Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 2 pp. 689-694, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.2.689
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

SUV 차량 리어 스포일러 최적 형상에 관한 연구

박동규
한국기술교육대학교 기전융합공학과

A Study on the Optimum Design of SUV Rear Spoiler

Dong-Kyou Park
Department of Electromechanical Convergence Engineering, Korea University of Technology and Education

요 약 최근 친환경 자동차 개발과 함께 대기 오염 문제 대응을 위해서 자동차 연비 개선은 차량 개발에 있어서 매우 중요하다. 개발 차량의 연비 향상을 위한 요소 중 차량 외관을 타고 흐르는 공기 흐름과 차량 후부에서의 공기 유동 현상은 중요한 요소이다. 특별히 SUV(Sports Utility Vehicle) 차량의 차량 후부 공기 유동은 리어 스포일러 설계 시 고려해야 하는 중요한 설계 항목 중 하나이다. 본 연구에서는 차량의 공기 유동에 영향을 주는 리어 스포일러의 제어 인자를 정하고 각 제어 인자의 공기 유동 특성에 대한 민감도를 시험을 통하여 비교 분석하고, 유동 저항력을 감소시킬 수 있는 스포일러의 최적 제어 인자를 결정하였다. 결정된 최적 제어 인자를 이용한 시험 모델을 만들어 시험평가하고 그 결과 값에 대한 S/N비와 평균값을 분석하여 제어 인자 값을 변경하였다. 변경된 최적 제어 인자 값을 이용한 개선 모델을 다시 제작하고 유동 시험을 실시하여 공기 저항력 감소 효과와 원가절감 효과를 확인하였다.

Abstract Recently, fuel consumption efficiency has become the most important issue in the vehicle development process due to the problem of environmental pollution. The air flow patterns of the vehicle body line and rear part are the most important elements affecting the fuel consumption efficiency. Especially, the airflow pattern of the vehicle rear part is the most important design factor to be considered in rear spoiler design. In this paper, the control factors affecting the airflow of the rear spoiler are determined, the airflow sensitivity of these control factors are tested and, then, the optimized control factors to reduce the airflow drag force are proposed. The model of optimized control factors is tested and the values of the optimized control factors are changed by analyzing the S/N ratio and mean value. Finally, the new modified model incorporating the optimized control factors is tested in an air flow tunnel and its ability to decrease the air drag and reduce the cost is verified.

Keywords : Rear Spoiler, Drag Force, Fuel Consumption Efficiency, Design Parameter, Optimum

1. 서론

현재 친환경 자동차 개발과 함께 대기 오염 문제 개선을 위해서 연비 개선의 필요성이 대두되었고, 완성차 메이커에서는 연비가 우수한 자동차를 개발고자 연비 개선 기술 개발에 관심을 쏟고 있다. 아직도 국내 양산 차량들은 연비 측면에 있어서는 경쟁사에 비해 낮은 평점을 받고 있고, 북미 품질평가지수인 IQS에서도 연비에 대한 불만들이 접수되고 있다.

연비 향상을 위한 항력 감소를 위해서는 먼저 차량 외관의 디자인 결정이 매우 중요하다. 개발 차량의 외관 디자인은 복합적인 설계 조건을 고려하여 모델고정 단계에서 이미 결정되어진다. 이후 추가적인 연비 향상을 위한 항력감소를 위해서는 리어 스포일러가 중요한 역할을 하게 된다. 리어 스포일러는 항력을 감소시켜 연비를 향상시키고 양력을 개선하여 주행안정성을 높일 수 있는 대

*Corresponding Author : Dong-Kyou Park(Korea University of Technology and Education)
Tel: +82-41-560-1405 email: pdongkyou@koreatech.ac.kr
Received November 10, 2017 Revised (1st January 2, 2018, 2nd January 10, 2018)
Accepted February 2, 2018 Published February 28, 2018

표적인 부품으로 개발 차량의 디자인에 부합하면서 공기역학적 성능도 우수한 형상을 개발하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 개발 진행 중인 차량을 대상으로 디자인을 고려한 항력 감소를 통해 연비 성능을 개선함으로써 상품경쟁력을 향상시킬 수 있는 SUV 차량의 리어 스포일러 최적 형상을 결정하는 작업을 수행하였다.

2. 본론

2.1 리어 스포일러의 원리

차량이 주행하기 시작하면 공기는 Fig. 1과 같이 아래로 분리되어 흐르다가 차량의 끝단 부분에서 공기는 차량 표면에서 분리되어 떨어져 나간다. 공기가 흐르는 앞부분은 압력이 높고, 차량의 끝단 부분은 압력이 낮아 차량 뒤쪽에서 공기의 와류현상이 발생하여 앞부분 압력이 차량을 뒤쪽으로 미는 항력이 발생되고 와류의 방향은 차량의 뒷부분을 상승시키는 양력이 작용한다[1]. 그러므로 차량이 주행하려고 하는 힘을 방해하여 주행성능을 떨어뜨리고 차체가 공중으로 뜨려고 하여 주행안정성을 떨어뜨린다. 이러한 현상을 줄여주기 위해 차량 끝단에 장착한 리어 스포일러는 차량 끝단과 공기가 분리되는 위치를 뒤쪽으로 이동시켜 와류현상을 상쇄시켜 주행 중 차량 후부가 상승하지 않게 된다. 리어 스포일러는 차량 뒤쪽에서 일어나는 와류를 조절하여 공기저항을 줄이고 최고 속도 개선, 연비 및 주행 성능 개선을 목적으로 장착된다.

Fig. 1. Air flow pattern of rear spoiler

2.2 리어 스포일러 시스템의 구성

리어 스포일러는 공력 및 주행안정성을 향상시킬 뿐만 아니라 차량의 외관을 향상시킨다. 또한 볼트 및 너트류는 차량과 스포일러를 결합하여 수밀 및 조립성을 향상시키고 패드류는 NVH 성능을 향상 및 차체 스크래치를 방지한다. 리어 스포일러를 구성하는 부품들은 Fig. 2와 같다.

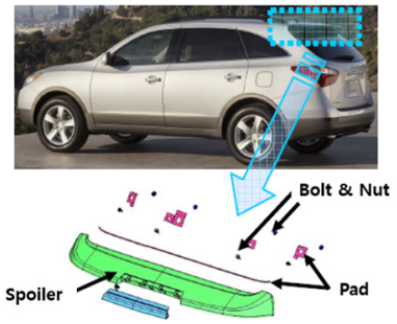


Fig. 2. Part lists of SUV rear spoiler

2.3 성능 개선 목표

본 연구에서는 개발 중인 S차량을 목표로 하였기에 S차량의 경쟁차에 대한 공력 성능을 기준으로 개발목표를 선정하였다. Table 1을 보면 S차량의 공력성능 값은 0.370이며 경쟁차 대비 유사한 수준이다. 따라서 S차량의 옵션 제품인 리어 스포일러의 유무에 따른 공력성능을 분석하고 현 설계사양의 최적화를 통해 현 설계사양 대비 항력감소량($\triangle C_D$)을 0.005이상으로 하여 항력 감소를 통한 연비 향상을 목표로 본 연구를 수행하였다.

Table 1. C_D values and characteristics of SUV vehicles

Name	S-Car	T-Car	R-Car	C-Car	Q-Car
C_D	0.390	0.393	0.370	0.371	0.374

2.4 개념 개발 및 제어 인자

공력성능에 효과적인 리어 스포일러를 개발하기 위해 개념개발 작업을 수행하였고, 개념 개발을 위해 참고한 차량은 S-Car, R-Car, C-Car이다. Table 2는 참고 차량들의 리어 스포일러 항력 계수, 표준 장착 여부 및 리어 윈도우의 형상 특성을 비교하여 정리하였다[2].

Table 2. Parameter comparison of rear spoiler

	S-Car	R-Car	C-Car
C_D	0.390	0.370	0.371
STD(Y/N)	N	Y	N
Rear Window Angle	44°	32°	31°
Roof Downward Angle	3.1°	2.6°	1.7°

설계 개념 개발을 위해 가니쉬 타입과 윙 타입의 리어 스포일러가 대표적으로 검토 되었고 그 결과는 Table 3에 정리하여 나타내었다. 이를 기초로 다양한 스포일러 모델들에 대한 평가 항목별 비교 분석을 하여 개념 개발을 수행하였고 그 결과는 Table 4와 같다.

최종 도출된 개념은 차체와 가나쉬 밀착형으로 이것은 루프라인을 따라서 단차 없이 적용할 수 있고 다른 모델들에 비하여 공력성능도 우수한 것으로 평가되고 있다. 리어 스포일러의 현재안과 도출된 개념안은 Fig. 4와 같다.

제어 인자는 리어 스포일러의 공력성능에 영향을 주는 변수들을 시험과 해석의 경험을 통해서 선정하였고, 선정된 제어 인자는 스포일러 길이, 스포일러 상향 각도, 스포일러 끝단 하향 각도 및 스포일러 끝단 코너 길이로 Table 5와 같다.

Table 3. Types of rear spoiler

	Garnish Type	Wing Type
Design	·One body type ·Aerodynamic performance ↑	·Various type ·Aerodynamic performance ↓
Concept	·Close to body ·Attached to tailgate panel	·Close to body ·Angle & Position variable type
Reference Car	 Q-Car	 V-Car

Table 4. Comparative evaluation of concept models

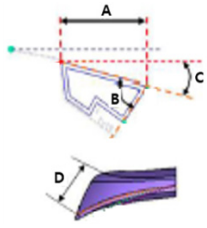
Model		1	2	3	4	5	6	7
Drag force	DATUM		+	S	-	-	+	+
Lift force			+	-	+	+	+	+
Vibration			+	+	-	-	-	-
Tightness			S	+	-	-	-	-
Noise level			S	+	+	S	-	-
Body friendliness			+	S	S	-	+	+
Design			+	S	S	-	+	+
Rear view angle			S	S	S	S	S	S
Assembling			S	+	S	S	-	-
Attached strength			S	+	-	-	-	-
Cost			S	+	+	-	-	-
Formability			S	-	S	-	-	-
Result		+	5	6	3	2	6	6
		-	0	2	5	8	7	7
		Sum	+5	+4	-2	-6	-1	-1

(Current Model)

(Concept Model)

Fig. 4. Current model and selected concept model

Table 5. Control factors of rear spoiler

Control Factor		Selected Reason	Section & View
A	Spoiler Length	Lift Force Drag Force	
B	Spoiler Upward Angle	Lift Force Drag Force	
C	Spoiler Downward Angle	Lift Force Drag Force	
D	Spoiler Corner Length	Lift Force Drag Force	

2.5 최적화 시험 결과 분석

2.5.1 P-Diagram

최적화 시험 과정에서 입력 신호는 풍속으로 클레이 모델의 파손 가능성 때문에 110 kph로 평가 하였고, 출력신호는 항력과 양력이다. 노이즈 인자로는 횡풍 각도 0°와 10°를 선정하였다[3]. 노이즈 인자 중 차량 지상고에 따른 변화는 1:1 클레이 모델이라 편차 고려가 힘들어 제외하였다. 지상고가 높을수록 항력과 양력이 증가하지만, 클레이 모델은 공차 상태로 지상고가 높은 악조건이기 때문에 지상고에 대한 노이즈는 실차 시험 시에는 오히려 좋은 조건이다.

본 최적화 시험의 이상적 수준 달성을 위해서는 시험 시 횡풍 각도로 인한 산포를 줄이고 항력의 감소량을 크게 하여 연비를 개선하는 것으로 설정하였고 P-Diagram은 Fig. 5와 같다.

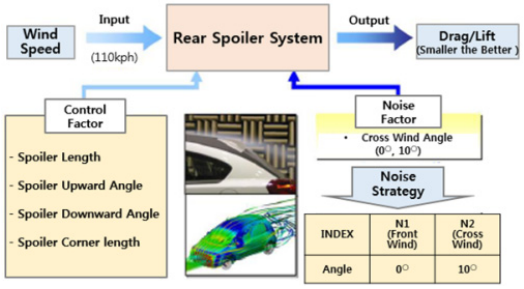


Fig. 5. P-diagram of rear spoiler

2.5.2 직교표 선정

시험 평가를 위한 직교 배열표는 다음 Table 6과 같이 L9 직교표를 이용하여 최적화 시험 계획표를 작성하였다.

Table 6. Orthogonal array table (L9)

no.	A	B	C	D
1	70mm	55°	3.0°	0.6 times
2	70mm	65°	8.0°	0.8 times
3	70mm	75°	12.5°	1.0 times
4	90mm	55°	8.0°	1.0 times
5	90mm	65°	12.5°	0.6 times
6	90mm	75°	3.0°	0.8 times
7	110mm	55°	12.5°	0.8 times
8	110mm	65°	3.0°	1.0 times
9	110mm	75°	8.0°	0.6 times

2.5.3 최적화 시험 방법

최적화 시험은 L9 직교표에 의한 리어 스포일러 목업을 제작하여 풍동시험장에서 수행되었으며 각 케이스별로 항력과 양력을 측정하였다.

시험 준비 중 차체 하부 평탄화와 휠 캡의 막음 처리하였다. 차체 하부를 평탄하게 하여 차체 하부의 공동현상을 없애고, 휠 캡 막음 처리를 하여 휠 부분의 공동현상을 없애서 실차조건과 유사한 결과가 나올 수 있도록 하였다[4].

시험 차량의 하부 평탄화 및 휠 캡 막음 처리 형상은 Fig. 6과 같고, 장착된 리어 스포일러의 형상은 Fig. 7과 같다[5].

(Wheel Cap Cover) (Under Body)

Fig. 6. Wheel cap cover and under body

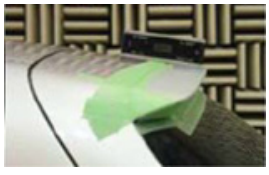


Fig. 7. Attached rear spoiler to the body

2.5.4 시험 결과 분석

최적화 시험을 실시한 결과로 항력에 대해 Mean과 S/N비를 추출한 결과가 Fig. 8에 나타나 있고, 양력에 대해 Mean과 S/N비를 추출한 결과는 Fig. 9와 같다.

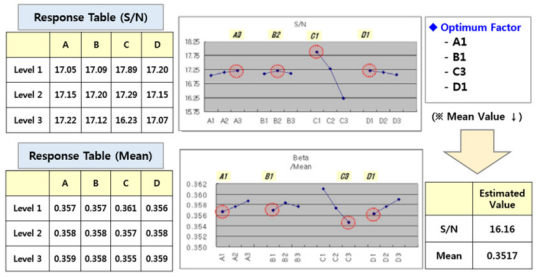


Fig. 8. Mean value and S/N ratio of drag force

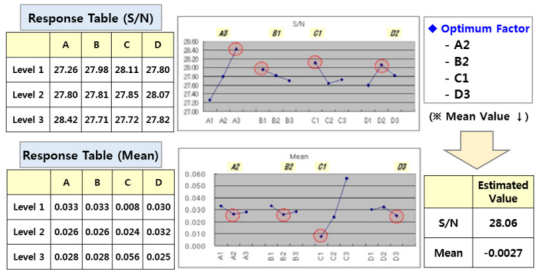
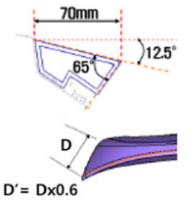


Fig. 9. Mean value and S/N ratio of lift force

위의 시험 결과를 보면 스포일러의 공력 특성 및 산포에 가장 큰 영향을 미치는 제어인자는 스포일러의 Downward Angle이었으며, 각각의 인자들은 항력과 양력에 반비례 관계의 영향을 줌을 알 수 있다. 최적화 시험 값에 대해 항력, 양력 각각에 대해 S/N비와 Mean 값에 대한 분석을 실시하였고 S/N비는 큰 값을 선정하여 노이즈에 대한 영향을 적게 하고 Mean 값은 적게 잡아 공력성능이 좋아지는 방향으로 분석하여 최적인자를 선정하였다.

그러나 성능 항목이 항력과 양력 두 가지가 되고 항력과 양력에 영향을 주는 인자수준이 반대이기에 항목에서 선정된 최적 인자들 간에 Trade-off를 수행하였다. Trade-off는 양력보다는 연비개선에 효과적으로 판단되는 항력을 좋게 하는 방향으로 실시하였고 아래 Table 7과 같은 최적 인자 수준을 결정하였다.

Table 7. Optimized values of control factors

Control Factor		Current Value	Optimum Value	Section & View
A	Spoiler Length	70mm	70mm	
B	Spoiler Upward Angle	55°	65°	
C	Spoiler Downward Angle	3.0°	12.5°	
D	Spoiler Corner Length	Dx0.6	Dx0.6	

2.5.5 최적화 사양 시험 검증

직교표에 의해 선정된 최적 인자 수준을 적용한 리어 스포일러 목업 샘플을 제작하고, 1:1 클레이 모델에 장착하여 풍동 시험을 수행한 결과는 Table 8과 같다. 그리고 최적화 전·후 사양의 결과 비교는 Table 9와 같다. 스포일러 장착 시 항력이 최적화 전 사양대비 1.1% 감소하였고, 이 항력 감소는 자동차 회사의 개발 경험적 수치 값인 0.55%의 연비향상으로 예측된다.

Table 8. Test results for optimized control factors

Spec.	Drag Force		Lift Force	
	S/N	Mean	S/N	Mean
w/o Spoiler	15.6320	0.3635	19.6640	0.1155
with Spoiler	17.8180	0.3580	27.4470	0.0170
with Spoiler (Optimum)	16.3741	0.3540	27.4473	0.0510
Gain (w/o Spoiler vs optimum)	0.7421	0.0095	7.7833	0.0645
Gain (with Spoiler vs optimum)	1.4439	0.0040	0.0003	0.0340

Table 9. Test result for optimized control factors

Item	Optimum compared to w/o Spoiler	Optimum compared to with Spoiler
Drag Force	2.60%↓	1.10%↓
Fuel Consumption (110kph)	1.30%↑	0.55%↑
Cost Down (240,000 cars)	7 billion ₩	3 billion ₩

3. 결론

SUV 리어 스포일러에 대하여 클레이 모델 1:1 풍동 시험을 이용하여 개발 단계에서 스포일러 형상에 의한 공력 성능을 예측하고 개선할 수 있었고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 리어 스포일러 최적화 결과 현 사양 대비 항력 1.1% 감소와 연비 0.55% 향상 및 원가 절감 효과가 기대되어진다.
2) 설계 인자 중 Spoiler Downward Angle의 최적 값은 12.5°로 루프 라인을 따라 단차 없이 적용하는 것이 필요하다.
3) 설계 인자 중 Spoiler Corner Length의 최적 값은 Corner Length의 0.6배 길이로 차량 길이의 제한을 고려하는 것이 필요하다.
4) 향후 스포일러 형상에 따른 테일 게이트 글라스 후류 오염 영향 분석도 추가적으로 필요하다.

References

[1] S. J. Baik, M. S. Oh, J. H. Lee, M. S. Kim, "Influence of a Rear Spoiler on a Squareback Car Wake", *Proc. of the Annual Meeting, The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 1825-1829, April, 2004.

[2] I. C. Kim, H. Chen, C. S. Roger, "A Rear Spoiler of a New Type that Reduces the Aerodynamic Forces on a Mini-Van", *SAE World Congress, Detroit, Michigan, SAE 2006-01-1631,*2006.
DOI: https://doi.org/10.4271/2006-01-1631

[3] S. J. Baik, S. H. Woo, H. H. Lim, H. J. Cho, D. S. Bae, "Effect of Aerodynamics on Vehicle Dynamics under Cross Wind Condition", *Proc. of the Annual Meeting, The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 55-56, May, 2013.

[4] M. S. Oh, H. J. Lee, S. J. Kang, "CFD Study of the Effects of the Underbody and Rear Spoiler on the External Aerodynamic Characteristics of a Passenger Car", *Proc. of the Annual Meeting, The Korean Society of Automotive Engineers*, pp. 193-199, November, 1993.

[5] J. H. Choi, S. J. Lee, "Experimental Study on Drag Reduction of Ground Vehicle using a Rear Spoiler", *Trans. Korean Society of Automotive Engineers*, vol. 4, no. 3, pp. 31-39, 1996.

박 동 규(Dong-Kyou Park) **[정회원]**

- 1990년 2월 : 서울대학교 공과대학원 조선공학과 (공학석사)
- 2011년 8월 : 서울대학교 공과대학원 산업·조선공학부 (공학박사)
- 1995년 12월 ~ 2010년 3월 : 현대자동차 남양연구소 책임연구원
- 2012년 1월 ~ 2015년 3월 : 현대모비스 기술연구소 부장
- 2015년 3월 ~ 2017년 2월 : 한동대학교 기계제어공학부 교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 기전융합공학과 교수

<관심분야>
구조해석, 충돌안전해석, 최적설계