

DFSS 기법을 이용한 후방 추돌 시 경부 상해 감소를 위한 머리지지대 인자의 영향성 연구

오형준* · 서상진* · 유혁진*

The Study of Influence Factor of Head Restraints on the Whiplash by using DFSS

Hyungjoon Oh*, Sangjin Seo*, Hyukjin Yoo*

Key Words : Head restraints(머리지지대), Whiplash(편타성 상해), Low speed rear-end collision(저속 후방 추돌), DFSS(Design for Sigma Six), Injury criteria(상해기준), Sled test, KNCAP(한국신차안전도평가)

ABSTRACT

Whiplash is the most frequent injury among occupants in low speed rear-end car collision. The aim of this paper is to analyze the correlation between influence parameters of head restraints and whiplash injury criteria. In this paper, DFSS (Design for Six Sigma) method is used for optimum design of head restraints. Four control factors of head restraints have selected by function matrix method. The effects of the control factors have been experimentally evaluated by using a sled pulse from 16km/h relative velocity which is suggested by KNCAP (Korean New Car Assessment Program). In order to reduce the noise factors of dynamic tests, whiplash tests were repeated twice. By using DFSS, the correlation between control factors and injury criteria has been comprehended.

1. 서론

후방 추돌 사고에 의해 발생되는 WAD(Whiplash Associated Disorders, 편타성 손상 관련 장애)는 AIS(Abbreviated Injury Scale) 2이하로 분류되는 경증 상해(minor Injury)이다. 편타성 상해는 두부, 경부와 흉부와의 상대적인 운동에 의해 다양한 상해가 발생하며, 탑승객은 며칠 또는 몇 주 동안 두통 및 경부 통증을 겪는다. 상해 원인을 규명하기 위하여 다양한 연구를 진행하고 있으며 어떤 연구자는 후 관절(facet joints), 척추인대(spinal ligaments), 추가원판(intervertebral discs), 추골 동맥(vertebral arteries), 배근신경절(dorsal root ganglia), 경근(neck muscles)등을 저속 후방 편타성

상해 발생 메커니즘을 규명할 수 있는 상해 부위로 예상하지만 상해 메커니즘은 아직도 명확히 규명되지 않았다.¹⁾ 이에 다양한 편타성 상해기준(Whiplash injury criterion)이 제안되었고, 미국 IIPG(International Insurance Whiplash Prevention Group)는 저속 후방 추돌 시험(low rear-end impact test)을 제시하였고 BioRID IIg 더미를 이용하여 차량의 후방 추돌 성능을 평가하고 있다. 이를 통하여 정면 및 측면 충돌 안전성뿐만 아니라 많은 완성업체 차량들이 후방 추돌 성능 향상을 도모하고 있으며, 그 결과 신차안전도평가(NCAP, New Car Assessment Program)의 좌석 안전성 평가시험에서 점진적으로 좋은 등급을 획득하고 있다. 그럼에도 불구하고 후방 추돌 사고에 의해 발생하는 편타성 상해율은 여전히 높으며, 매년 상당한 보험료가 지급되고 있다.²⁾

* 한국지엠자동차

E-mail : Hyungjoon.Oh@gm.com

본 연구의 목표는 DFSS 강건설계 최적화(Parameter design) 기법³⁾을 이용하여 후방 추돌 시 경부 상해 감소를 위한 머리지지대 인자의 영향성 분석을 목표로 하며, 슬레드 시험을 통해 시험결과와 비교하여 신뢰성을 검증하였다.

2. 강건설계 최적화(Parameter design)

머리지지대의 제어인자 선정(control factor), 잡음인자(noise factor), 입력신호(input signal) 출력 특성치(output response)를 설정한 후 L9직교배열표를 이용하여 머리지지대 제어인자를 도출하였다.

2.1. 머리지지대 후방 추돌 성능 인자

편타성 상해에 큰 영향을 주는 머리지지대는 foam depth, foam hardness, foam elastic, backset, height 등 다양한 인자가 존재한다. 머리지지대의 다양한 인자를 제어 인자(control factor)로서 선정하였으며 이에 대한 출력 특성치(output response)는 자동차안전연구원(KATRI)서 제안한 더미의 경부 상해 기준을 선정하였다.

		Dummy Injury Criteria						
		NIC		Nkm		Head Rebound Vel.	Upper Neck Fx	Head Contact Time
		Head X Acc.	T1 X Acc.	Neck Fx	Neck My			
Head Restraints	Form depth				+	++		
	Form Hardness				+			
	Form Elastic				+	+		
	Backset	+			+			++
	Height				+			++
	4way/2way							+
	Angle of Head Contact Area				++		+	
	Mold	+		+				

Fig. 1 제어인자 (Control factor) 선정을 위한 function matrix

Fig. 1은 제어인자 선정을 위한 function matrix를 나타낸다. 이를 이용하여 제어인자를 선정하였다. 잡음인자로서 더미, 좌석 공차(seat tolerance), 시험 가속도 펄스(acceleration pulse)를 선정하였으며, 잡음인자의

영향을 감소시키기 위하여 슬레드 시험을 2회 반복 실시하였다. 선정된 제어인자와 수준(level)은 Table 1과 같다.

Table 1 제어인자(control factor)와 수준(level)

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°

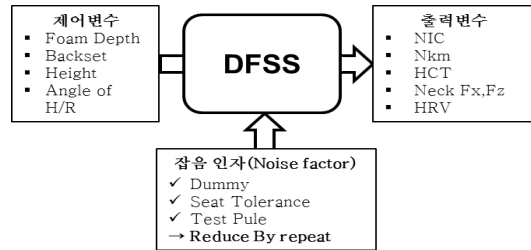


Fig. 2 P-Diagram

2.2. 직교배열표(Orthogonal array)

앞서 선정된 4가지의 제어인자가 후방 추돌 성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 L9 직교배열표(orthogonal array)를 이용하여 시험계획을 구성하였다. 이는 각 인자의 주효과(main effect)를 보기 위함이며 각 교호작용 효과(interaction effect)는 확인하기 힘들다는 한계가 있다. 일반적으로 기계시스템에서는 제어인자

Table 2 L9 직교배열표(orthogonal array)

Run	Foam Depth	Backset	Height	H/R Angle
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

간의 교호작용 효과가 크지 않다는 것으로 알려져 있다. Table 2는 이 논문서 구성한 L9 직교배열표를 나타낸다.

2.3 슬레드 시험

L9직교배열표에 의하여 각 제어인자에 대하여 도출된 머리지지대 인자의 검증 시험을 위하여 Bio RID IIg를 이용하여 슬레드 시험을 실시하였다. Bio RID IIg 더미는 Hybrid III더미에 비하여 경부 관한 생체 충실도를 높인 더미로서 후방 충돌을 위해 개발되었다. 이 더미를 이용하여 차량의 정적 평가(static assessment)를 제외한 동적 평가(dynamic assessment)를 실시하였다. Fig. 3과 같이 지그(jig)에 1열 좌석(front seat)를 고정시켜 그 위에 시험 더미를 착석시켰다. 시험 좌석은 전후방 이동이 가능한 2way 수동 좌석을 사용하였으며, 머리지지대는 전후방 상하로 이동 가능한 4way 머리지지대를 사용하였다. 동적 평가를 위한 슬레드 충돌 시험 펄스(sled acceleration pulse)는 Fig. 4와 같은 한국신차안전도평가 KNCAP(Korean New Car Assessment Program)에서 규정한 펄스(Delta V: 16kph)를 이용하였다.⁴⁾ 모든 시험의 더미 착석 위치 및 자세는 모든 시험에서 동일하게 설정하였다. 또한 잡음인자를 감소시키기 위하여 동일 좌석, 동일 슬레드 충돌 펄스를 이용하여 시험을 2회 반복 실시하였다.

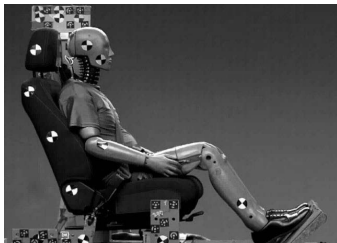


Fig. 3 KNCAP 동적 평가 더미 포지셔닝

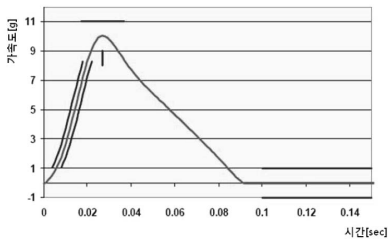
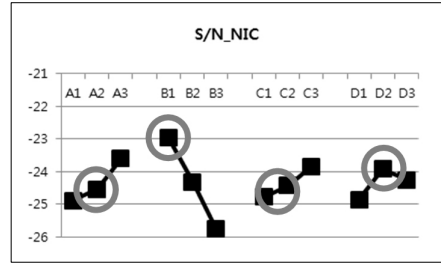


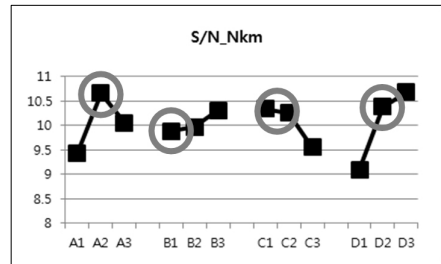
Fig. 4 KNCAP 저속 후방 충돌 슬레드 펄스

2.4. S/N 비 분석

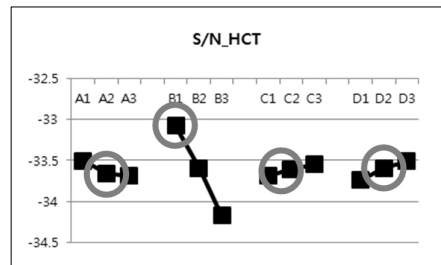
DFSS을 이용하여 S/N(Signal to Noise)비 분석을 실시하였다. S/N 비는 각 제어 인자와 성능간의 수준과 이를 방해하는 잡음인자 비를 의미하며, 잡음인자에 의한 성능의 산포가 적으면 S/N 비가 크다. 따라서 S/N 비 값이 클수록 개선에 효과적이다.



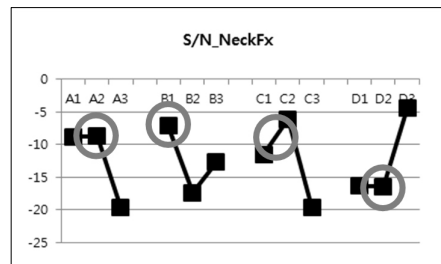
(a)



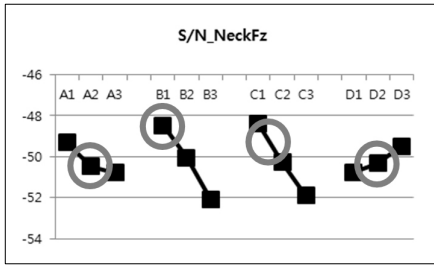
(b)



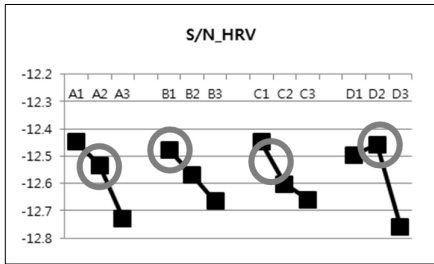
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 5 각 제어인자 별 S/N 비

Table 3 제어인자 출력 특성 치에 대한 유의확률 및 기여도

Output Response	Control factor	P-value	Contribution [%]
Nkm	Foam Depth	0.084	19
	Backset	0.576	3
	Height	0.259	9
	H/R Angle	0.014	42
NIC	Foam Depth	0.037	11
	Backset	0	67
	Height	0.145	6
	H/R Angle	0.152	6
Neck Fz	Foam Depth	0.249	5
	Backset	0.005	35
	Height	0.004	38
	H/R Angle	0.17	7
Neck Fx	Foam Depth	0.342	15
	Backset	0.708	4
	Height	0.321	16
	H/R Angle	0.543	8
Head Rebound Velocity	Foam Depth	0.065	22
	Backset	0.245	10
	Height	0.171	13
	H/R Angle	0.034	29
Head Contact Time	Foam Depth	0.213	3
	Backset	0	84
	Height	0.473	1
	H/R Angle	0.151	4

Fig. 5는 각 제어인자와 상해기준치에 S/N 비 결과에 대한 반응 그래프(response plot)를 나타낸다. 검증 시험을 위하여 제어인자 최적 조건을 찾았으며 반응 그래프에 원으로 표시하였다. 이는 제어인자의 수준에 따라 상해치의 변화를 파악할 수 있다. 각 주 효과의 기여도와 유의성을 파악하기 위하여 각 제어인자의 출력 특성 치에 대한 분산분석(ANOVA; Analysis of variation)를 실시하였다. 분산분석 결과, Table 3에는 각 제어인자 출력 특성 치들에 대한 유의성 및 기여도가 나타나 있다. 모든 검정에서 $\alpha=0.05$ 로 하였다. NIC는 제어인자 backset의 기여도가 67%로 나타났으며 유의확률(p-value)가 0에 가깝게 나타났다. Nkm은 제어인자 head restraints angle에 대한 기여도가 42%로 나타났으며 유의확률 또한 0.014로 낮게 나타났다. Neck Fz의 경우 제어인자 backset, height에 대한 기여도는 각각 35%, 38%로 나타났고 유의확률은 0.005, 0.004로 나타났다. Neck Fx의 경우 모든 유의확률이 $p>0.05$ 로 나타났으며, HRV의 경우 제어인자 head restraints angle에 대한 유의확률이 0.034로 나타났다. HCT의 경우 제어인자 backset에 대한 기여도가 84% 유의확률이 0에 가깝게 나타났다. 본 논문에서는 기여도 20%이상에 해당하는 제어인자를 출력 특성치의 주요 제어인자로 판단하였다. S/N비를 이용하여 KNCAP의 상해 기준이 최고점이 되는 두 최적화(optimization)된 조합과 예상 동적 평가 점수를 Table 4와 같이 나타내었다.

Table 4 제어인자에 따른 제어인자 최적조합

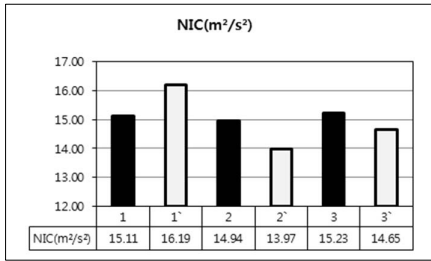
제어인자	Baseline	Opt. 1	Opt. 2
Foam Depth	Nominal	Nominal	Nominal
Prediction Score	7.0	7.3	7.3

3. 슬레드 검증 시험

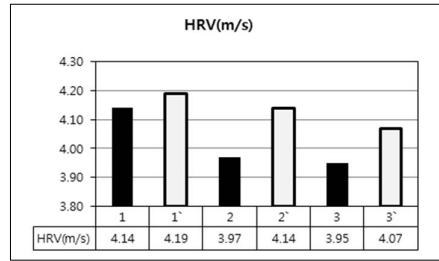
3.1. 검증 시험 결과

Fig 6은 주효과 분석을 통한 더미 상해 예측 값과 슬레드 시험 값을 비교한 그래프이다. 좌측 검정막대 그래프는 슬레드 시험 값을 나타내며 우측 흰색 막대 그래프는 시험 더미 상해 치에 해당하는 예측 값을 나타낸다.

DFSS 기법을 이용한 후방 추돌 시 경부 상해 감소를 위한 머리지지대 인자의 영향성 연구

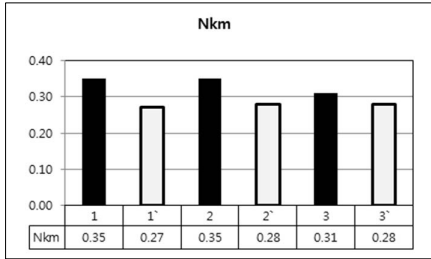


(a)

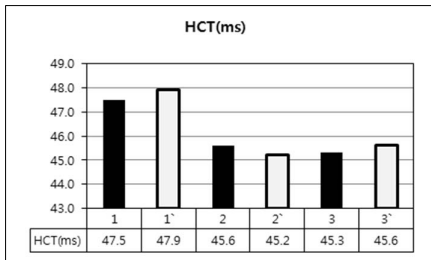


(f)

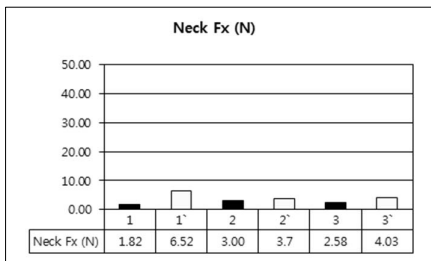
Fig. 6 슬레드 시험 결과와 주효과 분석을 통한 예상 값 비교



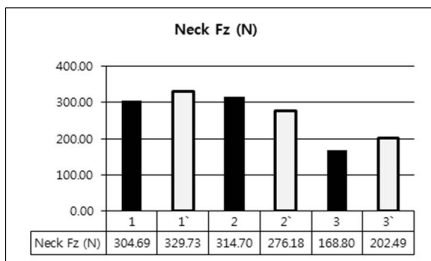
(b)



(c)



(d)



(e)

최적화된 2가지의 최적 사양에 대하여 S/N 비를 이용하여 예측된 값과 실제 슬레드 시험을 통하여 구한 값을 비교하였다. 본 논문은 경험법칙에 의해 S/N비 반응 그래프에서 제어인자에 따른 출력특성치의 경향이 일치하고, 시험 값과 예측 값의 차이가 30%이내에 들어오는 출력 특성치만 검증된 S/N비를 가진다고 판단하였다. 이를 통하여 머리지지대 최적사양의 성능 예측 결과 Neck Fx, NIC을 제외한 Nkm, HCT, Neck Fz, HRV에 대하여 슬레드 시험 값과 예측 값의 경향이 일치 하는 것으로 나타났다. 이는 Neck Fx, NIC를 제외한 나머지 S/N반응 그래프의 경향을 신뢰할 수 있음을 나타낸다. 분석결과 Nkm은 머리지지대의 각도가 후방으로 젖혀 짐에 따라 감소하였고, HCT는 backset이 줄어들수록 감소하였다. Neck Fz은 backset이 가까워질수록, height가 높아질수록 줄어들었다. HRV는 머리지지대의 각도가 전방으로 숙여질수록 감소하였다.

Table 5 후방 추돌 실제 슬레드 시험 값과 예상 값

Parameters	Baseline	Opt. 1	Opt. 2
Prediction Score	7.0	7.3	7.3
Actual Score	6.9	7.1	7.2

Table 5는 동적 성능 시험 점수 값과 예상 값의 비교를 나타낸다. 전반적인 예상 값보다 시험 값이 0.1~0.2점 낮게 나타났다. 이는 시험 오차 및 좌석 공차에 의한 오차라고 판단된다. Opt. 2는 baseline 보다 0.3점 높게 나왔으며 이는 DFSS강건설계 최적화(parameter design) 기법이 효과적으로 적용되었음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 머리지지대의 인자의 영향성을 평가하기 위하여 강건설계 최적화 기법을 이용하여 선정된 제어 인자와 상해 기준과의 연관성을 분석하였다.
- 2) Nkm은 머리지지대의 각도가 후방으로 젖혀 짐에 따라 감소하였고, HCT은 backset이 줄어들수록 감소하였으며, Neck Fz은 backset이 가까워질수록, height가 높아질수록 줄어들었다. HRV는 머리지지대의 각도가 전방으로 숙여질수록 감소하였다.
- 3) 향후 허리지지대, 좌석 쿠션, 좌석 등받이 등 더

많은 인자를 추가하여 다양한 제어 인자 분석을 통한 DFSS 강건설계 최적화를 진행한다면 초기 좌석 설계 단계부터 승객의 안전을 고려한 좌석을 효과적으로 설계할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- (1) GUNTER P. SIEGMUND, 2009, "The Anatomy and Biomechanics of Acute and Chronic Whiplash Injury"
- (2) Automobile Insurance Statics Report II (FY2005), 2006, "Korea Insurance Development Institute"
- (3) GMK Technical Center, 2012, "DFSS Fundamental Course & Advanced Course"
- (4) "자동차안전도평가시험 등에 관한 규정", 제2010-54호