



< 기술논문 >

4인자 평가법을 활용한 자작 전기 자동차의 선회 성능 평가에 관한 연구

진 선 우 · 김 수 민 · 이 치 범*

서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과

A Study on Evaluation of Handling Performance for KSAE Electric Car Using 4 Parameter Evaluation Method

Sun Woo Jin · Sumin Kim · Chibum Lee*

Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
 Seoul 01811, Korea

(Received 28 February 2017 / Revised 20 April 2017/ Accepted 21 April 2017)

Abstract : The purpose of this study is to evaluate the KSAE electric car named “EF16” which was developed in 2016 and won several prizes. To conduct an objective evaluation, a “4 parameter evaluation method” which is well-known as an authoritative evaluation method in determining vehicle handling performance, was used. To obtain the parameters, an impulse steer analysis was performed according to ISO 7401. Also, easily modifiable design parameters were chosen for having an impact on the four parameters, and simulations were done with changing values. The results in each case revealed the influence on the four parameters. To improve practical performance prior to a race, lap times on the Gymkhana course were evaluated. Finally, the relationship between lap times and the four parameters was established after the results were analyzed. Then, the obtained condition for the best lap time was proven after all the four parameters were met.

Key words : Vehicle modeling(차량모델링), Objective evaluation(객관적 평가), 4 parameter evaluation method(4인자 평가법), Impulse steer analysis(과도 응답 해석), Design of experiment(실험 계획법)

Nomenclature

- f_n : natural frequency of yaw rate, Hz
- ζ : damping ratio of yaw rate
- a_1 : steady state gain of yaw rate, dB
- \emptyset : phase delay at 1Hz of lateral acceleration, deg
- $Y(s)$: output function (yaw rate, lateral acceleration)
- $X(s)$: input function (steering wheel angle)
- w_d : differential case angular velocity, rad/s
- $w_{l,r}$: side pinion gear angular velocity (left, right), rad/s
- T_d : differential case torque, N/m
- $T_{l,r}$: side pinion gear torque (left, right), N/m

1. 서론

자동차를 직접 설계 및 제작하고 이를 평가하는 자작 자동차 경주 대회가 국내외 여러 기관들을 통하여 개최되고 있다. 자작 자동차를 양산 차량과 비교해 보았을 때 아직 부족한 부분이 많지만 완성도와 차량 성능이 해가 지날수록 지속적으로 높아지고 있다. 이는 대회가 거듭됨에 따라 가속 성능, 내구 성능, 선회 성능과 같은 각 부문 별 최고 기록이 갱신되는 것을 통해 알 수 있다.¹⁾ 자작 자동차의 완성도가 높아질 수 있었던 주요 요인은 거듭된 제작을 통한 누적된 기술과 경험이라고 판단하며, 차량 성능은 자작 자동차의 설계 방향과 해석 방향을 제시하는 많은 논문과 서적의 내용을 적용하여 이론

*Corresponding author, E-mail: chibum@seoultech.ac.kr

적 근거를 바탕으로 개선되고 있다.²⁻⁹⁾

본 연구에서는 대회 기록에 가장 큰 영향을 준 요인으로 판단되는 선회 성능을 개선시키기 위해 변경이 용이한 설계 변수를 선정하고 객관적 평가 방법을 통해 차량의 성능을 지표로 나타내어 분석하였다. 이를 위해 일반 차량의 객관적 선회 성능 평가법으로 이미 잘 알려져 있는 4인자 평가법(4 parameter evaluation method)을 이용하여 자작 자동차의 선회 성능을 평가하였다.^{10,11)} 이때, 코스 주파 시간을 실질적 지표로 선정하여 4인자와 주파 시간 사이의 관계를 살펴보았다. 2장에서는 다 물체 동역학 프로그램을 이용하여 모델링된 본 연구에서 다물체 차량 모델과 선회 성능을 평가하기 위해 계획한 동역학 해석 조건을 소개하였다. 3장에서는 실험 계획법을 통한 해석 결과에 대한 분석법을 설명하며, 4인자 평가법과 주파 시간을 통한 차량 성능 개선 방향을 제시한다. 4장에서는 본 연구의 결론을 정리하였다.

2. 자작 자동차 모델 구성과 성능 평가법

2.1 자작 자동차 제원

본 연구에서 다루는 차량은 서울과학기술대학교 소속 동아리 MDS 자작자동차 팀의 전기 차 EF16이다. 차량의 제원은 Table 1에 나타나 있으며, 현재 국내에서 개최되는 자작 전기 자동차 대회의 규정을 고려하여 설계되었기 때문에 일반 승용차의 제원과 비교하였을 때 다소 차이가 있다.

Table 1 Vehicle specification

Curb vehicle weight	kg	180
Overall length	mm	2300
Overall width	mm	990
Overall height	mm	960
Wheel base	mm	1215
Tread (Front)	mm	900
Tread (Rear)	mm	900
Motor max. power	kW	16
Battery	-	48 V, 320 Ah
Driven axle	-	Rear wheel drive
Differential type	-	Open differential
Suspension (Front/Rear)	-	Double wishbone
Tire	-	100/90-10

2.2 차량 모델링

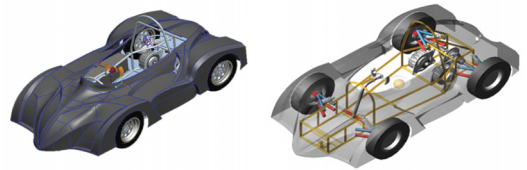
EF16은 실제 차량의 설계 및 제작과 동시에 다물체 동역학 프로그램인 MSC.ADAMS/Car를 이용하여 모델링하였다. 모델링된 차량은 현가 장치, 조향 장치, 바디, 차동기어, 휠, 브레이크, 모터 등의 총 7가지 서브 시스템으로 구성하였다.

현가 시스템을 Fig. 1(a)와 같이 Creo로 설계된 데이터를 기반으로 모델링 하였다. 동력원으로는 Agni Motors 사의 95R 모터를 사용하였으며 Photo. 1의 차대동력계 시험을 통해 Fig. 2와 같은 성능 선도를 구하였다. 다음으로 급선회 주행 시 선회성능에 중요한 영향을 미치는 차동기어를 모델링하기 위해 두 개의 차동 피니언 기어와 두 개의 사이드 피니언 기어 그리고 케이스가 2개의 자유도를 갖도록 모델링 하였다.¹²⁾ 또한 차동기어의 속도는 좌우 사이드 기어 속도 합의 평균이 차동기어 케이스의 속도와 동일하도록 식 (1)과 같이 나타내었으며, 토크 구속 식의 경우 차동기어로부터 전달되는 토크가 양 축으로 균등하게 나누어짐을 식 (2)와 같이 구현하였다.

$$w_d = \frac{w_l + w_r}{2} \quad (1)$$

$$T_d = T_l + T_r, (T_l = T_r) \quad (2)$$

Fig. 1(b)와 Fig. 3은 ADAMS/Car를 이용하여 모델링한 EF16 모델과 차동기어이다.



(a) Creo 3D model (b) MSC ADAMS/Car model
Fig. 1 CAD & Dynamic analysis model



Photo. 1 Dynamo experiment

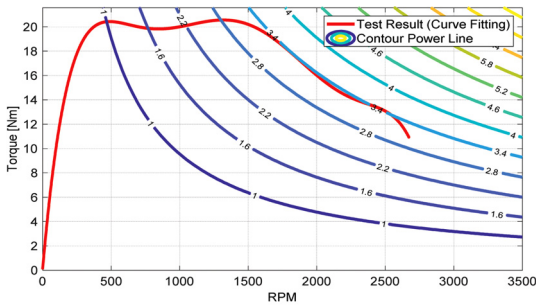


Fig. 2 Motor curve : Agni 95R

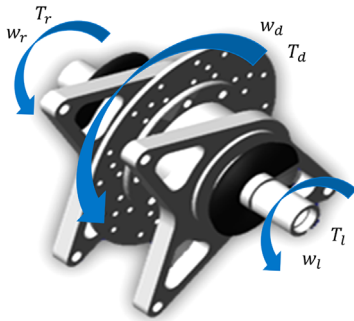


Fig. 3 MSC.ADAMS/Car open differential model

2.3 성능 평가 기준 선정

본 논문에서는 선회 성능 평가 방법으로 많이 이용된 4인자 평가법으로 자작 자동차의 선회 성능을 표현하고 이에 대한 적절성 여부를 연구하였다. 또한 본 논문에서 제시된 차량의 제작 목적은 대회에서 우수한 성적을 거두기 위함이므로, 대회 코스의 주파 시간(Lap-time)을 차량의 선회 성능을 평가하는 기준으로 제시하였다.

2.3.1 임펄스 조향 응답을 이용한 4인자 평가법

4인자 평가법에서는 차량의 선회 성능을 요 각속도 고유 진동수(Natural frequency, f_n), 감쇠 계수(Damping ratio, ζ), 정상 상태 이득(Steady state gain, a_1), 횡 가속도 응답 지연(Lateral phase delay, ϕ) 같은 4인자로 표현하였다. Mimuro¹⁰⁾는 각각 f_n 을 ‘선회의 민감성’, ζ 을 ‘선회의 수렴성’, a_1 을 ‘선회의 용이성’, ϕ 을 ‘트래킹 조종성’이라고 설명하였다. 이 4가지 지표들은 임펄스 조향 입력 $\delta(t)$ 에 따른 차량의 요 각속도(Yaw rate, $\dot{\psi}$)와 횡 가속도(Lateral acceleration, a_y) 응답을 이용하여 얻을 수 있다. 임펄스

조향 응답 $H(s)$ 은 식 (2)와 같이 표현한다.

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\mathcal{L}\{h(t)\}}{\mathcal{L}\{\delta(t)\}} = \frac{H(s)}{1} \quad (2)$$

본 연구에 활용된 자작 자동차의 과도 응답 시험은 양산 차량의 과도 응답 시험 기준과 동일하게 진행하기 위해 산업 통상 자원부 국가 기술 표준원에서 개정된 KS R ISO 7401:2014 도로 차량 - 횡 방향 과도 응답 시험 방법을 참고하였으며, 대회주행 속도를 고려하여 차속을 60 km/h로 선정하였고, 입력 조향 각은 선형성 구간을 이용하기 위해 Mimuro¹⁰⁾가 제시한 바와 같이 최대 횡 방향 가속도가 0.4 g이 되도록 하였으며, 임펄스 조향 각 주기는 0.4초로 하여 해석을 실시하였다. 주파수 영역에서의 조향 각에 대한 요 각속도와 조향 각에 대한 횡 가속도는 Fig. 4와 같다.

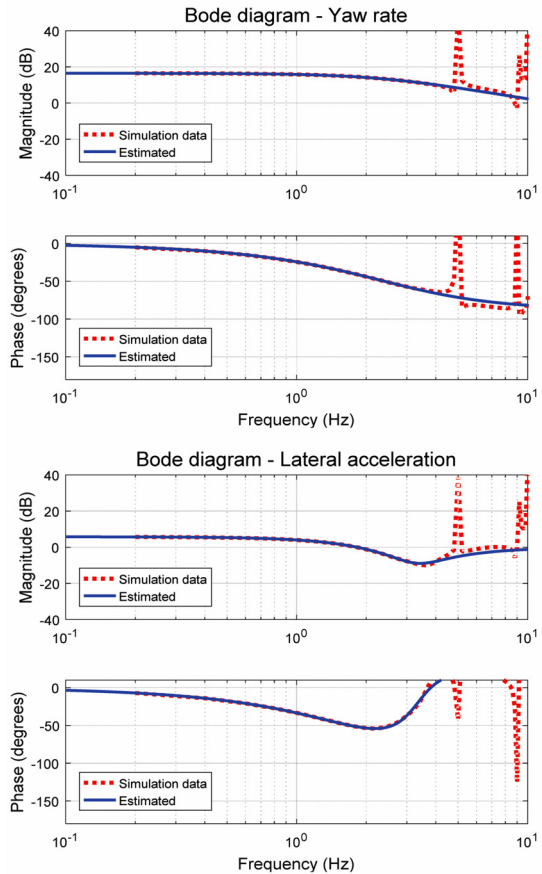


Fig. 4 Impulse analysis: yaw rate and lateral acceleration response

각운동과 횡 방향 가속도에 대해 2차 시스템으로 가정된 전달 함수는 식 (3)과 식 (4)로 표현할 수 있다.¹⁰⁾ 식 (3)과 식 (4)로 표현된 시스템의 전달 함수를 통해 4인자를 얻을 수 있으며, 계산된 기존 차량의 4인자들은 각각 고유진동수(f_n) 2.86[Hz], 감쇠 계수(ζ) 0.97, 정상 상태 이득(a_1) 6.68[dB], 횡 방향 응답 지연(\varnothing) -33.29[deg]로 나타났다.

$$\frac{\dot{\psi}}{\delta_H} = a_1 \frac{1 + T_r \cdot s}{1 + 2\zeta \frac{s}{w_n} + \frac{s^2}{w_n^2}} \quad (3)$$

$$\frac{a_y}{\delta_H} = a_3 \frac{1 + b_1 \cdot s + b_2 \cdot s^2}{1 + 2\zeta \frac{s}{w_n} + \frac{s^2}{w_n^2}} \quad (4)$$

2.3.2 짐카나 코스 주파 시간

본 연구에서 선회 성능을 평가하기 위해 사용된 짐카나 코스(Gymkhana course)는 교통안전공단과 한국자동차안전학회에서 주최하는 국제 대학생 창작자동차 경진대회의 코스이며, Fig. 5와 같다. 선회 성능을 평가하기 위해 코스를 주행하는데 소요되는 주파시간을 평가 기준으로 삼았다. 주행 시 운전자 모드는 ADAMS/SmartDriver를 이용하였으며, 차량의 가속 성능을 최대치로 사용할 수 있도록 설정하였다. 해석 조건을 Table 2와 같이 한 결과, 기존 차량의 주파 시간은 29.3초로 나타났다.

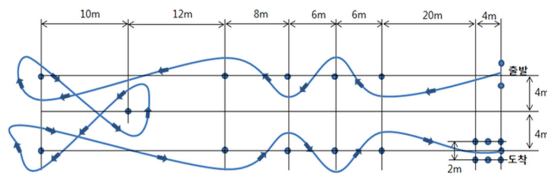


Fig. 5 Gymkhana course¹⁴⁾

3. 실험 계획법을 이용한 차량 성능 개선

3.1 실험 계획법 설계와 분산 분석

본 논문에서는 이러한 실험을 위해 변경이 용이한 총 3가지 설계 인자를 선별하였다. 설계 인자의 수준은 변경 가능한 정도 내에서 3가지 값으로 선정하였다. 계획된 실험의 인자 및 수준은 Table 2와 같다.

Table 2 Factor and level information

Design factor	Unit	Level	Value
Tread (T)	mm	0	840
		1	900
		2	1000
CG height (C)	mm	0	24
		1	52
		2	75
Tire radius (R)	mm	0	190.5
		1	218
		2	241.3

선정된 설계 인자들의 수준 변화가 4인자에 미치는 영향과 성능 평가의 기준인 주파 시간에 미치는 영향을 분산 분석을 통해 분석하였다. 분산 분석은 특성치의 산포를 제곱 합으로 나타내고 오차에 비해 큰 영향을 주는 요인이 무엇인가 찾아내는 분석 방법이다.¹⁵⁾

계획된 실험을 상용 프로그램인 SPSS를 활용하여 1차 다 변량 분산 분석을 실시하였다. 분석의 모형은 다음 식 (5)와 같다.

$$y_{ijk} = \mu + T_i + C_j + R_k + (TC)_{ij} + (TR)_{ik} + (CR)_{jk} + (TCR)_{ijk} + e_{ijk} \quad (5)$$

1차 분산 분석의 결과를 바탕으로 교호작용의 유의 확률을 확인하여 풀링(Pooling) 처리하였다. 풀링 처리의 기준은 오차분산 자유도(\varnothing_E)가 20보다 작거나 같으며, 아래 식 (6)이 성립할 경우 풀링 할 수 있다는 것을 근거로 2인자, 3인자의 유의하지 않는 교호작용은 풀링 처리하였다.¹⁶⁾ 이러한 풀링 작용으로 식 (5)는 아래 식 (7)과 같이 축소모형으로 나타낼 수 있다.

$$F_0 = \frac{V_{A \times B}}{V_E} \leq 1 \quad (6)$$

$$y_{ijk} = \mu + T_i + C_j + R_k + e_{ijk} \quad (7)$$

Table 3은 2차 다 변량 분산 분석의 결과를 정리한 표이다. 교호작용은 2인자, 3인자 모두 유의하지 않았으며, 주 인자만이 종속 변수와 유의한 차이가 나타났다. 또한 주 인자 윤거(T), 타이어 반경(R)은 모든 종속 변수들에서 유의한 차이가 나타났다. 주 인

Table 3 Multivariate analysis of variance

Factor	Variable	Mean square	F	p-value
T	f_n	.151	70.476	.000
	ζ	.001	21.888	.000
	a_1	.001	176.034	.000
	\emptyset	.212	51.297	.000
	Lap time	.050	42.497	.000
C	f_n	.060	27.949	.000
	ζ	.000	3.157	.064
	a_1	.001	364.226	.000
	\emptyset	.350	84.797	.000
	Lap time	.166	142.668	.000
R	f_n	.048	22.322	.000
	ζ	.000	7.694	.003
	a_1	.001	328.336	.000
	\emptyset	.244	59.134	.000
	Lap time	.666	571.252	.000
Error	f_n	.002		
	ζ	3.82E-05		
	a_1	2.84E-06		
	\emptyset	.004		
	Lap time	.001		

자 무게 중심(C)은 감쇠 계수를 제외한 모든 종속 변수들에서 유의한 차이가 나타났다.

따라서 3가지의 설계 인자들과 성능 지표인 4인자가 서로 유의한 차이가 있다고 판단할 수 있으며, 4인자를 지표로 활용하여 성능을 표현할 수 있음을 확인하였다. 또 다른 종속 변수인 주파 시간도 차량의 성능 평가 기준이 될 변수이기 때문에 이 또한 추가하여 분산 분석을 진행하였으며, 주파 시간 또한 주 인자 윤거(T),무게 중심(C), 타이어 반경(R)에 유의한 차이가 있다는 결과를 얻었다.

앞서 수행한 다변량 분산 분석에 이어, 종속 변수들과 주파시간 사이의 상관관계를 확인하기 위해 피어슨 상관관계 지표와 유의 확률을 Table 4에 나타내었다. 결과를 통해 4가지 종속변수들과 주파시간이 상관관계가 있음을 알 수 있다. 그중에서도 다른 종속변수들에 비해 정상 상태 이득 (a_1)이 주파 시간에 대해 가장 뚜렷한 경향성을 보였고, 반대로 감쇠 계수(ζ)의 영향은 다소 적음을 Fig. 6을 통해 알 수 있다.

Table 4 Correlation analysis

Variable	Pearson correlation coefficient	p-value
f_n	-.743**	.000
ζ	-.652**	.000
a_1	-.912**	.000
\emptyset	-.842**	.000

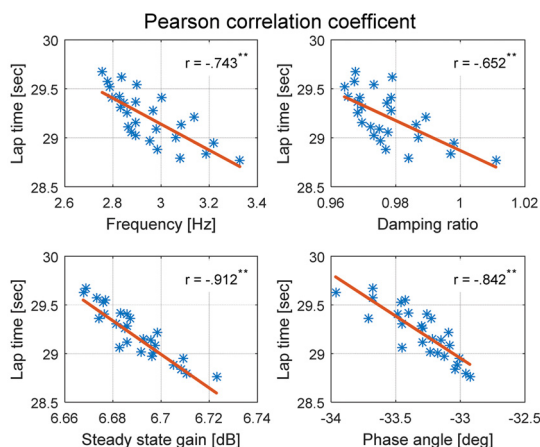


Fig. 6 Correlation about lap time and 4 parameters

3.2 4인자 법과 주파 시간을 통한 성능 분석

4가지 인자를 활용하여 사방형(Rhombus)을 Fig. 7에 나타내었다. 4인자 평가법에서 제시하는 차량의 선회 성능과 4인자의 관계가 자작 자동차에도 적용이 가능 유무를 알아보기 위해, 앞서 언급된 주파 시간을 기준으로 검증 과정을 수행하였다.

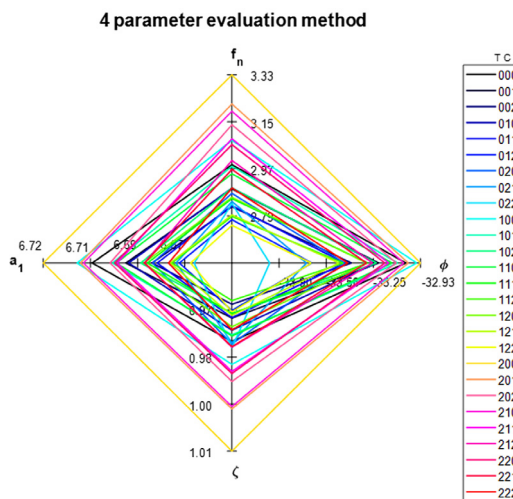


Fig. 7 Rhombus diagram for 4 parameters

Fig. 8~10은 설계 인자 윤거(T), 무게 중심(C), 타이어 반경(R)의 수준 변화에 따른 주파 시간의 결과 값을 나타낸다. 이 결과 그래프들을 통하여 실험 데이터 범위 내에서 각 설계 인자의 수준 설정 방향과 4인자의 증감에 따른 주파 시간의 변화를 알 수 있다.

첫 번째는 Fig. 8의 그래프를 통해 주 인자 윤거(T)가 2 수준 일 때 다른 수준에 비해 주파 시간이 짧은 결과를 보였다. 또한 결과 범위 내에서 요 각속도 고유 진동수(f_n), 감쇠 계수(ζ), 정상 상태 이득(a_1)은 커지고, 횡 가속도 응답 지연(ϕ)은 줄어들수록 주파 시간의 값이 줄어드는 경향성을 보인다. 따라서 차량의 윤거가 넓어질수록 요 각속도 고유 진동수(f_n), 감쇠 계수(ζ), 정상 상태 이득(a_1)은 커지고, 횡 가속도 응답 지연(ϕ)은 줄어들게 되어, 결과적으로 주파 시간을 단축시킨다고 판단하였다.

두 번째로 Fig. 9의 그래프를 통해 주 인자 무게 중심(C)이 0 수준에서 주파 시간이 짧다는 결과를 보였다. 결과 범위 내에서 설계 인자 윤거(T)에서 언급한 대로 4인자의 값을 가질 때, 주파 시간의 값이 줄어드는 경향을 확인할 수 있다. 따라서 무게 중심의 높이가 낮아질수록 주파 시간이 감소한다고 판단하였다.

세 번째로 Fig. 10의 그래프를 통해 주 인자 타이어 반경(R)이 0 수준에서 주파 시간이 가장 짧은 결과를 보였다. 앞서 본 설계 인자 윤거(T)와 무게 중심(C)에서와 같이 4인자의 값을 갖는 경우 주파 시간이 줄어드는 경향을 보였다. 따라서 타이어 반경이 작을수록 주파 시간이 줄어들음을 알 수 있었다.

따라서 이러한 경향성을 Fig. 11과 같이 사방형으로 표현할 수 있으며, 사방형의 넓이가 넓어짐에 따라 차량 성능이 향상된다는 4인자 법에서 정리된 결론이 자작자동차를 이용하여 특정 선회 코스를 주행한 본 연구에서도 동일하게 적용 가능함을 확인하였다.¹⁰⁾

결론적으로 Fig. 12와 같이 기존 차량과 주파시간에 대해 최고 기록과 최저 기록의 차를 사방형으로 나타내보았으며, Fig. 11에서 제시했던 주파시간에 대한 4인자의 경향이 Fig. 12에서도 동일하게 나타났다. 주파 시간에 대해서는 최고 기록의 경우 기존 차량 대비 주파 시간이 약 0.5초 감소하였으며,

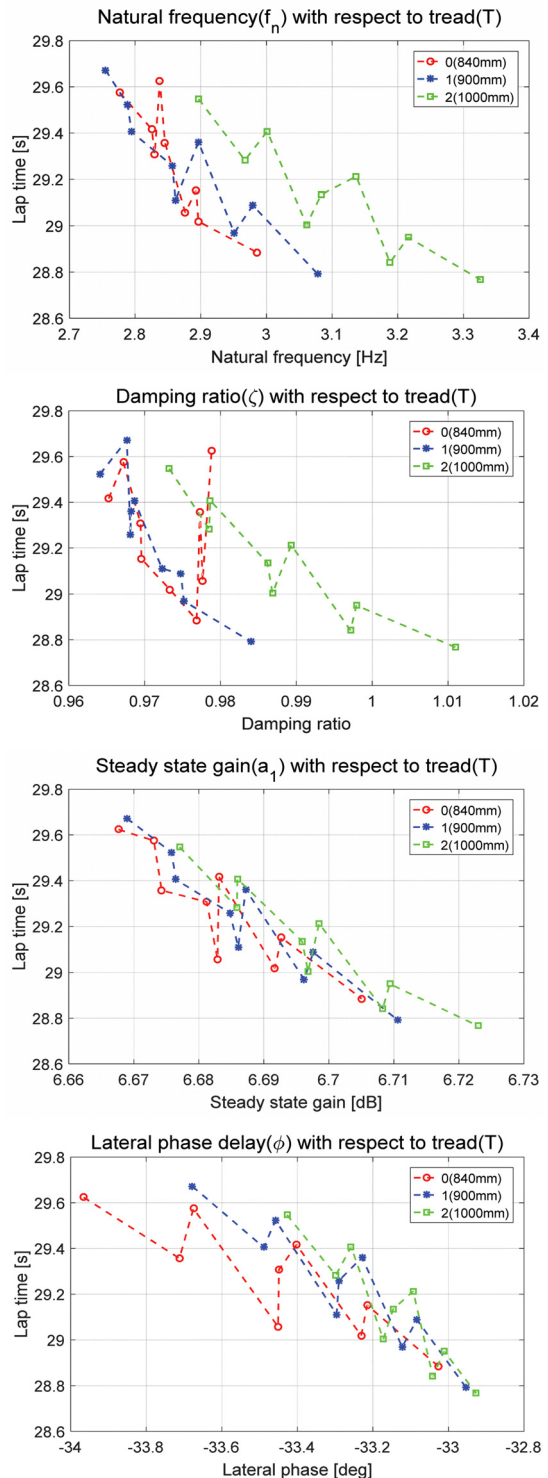


Fig. 8 Relationship between 4 parameters and lap time with respect to factor T

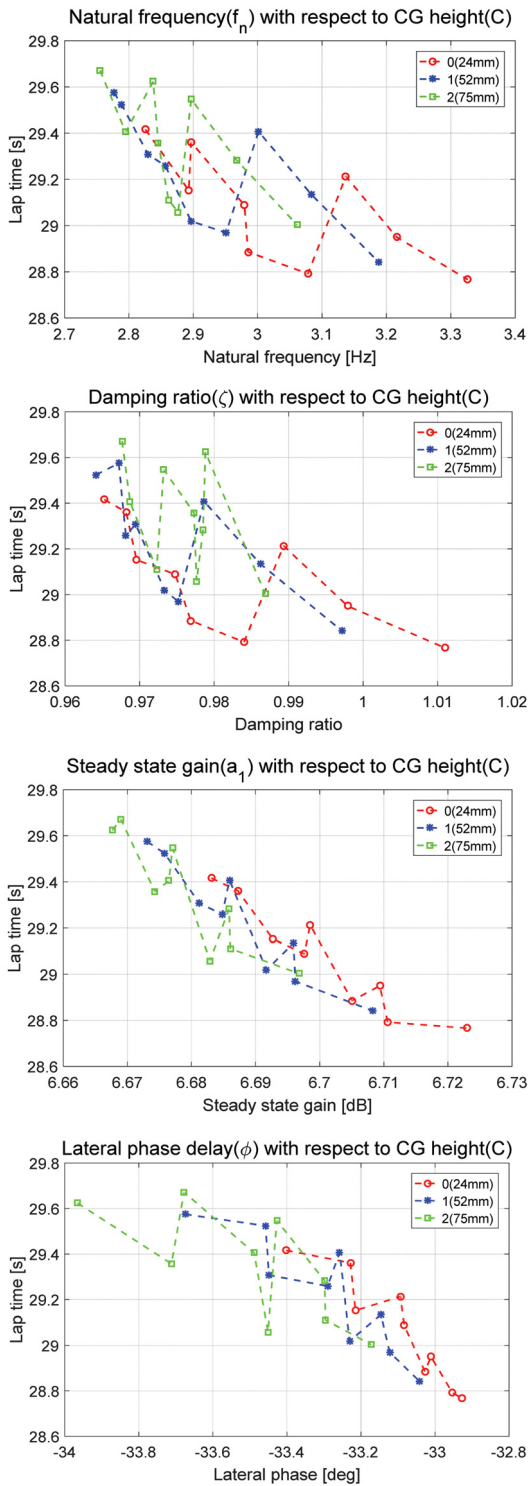


Fig. 9 Relationship between 4 parameters and lap time with respect to factor C

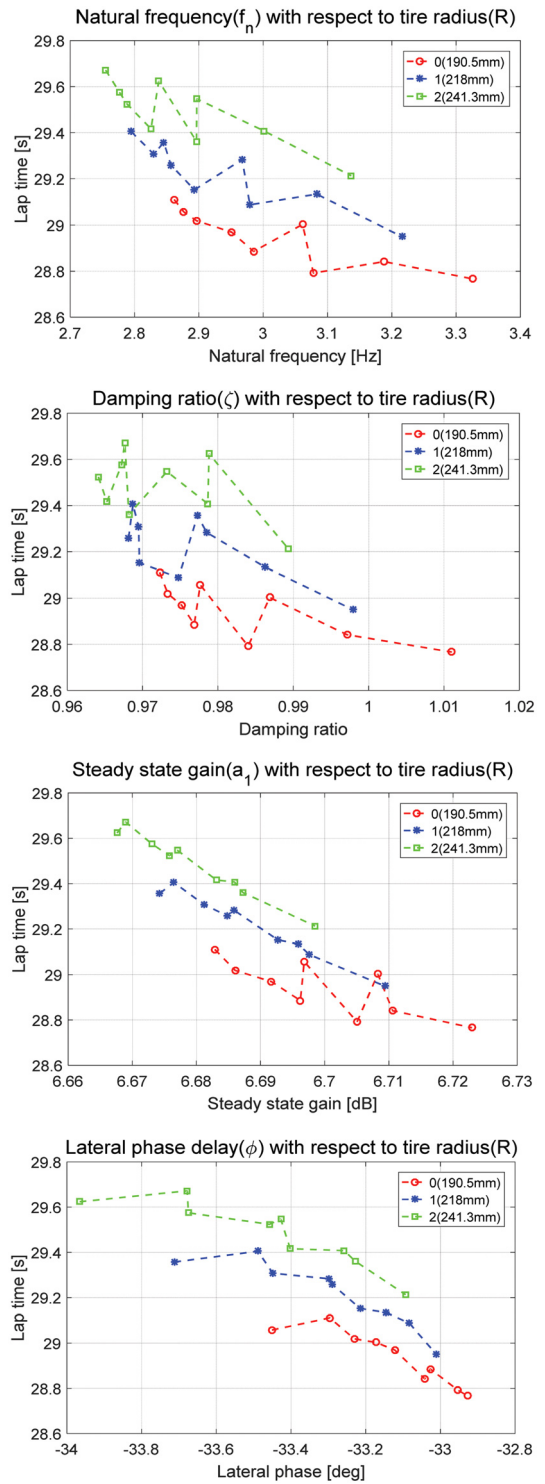


Fig. 10 Relationship between 4 parameters and lap time with respect to factor R

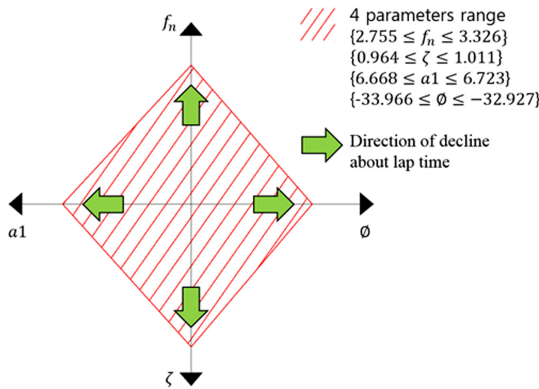


Fig. 11 Tendency of lap time with respect to 4 parameters

4 parameter evaluation method

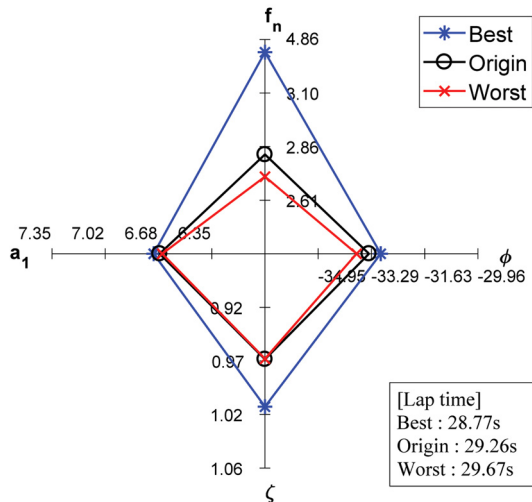


Fig. 12 Shape of rhombus diagram about specific cases

상위 5팀의 기록 차이가 평균적으로 0.07초였던 것을 감안했을 때, 0.5초의 기록 단축은 상당히 의미 있는 결과라고 판단된다.¹⁷⁾

4. 결론

선회 성능 평가법인 4인자 평가법을 자작 자동차의 선회 성능 표현을 위해 적용하였으며, 분산 분석을 통해 4인자가 자작 자동차의 선회 성능 지표로 사용 가능함을 확인하였다. 또한 선정된 설계 인자들의 변화가 선회 성능 평가지표인 4인자에 영향을 미치는 것을 확인하였고, 설계 인자의 변경을 통해 자작 자동차의 선회 성능을 변화시킬 수 있음을 확

인하였다.

이어서 4인자로 표현된 선회 성능에 대한 평가 기준을 목표 코스의 주파 시간으로 제시하였으며, 사용 가능 여부를 분산 분석을 통해 확인하였다. 3가지 설계 인자들을 3 수준으로 나누어 각 수준에 따른 4인자와 주파 시간의 관계를 시각화 하였다. 이러한 결과를 분석하여 선회 성능 향상을 위해 윤거를 넓히고, 무게 중심의 높이를 낮추며, 타이어 반경을 줄일 것을 제시하였고, 이러한 제안 조건에 맞추어 설계 인자들의 수준을 조절함으로써 주파 시간을 0.5초가량 단축할 수 있었다. 제안 조건은 기존 설계에 비해 4인자 모두 향상된 결과로 나타났다. 따라서 차량을 설계하거나 이미 제작된 차량을 수정하는 경우, 본 논문에서 제시한 객관적 성능 지표와 실질적 평가 지표인 주파 시간의 관계를 고려하여 설계에 반영하면 선회 성능 평가 부문에 있어 보다 향상된 결과를 얻을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 변경된 설계 변수에 따른 차량 선회 성능만을 중점적으로 다루었지만, 향후에서는 차량의 고유 특성과 선회 성능의 관계에 대한 연구가 필요하다고 제안한다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) KSAE, <http://jajak.ksae.org/community/index.html?subid=10&sub=10>, 2016.
- 2) H. Nozaki, "Effect of the Front and Rear Weight Distribution Ratio of a Formula Car During Maximum-Speed Cornering on a Circuit," Int. J. Automotive Technology, Vol.9, No.3, pp.307-315, 2008.
- 3) B. K. Cho and S. J. Song, "An Analysis of Vehicle Handling Characteristics with ADAMS," Transactions of KSAE, Vol.4, No.5, pp.109-118, 1996.
- 4) S. J. Park and J. H. Sohn, "Effects on Vehicle Handling Performance according to Camber Angle Change of Front and Rear Wheel,"

- Transactions of KSAE, Vol.19, No.6, pp.23-29, 2011.
- 5) W. K. Kim, Improvement of Cornering Characteristics of Formula SAE Race Car, Ph. D. Dissertation, Kookmin University, Seoul, 2009.
 - 6) B. O. Jin, Driving Performance Analysis of Formula SAE Race Car, Ph. D. Dissertation, Kookmin University, Seoul, 2015.
 - 7) W. F. Milliken and D. L. Milliken, Race Car Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Inc. 400 Commonwealth Drive, Warrendale, pp.607-663 1995.
 - 8) J. H. Jang and C. S. Han, "The Sensitivity Analysis of Yaw Rate for a Front Wheel Steering Vehicle: In the Frequency Domain," KSME International Journal, Vol.11, No.1, pp.56-66, 1997.
 - 9) M. Abe, Vehicle Handling Dynamics: Theory and Application, 2nd Edn., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2015.
 - 10) T. Mimuro, M. Ohsaki, H. Yasunaga and K. Satoh, "Four Parameter Evaluation Method of Lateral Transient Response," SAE 901734, 1990.
 - 11) J. H. Sohn, "Evaluation of Vehicle Handling Characteristics using the Four Parameter Evaluation Method," Ph. D. Dissertation, Pusan National University, Busan, 1999.
 - 12) C. G. Lee, S. J. Lee and K. S. Yi, "Differential Gear Model Its Influence on Vehicle Dynamics," KSAE Fall Conference Proceedings, pp.446-451, 1999.
 - 13) ISO 7401, Road Vehicles-Lateral Transient Response Test Method, 2014.
 - 14) http://kasa.kr/cev/06eng_page06.php, 2016.
 - 15) S. H. Park and B. C. Choi, Comprehension of Design of Experiments through SPSS and SAS Procedures, Minyoungsa, Seoul, pp.53, 106-107, 133-134, 2004.
 - 16) S. H. Park, Modern Design of Experiments, Minyoungsa, Seoul, pp.11-17, 162-163, 259-280, 2004.
 - 17) 2016 International Student Green Car Competition Overall Result(Electric Vehicle), Gymkhana, <http://www.kasa.kr/cev/05community01.php#>, 2016.