

# 국가별 좌석 안전성 평가 방법에 따른 머리지지대 최적화 설계

유혁진\* · 임종현\* · 윤일성\*

## Optimized Design of the Head restraint according the regional seat safety assessment

Hyukjin Yoo\*, Jonghyun Yim\*, Ilsung Yoon\*

*Key Words* : Rear collision(후방추돌), Whiplash assessment(후방추돌상해치평가), NCAP(신차안전도평가), DFSS(Design for Six Sigma), Sled Test(모의충돌시험), ANOVA(분산분석)

### ABSTRACT

The whiplash Injuries due to rear collision occur frequently. As result, in many countries, seat performance is being assessed and developed to improve head whiplash injury in rear collision of passenger car. This study compares whiplash assessment methods in each country. Using the DFSS(Design for Six Sigma) method, the correlation between influence parameters of head restraints and whiplash injury criteria is analyzed. Four control factors are used in this study. And total 11 whiplash injury criteria from NCAP(New Car Assessment Program) of Korea, Europe, China and IIHS(Insurance Institute for Highway Safety) of USA are used for output response. By the experimental design, L9 orthogonal coordinate system is configured and is tested by sled test equipment, twice. By using average assay value and ANOVA, the correlation between control factors and injury criteria has been comprehended. Optimization design of head restraint according the regional seat safety assessment was derived through the correlation.

### 1. 서론

현재 대부분의 자동차 제조사들은 전세계 시장 판매를 목적으로 하여 자동차를 개발하고 있다. 각 나라의 문화, 도로 환경 등이 다르며 이에 따라 소비자 니즈와 법규가 다르게 설정된다. 자동차 제조사들은 이를 만족하기 위하여 과거 한정된 시장 판매만을 위한 시대에 비하여 더 많은 노력과 개발비를 쓰고 있다.

2013년 대한민국 서울에서 개최된 제 23회 ESV 세계기술학회(23<sup>rd</sup> International Technical Conference

on the Enhanced Safety of Vehicle) 에서 대두되었던 이슈는 전세계의 차량 안전도 향상을 위한 Global harmonization이었다. 각 국 정부기관의 대표와 자동차 제조사들은 자동차 안전도 향상을 위하여 정보를 공유하고 법규 및 신차안전도 평가 기준을 통일해야 한다고 피력하였다. 현재 그 일환으로 주요국가에서 GTR(Global Technical Regulations)을 점진적으로 시행 중에 있다.

후방 추돌에 의한 경부 상해 평가인 좌석 안전성 평가는 각국 신차안전도평가(NCAP, New Car Assessment Program) 마다 상이한 기준을 가지고 있다. 후방 추돌 사고는 전체 교통 사고의 26%를 차지 할 정도로 일상 생활에서 빈번하게 발생하며 모든 상해의

\* 한국지엠자동차

E-mail : hyukjin.yoo@gm.com

30%가 후방 추돌로 인하여 발생한다는 통계수치가 발표된 바 있다. 또한 후방 추돌에 의한 상해는 탑승객에게 두통 및 경부 통증을 며칠 혹은 몇 주 동안 발생시킬 수 있다.<sup>(1)</sup> 자동차 제조사들은 후방 추돌에 의한 상해를 감소 시키기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다.

이전 연구에서는 한국신차안전도평가(KNCAP: Korea New Car Assessment Program)<sup>(2)</sup>를 기준으로 하여 DFSS(Design for Six Sigma)기법을 이용한 후방 추돌 시 머리지지대 인자를 연구하였다. 본 연구 한국신차안전도평가 외에 유럽, 중국의 신차안전도평가<sup>(3),(4)</sup>와 북미의 IIHS(Insurance Institute for Highway Safety)<sup>(5)</sup>, 미국 고속도로 안전보험협회)에서의 좌석 안전성 평가 방법을 비교 분석하고 이전 연구에서 도출 되었던 결과를 적용가능 한지 확인하였다.

## 2. 시험 조건

### 2.1 시험모델 및 경계조건

본 연구는 좌석안전성평가 중 정적 평가(static assessment)를 제외하고 동적 평가(dynamic assessment)에 대해서만 분석하였다. 제어인자로써 좌석 중 머리지지대로 한정하였다. 시험에 사용된 머리지지대는 국내에서 양산중인 차량에서 사용되는 Sawing Type의 인조가죽커버와 블로우 몰드 타입(blow mold type)의 일반적인 4way 타입(4way movable type head restraints)이다. 각각의 머리지지대 시험모델은 제작오차를 최소화하기 위하여 NC(Numerical Control)가공을 사용하여 폼(foam)을 제작하여 완성하였다. 시험 장의 온도 및 습도는 19~22℃, 40~60%를 만족하였다.

### 2.1 시험방법

본 연구에서의 시험은 한국 신차안전도평가방법을 기준으로 시행하였다. 인체모형 착석 및 자세는 평가 방법을 만족하는 동일한 조건으로 설정되었다. 모의충돌시험장비에 사용된 파형은 한국, 유럽, 중국의 신차 안전도평가와 북미의 IIHS를 모두 만족시키는 파형을 사용하였다. 파형은 Fig.1에 나타내었다. 좌석 안전성을 평가를 위하여 Hybrid III 인체모형에 비하여 경부 생체 충실도가 높은 Bio RID IIg 인체모형을 사용하였

다. 본 연구에서는 Seattle Safety사의 모의충돌장비를 이용하였다.

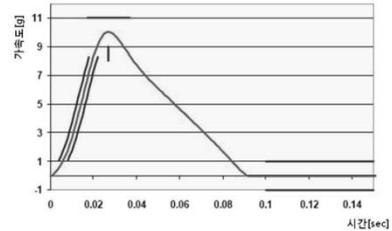


Fig.1 NCAP 후방 추돌 파형

## 3. 시험 모델

본 연구에서는 앞서 구성한 시험모델 및 경계조건을 바탕으로 머리지지대의 제어인자(control factor)를 정의하였으며 각국의 좌석 안전도 평가 중 동적 평가의 인체 모형 경부 상해 기준을 출력반응(output response)으로 정의 하였다. 머리지지대의 제어인자 및 그에 따른 출력반응은 Table.1에 나타내었다.

Table 1 머리지지대 인자 및 출력인자

머리지지대 인자	출력반응	
폼 두께	NIC	Head X Acc.
폼 경도		T1 X Acc.
폼 탄성	Nkm	Upper Neck Fx
X축 거리		Upper Neck My
출력인자	Upper Neck Fz	
Z축 거리	Lower Neck Fx	
4way/2way	Lower Neck Fz	
접촉면 각도	Lower Neck My	
몰드 유무	Head Rebound Velocity	
-	Head Contact Time	

### 3.1 제어인자

Function Matrix를 이용하여 머리지지대의 인자 중 4개의 제어인자를 본 연구에서 영향력을 확인할 제어인자로 선정하였다. Function Matrix는 Fig.2에 나타내었다.

탑승자와 머리지지대의 x방향 거리(Backset), z방향의 거리(Height), 머리지지대 접촉 면의 각도(Angle of HCA), 머리지지대의 폼의 두께(Foam Depth)를 4가지 제어인자로 선정하였다. 각 제어인자의 수준은 Table.2와 같이 3수준(level)으로 설정하였다.

		인체 모형 상해 기준									
		NIC		Nkm		Upper Neck Fz	Lower Neck Fx	Lower Neck Fz	Lower Neck My	Head Rebound Velocity	Head Contact Time
		Head X Acc.	T1 X Acc.	Upper Neck Fx	Upper Neck My						
머리지지대	폼 두께			+				+	++		
	폼 경도			+				+	+		
	폼 탄성			+				+			
	X축 거리	+		+				+	++		
	Z축 거리			+	++		++	+			
	4way/2way									+	
	접촉면 각도			++	+			+	++		
	몰드 유무	+		+			+				

Fig. 2 머리지지대 Function Matrix

Table 2 머리지지대 제어인자의 수준

No.	Parameters	Level 1	Level 2	Level 3
A	Foam Depth	-10mm	Nominal	10mm
B	Backset	-10mm	Nominal	10mm
C	Height	-10mm	Nominal	10mm
D	Angle of HCA	-10°	Nominal	10°

Table 3 L9 직교좌표계

순	폼 두께	X축 거리	Z축 거리	접촉면 각도
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

일반적인 기계시스템은 교호작용 효과가 미치는 영향이 크지 않다고 알려져 있다. 따라서 L9직교좌표계를 사용하여 주 효과를 확인 가능하다고 판단하였다. 아래 Table.4는 본 연구에서 사용된 L9직교좌표계를 나타낸다.

### 3.2 노이즈인자

실질적인 실험에 의하여 진행된 본 연구는 해석에

의한 성능검증에 비하여 많은 노이즈인자를 가지고 있다. 주된 노이즈인자는 머리지지대간의 공차, 시험시 사용된 좌형간의 차이, Bio Rid IIg 인체모형간의 차이라 말할 수 있다. 본 연구에서는 분석시 노이즈인자의 영향력을 최소화하기 위하여 2회 반복 시험을 하였다.

### 3.3 출력인자

앞서 언급된 좌야 같이 선정된 4개의 제어인자에 따른 출력인자는 각국의 신차안전도평가에서 선정된 11개의 인체 모형 경부 상해 기준을 사용하였다.

각국의 좌석 안전성 평가를 살펴보면 한국과 유럽의 신차안전도평가 상해 기준은 동일하나 유럽에는 Capping이라는 누락 기준이 설정되어있다. 북미의 IIHS에서는 Upper Neck Fx, Fz에 대하여 고유의 계산식을 사용하여 상해 기준을 평가한다. 중국의 상해 기준의 경우 Lower Neck Fx, Fz, My에서 획득되는 상해치에 대하여 평가를 하였다. 이는 타국가의 신차 안전도 평가와 다른 점으로 각국간의 안전도평가기준 비교 시 주목할 만한 부분이다.

## 4. 시험 결과 분석

### 4.1 시험 결과

본 연구는 분산분석(ANOVA: Analysis of Variation)을 이용하여 결과를 분석하였다.<sup>(6)</sup> 분산분석은 데이터가 가지는 오차확률, 즉 동일 시험을 반복하였을 때 동일하지 않은 결과가 나올 확률인 P-value(오차확률)를 통하여 유의성을 확인하고 각각의 인자의 영향력에 해당하는 % contribution(기여도)를 통하여 제어인자와 출력인자간의 상관관계를 분석하게 된다. 본 연구는 P-value 값이 0.02이하의 값을 가질 경우 유의수준을 만족하였다고 판단하였으며 20% 이상의 % contribution을 가질 경우 제어인자가 출력인자에 대한 주 효과를 가진다고 판단하였다.

Table.4는 각 제어인자에 대한 P-value 및 % contribution이다. 시험결과 분석결과, Nkm 출력반응의 경우 머리지지대 접촉면의 각도에 대한 P-value가 0.014으로 유의수준을 만족하며 % contribution은 42%를 나타내었다. NIC의 경우 탑승자와 머리지지대간의 X 방향 거리에 대한 P-value가 0으로 유의수준을 만족하였고 % contribution도 67%로 높은 영향력을 보였다.

Table 4 시험결과 오차확률 및 기여도

출력 반응	제어인자	P-value (오차확률)	% Contribution (기여도)
Nkm	Foam Depth	0.084	19
	Backset	0.576	3
	Height	0.259	9
	Angle of HCA	0.014	42
NIC	Foam Depth	0.037	11
	Backset	0	67
	Height	0.145	6
	Angle of HCA	0.152	6
Upper Neck Fz	Foam Depth	0.249	5
	Backset	0.005	35
	Height	0.004	38
	Angle of HCA	0.17	7
Upper Neck Fx	Foam Depth	0.342	15
	Backset	0.708	4
	Height	0.321	16
	Angle of HCA	0.543	8
Head Rebound Velocity	Foam Depth	0.065	22
	Backset	0.245	10
	Height	0.171	13
	Angle of HCA	0.034	29
Upper Neck My	Foam Depth	0.03	14
	Backset	0.004	30
	Height	0.077	9
	Angle of HCA	0.002	34
Lower Neck Fx	Foam Depth	0.003	24
	Backset	0	48
	Height	0.007	18
	Angle of HCA	0.435	2
Lower Neck Fz	Foam Depth	0.065	11
	Backset	0.002	41
	Height	0.007	27
	Angle of HCA	0.172	7
Lower Neck My	Foam Depth	0.001	51
	Backset	0.019	22
	Height	0.166	8
	Angle of HCA	0.436	3
Head Contact Time	Foam Depth	0.213	3
	Backset	0	84
	Height	0.473	1
	Angle of HCA	0.151	4

Upper Neck Fz의 경우 탑승자와 머리지지대간의 X 방향 거리 및 Z방향 거리의 P-value가 각각 0.005와 0.004의 값을, % contribution은 35%, 38%의 값을 가지며 유의성 및 기여도 기준을 만족하였다. Upper Neck Fx와 Head Rebound Velocity의 경우 영향력을 가지는 인자를 찾기 힘들었다. Upper Neck My 출력

반응은 탑승자와 머리지지대간의 X 방향거리, 머리지지대 접촉면의 각도, 두 제어인자가 영향력을 띄었으며 Lower Neck Fx의 경우 폼두께(0.003, 24%)와 탑승자와 머리지지대간의 X 방향 거리(0, 48%)가 Lower Neck Fz의 경우 탑승자와 머리지지대간의 X방향 거리(0.002, 41%)와 Z 방향 거리(0.007, 27%), Lower Neck My는 폼두께(0.001, 51%)와 탑승자와 머리지지대간의 X 방향 거리(0.019, 22%), Head Contact Time의 경우 탑승자와 머리지지대간의 x방향거리(0, 84%)가 유의수준 및 기여도 기준을 만족하여 영향력을 띤다고 판단하였다.

#### 4.2 검증 시험

도출된 시험 결과를 검증하기 위하여 검증 시험을 진행하였다. 시험 결과를 통하여 예측된 2가지의 예측값과 실제 시험의 경향성을 비교하였다. Table.5는 검증시험에 사용된 2 조건을 나타내었다.

Table 5 검증 시험을 위한 2 조건

제어인자	Case 1	Case 2
Foam Depth	Level 2	Level 2
Backset	Level 2	Level 1
Height	Level 2	Level 1
H/R Angle	Level 2	Level 2

Table 6 검증 시험 결과 및 오차%

Case 1	시험값	예측값	오차%
NIC	15.11	16.19	93%
Nkm	0.35	0.28	125%
HCT	47.5	47.9	99%
Upper Neck Fx	1.82	6.52	28%
Upper Neck Fz	304.69	329.73	92%
HRV	4.14	4.19	99%
Upper Neck My	6.62	6.71	99%
Lower Neck Fx	155.5	178.51	87%
Lower Neck Fz	74.78	150.66	50%
Lower Neck My	3.42	2.63	130%
Case 2	시험값	예측값	오차%
NIC	15.23	14.65	104%
Nkm	0.31	0.28	111%
HCT	45.3	45.6	99%
Upper Neck Fx	2.58	4.03	64%
Upper Neck Fz	168.8	202.49	83%
HRV	3.95	4.07	97%
Upper Neck My	5.14	5.51	93%
Lower Neck Fx	98.87	104.58	95%
Lower Neck Fz	53.55	83.26	64%
Lower Neck My	2.95	3	98%

본 연구는 예측값과 시험값의 오차가 30% 이내를 만족할 경우 각 출력반응에 대하여 신뢰할 수 있다고 판단하였다. Table.6에 시험값, 예측값과 두 값간의 차이 %를 나타내었다. Upper Neck Fx와 Lower Neck Fz를 제외한 모든 값의 차이가 30% 이내를 만족하였다.

### 4.3 인자 경향 분석

주효과 그래프(main effect plot)를 작성하여 검증된 출력반응에 대하여 제어인자와의 경향성을 분석하였다. 이를 위하여 주효과 그래프를 작성하였다. Fig.3에 주효과 그래프를 나타내었다.

Table. 7에 검증 시험 결과 신뢰성이 확보된 출력반응과 기여도와 유의성을 만족하는 제어인자간의 영향력을 정리하였다.

Table 7 제어인자와 출력반응의 영향도

제어인자	Foam Depth		
수준	Level 1	Level 2	Level 3
	감소	Lower Neck Fx	증가
	증가	Lower Neck My	감소
제어인자	Backset		
수준	Level 1	Level 2	Level 3
	감소	NIC	증가
	감소	Upper Neck Fz	증가
	감소	Upper Neck My	증가
	감소	Lower Neck Fx	증가
	감소	Lower Neck Fz	증가
	증가	Lower Neck My	감소
제어인자	Height		
수준	Level 1	Level 2	Level 3
	감소	Lower Neck Fz	증가
제어인자	Angle of HCA		
수준	Level 1	Level 2	Level 3
	증가	Nkm	감소
	감소	Upper Neck My	증가

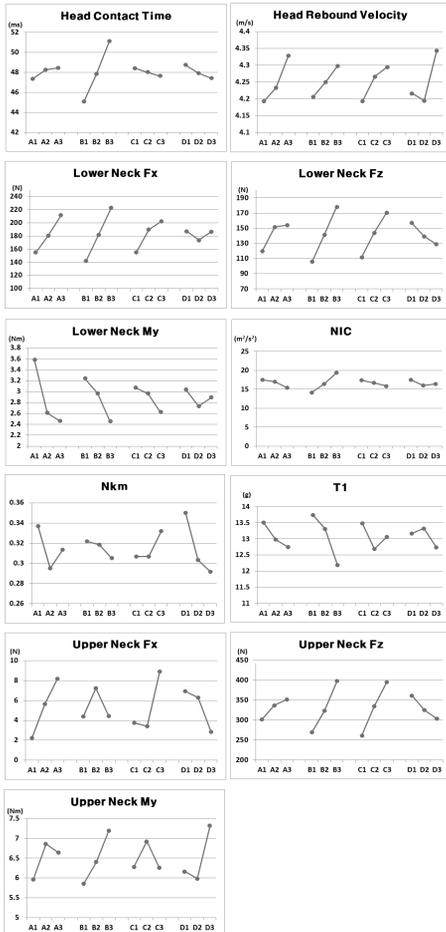


Fig. 3 주 효과 그래프(main effect plot)

## 5. 최적화 모델 선정

### 5.1 국가별 최적화 모델

본 연구는 시험결과를 통하여 분석된 4가지 제어인자를 각국 좌석 안전성 평가에 대입하여 최적화 모델을 도출 하였다.

한국과 유럽의 신차안전도평가에 해당하는 인체모형 상해치는 NIC, Nkm, Upper Neck Fx, Upper Neck Fz, T1, HCT(Head Contact Time), HRV(Head Rebound Velocity) 등 총 7가지 이다. 이에 해당하는 주효과 그래프를 살펴 보면 품두께는 Level 1, 탑승자와 머리지지대간의 X 방향 거리는 Level 1, Z 방향 거리는 Level 1 그리고 머리지지대 접촉면의 각도는 Level 2로 설정되었을 때 가장 낮은 수준의 상해치를 가진다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 Upper Neck F와 HCT의 모든 값이 안전도평가의 최저 한계치를 넘지 않아 최대점수를 받게 된다. 그리하여 Upper Neck Fx, HCT에 영향을 미치는 제어인자를 제외하고 최적화 모델을 도출하였다.

중국의 신차안전도평가의 경우 NIC, Upper Neck Fx, Fz, My, Lower Neck Fx, Fz, My, 총 7가지 인체모형 상해치에 대하여 평가한다. 이해 해당하는 주효과 그래프를 분석하여 최적값을 도출하였다.

북미의 IIHS는 T1, HCT, Upper Neck Fx, Upper

Neck Fz의 4가지 인체모형 상해치에 대하여 평가하며 Upper Neck Fx, Upper Neck Fz 두 상해치에 대하여 목에 부하되는 힘을 계산하여 평가하고 있다.

Table.8은 각 국가별 최적화 모델을 나타내었다. 중국 신차 안전도 평가를 제외한 한국, 유럽, 북미의 평가에서 동일한 최적화 모델이 선정되었다. 중국의 안전도 평가의 경우 Lower Neck My값을 낮추기 위하여 탑승자와 머리지지대간의 Z 방향거리를 높여야 하기에 Level 3 수준이 도출되었다.

Table 8 검증 시험 결과 및 오차%

지역	한국 NCAP	유럽 NCAP	중국 NCAP	북미 IIHS
Foam Depth	Level 3	Level 3	Level 3	Level 3
Backset	Level 1	Level 1	Level 1	Level 1
Height	Level 2	Level 2	Level 3	Level 2
Angle of HCA	Level 2	Level 2	Level 2	Level 2

## 6. 결론

본 연구에서는 머리지지대의 제어인자와 각국의 좌석안전성평가의 인체모형 상해치 간의 영향도를 확인 하였으며 각국의 좌석안전성평가에 대응되는 머리지지대의 최적화 모델을 도출하였다. 본 연구결과로부터 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있다.

- 1) ANOVA분석을 통하여 4가지 제어인자가 출력반응 8가지 - NIC, Nkm, HCT, Upper Neck Fz, Upper Neck My, Lower Neck Fx, Fz, My -

에 미치는 기여도를 확인 가능하였다.

- 2) 시험결과를 통하여 4가지 제어인자로 구성될 수 있는 시험모델에 대하여 예측 할 수 있으며 이를 통하여 각국의 좌석 안전성 평가에 대한 최적화 모델 도출이 가능하였다. 중국의 안전도 평가 최적화 모델의 제어인자 중 Height 만이 Level 3의 수준을 보였으며 그 외 제어인자에 대하여는 모든 국가에서 동일한 수준을 보였다.

본 연구에서는 DFSS Method중 하나인 ANOVA 분석을 통한 머리지지대의 안전성개발 방법론을 제시하였다. 제어인자와 출력반응간의 영향도 분석을 통하여 4개국의 신차안전도평가에 최적화된 모델을 동시에 도출하였다. 본 논문에서 확인된 제어인자의 영향도를 향후 머리지지대 설계초기에 반영 가능 할 것이다.

## 참고문헌

- (1) Automobile Insurance Statics Report II (FY2005), Korea Insurance Development Institute, 2006.
- (2) 자동차안전도평가시험 등에 관한 규정, 제2010-54호
- (3) Euro NCAP Whiplash test Protocol V3.1
- (4) C-NCAP Management Regulation 2012 edition, Neck protection test in low-speed rear impact, 2012
- (5) RCAR-IIWPG Seat/Head Restraint Evaluation Protocol (Version 3), 2008
- (6) GMK Technical Center, "DFSS Fundamental Course & Advanced Course", 2013