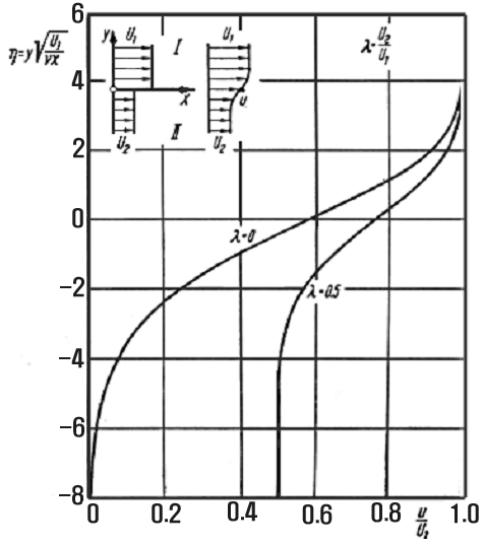


Fig. 3 The velocity curve when an air flow mixing with another air flow

2.2 스포일러 선루프 설계

스포일러 선루프를 개발하는데 있어서 Fig. 4와 같이 주로 다섯 단계의 설계방침을 따르게 되는데, 각 단계별 내용은 다음과 같다^[3-5].

(1단계)의 기본설계 단계는 각부 상호운동의 기구학적 및 역학적인 전문지식 적용, 부품재료 내부에 생기는 응력 및 변형의 정량적 해석을 위하여 재료역학, 사용재료 선정을 위한 공업재료 지식 적용, 생산 공정의 단순화 및 비용 절감에 관한 노하우 적용 등에 관한 것이다^[8]. (2단계)의 전문기술의 적용단계는 유체역학, 열역학, 진동학, 재료역학에 기초한 설계기술, 환경 재활용 등에 관한 것이다. (3단계)의 설계에 관한 기본사항 적용 단계는 신뢰성(기계가 필요한 기능을 확실히 발휘하고, 강도, 내구성, 미적 조화 등 충분한 신뢰성이 있으며 고장이 거의 없는 특성), 제작성(구조가 가능한 한 간단하고 취급 및 공작이 쉽고 조립성이 뛰어난 특성), 유지성(수명이 길고 수리비 및 유지비가 저렴하게 설계되어야 하는 특성), 경제성(제작비가 싸고 단품 생산 소요시간이 짧고 재료가 절약될 수 있도록 설계된 특성), 독창성(타제품과의 특허 분쟁을

(2) 피할 수 있으면서 우월성을 갖도록 설계된 특성), 표준성 및 호환성(단위 부품 또는 재료 등을 국제 표준으로 선정하여 A/S시 호환성을 주어 신뢰성을 확보하고 생산 원가의 절감이 가능하도록 설계된 특성), 정숙성(진동 및 소음이 없는 정숙한 선루프가 되도록 설계에서 공학적 감각이 반영된 특성), 설치 및 운반성(운반 및 보관에 있어서 최소의 공간이 요구되고 취급상 파손이 없도록 견고한 설계가 되는 동시에 설치가 쉽도록 설계된 특성), 합목적성(기계로서 요구, 목적 등을 확실히 만족할 수 있는 설계된 특성), 계산성(이론적 계산을 정확히 하여 재료를 절감하고 성능이 향상되도록 설계된 특성), 미관성(형태 및 색상 등에 대하여 외관을 아름답게 설계하여 상품가치를 높일 수 있도록 설계된 특성) 등에 관한 것이다^[6,9,10]. (4단계)의 설계기준 적용 단계는 전술한 3단계의 설계기준을 적용하고 새로운 아이디어를 창안하여 개발하고자 하는 선루프의 기본 구성을 선정하는 단계이다. (5단계)의 시작품 제작 및 성능 테스트 단계는 82℃에서 습도 10%이하에서의 저습고온 테스트 및 습도 90%이상에서의 고습고온 테스트, -30℃에서의 내한 테스트, 24℃ 상온에서 내구성 테스트, 실차에서의 소음 테스트 등이 있다.

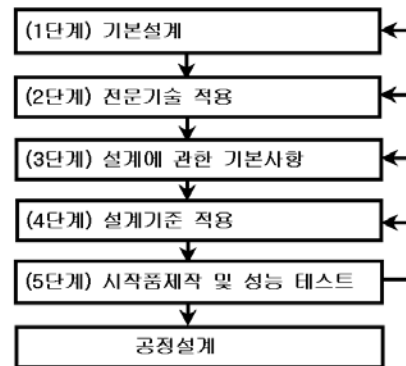


Fig. 4 Development process of sunroof

메커니즘의 기본 구성은 Fig. 5와 같이 전자제어 박스, DC 모터, 스위치, 케이블, 글라스(glass), 트랙(track)으로 구성된다. 스위치를 작동시키면 전자제어 박스의 정해진 기능에 따라 DC 모터가 작동되어 케이블이 움직이고, 케이블에 연결되어 있는 액츄에이트

(actuator)가 트랙을 따라 전진 또는 후진되어 선루프 고유의 역할을 하게 된다. Fig. 6과 본 연구에서 사용된 선루프의 작동상태를 보여준다.

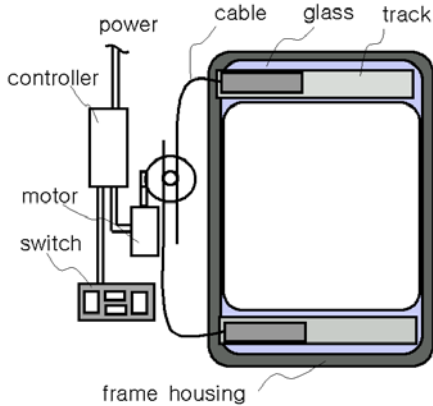


Fig. 5 Mechanism of spoiler sunroof

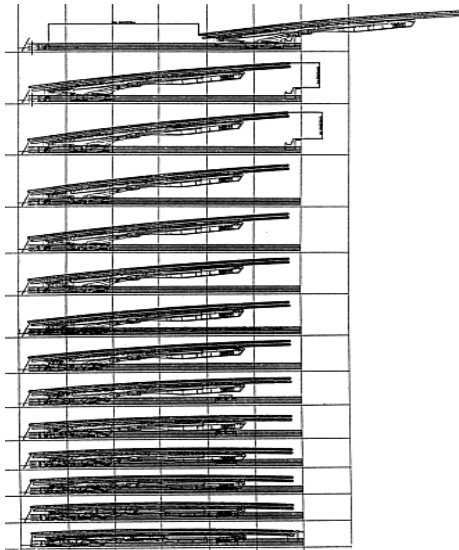


Fig. 6 Glass positions along to cable moving length

3. 고찰

선루프의 윈드 디플렉터 높이를 계산하기 위하여 필요한 설계조건을 설정하면 Table 1과 같다.

Table 1 Design factors for wind deflector height

Factors	Values
Maximum opening distance, x [mm]	326
Outer air velocity, U_1 [mm/sec]	22,222
Inner air velocity, U_2 [mm/sec]	0
Dynamic air viscosity, ν [mmm ² /sec]	13.935
Boundary condition	$U=0$ at $x=326$

Table 1에서의 차 외부 공기유동 속도에 해당하는 주행속도를 $80\text{km/h}(=22,222\text{mm/sec})$ 로 설정하였는데, 80km/h 이하에서는 저속이므로 실내로의 공기유입이나 소음의 영향이 운전자에게 불편을 끼치지 않는 것으로 판단하고 그 이상에서는 고속주행에 해당하여 소음이나 공기유입을 차단하기 위해서이다. 80km/h 이상의 주행속도에서는 베르누이(Bernoulli) 식에 의하여 실외압력이 실내압력보다 낮아져 바깥으로 공기가 유출되기 때문에 실내 환기에 효과적임을 알 수 있다. 여기서 공기는 개방된 상태에 있고 유속이 마하 속도보다 작으므로 비압축성 유체로 간주할 수 있으므로 공기의 동 점성계수(dynamic viscosity) ν 는 $13.935\text{mm}^2/\text{sec}$ 가 된다. 스포일러 선루프의 최대 열림 x 는 설계된 치수로서 선루프 글라스(sunroof glass) 전방 끝부분의 윈드 디플렉터로부터 열린 거리를 의미한다. Table 1의 설계조건에 따라 λ 가 영(0)이 되므로 Fig. 3의 좌측 곡선을 따르게 되고, 선루프가 완전히 열렸을 때 글라스 끝단에서의 혼합공기 속도 U 가 실내 공기 속도와 동일하게 영(0)이 되어야 하므로 $U/U_1=0$ 일 때 Fig. 3에서 η 는 -8이 된다. 따라서 식(1)에 의하여 윈드 디플렉터의 높이 y 는 3.617mm 가 된다. 즉 선루프 글라스 앞쪽 끝단부분으로부터의 윈드 디플렉터의 높이 h 는 3.617mm 이다. 본 연구에서 고려된 선루프는 글라스의 돌출에 의하여 h_0 가 거의 영(0)으로 설계되었고, 차의 지붕 경사도에 따라 그 값이 달라지므로 h_0 를 고려하지 않았다.

일반적으로 주행속도가 낮으면 윈드 디플렉터 높이를 크게 설계해야 하지만, 주행속도가 빨라질 경우에 윈드 디플렉터에 의하여 새로운 소음발생 원인을 제 공할 수 있다. 식(1)과 Fig. 3에 의하여 주행속도에 따른 윈드 디플렉터 높이는 Fig. 7과 같이 낮은 속도에

서는 높아지고 높은 속도에서는 낮아지는 경향을 갖게 되며, 설계속도 200km/h에 대해서 윈드 디플렉터의 적정 높이는 2.3mm가 된다.

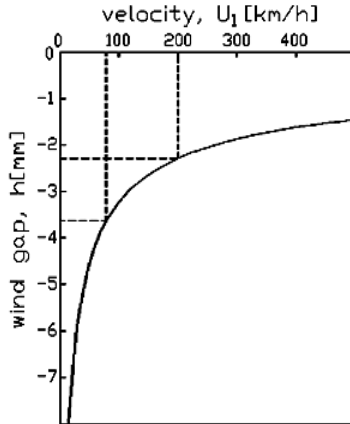


Fig. 7 The relation between wind gap and velocity

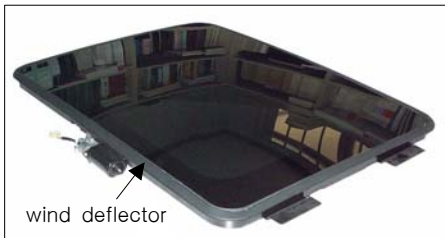


Fig. 8 Spoiler sunroof



Fig. 9 Noise testing situation

Fig. 8은 윈드 디플렉터를 하우징에 일체형으로 제작한 스포일러 선루프를 보여준다. 본 연구에서 개발된 스포일러 선루프를 현대 아반떼 승용차에 장착하

여 Fig. 9와 같이 소음을 측정하였는데, Table 2와 같은 결과를 얻었다.

Table 2 Noises along to driving speed at glass full opening

driving speed [km/h]	noise [dB]	noise increment
0 at engine running	60~65	0
30	65~70	5~10
80	70~75	10~15
120	75~80	15~20

본 연구에서 주행속도 80km/h를 기준으로 설계된 윈드 디플렉터의 높이 3.6mm에 대하여 80km/h에서의 소음을 측정한 결과 70~75dB이었다. 측정 위치는 실내 운전수의 머리 끝부분 지점이다. 본 연구의 윈드 디플렉터 높이 설계결과와 소음 및 혼합공기층의 속도 등 정확한 정량적 관계를 규명하고 실험하는 것에 중요성을 두지는 않았는데, 그 이유는 선루프의 설치 위치와 차 지붕의 곡면 모양에 따라 윈드 디플렉터의 유효높이가 달라지므로 측정치수 및 측정 위치를 신뢰할 수 없고 주행 시 측정된 소음의 원인이 복합적이고 도로여건과 차의 성능에 따라서도 크게 달라지기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 윈드 디플렉터 높이를 이론적으로 계산하는 방법을 통하여 실제 설계에 적용할 수 있도록 하는데 의미를 부여하였다. Table 2의 결과에서 소음의 증가는 엔진회전수의 증가 및 타이어 소음증가 등과 같은 외부로부터 전달되는 노이즈를 고려하면 공기의 유동에 의한 소음증가는 80km/h에서 실제 10~15dB보다 훨씬 작게 증가됨을 알 수 있다. 따라서 선루프가 열린 상태에서 주행속도의 증가에 따른 소음증가는 크지 않음을 알 수 있다. 선루프에 발생할 수 있는 또 다른 소음은 공명현상(resonance, wind buffeting)인데, 병 입구를 볼 때 발생하는 소음과 같은 현상으로 선루프의 열린 량에 따라 일정 주행속도에서 발생할 수 있다. 이러한 상황이 발생하면 운전자에게 크게 불편감을 주게 되는데 이러한 현상을 방지하기 위해서도 윈드 디플렉터가 더욱 필요하게 된다. 본 연구에 적용된 선루프에서는 글라스의 전체 위치구간에서 공명현상이 발생하지 않았다.

4. 결 론

스포일러 선루프의 윈드 디플렉터 설계에 대한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 공기의 유동을 비압축성 유체로 정의하여 혼합공기 층의 유속을 구하는 원리를 통하여 윈드 디플렉터 높이를 설계할 수 있었으며, 200km/h의 주행속도에서 윈드 디플렉터 설계 높이는 2.3mm가 되었다.
2. 주행속도 80km/h에서 소음 증가율이 50%로 감소하여 80km/h를 고속 및 저속주행의 천이속도 설정할 수 있었다. 실험결과 고속주행에서는 선루프에 의한 소음증가가 거의 없음을 알 수 있었다.
3. 3.6mm로 설계된 윈드 디플렉터를 조립한 스포일러 선루프를 장착한 승용차에 대하여 80km/h 주행속도에서 소음이 70~75dB로 측정되어 윈드 디플렉터를 하우징과 일체형으로 제작하여도 소음에 의한 운전자의 불편이 없음을 알 수 있었다.

7. Johnson, C., "Process Control Instrumentation Technology," 6th Ed., Prentice Hall, 1993.
8. Gere, J., "Mechanics of Materials," 5th Ed., Brooks/Cole, 2001.
9. Bottema, O., and Roth, B., "Theoretical Kinematics" North Holland, Amsterdam, 1979.
10. Symon, "Mechanics," 3rd. Ed., Addison-Wesley, 1971.

참고문헌

1. Cho, H. D. and Yong, B. J., "Design of Wind deflector for Spoiler Sunroof," Journal of Research Institute of Industrial and Information Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 15-20, 2005.
2. Hermann Schlichting, "Boundary Layer Theory," 7-th Edition, McGRAW-HILL pp. 180-200, 1990.
3. Cho, H. D., "Development of Working Tractor with Four-Type Wheel Steering System I (Development of Power Train System)," Transactions of KSMTE, Vol.14, No.1, pp. 66-72, 2005.
4. Mu-Jin Kang, Jeong-Ki Kim, Jin-Cheol Ahn, and Kwang-Ho Wum, "Design Repository for Intelligent Design," Journal of the KSPE, Vol. 22, No. 1, pp. 26-31, 2005.
5. Lee, J. J., Joo, B. H., and Lee, B. C., "Optimization of a vehicle component under dynamic fatigue," Autumn Conference of KSPE, pp. 898-901, 2004.
6. S. Rao, "Mechanical Vibrations," Addison Wesley, 1986.