Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 4 pp.91-101, November 2007

페달 종류 및 위치에 따른 최적 페달 레이아웃 설정

최정필[1] · 정의승[2] · 박성준[3] · 정성욱[2]

[1]고려대학교 산업시스템정보공학과 / [2]고려대학교 정보경영공학전문대학원 / [3]남서울대학교 산업경영공학과

Optimal Layout of Vehicle Pedals Depending on the Types and Positions of Vehicle Pedals

Jeong Pil Choi[1], Eui S. Jung[2], Sungjoon Park[3], Seong Wook Jeong[2]

[1]Department of Industrial Systems and Information Engineering, Korea University, Seoul, 136-701
[2]Graduate School of Information Management and Security, Korea University, Seoul, 136-701
[3]Department of Industrial and Management Engineering, Namseoul University, Cheonan, 330-707

ABSTRACT

The purpose of this study is to propose an optimal layout for the accelerator and brake pedals in sedan and SUV, and also to compare the pendant-type pedal with organ-type pedal. 12 male subjects participated in the experiment, the subjects were divided into 3 groups according to height percentile(under 50%ile, 50%ile to 75%ile, over 75%ile). Independent variables were seat height (H_{30}), X and Y coordinates of the center of accelerator and brake pedals and the x and y relative distance between two pedals. Dependent variable was subjective ratings for lower body discomfort. The response surface methodology using a central composite design was employed to develop a prediction model for lower body discomfort of each pedal. It is noticeable that the lateral position of the accelerator in all groups was not statistically significant. The optimal locations of both pedals were found to be distinct according to the percentile of subjects. X distance from accelerator to brake of both-type pedals is similar. But Y distance from accelerator to brake of organ-type is less about 2~3cm than that of pedant-type.

Keyword: Pendant pedal, Organ pedal, Response surface model, Central composite design

1. 서 론

국내 자동차 산업의 발전과 더불어 사람들의 life style이 다양화 됨에 따라 특정 고객들의 요구를 만족시키는 SUV (Sports Utility Vehicle)나 MPV(Multipurpose Vehicle)와 같은 다양한 차종이 개발되고 있다. 하지만 SUV환경에서의 충분한 연구가 이루어지지 않은 상황에서 이와 같은 변화가 빠르게 일어나다 보니 현업의 실무자들은 설계에 많은 어려움을 느끼고 있다. 세단과 SUV의 차이로 인해 세단 중심의 설계 원칙을 그대로 확장하여 적용하기에는 그 유효성이 검증이 되지 않았다. 새로운 설계 원칙 개발을 위해 다각적인 연구가 진행되어야 하겠지만 자동차의 효과적인 제어를 위해 운전자의 신체적 특성이나 새로운 차량 특성에 맞는 제어 장치에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다. 특히 자동차에서 페달은 가장 중요한 제어 장치 중의 하나이다. 손으로 제어 가능한 장치에 비하여 발로 제어되는 페달은 운전자의 자세에 의해서 제약을 받는 경우가 많다. 그래

교신저자: 정의승
주 소: 136-701 서울시 성북구 안암동 5가 1번지, 전화: 02-3290-3380, E-mail: ejung@korea.ac.kr

서 부적절한 페달 설계는 운전자의 불편도를 증가시키는 원인이 될 수 있다. 더구나 최근에는 기존의 사용되던 Pendant 페달뿐만 아니라 상용차에서 사용되던 Organ페달을 세단 또는 SUV로의 도입 여부가 자동차 설계 대안으로 고려되고 있다. 그림 1에서 보듯이 Organ페달은 Pendant페달과는 달리 차량 바닥에 고정되어 있고 페달 폭, 길이에서도 차이가 있을 뿐만 아니라 조작 방식에서도 두 페달간의 차이가 발생됨은 충분히 예상 가능하다.



그림 1. 페달 종류

페달 설계를 위해서는 페달의 설계 특성 뿐만 아니라 Seat, Steering Wheel, Leg Room 공간 같은 페달 주변의 설계 특성과 운전자의 키, 앉은키, 다리길이와 같은 인체 변수도 함께 고려하여야 한다. 국내에서도 페달 설계를 위한 다각적인 연구가 진행 중에 있다. Brake페달의 제동 시간을 최소로 하는 Accelerator와 brake 페달 배치의 인간공학적 설계에 대한 연구(김유창, 1995), 가변형 Mockup System을 사용하여 운전자가 선호하는 Steering Wheel과 페달의 위치와 그에 따른 운전 자세가 인체 치수와 어떤 관계가 있는지에 대한 연구(최진봉, 2006), 가변형 페달을 사용하여 한국인 체형에 맞는 조작기 설계 연구를 위한 운전 자세 및 페달에 대한 정량적 분석 연구(전용욱, 2000)등이 있었다. 국외 연구로는 자동차 clutch 페달 작동 시 느껴지는 불편도를 관절 각, 관절 모멘트 등과 같은 인체 역학적 기준으로 평가한 연구(Wang, 2004). 피실험자를 Percentile별로 다리길이와 다리 관절 각도의 높이와 각도를 측정하여 운전자세의 불편도에 관한 연구(Katja, 1999). Jack이라는 소프트웨어를 활용하여 세단 환경에서 최적의 페달 위치를 찾은 연구(Rachel, 2004) 등이 있었다. 하지만 기존의 페달 최적 영역을 도출하기 위한 연구들은 세단과 산업차량을 중심으로 이루어졌고 Organ페달에 대한 연구는 아직 진행된 것이 없다.

본 연구에서는 기존의 문헌 연구와 기존에 출시된 SUV의 자료를 바탕으로 세단과 SUV환경에서 Pendant페달과 Organ페달을 사용하여 Accelerator와 Brake의 최적 영역을 도출하고 페달간의 차이점을 비교해 보고자 한다.

2. 연구 방법

페달 종류에 따른 인간공학적 설계 원칙을 제안하기 위해 실험 요인 선정 및 실험 계획 후 실제 주행 환경을 반영한 환경을 구축하여 실험을 실시, 결론을 도출하였다.

2.1 실험 계획

2.1.1 독립 변수 선정

자동차 페달 설계 시 고려해야 할 요소는 크게 페달 설계 변수, 그 외 차량 설계 변수, 인체 변수 3가지로 분류할 수 있다.

- 페달 설계 변수
  - Accelerator 페달 좌표(X, Y, Z), 패드 각도(Ø)
  - Brake 페달 좌표(X, Y, Z), 패드 각도(Ø)
  - Clutch 페달 좌표(X, Y, Z), 패드 각도(Ø)
  - Foot Rest 좌표((X, Y, Z), Foot Rest 각도(Ø)
  - 페달 종류(Pendant, Organ)
- 차량 설계 변수
  - Seat Height(H_{30})
  - Seat Angle, Seat Pan Angle
  - Steering Wheel에서 페달까지 거리(X, Z)
  - Steering Wheel에서 body까지 거리
- 인체 변수
  - 키, 앉은키, 다리길이, 허리둘레, 발 크기
  - Mt/At(Manual/Automatic Transmission)경험 유무, 신발 종류

위와 같이 페달 설계를 위해서는 페달 뿐만 아니라 페달 관련 주변 설계 변수와 인체 변수까지 함께 고려해야 한다. 하지만 이 모든 변수와 수준을 고려할 시 실험 횟수가 기하급수적으로 커지는 문제점이 발생한다. 그러므로 관심있는 독립 변수를 선정하고 실험 횟수를 줄이는 일은 매우 중요하다.

본 연구에서는 자동차 전문가와 협의를 통하여 페달의 최적 위치 설정에 있어 큰 영향을 주는 변수를 일차적으로 선별하고 독립 변수 수에 따른 실험 횟수를 고려하여 최종 독

립 변수를 선정하였다. 본 연구의 실험 계획은 독립 변수의 조합으로 최적 값을 제공하고 Full factorial 보다 적은 실험 횟수로 실험이 가능한 CCD(central composite design)을 사용하였다. CCD는 독립 변수가 5개에서 6개 사이에서 실험 횟수가 크게 증가하므로 효율적인 실험을 위해 총 5개의 독립 변수를 고려하였다. 본 연구의 목적은 현재 Issue가 되고 있는 Organ페달을 기존에 사용하던 Pendant페달과 비교분석하는 것이다. Organ페달이 바닥에 부착되어 있는 설계 특성을 고려하여 두 페달간의 정확한 비교를 위해 페달의 Z축(상하높이)은 고정하였고, Accelerator 조작 특성 상 Brake의 상대적 위치가 Accelerator 최적 위치에 영향을 주기 때문에 페달 설계 변수에서는 Accelerator의 X(전후 거리), Y(좌우 거리)좌표와 Brake의 X, Y좌표 총 4개의 독립 변수를 우선적으로 선정하였다. 그리고 차량 설계 변수 중에서 Seat Height을 마지막 독립 변수로 선정하였다. 왜냐하면 Seat height는 차량 유형을 구분하고 운전 자세를 결정하는 주요 변수이기 때문이다. 이렇듯 페달의 최적 위치 설정에 있어 영향을 줄 수 있는 주요한 5개 변수를 독립 변수로 선정하였다. 하지만 페달 및 차량 설계 변수 외에 운전자의 길이, 둘레 변수가 페달의 최적 위치에 큰 영향을 줄 것으로 예상된다. 특히 길이 변수의 대표 변수인 키는 페달의 X좌표에 큰 영향을 줄 것으로 판단됨으로 피실험자를 키 Percentile별로 분류하여 선정하였다. 최종적으로 선정된 변수는 다음과 같다.

- 페달 설계 변수
  - Accelerator(A) 페달 좌표(X, Y)
  - Brake(B) 페달 좌표(X, Y)
  - 페달 종류(Pendant, Organ)
- 차량 설계 변수
  - Seat Height(H_{30})
- 인체 변수
  - 키

2.1.2 독립 변수 실험 수준 선정

실험 수준을 선정하기 위해 문헌 조사 및 사전 실험을 하였다. 자동차 페달 설계 시 AHP(Accelerator Heel Point)가 설계의 기준이 되기 때문에 사전 실험에서는 A페달 위치의 실험 구간을 측정하였고 B페달의 위치는 A페달 위치와의 단차로서 계산하였다. 여기서 B페달의 단차는 A페달 위치에 대한 상대적 차이값으로 정의할 수 있다. 즉 B페달의 위치는 A페달의 수준 값(A페달 위치)과 B페달의 수준 값(A페달과의 단차값)의 차이로서 정의된다. 각 페달간의 거리는 페달의 중심점간의 거리로 계산하였다. 사전 실험에서는 운전 경험 3년 이상의 남성 4명이(키 1725±67.6mm, 나이 30.7±2.7세) 참여하였다. 사전 실험 결과로부터 각 변수별 등간격을 정하였다. CCD의 α값을 사용하여 각 변수의 전체 실험 구간을 [$-\alpha$, $+\alpha$]으로 설정하고, α값에 따라 −1,0,1에서 설정하였다.

▶ 실험 원점과 축 설정

이번 연구에서 원점은 Seat track의 제일 후미의 점(Seat가 이동하는 레일의 끝점)에서 차량 바닥으로 수직선을 그었을 때 바닥과의 접점이다. X축 (+)방향은 원점에서 페달 방향, Y축 (+)방향은 원점에서 오른쪽 방향, Z축 (+)방향은 원점에서 위쪽 방향이다. 그림 2는 본 연구에 사용된 mockup의 원점과 축에 대한 설명이다.

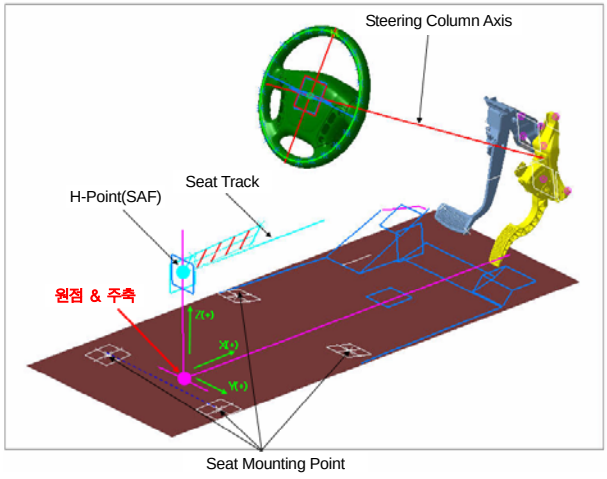


그림 2. 실험 원점 및 축 방향

▶ 사전 실험을 통한 실험 수준 선정

① X축 실험 범위

A페달의 X축 실험에서는 피실험자의 주관적 불편도 측정을 위해서 magnitude estimation을 사용하였다. 피실험자들의 반응을 익숙하게 하기 위해 사전 실험과 본 실험에서 동일한 방식을 사용하였다. A페달 X축 방향에서 불편도 경향은 870mm 지점에서 최적인 2차 곡선의 경향을 보이고 있다. 최적점보다 거리가 가까우면 멀 때보다 불편도 변화가 급하게 일어나는 경향을 보였다. 전체 실험 구간을 [780mm, 960mm]으로 설정하고, α값에 따라 −1,0,1 수준 값을 810, 870, 930mm로 선정하였다. 그림 3은 A페달에서 X축 방향으로 거리 변화에 따른 불편도 경향을 나타낸 것이다.

B페달 X축 수준은 기존에 출시된 SUV의 A, B페달의 X축 상대적 평균 단차를 고려하여 선정하였다. A, B페달의 평균적인 X단차는 −45mm이고, 안전상의 이유로 B페달이 A페달보다 항상 앞에(몸쪽) 위치하였다. 전체 실험 구간을

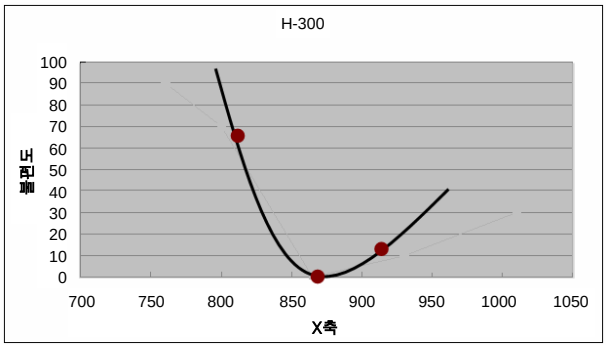


그림 3. A페달의 X축 실험 범위

[0mm, −90mm]으로 설정하고, α값에 따라 −1,0,1 수준 값을 −10, −45, −80mm로 선정하였다.

▶ 문헌 조사를 통한 실험 수준 선정

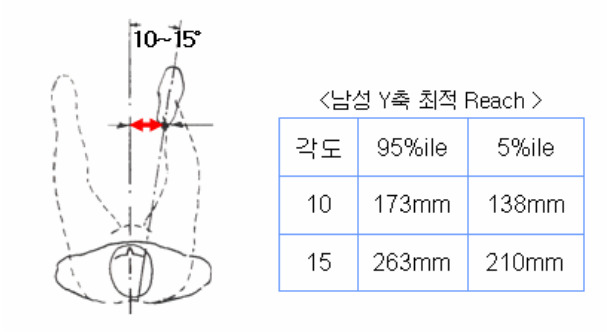
① Seat Height(H_{30}) 실험 범위

사전 실험은 Seat Height 300mm에서 진행하였다. 왜냐하면 기존에 출시된 Sedan과 SUV의 Seat height 범위는 Sedan은 주로 200~300mm, SUV은 주로 300~350mm에서 분포하였다. 즉 Sedan은 Seat height가 300mm을 넘는 게 없었고 SUV는 300mm보다 낮은 게 없었다. 그러므로 Sedan과 SUV을 함께 고려하기 위한 기준점으로 300mm을 선정하였다. SUV의 전 영역을 포함하기 위해 전체 실험 구간을 [255mm, 345mm]으로 설정하고, α값에 따라 −1,0,1 수준 값을 270, 300, 330mm로 선정하였다.

② A페달 Y축 실험 범위

Human Factors Design Handbook에 의하면 운전자의 몸의 중심으로부터 10~15도 사이에 A페달을 위치할 경우 발 불편도가 최소가 됨을 확인하였다(Woodson, 1992). 이 때 몸의 중심선과 AHP간의 Y축 거리는 13.97cm이다. Sizekorea 자료를 이용하여 한국인 남성의 5~95%ile 최적 Y축 구간을 구하였다. 그림 4는 A페달에서 Y축 방향으로 전체 실험 구간을 도출하기 위한 기초자료이다. 그림 4에서 보듯이 한국인 최적 Y축의 Reach는 138~263mm에서 존재한다. 실험 범위 선정에 있어 실제로 유효하지 않은 극단값을 제거하기 위해 기존에 출시된 SUV 분포를 고려하여 실험 수준을 선정하였다. 기존에 출시된 SUV 10대의 A페달 분포는 150~200mm에서 분포하고 180~190mm 구간에 속한 차량이 4대로서 가장 빈도가 높았다. 그래서 190mm를 최적 값으로 선정하였다. 전체 실험 구간을 [155mm, 235mm]으로 설정하고, α값에 따라 −1,0,1 수준 값을 160, 190, 220mm로 선정하였다.

B페달 Y축 수준은 기존에 출시된 SUV의 A, B 페달의 X축 상대적 평균 단차를 고려하여 선정하였다. 기존에 출



<남성 Y축 최적 Reach>

각도	95%ile	5%ile
10	173mm	138mm
15	263mm	210mm

그림 4. 한국인 남성 Y축 최적 Reach

시된 SUV의 A, B페달의 평균적인 Y단차는 −115mm였다(페달 폭을 제외한 순수 단차 65mm). 전체 실험 구간을 [−70mm, −160mm]으로 설정하고, α값에 따라 −1,0,1 수준 값을 −85, −115, −145mm로 선정하였다.

③ A페달 Z축 실험 범위

이번 연구에서는 Pendant, Organ페달의 설계 원칙을 제안하고 두 페달을 비교할 것이다. 하지만 Organ페달은 설계 특성상 바닥에 부착되어 있기 때문에 Z높이는 고정되어 있으므로 Pendant 페달과의 정확한 비교분석을 위해 A페달 높이는 기존에 출시된 SUV의 A페달 평균 높이를 고려하여 150mm로 고정하였다. 그림 5는 기존에 출시된 SUV 10대의 A페달 중심점의 X, Z좌표를 도식화한 것이다.

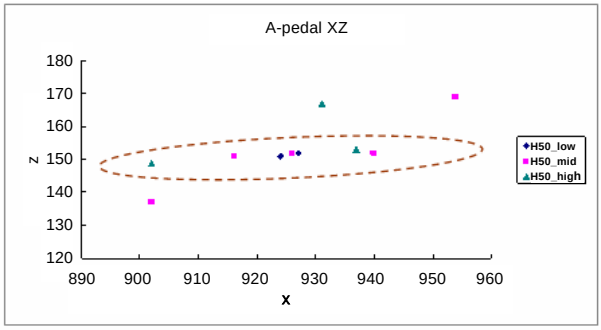


그림 5. 기존에 출시된 SUV A페달의 XZ

B페달 Z축 수준은 기존에 출시된 SUV의 A, B페달의 Z축 상대적 평균 단차를 고려하여 선정하였다. 기존에 출시된 SUV의 A, B페달의 평균적인 Z단차는 20mm이고, A페달과 마찬가지로 B페달 Z수준도 170mm로 고정하였다.

2.1.3 실험 모형

본 연구의 실험 계획은 반응표면모델(Response surface designs)의 하나인 CCD(Central Composite Design) 중에서 CCC(Central Composite Circumscribed Design)를

사용하였다. 왜냐하면 CCC는 CCD의 가장 기본이 되는 형태로서 예측력과 설명력이 뛰어나기 때문이다. CCD는 반응표면모델 중 한가지로 각각의 변수에 대해 다섯 가지의 뚜렷한 수준(level)을 가지며, 각각의 수준은 $-\alpha$, −1, 0, 1, $+\alpha$로 표현된다. 본 연구에서는 독립 변수가 5개인 CCD 모델을 사용하였다. 중심합성계획에서는 모든 독립 변수의 공분산을 0이 되게 하는 특수한 α값을 가진다. 독립 변수 수와 중심점의 수에 따라서 어떠한 α값을 사용할 지 결정된다. 본 실험에서는 5개의 독립 변수와 1번의 중심점을 가지며 이 때 사용된 α값은 1.546이다(Myers, 1976). 또한 CCD는 직교 가능한 모델로서 2차 회귀모형(second-order regression)의 부호화된 변수 값(coded factor value) 중 상관관계를 제거함으로써 상대적으로 적은 실험 계획이 가능하다(Williges, 1981). 따라서 본 연구에서는 이러한 CCD의 특성 상 부호화된 값을 사용하여 연구를 수행하였다. 다음의 [표-1]은 본 연구에서 정의된 CCD에서의 독립 변수 및 수준을 나타낸 것이다. 실험 횟수는 각 페달마다 27번이었다.

표 1. 독립 변수 및 수준

독립 변수	−1.546	−1	0	1	1.546
H30	255	270	300	330	345
Ax	780	810	870	930	960
Ay	155	160	190	220	235
Bx	0	−10	−45	−80	−90
By	−70	−85	−115	−145	−160

2.2 실험 환경 구축

실제 차량 주행 환경과 유사한 환경을 구축하기 위해, 브레이크 페달과 Steering Wheel 등 실제 차량 조작기기들을 설치하였다. 총 2대의 카메라로 촬영하였으며 1대의 카메라는 전체 운전 자세를 측정하였고, 다른 1대의 카메라는 발 부분을 측정하였다. 총 3명 이 실험을 진행하였다. 한 명이 총 실험 진행 및 설문기록을 담당하였고 다른 한 명은 페달 조절을 담당하였고 마지막 한 명은 카메라 측정을 담당하였다.



그림 6. 전체 실험 환경 구축

▶ A, B 페달의 3축 조절

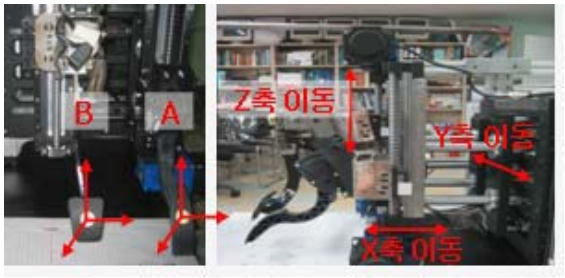


그림 7. 페달 3축 조절 가능(총 6개의 모터 사용)

▶ 페달 각도 조절 및 답력 구현

Seat Height에 맞는 페달의 패드각도를 설정하고 실제 차량과 유사한 페달 밟는 힘을 구현하였다.

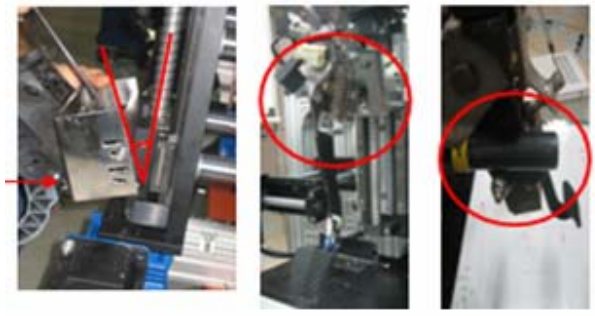


그림 8. 페달 각도 조절 및 답력(Pedal Force) 구현

2.3 실험 방법

2.3.1 피실험자 선정

본 연구는 지난 6개월간 특별한 하지 장애가 없는 남자 대학생 및 대학원생 12명을 대상으로 실험을 실시하였다. 현재 국내외 자동차 업계들은 운전자 모델링 소프트웨어를 통하여 운전 자세 전반에 관한 가상적인 검토를 수행하고 있으며, 이 때 사용하는 휴먼 모델의 Percentile 기준은 신장을 기준으로 50%ile을 평균 운전자로 규정하고 있으며, 95%ile의 극단적인 운전자보다는 75%ile 이상의 그룹을 장신의 운전자로 분류하여 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서도 현재 자동차 설계에 즉각적인 적용을 위하여 우선적으로 키에 따라 3그룹으로 분류하고 실제로 차이가 발생하는지를

분석하기 위하여 사전 실험을 4그룹(~25%ile, 25~50%ile, 50~75%ile, 75%ile~) 수행하였다. 사전 실험 결과 25%ile 이하 그룹과 25~50%ile 그룹의 최적점이 비슷한 위치에 형성되었고 불편도 경향도 비슷하여 본 실험에서는 하나의 그룹으로 통합하였다. 본 실험에서의 최종 그룹은 키1그룹(50%ile 이하 피실험자 4명, 키 1690±22.2mm, 나이는 30±3.3세), 키2그룹(50~75%ile 피실험자 4명, 키 1733±12.5mm, 나이는 30±5.3세), 키3그룹(75% 이상 피실험자 4명, 키 1783±15mm, 나이는 28±1.3세)이다. 다음의 [표-2]는 피실험자 그룹 분류기준과 인원을 나타낸 것이다.

표 2. 피실험자 그룹

키 그룹	키 percentile	실제 키(mm)	인원
키1그룹	~50%ile	~1710	4명
키2그룹	50%~75%ile	1710~1750	4명
키3그룹	75%ile~	1750~	4명

2.3.2 주관적 불편도 평가

피실험자는 A, B페달을 번갈아 가며 Full Stroke로 밟았을 때의 하지 불편도를 응답하였다. 본 실험에 들어가기 앞서 각 Seat 높이에 맞는 최적의 페달 위치를 찾게 하여 그 자세를 불편도 0점으로 교육시키고, 페달을 피실험자가 수용할 수 있는 가장 가까운 거리와 가장 먼 거리로 이동시켜 불편도 100점으로 교육시켜 본 실험에서 불편도 응답의 기준으로 활용하도록 하였다. 본 연구는 피실험자의 주관적 불편도의 측정을 위해서 magnitude estimation을 사용하였다. 그러나 피실험자의 주관적 불편도에 대한 원시 데이터(raw data)를 직접 분석하는 것은 불가능하기 때문에 본 연구에서는 주관적 불편도의 정규화 작업을 거쳐 분석에 사용하였다. 본 연구에서는 Max-min transformation을 사용하여 아래와 같은 방법으로 주관적 불편도를 표준화하였다.

불편도 정규화 = (raw − min)*100/(max−min) (식1)

2.3.3 실험 절차

실험에 앞서 피실험자에게 실험 목적, 내용 및 방법에 대한 설명이 이루어 졌으며, 실험 참여에 동의한 피실험자에 대한 연령, 키, 운전 경험에 대한 설문을 시행하였다. 피실험자가 Seat에 착좌하면 실험 과정 동안 Hip Point가 미끄러짐을 방지하기 위해 안전벨트를 착용하였다. 중심합성법의 실험 계획에 따라 페달 위치와 Seat 높이를 조절해가며 각 Treatment에 대한 불편도를 측정하였다. 불편도는 Seat 높이가 재설정되면 최적 자세를 취하게 하여 불편도 설문의 기준으로 활용하였다. 각 페달(Pendant, Organ)마다 27회 실시하여 총 54회 실험을 실시하였다. 장시간 실험 수행으로 인하여 피로 누적에 의한 불편도 증가를 제거하기 위하여 1인 27회 실험 후 페달 교체 시 10분간의 휴식시간을 두어 실험을 실시하였으며 휴식시간이 지난 후에는 피실험자가 충분한 휴식을 취했는지 확인하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 회귀 분석 결과

각각의 독립 변수들과 불편도와의 관계를 설명하기 위하여 반응표면식을 도출하였다. 두 가지 형태의 페달에 대하여 키에 따른 3개의 그룹에 대한 모형을 각각 개발하였으며, 이를 이용하여 각 조건에 맞는 불편도를 예측할 수 있도록 하였다. 각 페달별로 반응표면식에 대한 분산분석 결과를 표 3과 4에 제시하였다. 두 페달에 대한 반응표면식의 분석결과, 독립 변수들과 불편도간에는 1차 및 2차 관계, 교호작용 모두 유의한 것으로 나타났다($p << 0.001$). 또한 표 3와 4에서 볼 수 있는 바와 같이 'Lack of Fit Test' 결과, 모두 유의하지 않는 것으로 나타나, 반응 표면법에 의해 도출된 2차 회귀식은 독립 변수들과 불편도간의 관계를 설명

표 3. Pendant페달에서 키그룹별 분산분석표

Source \ 키그룹	Degree of freedom			Sum of square			F			P		
	키1그룹	키2그룹	키3그룹	키1그룹	키2그룹	키3그룹	키1그룹	키2그룹	키3그룹	키1그룹	키2그룹	키3그룹
Total Regression	10	10	7	47227	29849	19601.6	21.12	20.8	33.15	0	0	0
Linear	4	4	3	16429	9112	9936.3	20.52	13.73	40.79	0	0	0
Quadratic	3	4	2	22524	15334	8949.2	34.23	28.24	52.6	0	0	0
Crossproduct	3	2	2	8275	5403	716.1	12.34	18.82	4.24	0	0	0.017
Total Error	80	59	90	17885	8038	7602						
Lack of Fit	14	7	7	1700	2724	490.9	0.5	1.54	0.82	0.928	0.14	0.575
Pure Error	66	52	83	16186	5314	7111.1						

표 4. Organ페달에서 키그룹별 분산분석표

Source \ 키그룹	Degree of freedom			Sum of square			F			P		
	키1그룹	키2그룹	키3그룹	키1그룹	키2그룹	키3그룹	키1그룹	키2그룹	키3그룹	키1그룹	키2그룹	키3그룹
Total Regression	10	11	10	31847	59278	34804	21.05	33.82	31.84	0	0	0
Linear	4	4	4	11733	28777	17600	21.53	45.31	36.3	0	0	0
Quadratic	3	4	3	15193	19817	13063	32.37	31.09	36.27	0	0	0
Crossproduct	3	3	3	4920	11824	5532	10.84	24.74	21.01	0	0	0
Total Error	83	79	81	12557	10835	9193						
Lack of Fit	14	13	15	2942	2341	1713	1.51	1.17	1.3	0.132	0.328	0.392
Pure Error	69	55	66	9615	8494	7480						

하는데 적합한 것으로 판명되었다. 페달별 예측식은 다음과 같다.

$$\text{Discomfort} = 33.24 + 2.66H_{30} + 9.55Ax + 2.98Bx - 12.17By + 17.48Ax^2 + 4.6Bx^2 + 16.47By^2 + 5.42H_{30}By - 9.33AxBx + 6.33AxBy \quad (식2)$$

(Pendant, 키1그룹, $R^2 = 69.1\%$)

$$\text{Discomfort} = 19.79 - 2.81H_{30} - 4.13Ax + 9.87Bx - 7.12By + 2.36H_{30}^2 + 20.86Ax^2 + 4.38Bx^2 + 8.67By^2 + 3.05H_{30}Ax - 11.93AxBx \quad (식3)$$

(Pendant, 키2그룹, $R^2 = 75.0\%$)

$$\text{Discomfort} = 49.236 - 3.363Ax + 10.892Bx - 1.556By + 11.121Ax^2 + 9.879By^2 - 2.885AxBx + 1.82AxBy \quad (식4)$$

(Pendant, 키3그룹, $R^2 = 69.9\%$)

$$\text{Discomfort} = 42.047 + 6.533H_{30} + 7.495Ax + 8.952Bx + 2.458By + 16.804Ax^2 + 3.991Bx^2 + 9.721By^2 + 2.916H_{30}Bx - 2.872BxBy \quad (식5)$$

(Organ, 키1그룹, $R^2 = 68.3\%$)

$$\text{Discomfort} = 28.30 + 2.64H_{30} + 16.19Ax + 13.97Bx + 3.25By + 3.42H_{30}^2 + 23.04Ax^2 + 3.35Bx^2 + 6.77By^2 + 7.71H30Ax - 12.71AxBx - 5.04BxBy \quad (식6)$$

(Organ, 키2그룹, $R^2 = 82.0\%$)

$$\text{Discomfort} = 41.942 + 6.633H_{30} + 9.775Ax + 10.952Bx + 2.404By + 15.920Ax^2 + 4.029Bx^2 + 10.131By^2 - 9.182AxBx - 2.742BxBy - 3.032AxBy \quad (식7)$$

(Organ, 키3그룹, $R^2 = 75.5\%$)

위 회귀식을 살펴보면 변수 Ay가 모든 그룹에서 유의하지 않은 걸로 나왔다. 이는 주어진 실험 구간 160~220mm에서 A페달이 자유롭게 위치 가능하며 B페달의 최적점 설정이 보다 중요함을 뜻한다. 즉 A, B페달의 최적 단차를 유지한다면 B페달의 최적의 절대 위치를 잡는데 있어 y축 방향으로 A페달의 제약이 크지 않음을 알 수 있다. 시트 높이 H_{30}은 페달 종류, 키 그룹에 따라 영향이 다름을 보여주고 있다. Pendant페달에서는 키가 작은 1, 2그룹에서만 유의했고 키가 큰 3그룹에서는 유의하지 않았다. 하지만 Organ 페달에서는 모든 그룹에서 유의했다. 즉 Organ페달의 불편도는 Pendant페달의 불편도보다 H_{30}에 더 영향을 많이 받는다고 할 수 있겠다.

3.2 최적 영역의 결정

도출된 회귀식에 기초하여 각 페달 축에서 불편도를 예측하였으며, 이로부터 등편의 영역(Isocomfort pedal zone)을 도출하였다. 등편의 영역이란 페달 조작 시 동일한 불편도를 야기하는 위치들의 집합을 의미한다. 그림 9, 10은 H_{30}을 300mm(실험 수준의 중앙 위치)으로 고정시킨 뒤 Ax 변화에 따른(810mm, 870mm, 930mm) Bx와 By에 대한 등편의 영역을 나타낸 것이다. 그림 9, 10에서 각 그룹내에서 Pendant, Organ 페달에서 Ax값이 증가함에 따라 최적점에서 A, B페달의 X단차값이 증가하는 경향을 알 수 있다(각 그룹내에서 가로 방향으로 확인). 이 경향은 Pendant, Organ 두 페달 모두에게 나타나고 있다. 특히 키가 작은 그룹인 1, 2그룹에서 이러한 경향이 강한데 이것은 A페달이 X축(+)방향으로 갈수록 B페달이 어느 정도의 단차를 확

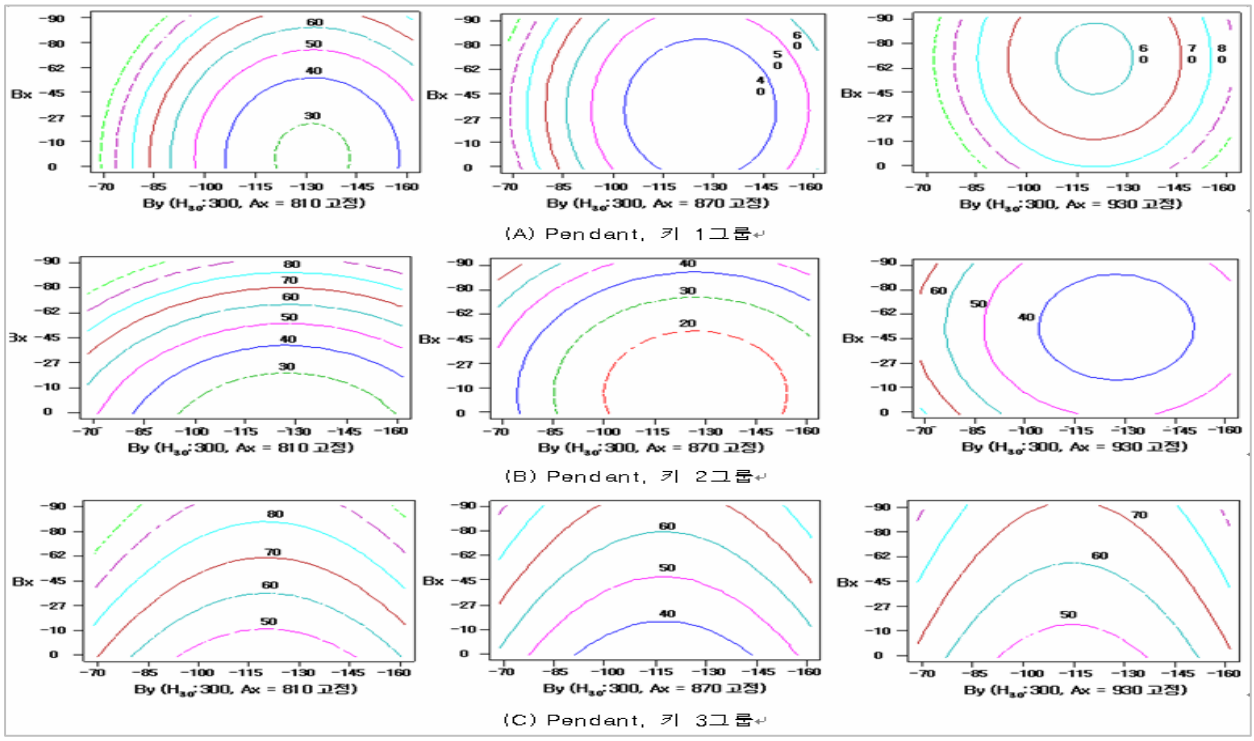


그림 9. Ax변화에 따른 Pendant페달의 등편의 영역

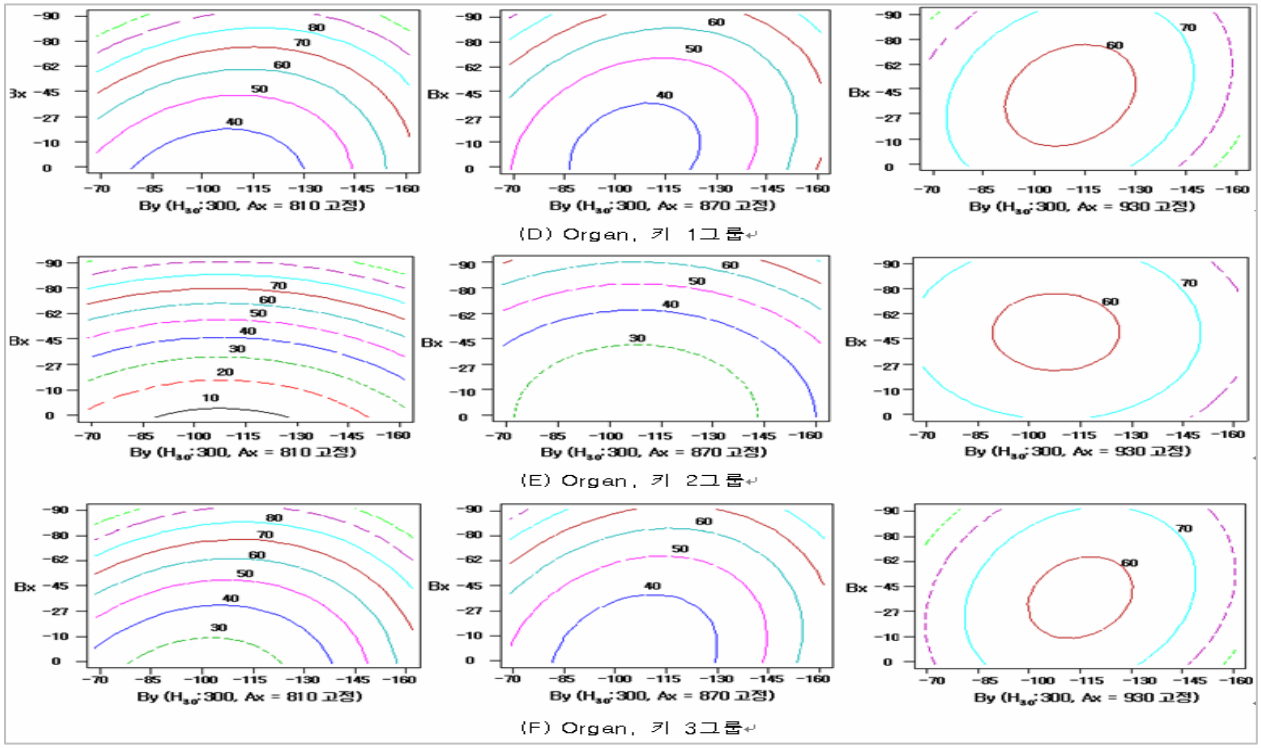


그림 10. Ax변화에 따른 Organ페달의 등편의 영역

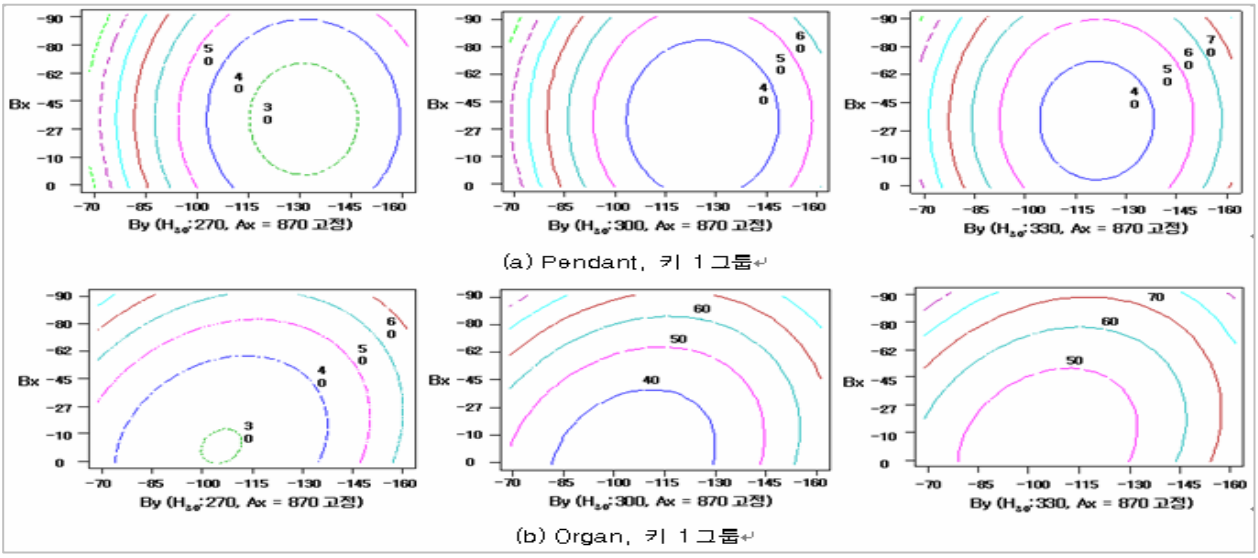


그림 11. H_{30}변화에 따른 키1그룹의 등편의 영역

보해야 A페달이 X축 방향으로 멀리 떨어짐으로 인한 불편도를 완화할 수 있기 때문이라고 추정된다. 그리고 Organ 페달에서는 모든 그룹이 Ax 변화에 따른 Bx 최적 단차 변화가 나타나지만 Pendant페달의 키 큰 그룹인 3그룹에서는 Ax위치와 상관없이 B페달과의 최적 X단차가 0에 가깝게 유지되는 것으로 보아 Organ페달이 A페달의 x축 변화에 따른 B페달과의 단차가 좀 더 영향을 많이 받는다고 할 수 있겠다. 그림 11은 H_{30}에 영향을 받는 키1그룹에 대해서 Ax을 870mm(실험 수준의 중앙위치)로 고정시킨 뒤 H_{30} 변화에 따른 Bx와 By에 대한 등편의 영역을 나타낸 것이다. 그림 11을 보면 두 페달 모두 H_{30} 증가함에 따라 최적 영역의 등고선 영역이 축소됨을 알 수 있다. 즉 이것은 키가 작은 그룹에서는 H_{30}이 높은 차량은 낮은 차량에 비해서 상대적으로 불편도가 높아 SUV차량 설계 시 키 작은 그룹에 대한 보다 많은 고려를 해야 함을 뜻한다.

반응표면분석기법은 실험 데이터로부터 최적의 조건을 야기하는 독립 변수들간의 수준의 조합을 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다(Myers. 1971). 12명의 피실험자들로부터 얻어진 불편도 데이터를 분석한 결과, Pendant 페달은 Hip point으로부터 페달 중심까지 X축 방향으로 83~87cm 떨어진 위치에 있을 때 가장 조작하기 편리한 것으로 나타났다. 이 때 B페달은 A페달로부터 X축(−)방향으로 0~2cm 떨어져 있고, Y축(−)방향으로 12~13cm 떨어져 있을 때 최적의 위치를 형성했다. Organ페달은 Hip point으로부터 페달 중심까지 X축 방향으로 83~85cm 떨어진 위치에 있을 때 가장 조작하기 편리한 것으로 나타났다. 이 때 B페달은 A페달로부터 X축(−)방향으로 0~3cm 떨어져 있고, Y축(−)방향으로 10~11cm 떨어져 있을 때 최적의 위치를 형성했다. 시트 높이 H_{30}에 따라 A, B페달의 최적 위치는 Pendant페달은 키1그룹만 영향을 받았고 Organ페달은 키1, 2그룹이 영향을 받았다. 반응표면분석으로부터 도출된 두 페달의 최적 배치는 표 5와 같다.

표 5. 페달별 최적 배치

Type	H_{30}	키1그룹			키2그룹			키3그룹		
		Ax	Bx	By	Ax	Bx	By	Ax	Bx	By
Pendant	270	834	−18	−133	852	0	−124	870	0	−115
	300	834	−18	−133	852	0	−124			
	330	834	−18	−124	852	0	−124			
Organ	270	834	−9	−106	852	0	−106	852	0	−106
	300	834	−18	−106	843	0	−106	852	0	−106
	330	834	−27	−106	834	0	−106	852	0	−106

4. 논의 및 결론

본 연구에서는 Seat height를 변화시켜 가면서 Pendant 페달과 Organ페달을 비교분석하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, A, B페달 최적 위치 설정에 있어 A페달의 Y위치는 유의하지 않는 걸로 나왔다. 이것은 주어진 실험 구간 16~22cm에서 A페달이 자유롭게 위치 가능하며, B페달과의 Y 단차가 보다 중요함을 뜻한다.

둘째, Pendant페달의 경우 A페달의 X위치의 최적 영역은 83~87cm에 형성되었고, Organ페달의 경우 A페달의 X위치의 최적 영역은 83~85cm에 형성되었다. Pendant 페달은 키에 따라 최적점이 변하는 경향을 보이고 있으나 Organ페달은 비교적 키에 따른 영향력이 적어 비슷한 위치에 최적점이 형성되었다.

셋째, 최적점에서 A, B페달의 X단차는 Pendant페달의 경우 0~2cm, Organ페달의 경우 0~3cm에 형성되었다. 즉 A, B페달의 X위치가 비슷한 위치에 있을 때 최적점을 형성하였다.

넷째, 최적점에서 A, B페달의 Y단차는 Pendant페달의 경우 12~13cm, Organ페달의 경우 10~11cm에 형성되었다. Organ페달의 Y단차가 Pendant페달보다 약 2~3cm 작게 나왔다. 이것은 Organ페달의 특성으로 인한 Full Stroke 시 발생하는 발 자세의 차이 때문이라고 추정된다. Pendant 페달의 경우 AHP(Accelerator Heel Point)가 A, B페달의 중간 영역에서 형성되고 오른쪽으로 비스듬히 누워있는 상태로 Pendant페달을 밟는 자세를 형성하고 있다. 하지만 Organ페달은 Full Stroke를 위해 발 전체가 페달 위에 오는 경향이 있어 페달과 평행하게 발 자세를 유지하고 있어 Y축 방향으로 움직일 수 있는 범위가 Pendant에 비해 제한될 수 밖에 없다.

다섯번째, 두 페달 공통적 경향으로서 Seat height를 고정했을 때 A페달의 X값이 증가함에 따라 A, B페달의 X단차가 증가하는 경향을 보였다. 이것은 A페달이 멀리 갈수록 B 페달이 어느 정도의 단차를 확보해야 A페달이 X축 방향으로 멀리 떨어짐으로 인한 불편도를 완화할 수 있기 때문이라고 추정된다.

여섯번째, 두 페달 공통적 경향으로서 A페달의 X값이 일정하게 유지된 채 Seat height가 높아짐에 따라 키 작은 그룹에서는 불편도가 증가하는 경향을 보였다. 즉 이것은 SUV와 같이 H_{30}이 높은 차량을 설계 시 키 작은 그룹에 대한 보다 많은 고려를 해야 함을 뜻한다. 이와 같이 키 그룹에 따라 최적 위치가 다르다는 것은 페달 설계 시 가변 설계가 필요하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 A, B페달의 단차에 의한 불편도를 측정하여 최적점을 도출하였다. 하지만 측정된 불편도가 페달의 절대적 위치에 의한 불편도인지 단차에 의한 불편도인지 검증이 이루어지지 않아 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 아울러 남자 피실험자 뿐만 아니라 여자 피실험자에 대한 추가적인 연구가 시행된다면 보다 사실적인 페달 최적 영역이 도출될 것이라고 기대된다.

참고 문헌

김유창, 자동차 브레이크 페달 배치의 인간공학적 설계, 한국산업안전학회, 10(3), 1995.

이정우, 권규식, 박세진, "한국인의 운전 자세와 시트 조절량", 대한산업공학회, 서울, 1999.

최진봉, 구락조, 정명철, 박범, 다양한 인체 치수에 따른 산업차량의 핸들과 페달 위치에 관한 연구, *Journal of the Socierty of Korea Industrial and Systems Engineering*, 29(4), 1-7, 2006.

Drury, C. G. and Searle, J. A., A Study of the Seating and Control Positions in Commercial Vehicle Cabs., Motor Industry Research Association, Warwickshire England, 1965-17, 1965.

Katja, N., Comfort Evaluation as Ergonomic Tool with Application to Interior Concepts of Vehicles, SAE Technical Paper Series, 1999-01-1921.

Myers, R. H., Response Surface Methodology, Allyn and bacon, Boston, 1971.

Porter, J. M. and Gyi, E.G., Exploring the optimum posture for driver comfort, *international Journal of Vehicle Design*, 19(3), 255-266, 1998.

Rachel, F, and Christine M.H., The Determination of Optimal Pedal Positioning for Automobiles Using Jack, SAE Technical Paper Series, 2004-01-2149.

Wang, X., Le Breton-Gadegbeku, B. and Bouzon, L., Biomechanical evaluation of automobile clutch pedal operation, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 209-221, 2004.

Williges, R. C., "Development and use of research methodologies for complex system/simulation experimentation," In Moraal, M.J. and Kraiss, K.F.(Ed), Manned system design(pp.59-87). New York, Plenum Press, 1981.

Woodson, W. E., *et al*. Human Factors Design Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill, 1992.

Zhang, L. and Helander, M. G., Identifying factors of comfort and discomfort in sitting, *Human Factors*, 38(3), 377-389, 1996.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 최 정 필 ❖ jpili98@korea.ac.kr
고려대학교 산업시스템정보공학과 학사
현 재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사과정
관심분야: 자동차 인간공학

❖ 정 의 승 ❖ ejung@korea.ac.kr
Pennsylvania State University 산업공학과(인간공학) 박사
현 재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수
관심분야: 제품개발, 인간공학, 감성공학

❖ 박 성 준 ❖ sjpark@nsu.ac.kr
포항공과대학교 산업공학과 (인간공학) 박사
현 재: 남서울대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 자동차 인간공학, 제품개발, 감성평가

❖ 정 성 욱 ❖ saver@korea.ac.kr
고려대학교 산업시스템정보공학과 학사 및 석사
현 재: 고려대학교 산업시스템정보공학과 박사과정
관심분야: 제품 개발 및 디자인, 자동차 인간공학

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2007년 10월 15일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 11월 22일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 11월 23일