

A Study of Ergonomic Vehicle Design by DFSS Considering Driver Body Types

Tae Hyun Choi¹, Sang Yeol Seo², Jun Youb Shim¹, Won Seok Jeong¹

¹Advanced Engineering Design Team, Ssangyong Motor Company, Pyeongteak, 459-711, ²Advanced Research Development Division, Ssangyong Motor Company, Pyeongteak, 459-711

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to suggest ergonomic vehicle design method through optimization of driver's space about various driver body types (tall, middle, short) **Background:** Recently, many drivers consistently demand ergonomic factors as well as driving performance when they choose their vehicle. So, there have been a lot of efforts to improve habitability and comfortability through optimizing vehicle interior in advanced design stage. **Method:** The procedure of this study is as follows. (1)VOC: Driver's needs of vehicle interior system are collected to select the factors which determine driving posture. (2)QFD: The VOC is converted to engineering words to optimize driving posture in QFD stage. (3)Pugh: The pugh matrix is used to determine optimal concept based on the priority about vehicle interior items. (4)Robust Design: The robust design method is used to select the most compromised group of design factors to minimize discomfort level that is simulated by RAMSIS. And vehicle interior items are optimized to satisfy various body types in this process. **Results:** The result of optimization from robust design satisfy DFSS target except extremely tall body type (German man 95percentile). **Conclusion:** It is reasonable to use DFSS in package design stage for ergonomic vehicle. **Application:** The results of the vehicle design considering driver's body types can help to determine composition of vehicle interior systems and develop new vehicle.

Keywords: DFSS (Design For Six Sigma), Robust Design, SSRED (Six Sigma Robust Engineering Design), Digital Human Model, RAMSIS, Discomfort Feeling

1. Introduction

근래의 자동차 산업의 특징은 기술 수준에 의한 차별성이 아닌 소비자의 관점에서 제품을 구상하고 개발해야 하는 것이며, 이는 자동차 업계의 중요한 과제가 되고 있다.

과거 자동차 개발자들은 자동차의 성능에 초점을 맞춰 왔다면 최근에는 까다로워진 고객의 눈높이를 맞추기 위하여 감성적이고 인간공학적 요소들이 중요하게 여겨지고 있다.

이를 위해 선행 개발 단계에서 Package Layout을 통해 차량 부품들에 대한 적절한 배치로 안락성, 거주성, 조작성, 시계성 등을 향상시키고 이를 통해 후 공정에서의 손실을

최소화하고 상품성을 최적화하고 있다.

인간 공학적 차량 개발을 위한 Package Layout의 첫 번째 단계는 운전자의 특성을 파악하는 것이다. 운전자의 범위가 다양해지면서 다수의 체형들이 만족할 수 있는 차량의 설계가 필요하게 되었다. 이를 위해 차량 개발 초기 단계에서부터 인간공학적 평가를 위한 운전자 디지털 인체 모델에 관한 연구가 활발히 진행되고 있고 각 회사별로 다양한 체형을 아우르는 운전자 표준 체형을 정립하여 운전 자세 불편도 분석에 사용하고 있다.

표준 인체 모델과 관련하여 사람에 대한 객관적이고 정밀한 치수와 동작분석을 위해 국가별로 체형조사 사업이 시행되었으며, 국내에서는 산업자원부 주관으로 한국인 체형 조사사업인 제 5차 한국인 인체치수조사 사업보고서가 2004년에 완료되었고, 이를 통해 한국

인의 성별, 연령별 인체정보가 상세히 분석이 되었다.

국가별 인체치수 정보는 3차원 디지털 휴먼 모델에 대한 시뮬레이션이 가능한 RAMSIS Software에 탑재되어 운전자 및 승객에 대한 각종 자세 및 시야 평가가 가능하게 되었다.

본 연구에서는 운전자세와 관련된 주요 인자들의 최적 값을 도출하기 위하여 자동차 설계 분야에서 폭넓게 사용되고 있는 DFSS(Design For Six Sigma) 기법을 사용하여 최적값을 도출하고자 하며, 운전자세 불편도 분석은 RAMSIS Simulation을 활용하여 분석을 하였다.

2. Method

본 테마를 선정한 배경은 운전자의 실내 조작류와 공간 배치를 최적화함으로써 인간공학적이고 효율적인 신차 개발 목표를 달성하고자 하는 것이다. 이를 위해 RAMSIS Software의 Discomfort Feeling 기능을 이용하여 체형별 운전자세 변화를 분석하고, 주요 Hard Point들이 자세불편도에 미치는 영향을 파악하여, 운전자와 관련된 주요 Hard Point들을 최적화시키고자 한다.

운전자세 최적화를 위한 DFSS의 여러 기법들 중 본 논문에는 체형 선정 및 RAMSIS Discomfort Feeling 평가, CTQ 결정, VOC(Voice Of Customer), QFD(Quality Function Deployment), SFD(System Function Diagram), Pugh 개념 설계, 경쟁차 Benchmarking, Robust Engineering, RAMSIS Simulation 방법 및 결과, SSRED 분석 결과, 최적화 검증, 예상 경영성과를 위주로 설명을 하고자 한다.

2.1 체형 선정 및 RAMSIS Discomfort Feeling 평가

운전자세에 대한 불편도를 평가하기 전에 운전가능한 체형군을 선정해야 하는데, 자동차 회사에서는 운전 가능한 국내의 다양한 체형군을 활용하여 평가가 이뤄져야 한다.

이에 근거하여 체형 상한으로는 독일 남성 95 Percentile, 체형 평균으로는 한국 남성 50 Percentile, 체형 하한으로는 한국 여성 5 Percentile을 선정하였고, RAMSIS를 통해 선정된 3개 체형에 대한 3차원 Digital Human Model을 생성하였다.

선정된 체형과 운전자 조작류 및 공간배치에 대한 CAD Data를 활용하여 각각의 자세별로 RAMSIS Discomfort

Feeling 값을 산출한다.

Figure 1은 Dimension 비교 분석을 통한 Hard Point 설정 방법으로 기존의 차량 개발 시 사용하였던 방법이다.

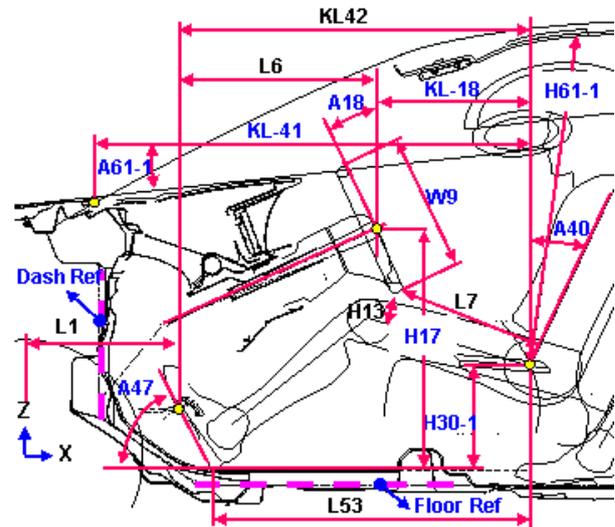


Figure 1. Interior Hard Points for Driver

Figure 2는 RAMSIS를 활용한 운전자세 분석방법으로 차량의 CAD Data를 활용하여 운전자세를 설정한 것이며, Figure 3에서 현재 자세에 대한 각 관절들의 전체 불편도 값을 신속하고 명확하게 보여주고 있어, 최근 차량 개발시 폭넓게 활용되고 있는 방법이다.

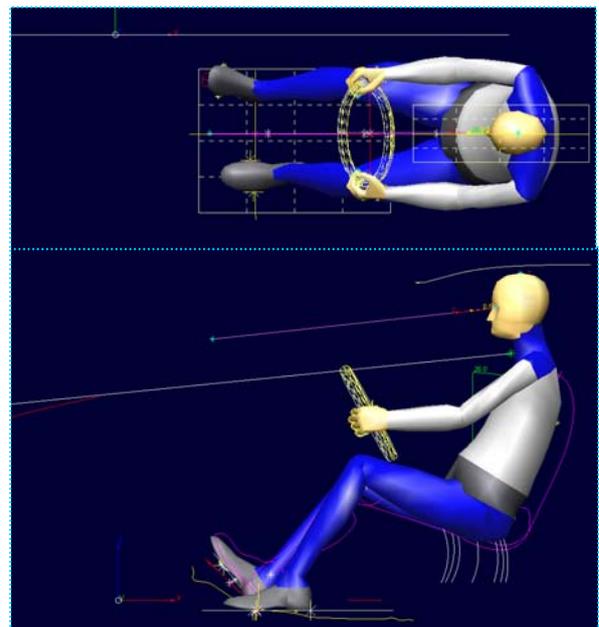


Figure 2. Define of RAMSIS Driving Posture

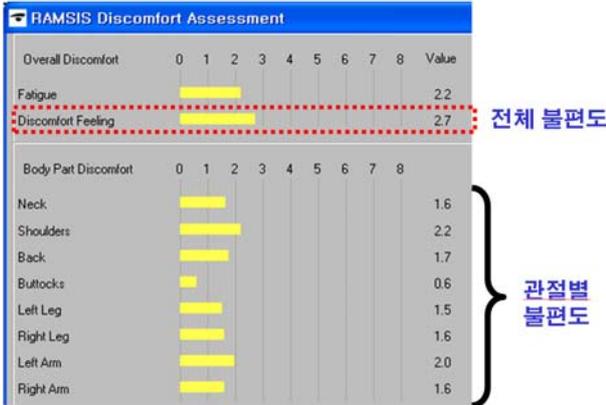


Figure 3.RAMSIS Discomfort Assessment

Table 1은 RAMSIS Discomfort Feeling 결과 값에 대한 자세 불편도 수준을 나타낸 것이며, 추가적으로 10점 만점 기준으로 환산된 점수를 표기하였다.

Table 1.Posture Level of Discomfort Feeling Value

Discomfort Feeling	자세 불편도 수준	평점 (10점 만점)
2.5 ~ 3.5	우수한 자세	10 ~ 9
3.6 ~ 4.5	보통의 자세	8 ~ 7
4.6 ~ 5.5	좋지 않은 자세	6 ~ 5
5.6 ~ 8.0	매우 나쁜 자세	4 ~ 1

2.2 CTQ 선정

운전자세 불편도와 관련된 중요 품질특성으로, 각 체형별(95,50,5 Percentile)로 RAMSIS 운전자 자세 불편도 값을 산출 후 평균 점수를 구한 결과를 CTQ(Critical To Quality)로 정하였으며, 목표 값은 4.0으로 결정하였다.

2.3 VOC (Voice of Customer)

운전 자세를 결정짓는 Interior 주요 요소를 선정하기 위해 사내/외 운전자들의 요구 사항을 조사하였다. 그 결과 다양한 체형이 만족 할 수 있는 운전 자세와 공간에 대한 요구 사항이 많았다. 수집된 결과를 각 System에 맞추어 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2.VOC about driving posture

SYSTEM	Voice of Customer
Steering Wheel	핸들 기본위치가 편하게 위치되었으면 좋겠다.
	핸들 위치 조절 범위가 넓었으면 좋겠다.
	핸들 측면 경사각이 작았으면 좋겠다.
Seat	Seat 높이가 낮았으면 좋겠다.
	높낮이 조절 범위가 넓었으면 좋겠다.
	작은 체형을 위해 전방 이동량을 커줬으면 좋겠다.
	Seat Cushion과 다리 간섭이 없어야 한다.
Pedal	작은 체형에서도 Pedal 조작이 편해야 한다.
Roof Trim	큰 체형에서도 머리 공간이 확보되어야 한다.
Vision	작은 체형에서도 전방 하방 시계가 충분히 확보되어야 한다.

2.4 QFD (Quality Function Development)

VOC 과정을 통해 운전 자세와 관련된 5개의 System에 10개의 항목이 도출되었다. 이렇게 분류된 고객의 요구 사항을 설계 단계에 용이하게 적용하기 위해 Table 3과 같이 QFD (Quality Function Development) 기법을 사용하였다.

Table 3.Design QFD

설계 변수	회사 기준	기술 특성																		
		W/Wheel Center - Spgr (X Offset)	W/Wheel Center - Spgr (Z Offset)	W/Wheel Yda Range	W/Wheel Telescope Range	W/Wheel Slide Angle	Spgr - Apr (Z Offset)	Seat Height Adjust Range	Seat Height Adjust Type	Seat Sliding - Foremost	Seat Sliding - Rearmost	Seat Cushion Depth	Seat Cushion Height	Acc/Pedal Center - Spgr (X Offset)	Acc/Pedal Center - Spgr (Y Offset)	Acc/Pedal Center - Spgr (Z Offset)	Footrest Range	Driver Headroom	전방 하방 시계	
S/Wheel 기본 위치	3	9	9																	
S/Wheel 위치 조절 장치	5		9	9																
S/Wheel 경사 각도	4	3	3		9															
Seat 기본 높이 (H30)	2				9															
Seat 높이 조절 장치	4					9	9													
Seat Sliding 장치	3							9	3											
Seat Cushion Depth	5									9	3									
Pedal 기본 위치	3												9	9	3	1				
머리 거주 공간	5																			9
전방 하방 시계	3																			9

QFD는 사용자의 요구를 제품 개발에 반영하는 기법 중에서 널리 이용되는 방법이다. QFD는 고객의 요구사항의 우선 순위를 파악하고 이를 만족시키기 위해 어떠한 기술적 특성들이 관련이 있는지를 분석한다. 즉, 고객의 요구사항을 회사의 언어로 바꾸는 일련의 과정이다. QFD를 통해서 제품에 반영해야 할 인간공학적 요소에 대한 우선순위와 중요도가 결정된다.

고객의 요구사항을 운전자세 최적화를 위해 각 System에 어떠한 기술적 특성들이 필요한지, 그리고 차량에 반영해야 할 인간공학적 요소의 우선 순위와

중요도를 파악하기 위해 VOC 항목을 충족시키기 위한 기술적 특성과 설계 변수간의 상관 관계를 설계 QFD 표를 통해 분석하였다.

회사 기준과 설계 변수간의 상관 관계 파악을 위해 9점 척도를 사용하여 셀에 서로 간의 관계 정도에 따라 0, 1, 3, 9점을 부여하도록 하였다. 0점이면 관계가 없는 것이고 9점이면 관련성이 강한 것이다. 이를 합산하여 각 설계 변수 별로 절대적 중요도를 산출하였고, 상위 10개의 주요 설계 변수를 결정하였다.

2.5 SFD (System Function Diagram)

운전 자세를 결정짓는 Interior 주요 요소들은 Figure 4와 같다.

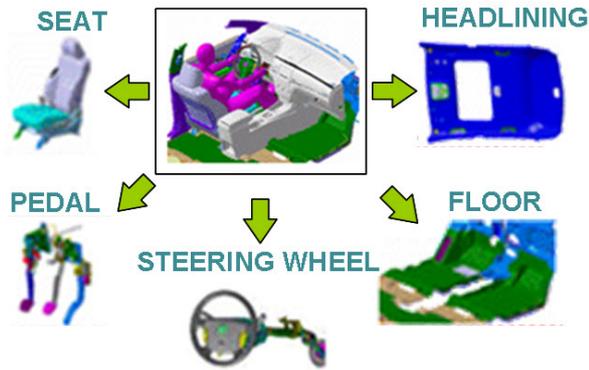


Figure 4. System Function Diagram

2.6 Pugh matrix

설계 QFD 결과로 나온 항목에 대한 우선 순위와 목표 값에 의거해 Pugh matrix 1차 분석 과정을 실시한다.

항목별 평가는 기준 차량 대비하여 약간 좋음(+), 좋음(++), 약간 나쁨(-), 나쁨(--), 또는 차이 없음(S)으로 평가한다. +, -, S를 이용하여 각각의 개념들을 고객의 기준으로 평가한 다음, +가 가장 많고 -가 가장 적은 대상을 선정한다.

Pugh matrix 분석 과정에서 가장 높은 점수를 받은 대상을 이용하여 강점을 유지해 나가고 약점을 보완하면서 새로운 개선안을 만들 수 있다.

본 연구에서는 당사 차종 중 하나를 기준으로 삼아 이와 비슷한 Segment의 경쟁사 5차종을 비교하여 Pugh matrix 분석을 실시하였다. 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Pugh Matrix (1st step)

	당사차량	경쟁사 차량				
	Datum	A	B	C	D	E
S/wheel 기본위치	S	-	-	-	-	-
S/wheel 위치조절장치	S (40mm)	--	++	--	++	++
S/wheel 경사각도	S (28°)	+	S	++	S	++
Seat 기본높이	S (335mm)	+	+	++	S	++
Seat 높이조절장치	S (45mm)	--	+	--	-	S
Seat Sliding 장치	S (190/50mm)	+	S	S	S	-
Seat cushion depth	S (380mm)	-	-	-	-	-
Pedal 기본위치	S	-	-	-	-	-
머리 거주 공간	S (1000mm)	++	S	S	--	--
전방 하방 시계	S (7.1°)	+	--	-	S	-
플러스 합		6	4	4	2	6
마이너스 합		7	5	8	6	7
전체 합		-1	-1	-4	-4	-1

1단계 Pugh matrix 분석 결과 A, B, E 차종의 +, - 전체 합이 같게 나왔지만 당사 기준 차량과 Concept이 유사하고 약점을 개선할 여지(-합이 더 많음)가 충분한 A 차량을 가장 높은 점수를 받은 대상으로 선정하였다.

Table 5. Pugh Matrix (2nd step)

	A	A 개선안
S/Wheel 기본 위치	- (미적용)	- (미적용)
S/Wheel 위치조절 장치	-- (없음)	++ (46mm)
S/Wheel 경사 각도	+(27°)	++ (25°)
Seat 기본 높이	+(325mm)	+(320mm)
Seat 높이 조절 장치	-- (24mm)	S (50mm)
Seat Sliding 장치	+(234/5mm)	+(234/5mm)
Seat Cushion Depth	- (미적용)	- (미적용)
Pedal 기본 위치	- (미적용)	- (미적용)
머리 거주 공간	++ (1037mm)	++ (1037mm)
전방 하방 시계	+(7.6°)	+(7.6°)
플러스 합	6	9
마이너스 합	7	3
전체	-1	6

A 차량의 장점을 유지하고 약점을 보완하여 당사 신규 차종의 운전 자세 개선안을 도출을 위해 Table 5 와 같이 2단계 Pugh matrix 분석을 실시하였다.

A 차량에서 차량 Concept을 벗어나지 않으면서 약점 부분에서 개선이 가능한 Steering wheel 위치 조절 장치의 조절 범위, Steering wheel 경사 각도, Seat 높이 조절 장치의 조절 범위를 수정하였다.

그 결과 현재 A 차량의 +, - 전체 합보다 7점이 높게 개선되었으며 개선된 차량에 대해 다양한 체형의 운전 자세 불편도 평가를 수행하여, 최적화된 운전 자세를 정립하고 상품 경쟁력을 향상 시킬 수 있다. 신규 차종 실내 공간 Package 설계 시 변경 사항을 적용함으로써 초기 단계부터 최적의 운전 자세를 정립 할 수 있다.

2.7 Benchmarking

Pugh 2차 결과 의거 Interior 주요 변수는 Figure 5 와 같다.

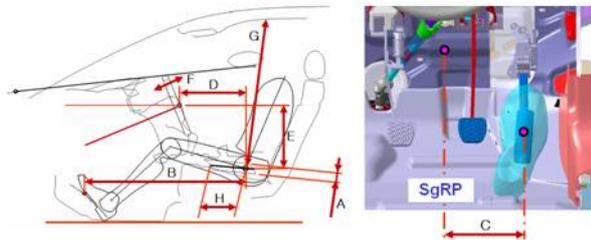


Figure 5. System Function Diagram

Table 6은 차종 별 Interior Hard Point들에 대한 Dimension 비교 Table이며, 후속 개발 차종에 대한 Target 설정 시 경쟁차종과의 비교 및 검증을 통해 초기 Target 값을 설정하게 된다.

Table 6. Interior Hard Point Dimension Table

주요 인자	Vehicle						
	A	B	C	D	E	F	G
A Seat Height Adjust Range	50	30	50	22	24	59	48
B Accel Pad Center ~ SgRP (X Offset)	923	935	909	911	925	929	939
C Accel Pad Center ~ SgRP (Y Offset)	175	165	176	175	195	186	186
D S/Wheel Center ~ SgRP (X Offset)	410	406	394	387	406	417	397
E S/Wheel Center ~ SgRP (Z Offset)	365	369	368	354	354	388	363
F S/Wheel Telescope Range	30	0	30	0	0	46	41
G Front Headroom	1010	1019	1007	1002	1037	1011	978
H Seat Sliding - Foremost	210	192	190	216	234	205	194

2.8 Robust Design

강건 설계(Robust Design)이란 제품 설계 시 그 제품이 사용되는 환경 하에 어떠한 조건에서도 적은 편차로 일정한 성능을 발휘 할 수 있도록 설계하는 기법이다. 즉, 잡음 인자(편차를 유발하는 요소)를 설계 초기 단계에서 고려하여 설계가 끝난 후에도 제품의 성능 특성이 잡음에 둔감하도록 설계 변수의 최적 조건을 구하는 것이다.

본 연구에서는 차량 Package 분야에 강건 설계 기법을 도입하여 신차 개발 단계에서 다양한 체형에 대한 운전자세 최적화를 구현하고자 하였다.

운전 자세 최적화를 위해 필요한 자세 불편도 값을 도출 하기 위해서는 RAMSIS Software를 활용하였다. RAMSIS는 자동차 업계에서 널리 사용되고 있는 상용 Tool로서 운전자와 차량 사이에 몇 가지 구속 조건을 부여하게 되면 자체에 내장된 알고리즘으로 자세에 따른 불편도를 수치로 산출한다. 이는 명확한 기준에 따른 분석이 가능해 비교적 쉬운 방법으로 자세 불편도 평가가 가능하다.

RAMSIS 운전자세 불편도 값을 출력 인자로 하고 운전자세에 영향을 미치는 주요 인자들을 제어 인자로 하며, 다양한 체형에서 불편도를 최소화 하기 위해 운전자의 체형을 잡음 인자로 하는 직교표(table of orthogonal arrays)를 구성하여 강건 설계를 실행한다.

직교표의 구성은 강건 설계의 기본 과정으로 입력으로 사용하는 제어 인자와 잡음 인자를 정의해야 한다. 제어 인자로는 앞선 QFD 결과에 따라 다양한 운전 자세를 구현하기 위해 변경해야 할 주요 system인 Steering wheel 위치 및 Telescope 범위, Acceleration pedal 위치, Seat 전/후방, 상/하방 이동 범위, 머리 공간 target이다. 제어 인자의 구성은 Figure 5와 Table 6 의 내용과 동일하다.

동일한 차량에서도 다른 불편도가 나오는 주요 원인이 되는 잡음 인자인 운전자의 체형에 대한 정의가 필요하며, 사람에 따라 신장, 앉은 키, 비만도 등 모든 인체 치수가 다르기 때문에 체형에 관계된 모든 요소를 고려하여 운전 자세 불편도를 평가하는 것은 사실상 불가능하다. 이러한 이유로 자동차 업계에서도 다양한 인체 치수 차이를 차량 개발 시 반영하고자 하는 노력이 가속화 되고 있다. 당사도 이에 맞추어 지역, 성별, 연령에서 오는 신체 차이를 반영한 표준 체형군을 만들어 초기 설계 단계부터 활용해 오고 있다.

본 연구에서는 독일인 남성 큰 체형(95 Percentile), 한국인 남성 중간 체형(50 Percentile), 한국인 여성 작은 체형(5 Percentile)을 선정해 잡음 인자로 사용하였다.

제어 인자와 잡음 인자의 구성도는 Figure 6과 같이 P-diagram 으로 나타낼 수 있다.

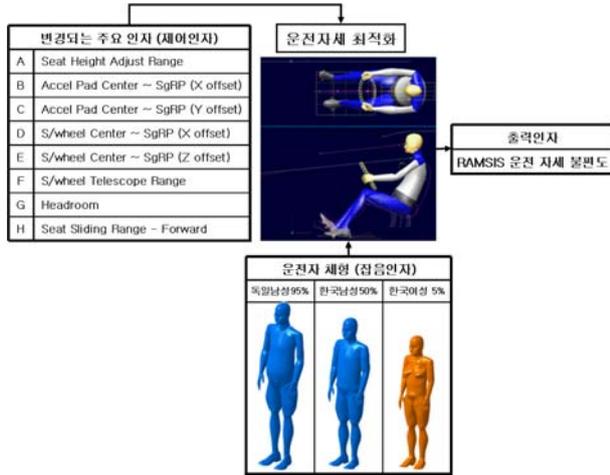


Figure 6. P-diagram for optimization of driving posture

RAMSIS 운전 자세 불편도 평가를 위해 제어 인자인 CAD Data와 잡음 인자인 인체 모델간의 구축 조건이 필요하다. Seat 위치, Acceleration pedal 및 Foot rest, 시선, 머리 공간 등의 조건을 부여하고 운전 자세를 변경하여 Simulation을 통해 운전 자세 불편도를 산출하게 된다.

직교표에 사용된 제어 인자 수준은 당사 및 동급 경쟁 차종의 설계 값을 참조하여 Table 7과 같이 수준을 결정하였다. 수준 2는 초기 설계 값이다.

Table 7. Control factor level

제어인자		수준		
		1	2	3
A	Seat Height Adjust Range	22	50	-
B	Accel Pad Center ~ SgRP (X offset)	906	923	951
C	Accel Pad Center ~ SgRP (Y offset)	138	175	195
D	S/wheel Center ~ SgRP (X offset)	387	410	441
E	S/wheel Center ~ SgRP (Z offset)	353	365	389
F	S/wheel Telescope Range	0	30	45
G	Headroom	978	1010	1037
H	Seat Sliding Range - Forward	190	210	238

제어 인자들에 대한 최적화를 위해서 P-diagram에 표현된 각 인자들로 구성된 직교표를 이용하였으며, 본 연구에서는 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 직교표를 활용하였다.

제어인자 조합에 의해 18회의 Simulation을 3개의 체형별로 각각 수행하여 RAMSIS 자세 불편도를 구하였으며, 그 결과는 Table 8과 같다.

Table 8. Orthogonal arrays

	제어 인자								잡음 인자		
	A	B	C	D	E	F	G	H	95%	50%	5%
1	1	1	1	1	1	1	1	1	4.4	3.2	4.4
2	1	1	2	2	2	2	2	2	4.4	3.0	3.8
3	1	1	3	3	3	3	3	3	4.6	2.9	3.5
4	1	2	1	1	2	2	3	3	3.9	3.3	4.4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	4.0	3.4	4.0
6	1	2	3	3	1	1	2	2	4.9	2.9	3.9
7	1	3	1	2	1	3	2	3	3.9	3.5	4.4
8	1	3	2	3	2	1	3	1	4.5	3.2	3.9
9	1	3	3	1	3	2	1	2	3.3	3.6	4.8
10	2	1	1	3	3	2	2	1	4.7	3.0	3.5
11	2	1	2	1	1	3	3	2	4.1	2.8	3.9
12	2	1	3	2	2	1	1	3	4.7	2.8	3.8
13	2	2	1	2	3	1	3	2	4.2	3.4	4.0
14	2	2	2	3	1	2	1	3	4.7	2.8	3.5
15	2	2	3	1	2	3	2	1	3.7	3.1	4.1
16	2	3	1	3	2	3	1	2	4.2	2.9	3.5
17	2	3	2	1	3	1	2	3	3.6	3.8	4.9
18	2	3	3	2	1	2	3	1	3.9	3.3	4.4

3. Results

3.1 Result of Analysis of variance

SSRED(Six Sigma Robust Engineering Design) 활용하여 세 체형을 종합한 1차 분산 분석 결과는 아래 Table 9에 나타난 것과 같다.

Table 9. SSRED Analysis (1st step)

제어인자	수준	제어인자			
		원데이터		S/N비	
		수준	기여율	수준	기여율
A	Seat Height Adjust Range	2	0.0%	2	2.8%
B	Acceleration Pad Center ~ SgRP (X offset)	1	0.0%	1	11.6%
C	Acceleration Pad Center ~ SgRP (Y offset)	3	0.0%	2	7.0%
D	Steering wheel Center ~ SgRP (X offset)	3	0.0%	3	5.5%
E	Steering wheel Center ~ SgRP (Z offset)	2	0.0%	2	7.4%
F	Steering wheel Telescope Range	3	0.0%	3	12.1%
G	Headroom	1	0.0%	3	47.0%
H	Seat Sliding Range - Forward	1	0.0%	2	5.1%
기존실험 Data 평균 / S/N비		4.000		-12.141	
추정 최적 조건의 평균 값		3.367		-11.695	
기존 공정 대비 평균 값의 향상 / 산포 감소율		15.8%평균향상		14.6%산포감소	

분석 결과 잡음 인자인 각 체형간의 신체적인 차이가 매우 커서 원데이터의 기여율 값이 0%가 나왔기에, 각각의 체형 별로 분리하여 Table 10과 같이 SSRED 2차 분석을 시행하였다.

Table 10.SSRED Analysis (2nd step)

제어인자	수준	독일남성95%		한국남성50%		한국여성5%		결과
		수준	기여율	수준	기여율	수준	기여율	
A	2	0.0%	2	4.3%	2	3.7%	2 (50mm)	
B	3	30.8%	1	36.8%	1	24.0%	1 (906mm)	
C	3	0.0%	3	2.4%	2	0.2%	3 (195mm)	
D	1	53.2%	3	26.9%	3	57.6%	3 (441mm)	
E	3	5.6%	2	21.0%	2	3.9%	2 (365mm)	
F	3	8.8%	3	2.4%	3	5.7%	3 (45mm)	
G	3	0.0%	1	1.8%	1	0.7%	3 (1037mm)	
H	2	0.0%	2	2.0%	2	0.6%	2 (210mm)	
기존 실험 데이터 평균		4.161		3.056		3.800		
추정 최적 조건의 평균 값		3.211		2.339		2.933		
기존 공정 대비 평균 값의 향상율		22.8%		23.5%		22.8%		

SSRED 2차 분석 결과 A인자(Acceleration Pac Center ~ SgRP X offset)와 C인자(Steering wheel Center ~ SgRP X offset)의 기여율이 가장 크게 나타났다. 각 체형 크기에 따른 최적화 수준을 비교했을 때 인구 분포가 가장 많은 50 percentile에 대한 비중을 높게 고려하여 각 인자 별 수준에 대한 결과를 위와 같이 최적화 하였다. F인자(Headroom)의 경우 한국남성 50 percentile만 고려 시 1수준(978mm)이면 되지만 당사 차량의 유럽 수출을 고려해 3수준(1037mm)을 선택하였다. 단, 향후 외관 디자인 작업 시 높은 차고로 인하여 Styling에 제약을 받는다면 2수준(1010mm)으로 변경하는 것도 가능할 것이다.

3.2 Verification of Optimization

SSRED 2차 분석 결과에서 얻은 각 인자들의 최적화 수준을 검증하기 위해 SSRED 결과와 최적화 수준이 적용된 CAD data를 생성하여 RAMSIS 운전 자세 불편도 Simulation을 추가적으로 검증하였다. Table 11은 SSRED 분산 분석 추정 값과 RAMSIS Simulation 결과를 비교한 결과이다.

Table 11.Results of SSRED and RAMSIS simulation

구분	CTQ (DFSS 목표)	기존공정의 DATA 평균	추정최적조건의 예측 평균값 (SSRED)	최적조건 검증결과 (RAMSIS)
독일남성95%	≤4.0	4.161	4.728	4.7
한국남성50%	≤4.0	3.056	2.372	2.8
한국여성5%	≤4.0	3.800	3.033	3.5

최적화 분산분석(SSRED)을 통해 결정된 최적 수준에 대한 예측 값과 RAMSIS Simulation 결과가 오차 범위 안에서 유사한 값을 나타내고 있다. 한국 남성 50 Percentile 체형과 한국 여성 5 Percentile 체형은 최적조건의 예측 평균 값과 RAMSIS 결과 모두 DFSS CTQ 목표인 운전 자세불편도 4.0 이하를 만족한다. 하지만 독일 남성 95 Percentile 체형은 DFSS 목표를 만족하지 못하였으며, 이는 설계 가능 범위에 비해 체형이 매우 커서 나타나는 결과로 예측된다.

Simulation 결과를 종합해 보면 제어 인자별로 수준 값을 변경하게 되면 큰 체형과 작은 체형간에 상반된 결과가 나오는 경우가 많았으며, 이를 해결하기 위해서는 개발하고자 하는 차량의 실내 공간에 대한 크기와 판매 지역을 고려하여 추진 방향을 결정해야 할 것이다.

Pugh matrix에서 사용한 경쟁차들에 대한 RAMSIS 운전 자세 불편도를 체형 별로 분석한 결과는 아래 Table 12와 같다.

Table 12.RAMSIS driving posture discomfort value

차종	독일남성95%	한국남성50%	한국여성5%	체형평균값
최적화 수준 적용된 신차	4.7	2.8	3.5	3.67
A	4.5	3.2	4.2	3.95
B	4.1	3.0	3.5	3.53
C	5.0	3.1	3.5	3.85
D	4.9	2.8	3.7	3.77
E	4.2	2.9	3.9	3.63

최적화 수준이 적용된 차종의 운전 자세 불편도에 대한 체형 평균 값은 양호한 수준으로 나타났다. 특히 가장 많은 운전자 체형군이 분포한 한국 남성 50 Percentile 체형에서 자세 불편도 측면에서 가장 우수한 결과를 보이고 있다.

4. Conclusion

본 연구를 통해 운전 자세에 대한 VOC를 바탕으로 QFD와 Pugh Matrix 과정을 거치며 고객의 요구 사항이 실내 Layout에 최적화 될 수 있도록 각각의 인자들의 초기 설계 목표를 설정하였고, 이를 기반으로 개별 인자들의 수준 값을 변경한 최적의 Simulation을 위하여 Robust Engineering 기법을 통해 운전자세 개선 효과가 높은 인자들을 추출하고 초기 값에 대한 수준을 변경하여, 다양한 운전자 체형이 고려된 차량 개발에

대한 설계 방향을 확정할 수 있었다.

위와 같이 DFSS 과정내의 다양한 기법들을 통해서 다양한 체형군을 고려하여 운전자세 불편도를 최소화하고, 설계 인자 값들의 최적화를 통하여 더욱 효율적이고 신속하게 선행 개발 단계에서의 인간공학적 차량에 대한 개발 방향을 결정할 수 있게 되어, 고객 만족도 향상과 제품 경쟁력 향상을 동시에 달성할 수 있게 되었다.

본 연구 결과에 더하여 Driving Buck과 실차를 통한 추가적인 검증을 시행할 예정이며, 이를 통하여 본 논문 결과에 대한 신뢰성을 추가로 확보하고 인간 중심적인 차량에 대한 개발 방향을 확정할 계획이다.

References

- The 5th Korean Body Measurement investigation Report, Size Korea. 2004
- Dr. Hartmut J. Speyer, "RAMSIS Anthropometric Databases", Human Solutions GmbH, June. 2006..
- Sang yeol Seo, "The Role of Ergonomics in the Vehicle Development Stage", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol. 29, No. 1 pp.1-10, February 2010..
- Jangwoon Park, "Evaluation of Predicted Driving Postures in RAMSIS Digital Human Model Simulation", IE Interfaces Vol. 23, No. 2, pp. 100-107, June 2010.
- Jang, C. H., "Current Trends and Future Issues of Automotive Ergonomics", Journal of the Ergonomics Society of Korea Vol. 29, No. 1 pp.1-5, February 2010..
- Josef Loczi, Mike Dietz, "Posture and Position Validation of the 3-D CAD Manikin RAMSIS for Use in Automotive Design at General Motors", SAE TECHNICAL PAPER SERIES, Digital Human Modeling for Design and Engineering International Conference and Exposition, May 1999
- Matthew P. Reed, Miriam A. Manary, Caro A. C. Flannagan, Lawrence W. Schneider, "Automobile Occupant Posture Prediction for Use with Human Models", SAE TECHNICAL PAPER SERIES 1999-01-0966, 1999.

Author listings

Tae Hyun Choi: taehyun2@smotor.com

Highest degree: a Bachelor of Engineering, Department of Computer Science, Namseoul University

Position title: Senior Research Engineer, Advanced Engineering Design Team, Ssangyong Motor Company

Areas of interest: Human Factors in Vehicle Package, R&D Center