

고속전철 객실의자의 인간공학적 설계를 위한 체계적 접근방법 (A Systematic Approach to Ergonomic Seat Design and Evaluation for a Highspeed Train)

정의승, 한성호, 최재호, 강동석, 안정희, 신용택 *

Proper ergonomic design of a passenger seat for the highspeed train is one of the essential design components that is directly related to passenger comfort. This study investigated a systematic approach to ergonomic passenger seat design and evaluation for the Korean highspeed train. To design an ergonomic passenger seat that improves passenger comfort, seat dimensions, Korean anthropometry, passenger activities in the coach, body postures and body contours were considered. The interrelationship of these factors was analyzed and seat dimensions were suggested. To properly evaluate the dimensions suggested, four prototypes were made and iteratively evaluated as a feedback procedure. This approach is expected to be applicable to the passenger seat design of other transport vehicles as well as a train.

1. Introduction

한국형 고속전철의 승객 안락도 제고를 위해서는 한국인의 체형에 맞는 객실내장의 설계가 요구되며, 설계기술의 축적을 위한 체계적인 설계 제원화 과정의 연구가 필요하다. 특히 고속전철 객실내장에 있어서 객실의자(Passenger Seat)는 승객이 여행시 신체와 직접 접하는 부분으로서 탑승 안락도에 가장 큰 영향을 미치는 요소이므로 객실 내장설계시 가장 중요시 고려되어야 할 부분이다.

객실의자는 착석하여 특정한 작업을 수행하기 위한 용도로서 보다 객실내에 승객들이 행하는 행동범위 내에서 쾌적한 휴식을 취할수 있도록 착석 안락도를 최대로 하는 것이 바람직하다. 이러한 설계 요구사항을 만족시키기 위해서는 사용자와 사용 목적이 명확히 정의되어야 하나 객실의자는 사용자가 불특정 다수의 승객으로 명확하게 정의될수 없고 객실내 승객들의 행동 또한 다양하여 목적 및 자세등을 정의하기가 불가능하다. 따라서 사용목적과 대상 사용자가 제시되는 Functional Chair의 설계와는 기본적으로 다른 특성을 지니고 있으므로 객실의자의 설계를 위한 설계절차 및 접근방법의 체계화가 요구된다. 즉, 대상 승객층과 객실내에서의 승객들의 행동, 자세 등의 변화를 수용하면서 동시에 착석 안락도를 최대화 할수 있도록 설계되어야 한다.

기존의 의자 설계에 대한 연구들은 주로 Functional Chair의 설계를 위주로 사무작업자의 작업수행도 향상이나 운전석등의 안락도 제고를 목적으로 수행되었다. Grandjean(1980), Zacharkov(1988)등이 Easy Chair의 Design Recommendation을 제시한바 있으며 Levis(1978), Roebuck et. al.(1975)등의 승객용의자에 대한 연구가 보고되었으나, 이들은 모두 서양인의 인체치수를 기준으로 설계되었고, 제원 결정과정에서 고려되어야할 요소들과 이들간 연관관계 등의 체계적 접근방법을 제시하지 않아 인체치수 및 체형이 다른 한국인 승객에 적합한 객실의자의 설계에 직접 적용하기가 어렵다.

* 포항공대 산업공학과

따라서, 본 연구에서는 한국형 고속전철 객실의자의 제작을 위한 체계적 접근방법을 제시하였으며, 이를 토대로 Prototype을 제작, 평가하여 한국형 고속전철의 1등석과 2등석 객실의자 설계안을 제안하였다.

2. 객실의자 설계시 고려요소

2.1 객실의자의 설계요소

객실의자의 설계를 위해서는 객실의자의 구성요소와 각 구성요소별 설계요소의 파악이 선행되어야 한다. 이를 위하여 문헌 및 현행 대중교통수단의 현장조사를 통하여 객실의자의 제작하기 위해 필요한 모든 설계요소들을 추출한 후, 이 중 승객의 안락도에 영향을 미치는 요소들만을 재선정하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 객실의자의 구성요소 및 세부 설계요소

구성요소	설계 요소
머리받침(Headrest)	높이, 길이, 각도, 굴곡형상(측면, 평면)
등판(Backrest)	높이, 폭, 각도, 굴곡형상(측면, 평면)
허리받침(Lumbar Support)	높이, 수평높이, 굴곡형상(측면, 평면)
좌판(Seatpan)	높이, 폭, 깊이, 각도, 굴곡형상(측면, 평면)
팔걸이(Armrest)	높이, 폭, 각도, 팔걸이간 간격
발받침(Footrest)	높이, 거리, 폭, 깊이, 각도

2.2 인체측정자료

착석시 승객이 안락함을 느끼기 위해서는 객실의자의 제원이 승객의 인체치수에 적합하게 설계되어야 함은 기본이다. 따라서 앞에서 제시된 객실의자 설계요소들과 인체측정자료의 연관성을 파악하여, 한국인 인체측정자료로 부터 고려되어야할 인체측정자료를 추출하였으며, 대상 승객층을 수용할수 있는 여자 5percentile부터 남자 95percentile 까지의 인체치수의 범위를 산출하였다. 본 연구에서는 '국민표준체위 조사'의 측정자료를 사용하였으며, 추출된 인체치수 및 범위는 표 2와 같다.

2.3 승객행동 및 자세

객실의자의 안락도를 저하시키는 중요한 요인중의 하나는 승객행동의 제약이다. 승객행동의 제약을 최소화 하기 위해서는 각 설계요소들의 제원 결정시 인체치수에 행동의 여유율을 반영함으로써 착석시 행동이 자유롭도록 설계되어야 하며, 또한 다양한 자세의 변화에도 안정감있고 편안함이 느껴질 수 있도록 하여야 한다.

표 2. 관련 인체측정자료

측정 부위	남자		여자	
	95 %ile	5 %ile	95 %ile	5 %ile
앉은키	95.7	86.2	88.2	78.8
앉은 눈높이	84.9	75.7	78.5	69.2
앉은 어깨높이	64.6	56.4	58.6	50.8
앉은 견갑골높이	52.7	45.5	47.3	39.0
앉은 배꼽높이	24.3	19.1	23.0	17.7
앉은 팔꿈치높이	31.1	23.5	27.8	21.0
마루-대퇴위높이	54.5	48.4	52.1	46.9
마루-대퇴밑높이	41.2	35.2	36.7	31.8
앉은 엉덩이너비	34.1	29.3	35.2	30.4
엉덩이 무릎굽힌 앞길이	59.0	51.4	56.5	48.8
엉덩이 무릎굽힌 뒷길이	49.8	42.3	48.0	40.8
몸통 너비	47.5	40.3	43.1	36.8

일반적으로 객실내 승객의 행동은 동적인 행동보다는 휴식을 취하거나 책을 보는등의 정적인 자세의 유지가 대부분이다. 따라서 객실의자의 설계에서는 앉은 자세에서의 행동 및 자세의 변화가 우선적으로 고려되어야 한다.

객실내에서 승객이 행하는 행동은 수면, 음악감상, 비디오시청, 신문읽기, 독서, 대화, 사무, 식사 등의 8가지 행동으로 대표될수 있다. 각 행동시 유지되는 자세는 개인에 따라 차이가 있으나, 엉덩이관절(Hip joint)의 각도에 따라 표 3과 같이 수면이나 음악감상시의 확장자세(Extended Posture), 신문읽기나 독서시의 여유자세(Relaxed Posture)와 사무자세등과 같은 제한자세(Restricted Posture)로 대별할수 있다. 이들 각 자세에서의 특징은 그림 1에 나타난 바와 같으며, 행동의 변화에 따른 신체 6개 주요 관절각의 범위를 측정하여 표 4에 제시하였다.

표 3. 승객행동의 분류

확장자세 (Extended Posture)	여유자세 (Relaxed Posture)	제한자세 (Restricted Posture)
수면	신문읽기	사무
음악감상	독서	식사
비디오시청	대화	기기이용

확장자세	상체의 각도	제한자세
증가		감소
앞으로 미끄러짐	엉덩이	뒤로 밀착
뒤로 기댐	머리	세움
뺨음	무릎	굽힘

그림 1. 승객 자세분류별 특징

표 4. 승객행동 변화에 따른 신체 관절각의 범위

관절\행동	수면	신문읽기	사무
엉덩이 각도	110°	—————	95°
무릎 각도	135°	—————	95°
발목 각도	90°	—————	100°
목 각도	0°	—————	30°
어깨 굴곡 (Shoulder Flexion)	0°	—————	25°
어깨 외전 (Shoulder Abduction)	15°	20°	15°

2.4 인체굴곡형상

인체는 복잡한 굴곡형태로 이루어져 있으며 이러한 굴곡면을 통해 신체의 하중이 의자에 전달된다. 착석시 신체 하중의 고른 분포는 국소빈혈등을 방지함으로서 승객의 안락도를 제고시키는 중요 요인이며, 사람의 척추는 S형태의 굴곡을 이루고 있어 착석시에도 이러한 형태를 유지할수 있어야 피로를 느끼지 않고 쾌적함을 지속할수 있다(Chaffin, 1984). 따라서 안락한 객실의자는 인체의 굴곡형상을 유지시켜주면서 신체의 하중을 넓게 분산시킬수 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 남자 3명, 여자 2명의 머리, 등, 허리, 엉덩이, 허벅지의 굴곡형상을 측정하여 객실의자 설계의 기본자료로 사용하였다.

3. 설계요소간 연관관계 및 조절부위 선정

객실의자 각 설계요소의 제원은 앞서 제시된 요소들이 안락도에 미치는 영향을 고려하여 결정되어야 한다. 그러나 이들 설계요소의 제원이 안락도에 미치는 영향은 서로 독립적이 아니라 상호 연관성을 지니고 있으므로, 제원을 결정하기 위해 요소들간의 연관관계가 우선 파악되어야 한다.

3.1 설계요소간 연관관계

설계요소들 간에는 연관성이 있어 한 설계요소의 변동이 다른 설계요소의 제원 결정에 영향을 미치게 된다. 이러한 연관관계는 타 설계요소의 제원이 결정된 후에 이에 의거하여 정해질수 있는 선후관계, 다른 설계요소와 동시에 고려되어 결정되어야 하는 대등관계, 한 설계요소의 제원이 다른 설계요소의 제원범위 이내에 국한되는 제한관계 등이 있으며, 이러한 연관관계 분석을 토대로 그림 2와 같은 각 설계요소간의 연관도를 도출하였다. 그림 2에 나타나지 않은 설계요소들은 타 요소들과의 연관성이 적어 독립적으로 제원을 결정할수 있거나, 다른 설계요소에 영향을 주지 않는 것들이다.

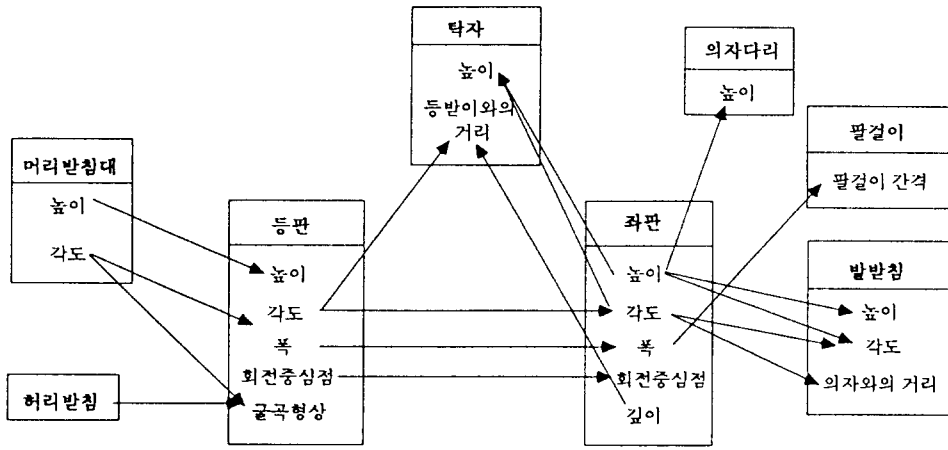


그림 2. 설계요소들간의 상관관계

3.2 설계요소 제원결정의 선후관계

각 설계요소의 제원을 결정하기 위하여 그림 2의 설계요소간 연관관계로 부터 제원결정의 선후관계를 도출하여 그림 3에 나타내었다. 각 화살표 우측의 항목은 좌측의 연관된 설계요소들의 제원이 결정된 후에 정해질수 있는 요소임을 의미하며, 첫번째 좌측열의 항목들은 타 설계요소로 부터 영향을 받지 않아 독립적으로 제원을 결정할수 있으나 자신의 제원은 다른 요소의 제원에 영향을 미치는 요소들이다.

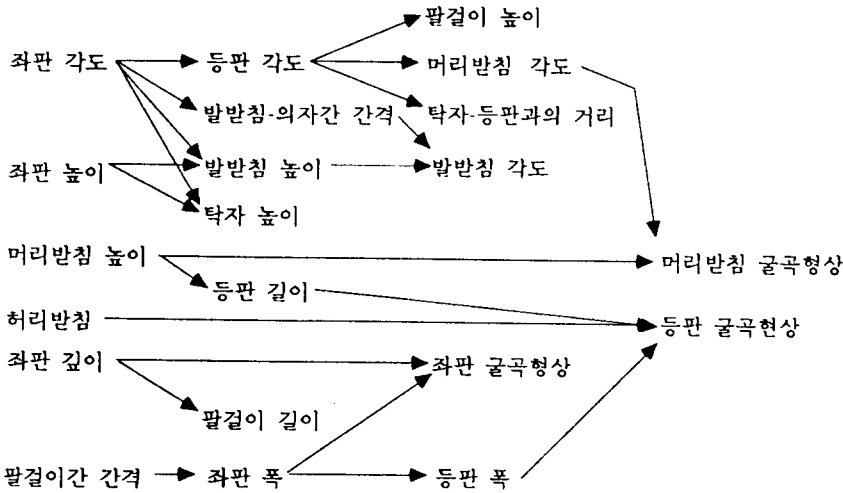


그림 3. 설계요소들간의 선후도

3.3 가변도 및 민감도 분석에 의한 조절부위 선정

가장 안락한 객실의자는 모든 승객의 체형 및 자세에 적합하게 조절할수 있는 것이나, 제작비용 및 조작성의 어려움 등을 고려할때 대부분의 설계요소는 승객들이 안락함을 느낄수 있는 제원으로 고정시키고 조절가능한 부위의 수를 최소화 하는 것이 바람직하다. 조절가능한 부위로 설계되어야할 요소로는 대상 승객의 인체치수의 범위, 즉 가변도(Anthropometric Variability)가 커서 고정된 제원으로

는 대부분의 승객에게 안락감을 제공할수 없는 경우와, 가변도는 작지만 작은 제원의 변화에도 승객이 느끼는 안락도의 차이가 큰, 즉 민감도(Comfort Sensitivity)가 큰 경우이다. 따라서 조절부위의 선정 을 위해서 인체측정자료의 가변도와 민감도에 대한 분석이 수행되었다. 표 5는 가변도와 민감도 분석 을 통해 선정된 조절대상 부위들로서, 이들중 조작성 및 제작비용 등을 고려하여 조절부위를 결정하여 야 한다.

표 5. 가변도와 민감도에 따른 조절대상 설계요소의 선정

설계요소	관련 인체측정자료	인체측정자료 범위
등판 각도	자세에 따른 엉덩이 각도	95° - 134°
좌판 각도	자세에 따른 엉덩이 각도	0° - 26°
머리받침 각도	자세에 따른 목 각도	0° - 30°
머리받침 높이	앞은 눈높이	692 - 849 mm
허리받침 높이	앞은 배꼽높이	177 - 243 mm
팔걸이 높이	앞은 팔꿈치 높이	210 - 311 mm
팔걸이간 간격	몸통 너비	368 - 475 mm

4. Prototype 제작

파악된 고려요소와 요소간 연관관계를 토대로 각 설계요소의 제원과 의자 굴곡형상을 결정하여 객실의자의 Prototype을 제작하였다.

4.1 Prototype의 제원 결정

Prototype의 제원은 설계요소간 선후관계도로 부터 나타난 결정 우선순위에 의하여 순차적으로 결정하였으며, 관련 인체측정자료와 자세분석을 통해 추출한 관절각을 고려하여 승객이 안락한 자세를 유지할수 있도록 하였다. 그러나 인체측정치수들은 옷을 입지않고 고정된 자세에서 측정한 값들이므로 실제 상황에 적합하도록 구두높이, 엉덩이의 밀림등과 같은 실제상황을 반영하였으며, 기존 연구의 추천범위, 현행 교통수단의 현상조사에 의한 기존 객실의자의 제원 등을 고려하여 기본제원을 결정하였 다.

4.2 Prototype 굴곡형상의 결정

실제 측정된 인체굴곡형태를 토대로 신체와 접하는 좌판과 등판, 머리받침의 굴곡형상을 결정하 였다. 의자의 굴곡에의한 안락도는 작은 사람을 감싸줌으로서 느끼는 안락함보다는 좁거나 들출되어 느끼는 불편함이 크므로 전체 대상 승객의 불편함을 최소화하기 위하여 95percentile 남자의 측정된 인체굴곡형태를 기준으로 행동 및 자세의 여유율을 고려하여 결정하였다.

본 연구에서 객실의자의 설계를 위하여 고려된 설계원칙들을 정리하면 다음과 같다.

- 인체굴곡 형상을 고려한 고른 체압분포 및 요추의 lordosis 유지
- 승객의 행동 및 자세분석을 통하여 심리적, 기능적 불만의 최소화
- 여자 5 percentile부터 남자 95 percentile까지의 인체치수 고려
- 특정 인체치수 승객의 만족 최대화보다는 전체 대상승객의 불편을 최소화
- fixed seatpan 형태를 기준으로 등판-좌판 사이의 최적 각도 유지
- 여유자세(Relaxed posture)의 안락도 중시
 - 객실내 승객행동분포의 조사결과 대부분의 승객이 독서 또는 대화를 행하는 것으로 파악되어 독서 또는 대화의 자세인 여유자세의 안락도 제고를 원칙으로 하였다.
- 1등석과 2등석의 차등 설계개념
- 고정제원(Fixed dimension) 기준
 - 가변도 및 민감도 분석을 통하여 조절 대상부위를 추출하였으나 본 연구에서는 제작비용등을 고려하여 고정제원을 기준으로 설계하였다.

5. Prototype의 평가

제작된 Prototype을 실제 착석시 느끼는 안락도를 반영하기 위하여 실험을 통해 평가하였으며, 평가내용을 반영한 Prototype의 수정, 재평가의 과정을 반복수행하여 최종 객실의자의 설계안을 도출하였다(William et. al., 1991).

평가는 대상승객층의 인체치수를 대표할수 있는 여자 5percentile부터 남자 95percentile에 해당하는 다양한 인체치수의 평가자들이 제작된 Prototype에 앉아 직접 예상행동을 실행하게 한뒤 안락도 및 개선사항을 설문조사 기법을 이용하여 평가하도록 하였다. 설문은 Seat Feature Checklist를 이용하여 객실의자의 각 설계요소별로 각 행동에 따른 안락도를 Likert의 5단계 평가기법(Likert Rating Scale)을 이용하여 평가할수 있도록 작성되었다(Zacharkov, 1988).

설문평가를 통해 Prototype의 문제점을 파악하고 이를 토대로 개선된 Prototype의 설계안을 수립하였다. 평가과정에서 제기된 문제점은 설계요소별로 분류하여 공통적인 의견과 상반되는 의견으로 분류하였다. 공통적으로 제기된 문제점에 대해서는 Prototype의 제원과 평가자들의 인체측정치를 비교하고 원인을 파악하여 제원을 조정하였다. 평가자들간에 상반되게 나타난 의견에 대해서는 인체측정치의 차이에 의한 것과 개인적 성향에 따른 것으로 분류하여, 인체측정치에 의한 차이는 불편함을 줄이는 방향으로 조정하였으며, 개인적 성향의 차이는 다수의 의견을 중시하여 반영하였다.

본 연구에서 제작된 Prototype은 제작비용 및 편의성 등을 고려하여 등판과 좌판의 각도만 조절되고 기타 부위는 고정제원으로 제작되었다. 그러나 추후 조절가능한 의자의 제작을 위하여 선정된 조절부위의 조절범위를 표 6에 제시하였다.

표 6. 조절부위의 범위

조절 부위	조절범위
머리받침 높이	600mm - 800mm
머리받침 각도	0° - 24°
좌판 각도	0° - 14°
등판 각도	90° - 114°
허리받침 높이	120mm - 230mm

6. 객실의자의 설계안

본 연구에서는 총 4회의 Prototype 제작, 평가, 수정 과정을 거쳐 최적 객실의자 설계안을 도출하였으며 이로부터 고속전철 1등석과 2등석의 객실의자 설계안을 제시하였다. 1등석과 2등석의 객실의자는 기본 설계개념을 차등화하여 승객의 객실에 대한 인지도를 차별화하도록 하였다. 1등석 객실의자의 경우 안락한 여행을 위하여 요구되는 조건을 최대한 만족시키고 고급스럽고 여유있는 느낌을 줄수 있도록 디자인 하였다. 2등석의 경우 불편함을 느끼지 않는 최소한의 기능과 요구제원을 만족시키면서 단순하고 세련된 이미지를 갖도록 디자인 하였다. 최종 제안된 1,2등석 객실의자의 제원은 그림 4와 같다.

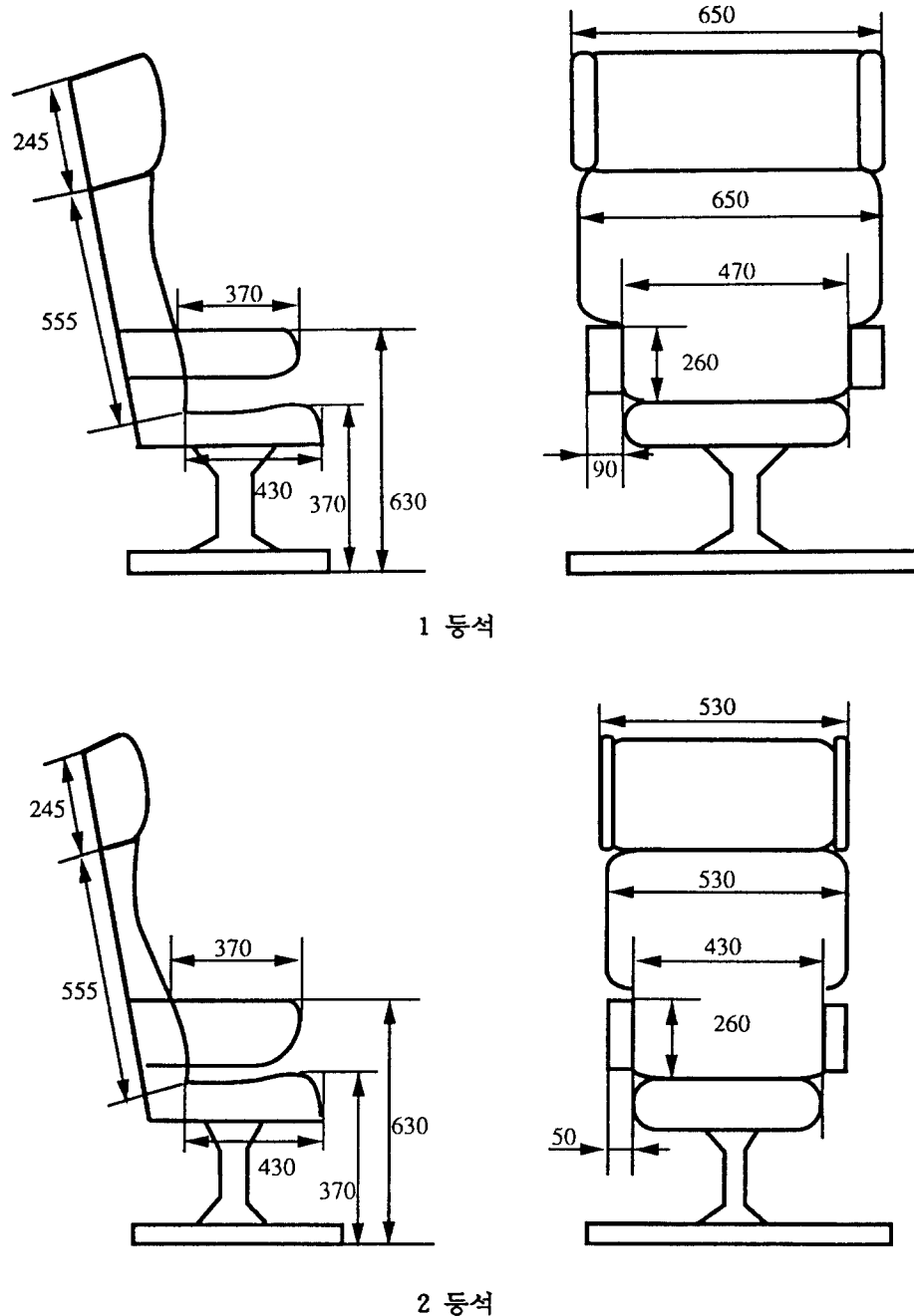


그림 4. 1등석, 2등석 객실의자의 제원

본 연구를 통해 제작된 고속전철 객실의자의 특성 및 기능은 다음과 같다.

- 좌판은 엉덩이와 허벅지의 굴곡형태를 반영하여 신체하중이 고르게 분산되도록 하였으며 엉덩이의 밀림을 최대한 방지하고 다리의 움직임을 제한하지 않도록 설계되었다(그림 5.a).
- 등판의 굴곡은 척추의 굴곡형태를 유지하면서 접촉면적을 최대한으로 할수 있도록 설계하였으며, 어깨와 상지의 움직임에 제약이 없도록 하였다(그림 5.b).
- 머리받침은 안정감을 제공하고 감싸주는 느낌을 줄수 있도록 제작하였다(그림 5.c).

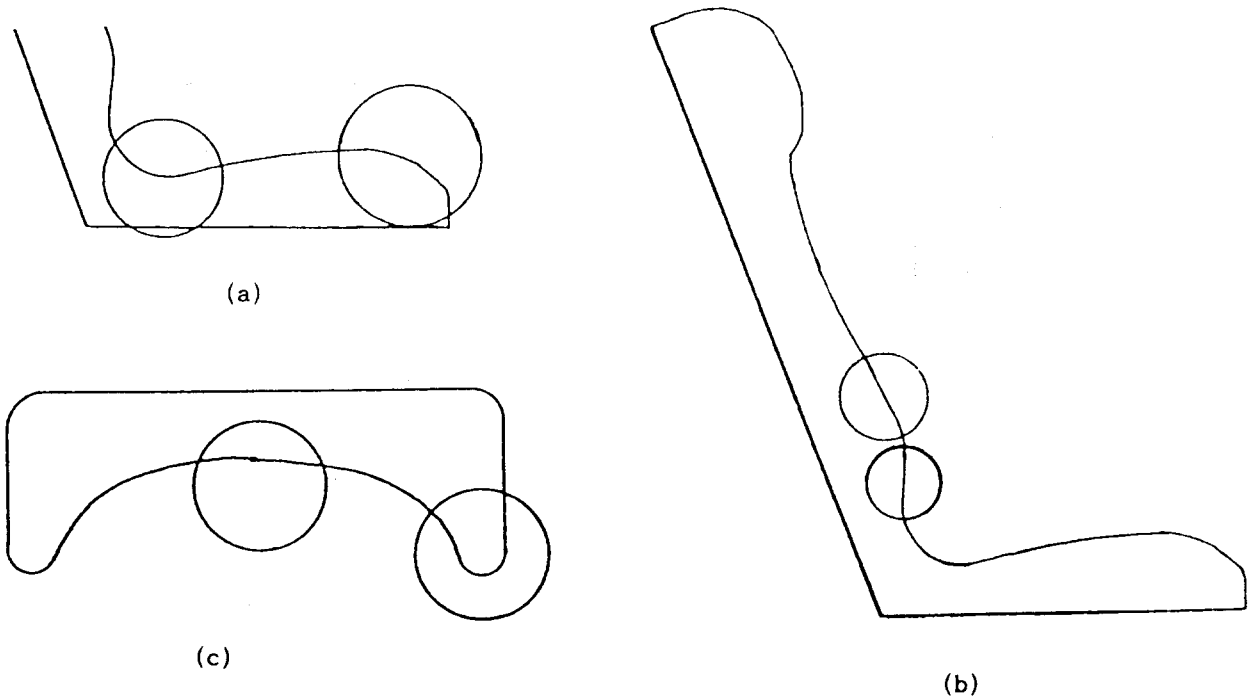


그림 5. 제작된 객실의자의 부위별 형태

6. 결 론

본 연구에서 제안된 접근방법은 승객 안락도에 영향을 미치는 요인들과 이들의 유기적 관계를 파악함으로써 최적의 객실의자를 설계할수 있도록 제시되었다. 또한 인간공학적 이론 및 체계적 접근방법을 통하여 객실의자 설계의 기본 원칙을 제시하였으며, 한국인 인체측정자료의 분석을 기준으로 한국인 체형에 적합한 객실의자의 제원을 도출하였고, 이론적 근거 및 실험을 통하여 승객의 안락도를 최대화할수 있는 객실의자를 설계하였다.

본 연구에서 제시된 객실의자 설계의 체계적 접근방식은 선진국으로부터 기술을 도입하여 건설되는 고속전철의 상황에서 그들의 설계제원화 과정을 파악하고, 구체적 설계사양을 결정함에 있어 한국인에 적합하지 않은 설계요소를 수정하여 합리적으로 설계제원을 확정할수 있는 근거로 사용될수 있을 것이다. 또한 고속전철 뿐만 아니라 기타 대중 교통수단에도 적용하여 안락한 객실의자의 설계의 기준으로 사용되어질수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

공업진흥청, 국민표준체위 조사보고서, 1986

Chaffin, D.B., and Andersson, G.B., Occupational Biomechanics, John Wiley & Sons, New York, 1984

Diffrient, N., Tilley, A.R., Harman, D., Humanscale, The MIT Press, Mass, 1981

Grandjean, E., Fitting the task to the man, Taylor & Francis Ltd, 1980

Levis, J.A., "The seated bus passenger - A review", Applied Ergonomics, Vol.9, 1978

Orbone, D. J., and Levis J. A., Human Factors in Transport Research, Vol.1,2, Academic Press, 1980

Roebuck, J.A., Kroemer, K.H.E, and Thomson, W.G., Engineering Anthropometry Method, John Wiley & Sons, 1975

William H. Cushman and Daniel J. Rosenberg, Human Factors in Product Design, Elsevier, 1991

Zacharkov, D., Posture : Sitting, Standing, Chair Design & Exercises, Charies & Toms Publisher, 1988