

# 실험계획법을 이용한 장애인 자동차의 최적설계에 관한 연구

## Study on Optimum Design of Vehicle for Disable using Design of Experimental Method

\*박인훈<sup>1</sup>, #김형완<sup>2</sup>, 이성수<sup>3</sup>

\*I. C. Park<sup>1</sup>, #C. W. Kim(goodant@konkuk.ac.kr)<sup>2</sup>, S. S. Lee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 건국대학교대학원 기계설계학과, <sup>2,3</sup> 건국대학교 기계설계학과

Key words : Design of Experiments, Vehicle for disables, Optimum Design,

### 1. 서론

현재 국내에서는 휠체어를 사용하는 장애인의 원거리 이동에 편리함을 주고자 설계된 차량들이 출고되고 있다. 이 차량들은 기존 일반차량에 장애인들의 편리를 제공할 수 있도록 차량의 구조를 변경하거나 특수 설계된 부가적 장치를 부착하는 설계방식에 의해 제작되고 있다. 이러한 방법에 의해 제작된 차량들 중 리어슬로프 장착 장애인용 차량이 최근 많이 증가되고 있는 추세이다. 리어슬로프 장착 장애인용 차량은 일반 승합차량의 구조를 설계 변경하여 후방에 슬로프를 장착한 차량이다. 일반 승합차량의 구조를 변경시켜 리어슬로프를 장착하기 때문에 구조적 결함이 발생하거나 차량 안전성 측면에서 문제점이 발생할 수 있다. 이 문제는 차량 설계시 가장 중요하게 고려해야 할 사항이다.

본 연구에서는 리어슬로프 장착 차량으로 설계 변경시 발생할 수 있는 구조적 문제점을 제시하고 이를 개선하기 위하여 유한요소법과 실험계획법을 이용하였다. 차량의 유한요소모델을 생성하여 모델의 후방에 충격이 가해졌을 경우에 대한 정적 구조해석을 실시하였고, 해석을 통하여 차량의 구조 설계 변경시 발생하는 응력의 크기 및 분포를 파악하여 구조적으로 취약한 부재를 찾아냈다. 실험계획법을 이용하여 부재에 발생하는 응력을 낮추기 위한 강도를 높일 수 있는 최적의 설계인자를 도출하여 장애인 차량에 대한 최적의 설계 파라미터를 제시하고자 한다.

### 2. 연구 모델

#### 2.1 리어슬로프 장착 장애인 자동차

승합차는 실내 공간이 넓어 휠체어를 탄 채로 차량에 승차하는 것이 가능하다. 본 연구 대상인 리어슬로프 장착 장애인용 차량은 기존의 일반승합차량에 슬로프를 장착한 형태이다. 또한 장애인이 휠체어를 탄 채로 승차할 수 있는 공간을 확보하기 위해 차량프레임을 절단 후 그 위치에 휠체어가 위치할 수 있도록 설계된 함몰이라는 특수 구조물을 부착하여 장애인들이 쉽게 승차할 수 있도록 설계된 Fig. 1과 같은 차량이다.



Fig. 1 Rear slope vehicle for disable

#### 2.2 해석 모델

앞에서 서술하였던 리어슬로프 장착 장애인용 차량은 일반승합차량을 구조 설계 변경하게 된다. 승합차량 프레임의 후방부 Cross member 4개를 절단하고 함몰이라는 특수구조물을 용접이음을 통하여 결합하고 기존의 프레임 역할을 할 수 있도록 빔을 보강한 형태이다. 부재간 용접부위의 물성치가 바뀔 수 있으나 본 연구에서는 용접부위의 강도는 충분하다는 가정하에 해석을 수행하였다. 유한요소해석 프로그램인 Ansys 11.0을 사용하여 94025개의 요소와 223750개의 절점으로 구성된 유한요소모델을 Fig. 2와 같이 생성하였다.

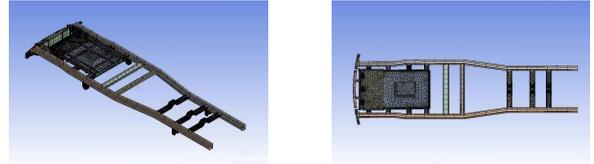


Fig. 2 Finite element model of rear slope vehicle's frame structure

본 연구대상의 재질은 일반적으로 사용되는 자동차 구조용 열간압연강판을 적용하였고 Table 1과 같은 성질을 갖는다.

Table 1 Property of material

Prooerty	Value
Elastic modulus	210GPa
Poisson ratio	0.3
Yield strength	250MPa

#### 2.3 적용하중 / 구속조건

구조해석시 적용한 하중은 일반승합차량의 질량인 2220Kg을 프레임 Side Member 2개에 양분하여 가하였고 동시에 복미신 후방충돌 법규 FMVSS NO.301의 고속 주행 규정을 따라 Barrier가 차량에 충돌하였을 경우 작용하는 힘을 충격력으로 환산하여 프레임후방부에 20430Kgf를 가하는 방법으로 프레임의 정적구조 안전성만을 고려하였다. 해석모델에서 차축과 연결되는 부분의 자유도를 모두 구속하였다. Table 2에 FMVSS NO.301의 규정을 표시하였고, Fig. 3에 하중 및 구속조건을 도식화하여 나타내었다. Table 2 FMVSS NO.301

Impact velocity	Barrier weight
80km/h	1362kg

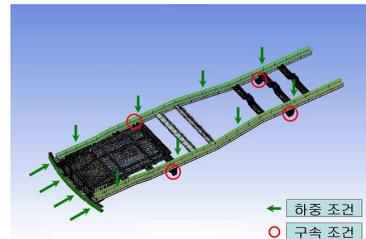
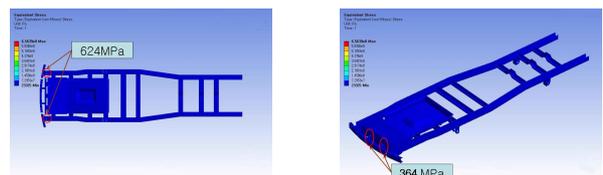


Fig. 3 Load and boundary condition

#### 2.4 해석 결과

리어슬로프 장착 장애인 차량 구조에 대하여 구조해석을 실시하여 응력분포를 확인한 결과 Fig.4 에 나타난 두 부재에서만 항복점 이상의 응력이 발생하였다. Fig. 5(a)는 Side Member와 범퍼를 연결시켜주는 부재(Bumper assy)이고 해석시 최대응력인 624MPa가 발생하였고 Fig. 5(b)는 후방 골조의 빔(Rear beam)으로 364.33MPa로 항복응력보다 높은 응력이 발생하였다.



(a) Bumper assy

(b) Rear beam

Fig. 4 Result of stress analysis

위의 두 부재에서 항복점 이상의 응력이 발생하여 구조적으로 취약하다고 판단하였고, 부재의 강도를 높이기 위하여 부재에

발생하는 응력을 줄이는 것을 목표로 최적설계를 진행하였다. Fig.5는 위의 부재만을 확대하여 나타낸 것이다.

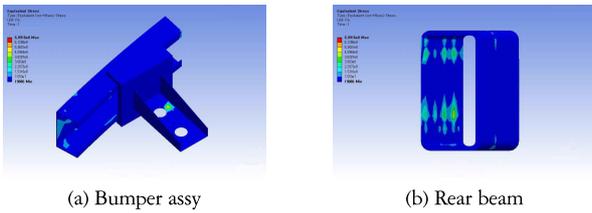


Fig. 5 Result of stress analysis of Bumper assy and Rear beam

### 3. 다구찌 실험계획법을 이용한 최적설계

다구찌 방법은 효과적인 실험의 실시 및 결과데이터 분석을 하여 최적의 파라미터를 찾아내는 실험계획법의 하나이다. 본 연구에서는 구조해석시 취약했던 두 부재에 발생하는 응력을 낮추는 것을 목표로 선정하여 다구찌 방법을 적용하였다. 발생 응력을 낮추는 것이므로 망소특성의 SN비를 사용하였고 아래의 식을 이용하여 계산할 수 있다.

$$SN = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

또한 각 인자별 SN비 평균을 구하여 최적의 인자조합을 찾아낼 수 있다.

#### 3.1 인자와 인자수준

두 부재의 강도에 영향을 주는 인자 4개를 선정하였다. Bumper assy의 경우 부재의 두께(A), 보강재1, 2(B, C), 부재의 홀의 직경(D)을 선정하였고, Rear beam의 경우 부재의 두께(A), 보강재1, 2(B, C), Beam이 부착되는 Panel의 두께(D)를 선정하여 초기설계안을 0수준으로 정하고 변수를 증가시키는 방법으로 2, 3수준을 결정하였다. Table 3, 4에 두 부재의 4인자 3수준을 나타내었다. 인자간 서로 교호작용이 없다는 것을 가정하여 최소실험으로 각인자를 배치할 수 있는 Table 5 와 같은 3수준계 직교배열표  $L_9(3^4)$ 을 이용하여 실험배치를 하였다.

Table 3 Factor and Factor level of Bumper assy

	Factor			
	A(Bt)	B(R1)	C(R2)	D(D)
level 0	1.2	0	0	25
level 1	1.5	10	10	27.5
level 2	1.8	20	20	30

Table 4 Factor and Factor level of Rear beam

	Factor			
	A(Bt)	B(R1)	C(R2)	D(Pt)
level 0	1.6	0	0	2
level 1	1.8	10	10	3
level 2	2.0	15	15	4

#### 3.2 해석결과

최초 해석시 항복점 이상의 응력이 발생한 지점의 응력값을 측정하였다. 앞에 제시한 식을 이용하여 SN비를 계산하여 Table 6, 7에 나타내었고 Table 8, 9에는 각 인자별 SN비 평균을 나타내었다.

부재의 강도를 높일 수 있는 최적설계 파라미터는 인자별 SN비 평균이 가장 큰 수준의 조합이다. 따라서 본 연구 대상의 최적설계 파라미터 조합은 Bumper assy의 경우 부재의 두께, 보강재1, 2의 2수준과 홀의 직경 0수준의 조합이며, Rear beam의 경우 부재의 두께와 Panel의 두께 2수준, 보강재1, 2는 0수준의 조합임을 알 수 있다. 선정된 조합은 직교배열표에 수행되지 않았던 변수의 조합으로 실험 후 SN비 계산을 통하여 찾아낸 최적변수 조합이다.

최적의 변수조합으로 모델을 구성해 해석을 실시한 결과 Bumper assy의 경우 5.31MPa, Rear beam의 경우 7.01MPa의 응력

이 발생하여 앞의 다른 실험들보다 낮은 응력이 발생하는 것을 확인하였다.

Table 5 Orthogonal table  $L_9(3^4)$

Factor NO.	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	0	1	1	1
3	0	2	2	2
4	1	0	1	2
5	1	1	2	0
6	1	2	0	1
7	2	0	1	1
8	2	1	0	2
9	2	2	1	0

Table 6 Result of stress analysis and SN ratio of bumper assy

Factor NO.	stress	SN
1	624	-55.9
2	1089	-60.7
3	16	-24.1
4	550	-54.8
5	170	-44.6
6	11	-21.9
7	275	-48.8
8	355	-51.0
9	8	-18.4

Table 7 Result of stress analysis and SN ratio of Rear beam

Factor NO.	stress	SN
1	364	-51.2
2	402	-52.1
3	11	-21.6
4	13	-22.6
5	453	-23.1
6	16	-24.6
7	17	-24.9
8	8.92	-19.0
9	291	-49.3

Table 8 Level(SN) average of Bumper assy

	A(Bt)	B(R1)	C(R2)	D(D)
0	-46.91	-36.90	-42.64	-39.64
1	-40.14	-68.39	-44.65	-43.50
2	-39.40	-21.16	-39.16	-43.30

Table 9 Level(SN) average of Rear beam

	A(Bt)	B(R1)	C(R2)	D(Pt)
0	-41.62	-24.529	-31.598	-51.22
1	-33.35	-49.725	-41.25	-33.86
2	-31.08	-31.80	-33.21	-20.97

### 4. 결론

본 연구에서는 기존의 일반 승합차량을 리어슬로프 장착 장에 인용 차량으로 구조설계변경에 따른 구조변경부위에 대하여 구조해석을 실시하고 설계변경시 구조적 취약점을 갖는 부재에 대하여 최적설계를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 일반 승합차량을 리어슬로프 장착 차량으로 설계변경 할 경우 구조적으로 취약해지는 부재를 찾아냈다.
- 2) 취약해진 부재의 강도를 향상시키기 위하여 다구찌 방법을 이용한 최적설계를 실시하여 구조강도를 높일 수 있는 최적 설계 파라미터를 찾아냈다.
- 3) 최적조합의 파라미터의 구조해석을 실시하여 최초설계시 보다 향상된 구조강도를 확인하였다.

### 참고문헌

- 1) G Rechnitzer, R Grzebieta, G Brown, RSxhuster "Effective of cargo barriers to protect front seat occupants in resr impact-crash test evaluation" IJCrash 2001 Vol 6 No 2
- 2) 이권희, 주원식 "직교배열표를 이용한 승용차 앞 범퍼의 최적 설계" 한국 자동차 공학회 논문집 제10권 제6호 p125~132, 2002년
- 3) 심진욱, 황상진, 박경진 "저속 차량 차체의 구조해석 및 구조최적설계" 한국 자동차 공학회 논문집 11권 제4호 p66~78, 2003년
- 4) 장성윤, 임홍채 "실험계획법을 이용한 특수차량구조물의 응력해석 및 최적설계에 관한 연구" 2005년