

다구찌 직교배열법을 이용한 포물러 레이스카 전륜 업라이트의 최적설계

장운근*

(Manuscript received: Oct, 26, 2012 / Revised: Jan, 28, 2013 / Accepted: Jan, 29, 2013)

Optimal Design of the Front Upright of Formula Race Car Using Taguchi's Orthogonal Array

Woon Geun Jang*

Abstract

Formula race car is generally recognized as a vehicle which is optimally designed for on-road race track with the regulations of race host bodies. Especially, the uprights of suspension system decisively have effects on the performance of cornering and stability of race car's driving performance, which are very important factors in the design of race car. This paper is a study of optimal upright design of F1800 grade formula race car which are normally used in professional race circuit in Korea. To design optimally the front upright of F1800 formula race car, Taguchi's orthogonal array, which is known for more useful method than full factorial design experimental method in cost and time, is used with CAE method such as FEM analysis. And the result of this paper shows that Taguchi's orthogonal array employed for this optimal design is very useful for designing the front upright of race car by minimizing its weight as well as keeping its safety factor as enough as designer wants in the view of quality, cost and delivery at the early design step.

Key Words : Taguchi's orthogonal array(다구찌 직교배열표), Formula race car(포물러 레이스카), Front upright(전륜 업라이트), Optimal design(최적설계)

1. 서론

국내에서도 국제적인 레이스 경기인 F1 대회가 개최되면서 자동차 경주에 대한 관심이 점점 고조 되고 있으며 인식이 점차로 변화되고 있다. 특히 자동차산업의 강국임에도 불구하고 자동차 경기의 불모지였던 국내에서도 동호회 및 프로팀들을 중심으로 레이스카 설계와 제작에 대한 관심이 점차로 증대되고

있다. 그러나 전반적인 산업적 수요에 비하여 레이스카의 설계 제작에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이는 차량의 설계 및 개발보다는 차량의 정비와 튜닝에 초점을 두고 있는 국내 레이스산업의 환경으로 인하여 경기용 차량의 설계와 제작기술은 주로 일본 및 해외기술에 의존하고 있는 추세이다. 특히 많은 레이스차량 중에 포물러 레이스카(Formula Race Car)는 주로 온로드(On-road)에서 주행하는 경기용 차량

* 영남이공대학교 기계자동차학부
주소: 705-703 대구광역시 남구 현충로 274

✉ Corresponding Author E-mail: baja2000@ync.ac.kr

으로서 가속성능 및 코너링 주행성능은 일반 차량에 비해 매우 중요한 설계목표이므로 포물러 레이스카의 가속성능 및 코너링성능에 결정적 영향을 미치는 현가장치의 설계는 매우 중요하다고 할 수가 있다.

따라서 현가시스템의 주요 부품 중의 하나인 전륜업라이트(Front Upright)는 현가계 설계에 중요한 기본 부품이며 주행 안정성을 위해서는 스프링 하질량(Unsprung mass)에 해당하는 전륜업라이트의 무게를 충분히 줄여야함과 동시에 주행 중에 받는 하중에 충분히 견디도록 설계가 되어져야한다.

이에 본 연구에서는 포물러 레이스카 업라이트의 주요 설계 인자들을 개선하고자 다구찌 직교배열법을 통하여 전륜업라이트의 각 설계변수조합에 따른 구조해석을 수행하고 설계변수들의 민감도를 파악하여 전륜업라이트의 최적설계조합을 찾아 최적화를 수행하고자 한다.

대부분의 포물러 레이스카의 현가장치는 더블위시본(Double Wishbone) 타입 또는 A-Arm 타입을 가장 많이 채용하고 있는데 이는 차량의 코너링특성 및 주행안정성 등을 운전자의 운전 타입 또는 경기장의 상황에 따라 현가장치의 세팅을 손쉽게 하기 때문에 많이 채용되고 있다. 일반적으로 업라이트는 타이어와 노면 간의 접지력을 유지하기위해 차량의 현가장치를 지지하는 부품으로서 더블위시본 타입의 Upper Control Arm(UCL)과 Lower Control Arm(LCA) 그리고 조향을 위한 타이로드(Tie-rod)와 연결되어 차량을 컨트롤하는 역할을 한다. 아울러 이러한 시스템은 경기용 차량제작 규정을 만족시키면서 차량의 공차중량을 최소화하고 또한 차량의 주행안정성을 꺾고자 스프링 하질량을 최소화하고자 노력한다.

이러한 경기용 차량에 대한 연구를 살펴보면 입문 경기용 카트 프레임(Kart Chassis Frame)을 설계하기 위하여 Jang⁽¹⁾ 등은 카트 프레임의 비틀림과 벤딩을 동시에 고려하여 카트 프레임에 대한 구조해석을 수행하였으며 Kim⁽²⁾ 등은 125cc급의 소형 포물러 레이스카 알루미늄차체 프레임의 최적화를 위하여 정적강성 및 충돌 등을 고려한 구조해석 기법을 통하여 경기용 차량의 차체의 최적설계를 연구하였다. John⁽³⁾ 등은 미국 NASCAR Winton Cup Race car의 주행성능 및 안전에 영향을 미치는 차량의 프레임을 유한요소법을 이용하여 최적설계를 실행하였고 Lonny⁽⁴⁾ 등은 NASCAR Winton Cup Race car 프레임에 대한 각 설계변수들의 민감도해석에 관한 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 포물러 레이스카 전륜 업라이트의 최적화를 위하여 실험계획법에서 많이 활용되고 있는 다구찌 직교배열표를 통하여 최적화를 수행하였는데 이러한 실험계획법 및 다구찌 기법(Tahuchi method)은 차량의 차체, 현가계 등의 최적설계에 많이 활용되고 있으며 활발히 연구되고 있다⁽⁵⁻⁷⁾.

또한 일반 차량의 연구에서도 이러한 실험계획법은 널리 활용되고 있는데 Kim⁽⁵⁾ 등은 Lower Control Arm의 피로수명

형상 최적화를 위하여 실험계획법 중 Plackett-Burman 직교배열표를 사용하여 피로수명해석을 통해 최적의 형상을 연구하였고 Park⁽⁶⁾ 등은 차량 너클의 형상최적설계에 벌칙함수를 이용한 특성함수를 직교배열법을 활용하여 최적화하였으며 Kim⁽¹⁰⁾ 등은 유한요소법과 다구찌기법을 적용하여 디스크 캘리퍼의 싹형상을 최적화 하는 등 차량의 각종 부품들에 대한 최적형상을 설계하기 위해서 실험계획법과 구조해석을 이용한 많은 연구들이 이루어졌다. 본 연구에서는 포물러 레이스카 전륜업라이트의 최적형상설계를 위하여 차량의 주행하중조건을 고려하여 다물체동역학해석 프로그램인 Recurdyn 해석을 통하여 업라이트에 작용하는 기본적인 준정적(quasi-static) 하중을 구하고 전륜업라이트의 설계인자들을 선정하여 다구찌 직교배열법을 활용한 구조해석을 통하여 설계인자들의 최적화를 수행하였다. 다구찌 기법을 이용한 실험계획법은 수치적 최적화에 중점을 둔 직접탐색 알고리즘을 이용한 최적화기법에 비해 해의 수렴성 문제와 과도한 최적화 설계진행시간의 문제를 감소시키고 동시에 설계자가 설계인자들의 영향도를 손쉽게 평가하여 최적화를 실현 할 수가 있다는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 다구찌 직교배열법의 최대장점인 최소의 실험횟수를 통하여 설계납기(Design Delivery)의 단축을 꺾고 전륜업라이트의 중량과 최대 von Mises Stress를 특성치로 지정하여 산포의 크기를 계량특성치로 변환하여 산포의 변화에 영향을 미치게 하는 인자들의 조건을 구하고자 계량특성치중 망소특성을 이용하여 최적화를 수행하고자 한다.

2. 구조해석의 적용과 다구찌 기법 활용

2.1 초기설계의 구조해석

포물러 레이스카 업라이트의 구조해석을 실시하기에 앞서 차량의 주행하중을 구하기 위하여 차량의 주행하중조건을 차량의 최대제동 시와 경기 중 외곽을 통과하는 주행라인이 형성될 시 경기장외곽의 범퍼를 통과하게 되는 조건을 가정하여 하중조건을 주었다. 제동 시와 범퍼하중은 각각 차륜에 2.5g와 3g의 하중 조건을 부과하였고 Recurdyn 다물체동역학 해석프로그램에서 차량의 1/4 현가계 모델을 이용하여 타이어와 지면 접촉점에 이에 해당하는 하중을 각각 준정적해석을 통해서 부여하였다. 초기 하중의 상태를 만족시키기 위해서 먼저 정정평형하중 조건을 만족시킨 후 타이어와 노면의 접지면에 하중을 부과하였고 이때 타이어는 강체로 가정하여 해석을 실시하였다. Fig. 1은 1/4전륜 현가모델의 모습이고 Table 1은 각각의 하중조건과 업라이트의 Upper Control Arm(UCA)조인트, Lower Control Arm(LCA)조인트, 및 Tie-rod와의 연결조인트부의 해석을 통해 얻어진 반력을 각각 나타내고 있다. 전륜업라

이트는 UG NX를 이용하여 3D 설계가 되었고 설계자의 초기 3D CAD 설계데이터를 활용하여 유한요소해석 모델을 만들고 해석을 통해 구해진 주행하중을 이용하였으며 유한요소해석을 수행하여 초기 설계의 수준을 파악하였다.

초기 설계 데이터는 설계자가 기본적인 업라이트의 휠과 브레이크 캘리퍼 및 브레이크 디스크의 패키징과 현가장치의 기구학적인 특성인 휠얼라이먼트 조건을 만족하도록 Cast angle, Kingpin angle, Scrub radius를 고려하여 Design Hard point를 설계하였고 이러한 업라이트의 초기 설계 데이터를 이용하여 구조해석을 실시하였다. 여기에서 Design Hard point는 업라이트 최적화 시 제한조건으로 변하지 않는 포인트들이며 설계인자들의 수준은 이를 위배하지 않게 선정하였다. 구조해석은 NX Nastran을 이용하였고 해석에 사용된 요소는 Tetra10 element로 총 절점수는 95,776개 이고, 총 요소수는 63,649개이다.

Table 2는 업라이트설계에 활용된 재질인 AL6061-T6 재질의 물성치이다. 해석의 경계조건은 업라이트의 휠베어링 부위의 6자유도를 모두 고정시키고 브레이크 캘리퍼 마운트 부위도 제동시의 경계조건을 고려하여 각각 x,y,z 병진자유도를 구속하였다. 각각의 하중은 Table 1에서 구해진 주행하중을 Upper Control Arm(UCA)조인트, Lower Control Arm(LCA)조인트 및 Tie-rod에 가하여 해석을 수행하였다.

Fig. 2는 초기 설계데이터의 유한요소모델링과 구조해석 결

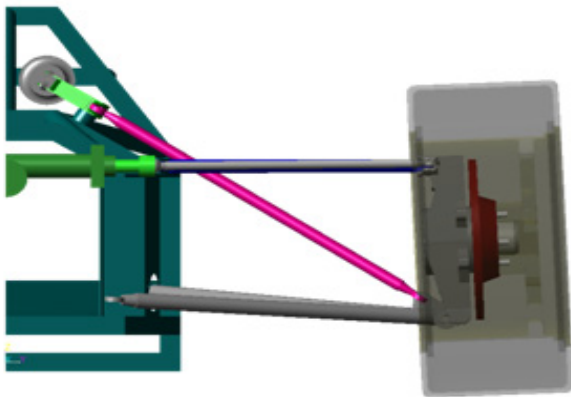


Fig. 1 Multibody Dynamics Model of 1/4 Front Suspension System Using RecurDyn

Table 1 Load Condition of Upright

Load Case Direction	Tie-Rod(N)	UCA(N)	LCA(N)
Fx	-26.6	-3353.7	5462.5
Fy	115.9	848.8	-377.5
Fz	0.98	-653.8	-3931.0

Table 2 Material Properties of AL6061-T6

Mechanical Properties	Value
Density	2.70 g/cc
Tensile Strength, Ultimate	290 MPa
Tensile Strength, Yield	255 MPa
Elongation at Break	12.00%
Modulus of Elasticity	68.9 GPa
Poisson's Ratio	0.33

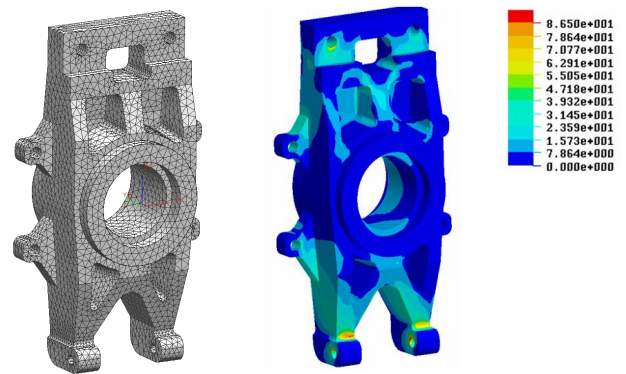


Fig. 2 FEM Model & Result of Analysis of Initial Design

과이다. 초기설계 데이터를 근거로 판단 할 때에 초기 최대응력이 86.5Mpa, 초기 중량이 2,887g이며 안전율이 2.95로 이는 본 경비용차량 설계가 의도하는 안전율 3.0기준으로 볼 때 적절한 설계라고 볼 수가 있으나 이 기준 안전율을 위배하지 않고 중량을 더 감소시키고자 다구찌 직교배열법을 이용한 최적화를 수행하였다.

2.2 다구찌 직교배열법 적용

‘다구찌기법’은 실험계획법에서 널리 활용되고 있는 기법 중에 하나인데 이는 기존의 실험계획법에 비해 제어가 불가능한 조건들이 실험결과에 미치는 영향의 정도를 평가특성치화 하여 산포에 유의하게 영향을 미치는 조건들의 조합을 찾아내는 일종의 강건설계 방안이라 할 수 있다. 이러한 다구찌기법의 특징 중 하나가 직교배열표(Table of orthogonal arrays)를 이용한다는 데 있다. 실험계획에서 직교란 어떤 요인이 어떤 수준에 대해서나 다른 요인의 수준이 같은 횟수씩 나타나는 상태를 말한다. 즉 어떤 인자이든지 같은 수준의 수가 나오게 된다는 것이다. 이러한 직교배열표는 각 열이 직교가 되게 미리 만들어 놓은 표인데 어떤 수준에 대해서나 다른 열의 전체 수준이 같은 횟수씩 나타나도록 구성되어 있다. 직교배열표는 최적조건 결정 및 안정성에 대한 평가와 함께 설계변수 간에 발생하는 교호작용을 기술적인 의미가 없는 2인자 및 교차의 교호작용을 주 효과와 교락(Confounding)시켜 실험의 크기를 줄 일 수 있어

이러한 직교배열표가 가지는 장점으로 인하여 인자가 많을 시에는 일반 요인배치법으로는 모든 실험을 할 수가 없기 때문에 적은 수의 실험으로 많은 효과를 찾으려는 목적에 널리 활용되고 있다⁽⁸⁾.

본 연구에서 사용된 인자들의 조합을 전조합실험(Full factorial)을 사용하게 되면 3⁴개로 81번의 전산해석을 수행하여야 하나 다구찌 직교배열표를 사용하여 L₉(3⁴)직교배열표를 사용하게 되면 9개의 행을 가진 총 9번의 전산해석실험만을 실시하게 되어 설계납기에 매우유리하다고 할 수 있다.

2.3 다구찌 직교배열법을 이용한 해석

본 연구에서 최적화를 위해 전륜업라이트 각각의 설계변수들을 Fig. 3, Table 3와 같이 각각 선정하였다. Table 3은 본 실험에서 사용된 직교배열표이며 업라이트의 중량과 최대 응력을 특성치로 지정하고 각각의 특성치에 대한 최적의 인자들의 조건을 구하고자 계량특성치 중 망소특성을 이용하여 최적화를 수행하고자 한다.

다구찌 기법에서는 기본적으로 S/N비와 평균분석을 이용하여 설계인자가 특성치값에 미치는 영향을 분석 할 수가 있는데 이 S/N비는 이차식으로 주어지는 품질손실함수로부터 구해진 값으로 성능의 평균과 산포를 동시에 고려하는 척도이므로 본 연구에서는 전륜업라이트의 중량과 응력이 작을수록 좋은 망소특성(larger-the-better type)에 준하는 기법을 사용하였다.

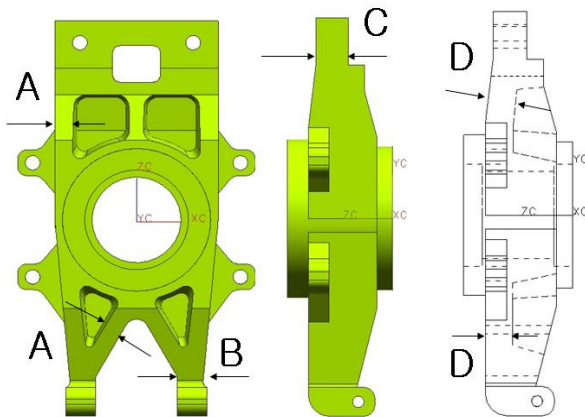


Fig. 3 Selection of Design Factors

Table 3 Levels of Factors for L₉(3⁴)

Factor \ level	A	B	C	D
1	6	13	17.5	9
2	9	15	20.5	13
3	12	17	23.5	19

Table 4 Result of Analysis Using FEM and Taguchi's Orthogonal Array L₉(3⁴)

Exp.	A	B	C	D	Weight (g)	Max. Stress (Mpa)
1	1	1	1	1	2,661	102.1
2	1	2	2	2	2,690	85.93
3	1	3	3	3	2,794	79.1
4	2	1	2	3	2,792	99.08
5	2	2	3	1	2,803	88.52
6	2	3	1	2	2,725	89.45
7	3	1	3	2	2,823	99.9
8	3	2	1	3	2,778	94.95
9	3	3	2	1	2,792	81.62

Table 4는 다구찌 직교배열표에 따른 구조해석 실험의 특성치 결과이다. 본 연구에서는 최대 von Mises 응력과 업라이트의 중량이 낮을수록 좋은 것이므로 망소특성으로 S/N비를 계산하였고 각 수준별 평균을 구하여 인자의 최적수준을 구하였다.

Table 4는 직교배열법에 의한 각각의 특성치의 결과를 나타내고 있고, Table 4로부터 특성치의 평균을 다음 식을 이용하여 구할 수가 있다. 이는 각 인자 등의 각 수준에 의한 평균을 특정한 수준이 포함된 실험결과와 평균으로 구할 수가 있고 이러한 과정을 평균분석(Analysis of mean, ANOM)이라 부른다^(8,9).

$$m = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 \eta_i \tag{1}$$

3. 결과 및 고찰

직교배열표에 의해 구해진 특성치가 설계변수의 수준수에 대한 실험치의 영향을 분석하기 위해서 평균분석(Analysis of mean, ANOM)을 실시하였다. 이러한 특성치에 대한 최적수준은 각 인자의 수준별 평균값의 각 설계변수들의 조합으로 추정하였다. 여기에서는 중량과 최대응력의 특성치에 대한 각각의 평균분석의 결과를 Table 5와 Table 6에 각각 나타내고 있다. Fig. 4-7는 각각의 실험결과와 특성치로부터 설계인자들의 평균분석과 각 수준별 S/N비를 구하였다.

다구찌 직교배열법을 통한 평균분석결과에서 중량에 대한 기여율이 가장 큰 설계인자는 C, A, D, B의 순으로 나타나고 최대응력에 대한 기여율이 큰 설계인자는 B, C, A, D 순으로 나타나고 있음을 알 수가 있다. Fig. 4와 Fig. 6은 특성치들에 대한 각각의 설계인자별 평균분석 그래프이며 Fig. 5와 Fig. 7은 중량과 최대응력 각각의 S/N비를 나타내고 있다.

Fig. 4의 중량에 대한 설계인자들 각각의 평균분석에서는

Table 5 ANOM of Weight

Level	A	B	C	D
1	2715	2759	2721	2752
2	2773	2757	2758	2746
3	2798	2770	2807	2788
Delta	83	13	85	42
Rank	2	4	1	3

Table 6 ANOM of Max von Mises Stress

Level	A	B	C	D
1	89.04	100.4	95.5	90.75
2	92.35	89.8	88.88	91.76
3	92.16	83.39	89.17	91.04
Delta	3.31	16.97	6.62	1.01
Rank	3	1	2	4

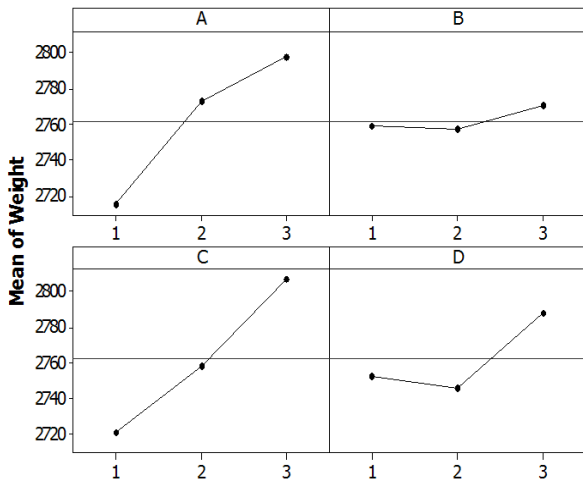


Fig. 4 Main Effect Plot(Weight) for Means

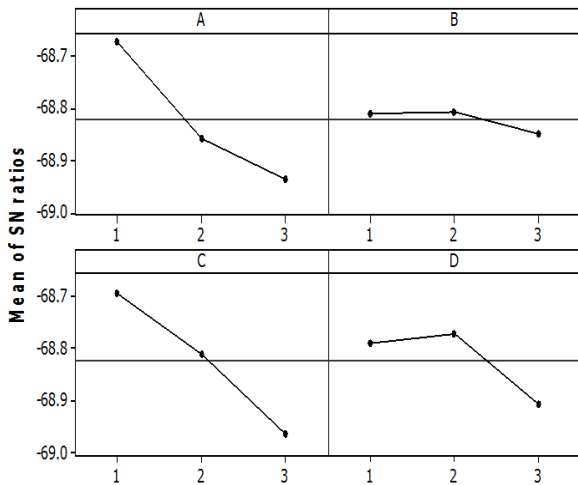


Fig. 5 Main Effect Plot(Weight) for S/N ratio

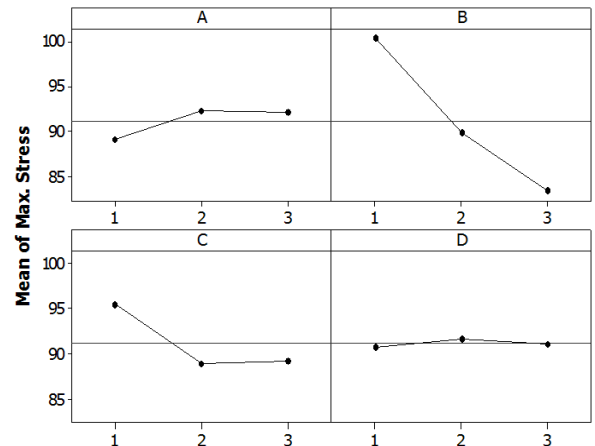


Fig. 6 Main Effect Plot(Max von Mises Stress) for Means

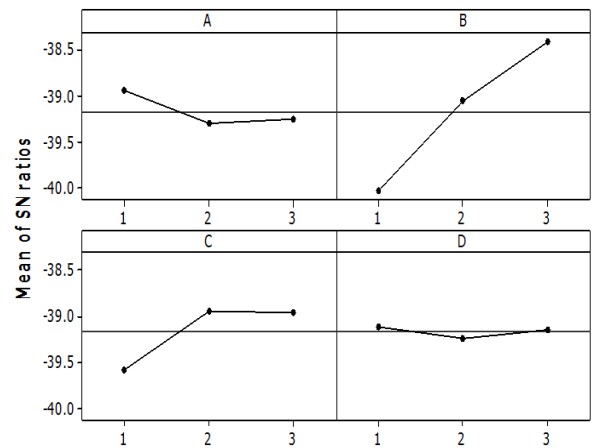


Fig. 7 Main Effect Plot(Max von Mises Stress) for S/N ratio

A의 1수준, B의 2수준, C의 1수준, D의 2수준이 최소중량 특성치를 나타내고 있으며 Fig. 5의 중량에 대한 설계인자들 각각의 최대S/N비는 A의 1수준, B의 2수준, C의 1수준, D의 2수준이 각각 높은 것으로 나타나고 있다.

Fig. 6의 최대응력에 대한 평균분석 그래프에서는 A의 1수준, B의 3수준, C의 2수준, D의 1수준이 각각 최소응력의 특성치를 나타내고 있으며 Fig. 7의 설계인자 각각의 최대S/N비는 A의 1수준, B의 3수준, C의 2수준, D의 1수준이 각각 높은 것으로 나타나고 있고 A와 D는 B, C에 비해서 상대적으로 기여율이 낮게 나타나고 있다.

실제 그래프를 통한 확인 이외에 정량적인 유의차를 확인하기 위해서 중량과 최대응력에 대한 분산분석을 실시한 결과를 Table 7, Table 8에 각각 나타내고 있다. 이러한 분산분석은 특성치의 산포를 요인별로 분해하여 어느 요인이 큰 산포를 나타내게 하는가를 규명하는 것으로서 본 연구에서는 1차 분산분석결과 중량과 최대응력의 S/N비에 대해서 효과를 무시할 수 있을 정도로 변동이 작은 인자인 B인자와 D인자를 각각 제외

한 나머지 인자들에 대해서 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 중량에 대해서는 인자 간의 유의차가 크게 나타나고 있지 않으나 최대응력에 대해서는 B, C인자가 P값이 0.006, 0.027로 유의하다고 판단이 된다.

따라서 최대응력과 중량을 비교감안 해 볼 때 중량에서는 각 인자들 간의 유의차가 크게 나타나고 있지 않으나 최대응력에서는 B인자의 기여율이 가장 높게 나타나고 있다. 또한 중량에 있어서 인자 간에는 큰 유의차가 없지만 평균분석결과 중량에 대한 기여율이 가장 높은 C인자는 1수준, 중량에 대한 기여율은 2순위로 높으나 상대적으로 최대응력에 대한 기여율은 낮은 A인자는 1수준, D인자는 2수준 특히 중량에 대한 기여율은 가장 낮은 편인 반면에 최대응력에 대한 기여율은 가장 높은 B인자는 응력의 측면을 고려하여 B인자의 3수준 순으로 최적조합을 선정하였다. 따라서 최적인자들의 수준들은 A인자는 1수준, B인자는 3수준, C인자는 1수준, D인자는 2수준으로 선정하여 최적값을 도출하기 위하여 가법모형을 이용하여 각각의 최적값을 추정 해본 결과 Table 9와 같이 각각 86.14Mpa, 2,666g의 다구찌 추정값을 나타내고 있다.

다구찌 직교배열표를 통해 구한 최적수준조합을 이용하여 해석을 수행 한 결과 무게는 2,666g, 최대응력특성치는 81.1Mpa로 나타났으며 Fig. 8은 선정된 수준을 기반으로 해석을 실시한 결과이다. 중량에 대한 다구찌 추정값은 최적수준조합의 해

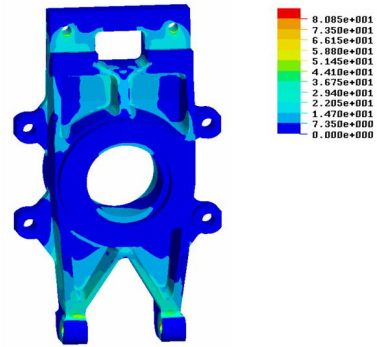


Fig. 8 FEM Result of Optimal Design Case

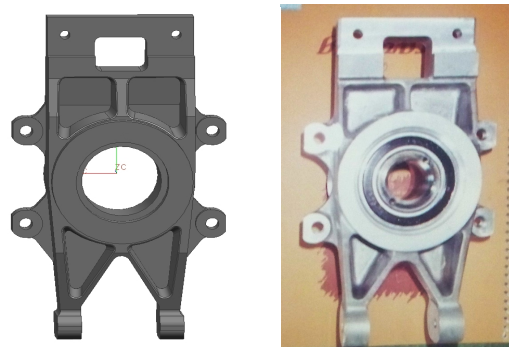


Fig. 9 Optimized 3D CAD Model & Real Upright product

Table 7 ANOVA of Weight

Factor	DF	SS	MS	F	P
A	2	0.17504	0.08752	2.52	0.284
C	2	0.23327	0.11663	3.36	0.231
D	2	0.21144	0.10572	3.04	0.247
Error	2	0.06951	0.03476		
Total	8	0.68926			

Table 8 ANOVA of Max von Mises Stress

Factor	DF	SS	MS	F	P
A	2	0.22787	0.11393	10.17	0.089
B	2	3.99022	1.99511	178.15	0.006
C	2	0.79848	0.39924	35.65	0.027
Error	2	0.02240	0.01120		
Total	8	5.03896			

Table 9 Predicted Taguchi Results

Response	S/N Ratio	Predicted Value
Weight	-38.67	86.14
Max. Stress	-68.32	2,666
Factor levels	A1B3C1D2	

석모델에서 구한 값과 차이를 나타내고 있지 않고 최대응력에 대한 추정값은 최적수준조합의 해석결과와는 약간의 차이를 나타내고 있지만 다구찌 직교배열모델은 대체로 타당성이 있다고 보여진다. 또한 최대응력 수준에 있어 두 모델 간에는 약 5.8%의 오차를 나타내고 있는데 이는 해석모델의 오차에 기인하는 것으로 사료되며 향후 더 정밀한 유한요소모델링구축이 요구된다.

따라서 최적수준조합의 최적화 해석 수행결과 중량특성치는 초기 설계모델 대비 7.6%의 감소와 최대응력특성치는 6.2% 감소를 나타내었다. 이는 설계안전율을 고려 할 때에 3.14의 안전율을 나타내고 있어 3.0인 안전율 목표를 위배하지 않고 보다 높게 나타남과 동시에 중량감소율이 초기모델 보다 개선되어 최적설계의 인자 수준의 조합으로 나타났다. Fig. 9는 최적수준조합상태의 업라이트의 형상이다.

4. 결론

본 연구에서는 포물러 레이스카의 현가장치의 스프링 하 질량을 최소화하여 차량의 주행안정성을 확보하기위해 현가계를 지탱하는 업라이트의 무게를 최소화함과 동시에 충분한 설계 안전율을 확보하기위해 다구찌 직교배열법과 유한요소해석을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 다구찌 직교배열법을 통하여 기존의 전조합실시(Full Factorial)에 소요되는 84회의 전산해석실험을 9회의 해석실험만으로 최적의 수준을 찾을 수가 있어 개발에 소요되는 비용과 시간을 고려한 Q, C, D(Quality, Cost, Delivery)관점에서 최적화의 방향을 설정 할 수 있었다.
- (2) 업라이트를 경량화하기 위하여 다구찌 직교배열법을 사용하여 최적화 한 결과 초기설계의 업라이트 대비 7.6% 무게를 감소함과 동시에 최대응력은 6.2% 개선하면서도 설계안전율은 초기설계안보다 높은 3.14를 확보 할 수 가 있었다.
- (3) 이러한 다구찌 직교배열법을 통하여 포물러카의 업라이트 뿐만 아니라 레이스 차량의 차체프레임 및 현가시스템 전반에 걸친 최적설계에도 유용하게 응용되어 향후관련 연구에 활용 할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- (1) Jang, S. K., and Kang, S. H., 2003, "Design and Analysis of Kart Chassis Frame for Bending and Torsional Stiffness," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 4, pp. 226~231.
- (2) Kim, B. J., Kim, M. S., and Heo. S. J., 2004, "Optimization of a F-125 Aluminum Body Considering Static Stiffness, Vibration and Crahworthiness Constrains," *Spring Conference Proceedings of KSAE*, Vol. 2, pp. 1061~1066.
- (3) Crawford, J., 1994, "Finite Element Analysis of a NASCAR Winston Cup Stock Car," *1994 Motorsports Engineering Conference and Exposition Meeting Proceedings*, Vol. 1, Vehicle Design Issues, pp. 313~324.
- (4) Thompson, L. L., Soni, P. H., Raju, S., and Law, E. H., 1998, "The Effect of Chassis Flexibility on Roll Stiffness of a Winston Cup Race Car," *1998 Motorsports Engineering Conference Proceedings*, Vol. 1, pp. 111~124.
- (5) Kim, M. S., Lee, C. W., Son, S., Yim, H. J., and Heo, S. J. 2003, "Shape Optimization for Improving Fatigue Life of a Lower Control Arm Using the Experimental Design," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 3, pp. 161~166.
- (6) Park, Y. C., Lee, K. H., Lee, D. H., and Lee, K. Y., 2003, "Shape Optimization Design of the Knuckle using the Orthogonal Array and the Finite Element Analysis," *Transactions of KSAE*, Vol. 11, No. 3, pp. 138~144.
- (7) Cho, W. K., Lee, J. S. Sin, M. H., and Lee, D. J., 2006, "Optimal Design for Variable Roll Rate Torsion Beam Using Design of Experiment," *Spring Conference Proceedings of KSAE*, Vol. 2, pp. 1169~1174.
- (8) Lee, S. B. 2006, *Taguchi Method Application Using Minitab*, Eretec, Korea, pp. 37.
- (9) Park, G. J., and Kang, B. S., 2007, *Analytic Methods for Design Practice*, Dongmyungsa, Korea, pp. 317~321.
- (10) Han, K. J., and Kim, S. T., 2006, "A Study on Shape Optimization for Seal Groove of Disc Caliper using Finite Element Method and Taguchi's Method," *Transaction of Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 15, No. 1, pp. 88~94.