

유전 알고리즘을 이용한 Carr의 차량 하체 공력계수 최적화

김기혁 · 이태섭
한양대학교 기계공학부

Optimization of Carr's Automotive Aerodynamic Underbody Drag Coefficient Using Genetic Algorithm

Ki Hyuk Kim, Tea Sup Lee
Dept. of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.

ABSTRACT:

Automotive aerodynamic drag coefficient is important variable for vehicle's driving performance and fuel economy. In this research, we applied genetic algorithm to determine the geometrical figure which can optimize Carr's automotive aerodynamic underbody coefficient. And it's verified by previous research.

Key Words: Aerodynamic drag coefficient, Genetic Algorithm, modeling and simulation, optimization

1. 서론

자동차의 공력계수는 주행성능과 연비를 결정하는 데 있어서 중요한 변수이다. 공력계수는 주로 형상에 따라 결정되며, 이를 측정하는 방법으로는 풍동실험, CFD, 경험식이 있다.

이중 풍동실험은 준비에 시간과 비용이 많이 들며, CFD는 정확도는 높으나 계산에 오랜 시간이 소요되는 단점이 있다. 따라서 형상에 따른 공력계수의 경향성을 파악하여 이를 빠르게 피드백할 수 있는 경험식을 통한 판별은 그 계산속도에 있어서 큰 이점이 있다.

최적화에 유전 알고리즘이란 자연세계의 진화현상에 기초한 계산 모델로써 전역적인 최적화 해를 찾는 알고리즘이다. 전역에서 설정된 유전자들을 목적함수의 값에 따라 정렬한 후 재생산, 교배, 돌연변이를 거쳐 다음 세대의 자손을 만들어낸다. 유전자는 세대를 거듭하며 목적함수에서 목표하는 최적해에 접근하며, 이때 도달하는 해는 조건식에

따라 다양하게 나타난다.

본 연구에서는 경험식으로 제안된 공력계수 결정식 중 선형적으로 최적화하기 어려운 C_{d6} 에 대하여 유전알고리즘을 통한 최적화를 수행하고, 이를 선행논문의 결과와 비교하여 그 타당성을 검증한다.

2. 본론

2.1 차량공력저항계수의 결정

White에 의해 처음 제안된 차량 공력저항계수의 경험적 결정식은 Carr에 의해 13개의 요소공력저항을 갖는 경험식으로 제안되었다. 이후 이를 기준으로 하여 Rose에 의해 경험식을 이루는 형상인자를 차별화시킴으로써 그 정확도가 개선되었고, Guan은 Carr와 Rose의 경험식을 함께 이용하여 형상인자를 재규정, 논문에 사용된 모델을 제안하였다. 이를 개략적으로 나타내면 Table 1과 같다.

Table 1 History of the aerodynamic drag coefficient equation

Date	Author	Organization	Accuracy
1960~1969	White	MIRA	Good, but Subjective Poor
1976	Pershing & Masaki	EPA	Poor
1980	Carr & Stapleford	MIRA	Good
1984	Rose	MIRA	Very Good
1995	Guan	MIRA	Very Good

2.2 Carr 의 경험식

Carr 는 자동차의 전체 공력저항계수를 구하기 위해 13 개의 요소공력저항을 설정하고 이를 3 부분으로 나누어 구별하였다. 차량 전방 끝부분 (Front End), 후드(Hood), 앞 유리창(Windshield), 차량후부(After body), 차체마찰력(Skin Friction)의 5 개 요소는 차체공력저항(Body drag)에 포함되고 차량 하체(Underbody), 바퀴(Wheels), 바퀴 공간(Wheel Wells), 외부반사경(External Mirrors), 유리창(Drip-Rais), 유리창 틀과 유리창 사이의 두께(Windows Recesses), 흠받이(Mud-flap)의 7 개 요소는 외부공력저항(Protuberance Drag),에, 냉각시스템은 내부공력저항(Internal Drag)에 포함된다.

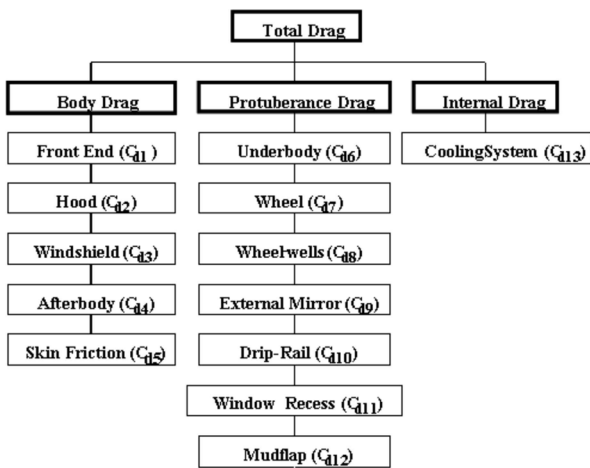


Fig. 1 Carr’s breakdown of total drag

2.3 Underbody drag coefficient C_{d6}

본 연구에서는 13 개의 요소공력저항 중 비선형성이 강한 C_{d6} 를 분석대상으로 선정하고, 선행연구의 결과와 비교하였다. C_{d6} 의 결정식과 구성변수는 다음과 같다.

$$C_{d6} = \{0.004(1 + d / d_0) + 0.020(1 - x / L)(1 - 0.5d / d_0)^2\} A_p / A$$

[43] d depth of air

d_0 125mm

[39] x smooth length of car's underbody

[40] L length of the car

x/L fraction of the underbody which is smooth

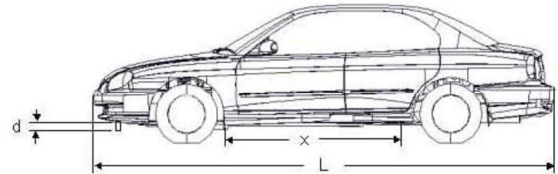


Fig. 2 Carr’s breakdown of total drag

2.4 변수의 결정과 정식화

실제 양산중인 모델을 대상으로 하여 변수의 크기를 설정하고, 이중 지면으로부터 차체까지의 거리와 축간 거리를 변수로 하여 차량 하체의 공력저항을 측정하였다. 각각의 변수를 실수형으로 설정하고 실제 차축의 변위와 다른 모델들을 대상으로 조사한 지면과의 이격에 따라 상한과 하한을 설정했다. 변수에 따라 변화하는 상수들은 그 관계에 따라 값을 재설정했다. C_{d6} 의 결정에 사용된 설계 변수는 Table 2 와 같다.

Table 2 Design variables for optimization

	x_1	x_2
Variables	d	x

3. 결론

주어진 조건에 따라 유전 알고리즘을 통한 최적화를 수행한 결과 d 와 x 는 다양한 조합을 갖지 않고 경계내의 한 점에서 최적화됨을 알 수 있었다. 이를 선행연구에 제시된 최적화값과 비교해본 결과 최적화로 인한 공기저항계수의 감소폭이 다소 작게 나타났다. 이는 형상정보의 선정에서 추가적인 요건의 고려, 경계조건의 정의방법, 코딩의 차이 등으로 나타나는 것으로 추측된다. 실제 차량의 치수로 측정된 차량 하체 공기저항계수와 GRG 법, SQP 법, GA 법을 사용한 선행논문에서의 차량 하체 공기저항계수, 본 연구로 도출한 공기저항계수간의 차이는 Table 3 과 같다.

Table 3 Comparison of underbody aerodynamic coefficient derived by different optimization method

	d	x	C_{d6}	Reduced rate
Rear data	10	1722	0.067	0%
GRG	100	1720	0.046	31%
SQP	100	1720	0.046	31%
GA	100	1720	0.046	31%
Performed	115	1725	0.051	24%

경험식을 통한 공기저항계수의 결정과 최적화 과정에 대한 개선방향은 다음과 같다. 우선, CFD를 통해 최적화된 공기저항계수에 대한 검정을 수행할 경우 신뢰도가 더 올라갈 것으로 보이며, 경험식에 대한 추가조사를 통해 공기저항계수의 정밀도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. White, R.G.S, 1969, A Method of Estimating Automobile Drag Coefficients, SAE Technical Paper Series, 690189
2. Pershing, B. , Masaki, M, 1976, Estimation of Vehicle Aerodynamic Drag, U.S. department of commerce national Information Service PB-275 948 and E.P.A. Publication Number EPA-460/3-76-025
3. Carr, Geoff W., Stapleford, W.R, 1981, A Proposed Empirical Method for Predicting the Aerodynamic Drag of Cars, MIRA, Report No.1981/1, 1981.
4. M. J. Rose, 1984, Appraisal and Modification of an Empirical Method for Predicting the Aerodynamic Drag of Cars, MIRA Research Report, 1984/1
5. L. Guan, 1995, Feature Based Aerodynamic Drag Coefficient Metamodel, MS Thesis, University of Washington.
6. Carr, G.W, 1983, Potential for Aerodynamic Drag Reduction in Car Design, International Journal of Vehicle Design, Special Publication SP3
7. SINGIRESU S. RAO, 1996, Engineering Optimization- Theory and Practice, Third-edition, John Wiley & Sons , 1996.
8. Optimization of Automotive Aerodynamic Drag Coefficient Using Genetic Algorithm