한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'15-02, Vol.8 No.1
논문 15-08-01-059 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2015.8.1.059

트랙터 시트의 인간공학적 설계 인자에 대한 연구

장지홍*

A Study on Ergonomic Design Factors for Driver's Seat of Tractor

Ji-Hong Chang*

요 약 본 연구의 목적은 트랙터와 운전자의 인터페이스에서 중요한 연결고리인 트랙터 시트에 대한 인간공학적 설계 인자의 도출이다. 대상 인구집단은 한국과 미국의 성인남녀이며 앉은엉덩이오금수평길이, 앉은어깨뼈높이, 앉은팔꿈치높이 등 7종의 인체측정변수를 사용했다. 시트 설계 인자로는 좌석면의 크기, 등받이의 크기 및 팔걸이의 위치를 도출했다. 척주의 형태와 피복 효과 또한 고려되어야 하며, 본 연구의 결과가 소형 트랙터에 적용되는 시트의 설계 과정에서 가이드라인으로 활용되기를 기대한다.

Abstract This study focuses on the dimensions of tractor seat, which is one of the important link between the tractor and the operator based on ergonomic approach in the design process. 7 anthropometric data sets were introduced from Korean and US anthropometric database for adult male and female including length of buttock to back of knee (sitting), height of lowest point of shoulder blade (sitting), underside elbow height (sitting), and so on. Design factor for the tractor seat included dimensions of seating surface, dimensions of backrest surface, and the location of armrest. The shape of spinal curve and clothing correction should be also considered during the design process. The result of this study can be used as a guideline for the design process of tractor seat.

Key Words : Anthropometry, Ergonomics, Design, Seat, Tractor

1. 서론

트랙터는 각종 농작업에 다양하게 사용되는 다목적 농업기계로 1990년 4만여 대이던 보급 대수가 2010년 26만여 대의 보급 대수를 보이고 있다 [1]. 트랙터 관련 농작업 사고는 트랙터 100대당 약 3.1건 발생하는 것으로 조사되었으며, 상해의 유형은 골절, 절단과 같은 중상이 절반 이상을 차지하는 것으로 조사되었다. 트랙터 관련 교통사고의 경우 전체 농업기계 교통사고의 27.1%를 차지하는 것으로 조사되었으며, 중상과 사망 피해가 전체의 40% 이상을 차지하는 것으로 조사되었다 [2].

이러한 트랙터의 잠재적 위험성으로 인해, 외국의 경우 트랙터의 인간공학적 특성과 관련된 연구가 다양하게 진행되고 있으나[3][4][5], 국내에서는 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 승용차량의 경우 국내에서도 다양한 인간공학적 연구가 진행되어 왔으나, 연구결과를 트랙터에 직접 도입하기에는 트랙터의 운행 특성과 지형 조건에 커다란 차이가 있다.

트랙터와 같은 인간-기계 시스템의 경우, 운전자와 기계사이의 인터페이스설계는 전체 시스템의 효율 및 안전성을 결정하는 중요한 요소이다. 트랙터와 같이 다양한 운전 지형에서 장시간 작업하는 경우 운전자의 척주(Spinal column)의 부

*Corresponding Author : Department of Occupational Therapy, Jungwon University, Chungbuk, Korea(jhchang@jwu.ac.kr)
Received January 10, 2015 Revised January 30, 2015 Accepted February 8, 2015

상위험이 증가하게 되며 [6], 운전석 시트의 설계가 매우 중요한 요소로 작용하게 된다. 일반적으로 중/대형 트랙터의 경우 농업 전용으로 사용되어 주 사용자 집단을 성인 남성으로 하여 설계한다. 미국에서 소형트랙터의 경우 농업 및 정원용으로 사용되는 경우가 많아 성인 남녀 모두를 사용자 집단으로 설계하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 운전석 시트의 설계에 필수적인 인체측정치수를 한국과 미국 성인 남녀 인구집단을 대상으로 고찰하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 인체측정자료

본 연구에서 사용되는 인구 집단은 한국과 미국의 성인 남녀를 대상으로 한다. 한국의 인체측정치수는 2010년 제6차 한국인 인체치수 직접측정 조사사업을 통해 수행되었으며, 139종의 인체측정치수를 포함하고 있다. 전국에서 7-69세의 남녀 만사천여명을 대상으로 측정하였다 [7]. 제6차 한국인 인체치수 데이터베이스는 Size Korea 웹사이트에서 확인할 수 있다 (hppt://sizekorea.ats.go.kr). 본 연구에 사용된 한국인 인체측정자료의 연령 범위는 남녀 공히 18-65세이다.

미국의 인체측정치수는 2003부터 3년간 측정된 자료를 바탕으로 구성되어 있으며 미국질병통제예방센터 (Centers for Disease Control and Prevention, CDC)의 주도로 실시되었다. 18-64세의 성인 남녀로부터 측정된 데이터를 포함하고 있다. 미국의 인체측정치 데이터베이스는 PeolpleSize2008 Anthropometry Software (Open Ergonomics Ltd., Leicestershire, UK)를 통해 수집되었다. 본 연구에 사용된 미국인 인체측정자료의 연령 범위는 남녀 공히 18-64세이다.

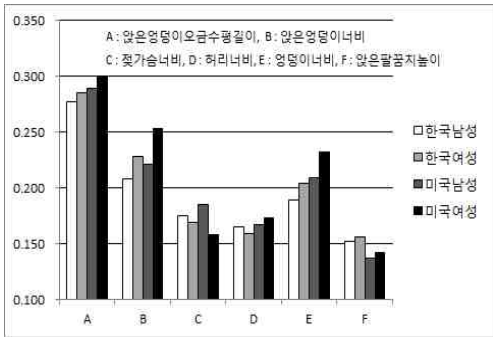

그림 1. 성인 한국/미국 남성/여성의 상대 인체측정치 비교

Fig. 1. Relative anthropometry data for adult Korean and US males and females

한국과 미국 성인 남녀 인체측정치의 변차는 인종과 성별에 따라 좌우된다. 인체 측정치는 일반적으로 남성보다 여성이, 백인보다 동양인이 작은 경향을 갖게 된다. 그러나 해부학적 특징을 설명해주는 상대인체측정치는 이러한 경향과 일치하지 않기도 한다. 본 연구에서 적용된 인체측정자료의 상대인체측정치는 그림 1과 같다. 트랙터 운전석 시트의 설계에 사용되는 인체측정변수 명칭과 정의는 표 1과 같으며, 의미 왜곡을 최소화하기 위해 명칭과 정의는 한국인 인체치수 데이터베이스의 기술을 그대로 따른다.

표 1. 소형 트랙터 운전석 설계를 위한 인체측정변수

Table 1. Anthropometric variables for the design of operator's seat in small-sized tractor

명 칭	정 의
앉은엉덩이오금수평길이	엉덩이 뒷부분을 수직판 표면에 접촉시킨상태에서 수직판에서 앉은오금점까지의 수평거리
앉은엉덩이너비	엉덩이 혹은 양쪽 넙다리 사이의 최대 수평거리
앉은어깨뼈높이	앉은면에서 어깨뼈 아래각까지의 수직거리
젖가슴너비	오른쪽 젖꼭지 수준에서 가슴의 수평거리
허리너비	양쪽 허리옆점 사이 수평 거리
엉덩이너비	양쪽 엉덩이 돌출점 수준에서의 수평거리
앉은팔꿈치높이	앉은면에서 팔꿈치아래점까지의 수직거리

표 1의 인체측정변수에 대한 한국인과 미국인의 인체측정치는 각각 표 2와 3와 같다. 표 2와 3의 인체측정치는 국가별/성별 인체측정치의 5, 50, 95 퍼센타일을 나타내고 있는데, 인간공학적

설계에서 일반적으로 5-95 퍼센타일의 인체측정치를 사용한다. 이는 전체 사용자 집단의 90 퍼센트를 포함하는 범위로서 일반적으로 최대 가성비를 나타내는 구간으로 간주된다.

인체측정치 데이터베이스는 각국의 용도와 계획에 따라 상이한 구조를 갖는다. 앉은어깨뼈높이의 경우 미국의 데이터베이스에는 포함되어 있으나 제6차 한국인 인체치수 데이터베이스에는 포함되어 있지 않다. 유사 인종간의 인체측정치는 통계적인 방법에 의해 추정하기도 하지만 [8], 한국인과 미국인의 인종간 유사성을 찾기 어려우므로 추정으로 인한 오차의 가능성을 배제하기로 한다. 또한 허리너비와 젖가슴너비의 경우 미국의 2003-6 데이터베이스에는 포함되어 있지 않으므로 1998 데이터베이스의 허리너비측정치로 대체하였다.

2.2 시트 설계 인자

트랙터 시트의 설계에서 인체측정치와 조화를 이루어야 하는 요소들은 인체와 직접 접촉하는 좌석면의 크기, 등받이의 크기 및 팔걸이의 위치이다. 이론적으로 시트 각 부위의 크기와 위치를 조절할 수 있어야 최적의 인간공학적 설계를 도출할 수 있으나 상용화 과정에서 불가피하게 발생하는 비용의 문제로 소형 트랙터의 경우 시트 등받이의 틸팅만을 제공하는 경우가 많다. 시트 각 부위의 형태와 재질도 물론 중요한 요소이지만, 인간공학적 설계의 최우선 요건인 크기를 중심으로 살펴보아야 한다.

표 2. 18-65세 한국 성인의 인체측정자료(단위:mm)
Table 2. Anthropometric data of Korean adults ages from 18 to 65 (unit: mm)

구 분	남성(퍼센타일)			여성(퍼센타일)		
	5	50	95	5	50	95
앉은엉덩이오금수평길이	433	475	517	412	452	491
앉은엉덩이너비	323	357	397	330	362	402
앉은어깨뼈높이	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
젖가슴너비	269	301	339	242	268	306
허리너비	246	284	330	218	253	303
엉덩이너비	298	324	354	298	323	352
앉은팔꿈치높이	220	261	303	210	248	284

표 3. 18-64세 미국 성인의 인체측정자료(단위:mm)
Table 3. Anthropometric dataset of US adults ages from 18 to 64 (unit: mm)

구 분	남성(퍼센타일)			여성(퍼센타일)		
	5	50	95	5	50	95
앉은엉덩이오금수평길이	456	511	567	439	490	545
앉은엉덩이너비	340	392	449	349	413	494
앉은어깨뼈높이	419	452	485	400	438	475
젖가슴너비	285	344	402	219	289	359
허리너비	231	295	360	179	282	385
엉덩이너비	325	370	423	324	378	455
앉은팔꿈치높이	207	243	279	197	232	266

좌석면의 크기를 구성하는 요인은 좌석면의 너비 (가로방향)과 길이(세로방향)으로 각각 인체측정치중 앉은엉덩이너비와 앉은엉덩이수평길이와 비교하여야 한다. 좌석면의 적정한 크기는 운전중 발생하는 체중의 적정한 분산을 위하여 충분히 넓게 확보하여야 하나 체구가 작은 운전자의 활동을 제한해서는 안된다. 일반적으로 좌석면의 너비는 앉은엉덩이너비보다 50mm 작게 설계되는데, 이는 착석 시 좌석면과 넙다리 하부의 접촉면의 감소에 기인한다 [8].

등받이의 크기를 구성하는 요인 중 등받이의 너비(가로방향)는 젖가슴너비 및 허리너비와 등받이의 높이(수직방향)은 앉은어깨뼈높이와 비교되어야 한다. 등받이의 높이는 일반적으로 높을수록 충격 흡수 및 체중 분산에 유리하다. 그러나 트랙터의 경우, 각종 조정장치의 원활한 조작을 위해 상지(Upper extremity)의 움직임이 제약을 받지 않는 구조가 유리하도록 되어 있어 저수준 등받이(low-level backrest)의 구조를 갖도록 설계하여야 한다 [8].

팔걸이의 경우, 트랙터의 운전특징으로 인해 크기보다는 위치가 더 중요한 요소로 작용하게 된다. 팔걸이는 장시간 운행으로 인해 발생할 수 있는 상지의 부담을 완화하는 기능을 함과 동시

에 각종 조정장치의 정밀한 조작에 필요한 지지대로 사용되기도 한다. 또한 팔걸이의 위치는 착/탈석에서 운전자의 용이한 이동에 제약이 되기도 하므로 중요하게 고려되어야 하는 요소이다. 이와 같은 두 가지 관점에서 살펴봤을 때, 앉은팔꿈치높이와 엉덩이너비를 고려하여 팔걸이의 위치를 결정해야 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 좌석면

좌석면의 크기를 결정하는 요인 중 좌석면의 너비는 작은 체형의 운전자를 기준으로 설계될 경우, 큰 체형의 운전자는 불편함을 느낄 뿐 아니라 장시간 운전 시 사고의 위험을 증가시킨다. 따라서 좌석면의 너비는 양국 성인 남녀 중 앉은엉덩이너비가 가장 큰 95 퍼센타일의 미국 여성을 기준 (494mm)으로 설계하여야 한다. 앉은엉덩이너비는 착석 시 엉덩이돌출점간의 최대 수평거리로 정의되며 착석 시 넙다리의 아래면의 형상을 고려하여 50mm를 차감한다.

이와 반대로, 좌석면의 길이는 작은 체형의 운전자를 기준으로 설계되어야 하며, 반대의 경우 작은 체형의 운전자는 등받이 하부와 요추 하부의 밀착이 불가능하게 된다. 이 경우, 체중의 효율적 분산이 이루어지지 않아, 요추 하부의 부상위험이 증가하며, 피로도의 증가로 인한 불편함과 안전성의 저하를 가져오게 된다. 좌석면의 길이는 앉은엉덩이오금수평길이가 가장 작은 5 퍼센타일 한국 여성의 치수를 기준으로 설계하여야 한다. 이 경우, 5 퍼센타일 한국 여성의 앉은엉덩이오금수평길이(412mm)는 95 퍼센타일 미국 남성의 앉은엉덩이오금수평길이(567mm)의 약 73%에 해당하게 되므로 큰 체형의 미국 남성의 체중분산 측면에서 매우 불리한 조건으로 작용하게 된다. 한국 여성 트랙터 운전자의 낮은 개연성을 고려하면 5 퍼센타일 한국 남성의 앉은엉덩이오금스평길이(433mm)를 사용하는 것이 바람직할 것이다.

3.2 등받이

시트의 등받이는 운전 중 발생하는 진동 및 충격으로부터 상체를 보호하고, 상체의 자세 유지에 필요한 근육의 수축을 완화시키는 것이다. 이러한 조건을 충족하기 위해 넓고 높은 등받이가 유리하다 . 그러나 빈번한 조정 작업이 요구되는 트랙터의 운전조건을 감안했을 때, 상지의 가동범위(range of motion)을 제한하는 넓고 높은 등받이는 작업성과 안전성을 저해하는 요인이 된다. 어깨관절은 상지의 운동성에 가장 큰 영향을 미치는 관절로, 어깨뼈(scapula)의 원활한 동작에 제약이 없도록 등받이 높이를 설정해야 한다. 5 퍼센타일 미국 여성의 앉은어깨뼈높이(400mm)를 기준으로 등받이 높이의 설계 기준치를 설정하는 것이 바람직하다. 제6차 한국인 인체치수 데이터베이스에는 해당 변수가 포함되지 않아 직접 확인은 불가하나 전체적으로 한국 남성의 신체 크기가 미국 여성보다 크므로, 한국 남성에게 적용 가능하다는 결론을 도출할 수 있다.

등받이의 너비는 허리너비와 젖가슴너비의 인체측정치를 기준으로 설계하여야 한다. 이 중 상지의 동작에 제약을 가하는 등받이 상부의 설계기준치에 더 주안점을 두어야 한다. 등받이의 높이가 이미 작은 체구 운전자의 어깨뼈높이를 기준으로 설계된 경우, 등받이의 너비에 의한 상지 동작의 제한 가능성이 낮으므로 중간 체형의 미국 남성 운전자(344 mm)를 기준으로 설계하도록 한다.

3.3 팔걸이

팔걸이는 착/탈석 시 엉덩이의 움직임을 제한하지 않도록 설계되어야 한다. 또한 조정장치의 조작에서 발생하는 상지의 부하를 지지하는 역할을 하도록 설계되어야 한다. 엉덩이의 움직임을 제한하지 않기 위해 큰 체형 운전자의 엉덩이너비보다 넓게 위치하여 한다. 주어진 인체측정 데이터베이스로부터 95퍼센타일 미국 여성의 엉덩이너비(455mm)를 기준으로 양측 팔걸이 사이 간

격을 설정하여야 한다. 팔걸이의 높이는 앉은팔꿈치 높이를 기준으로 설계되어야 하는데, 작은 체형의 운전자의 해당 치수를 기준으로 설계할 경우, 큰 체형 운전자의 상지 부하 감소 기능을 상실하게 된다. 따라서 95 퍼센타일 한국 남성의 앉은 팔꿈치 높이를 기준으로 좌석면으로 부터 최소 303mm 높이에 설계되어야 한다.

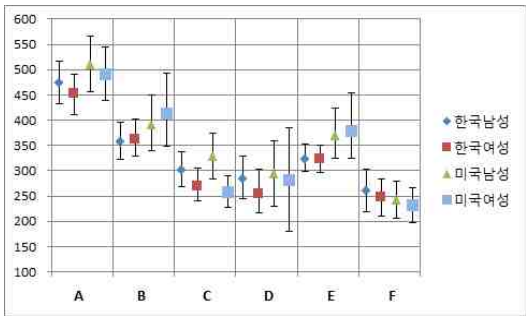

그림 2. 한국/미국 성인 남녀의 인체측정치 차이 비교
Fig. 2. Variation of Anthropometry for Korean and US males and females (A : 앉은엉덩이오금 수평길이, B : 앉은엉덩이너비, C : 젖가슴너비, D : 허리너비, E : 엉덩이너비, F : 앉은팔꿈치높이)

3.4 기타 고려사항

이상에서와 같이 트랙터 시트 설계에 요구되는 설계 치수에 대해 한국과 미국의 성인 남녀를 대상으로 고찰하였다. 이외에도 시트의 설계에서 고려해야 하는 요소들에 대해 기술하고자 한다. 시트의 치수 이외에도 설계자들이 고려해야 하는 요인들은 아래와 같다.

등받이는 척주의 형태를 지지하기 위한 곡면의 형태를 갖춰야 한다. 일반적으로 요추부의 지지를 위해 등받이 하부는 운전자 쪽으로 돌출된 형태를 유지해야 한다 [8]. 등받이의 기준면으로부터 40mm 돌출된 패드는 착석 시 척주의 형태를 직립 시 척주의 형태와 유사하게 만들어 주는 것으로 알려져 있다 [9]. 그러나 척주의 곡면은 개인차가 있으므로 [10], 고정된 값 보다는 가변성을 제공할 수 있는 설계가 보다 더 설득력 있는 해법이 될 것이다.

피복의 효과 또한 설계에서 반영되어야 한다. 인체측정 자료는 최소한의 피복을 착용한 채 측정되므로, 실제 작업환경에서 착용하게 되는 피복의 효과를 감안하여야 한다. 피복에 의한 설계 가중치는 작업환경과 기후의 다양성으로 인해 특정하기 어렵다. 다만 농작업의 특성상 가벼운 옷차림보다는 두껍고 튼튼한 피복을 전제로 하는 것이 타당할 것이다. 혹한기를 제외하고 일반적으로 바지의 경우 1-5mm, 상의 겉옷의 경우 5-20mm의 두께를 감안하여 가중치를 줄 수 있다 [8].

표 4. 인간공학적 시트 설계 인자 (단위:mm)
Table 4. Suggested dimensions for ergonomic seat design (unit:mm)

Part	Item	Dimension	Remarks
Seat	Width	444	Minimum
	Length	433	Maximum
Backrest	Width	344	Maximum
	Height	400	Maximum
Armrest	Spacing	455	Minimum
	Height	303	Minimum

4. 결론

인체측정치는 인종 및 성별에 따라 차이를 나타내며, 신장에 상대인체측정치도 다양성을 갖는다. 인체의 해부학적 특징에 기인하는 이러한 다양성을 고려하지 않은 설계는 작업의 효율을 떨어뜨리게 된다. 장시간 이러한 환경에 노출될 경우 작업자의 근골격계 질환 부담을 증가시킬 수 있다.

본 연구에서는 트랙터 운전석 시트의 설계에 요구되는 요인들을 인간공학적 관점에서 고찰하였다. 트랙터 운전석은 운전자와 트랙터를 연결해 주는 인터페이스로서 트랙터 운전석 설계에서 가장 중요한 요소이다. 승용 차량의 경우, 좌석의 안전성, 편의성 등에 대한 다양한 연구가 시도되어 왔으며 최근 촉각을 이용한 내비게이션 시스템에 대한 연구에 이르기 까지 다양한 연구가 진

행되었으나[11], 트랙터의 경우 유사한 연구가 진행되지 못하였다. 또한 다양한 지형의 비포장면을 장시간 운전하는 트랙터의 주행특성을 감안하면 운전자의 인체 특징이 반영된 시트의 설계는 운전자의 안전과 근골격계질환의 발생에 영향을 미치는 중요한 요소이다.

본 연구의 결과는 한국과 미국의 성인 남녀를 대상으로 하는 소형 트랙터에 적용되는 운전석 시트의 설계에 가이드라인으로 활용될 수 있다. 등받이의 형태는 척주의 굴곡을 반영한 형태를 도입해야 한다. 또한 피복의 효과를 반영하여 실제 작업환경에 적합한 설계가 이루어져야 한다. 또한 인체측정치의 시대적 변화(secular trend)를 감안하여 본 연구를 통해 제시된 결과는 설계의 가이드라인으로 활용되어야 한다.

REFERENCES

[1] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, “2011 Status of Agricultural Machinery Possession”, pp. 6, 2012.

[2] Rural Development Administration, “2008 Status of Agricultural Machinery-Related Accidents Report”, 2009

[3] J. H. Chang, F. A. Fathallah, W. Pickett, B. J. Miller, and B. Marlenga, “Limitations in field of vision for simulated young farm tractor operators”, Ergonomics 53(6), pp. 758-66, Jun 2010.

[4] F. A. Fathallah, J. H. Chang, W. Pickett, and B. Marlenga, “ Ability of youth operators to reach farm tractor controls”, Ergonomics 52(6), pp. 685-94, Jun 2009.

[5] C. R. Mehta, M. M. Pandey, P. S. Tiwari, L. P. Gite, and A. Khadatkar, “Tractor controls actuating force limits for Indian operators”, Ind Health 49(4), pp. 523-33, Jun 2011

[6] H. J. Kim and J. P. Chung, “A Study on the Assistive System for Body Correction”, J of KIIECT 4(4), pp. 231-235, 2011

[7] Korean Agency for Technology and Standards, “2010 Final Report for the 6th Anthropometry of Korean Population by Direct Measurement”, Korean Agency for Technology and Standards and Ministry of Trade, Industry and Energy, 2010

[8] S. Pheasant and C. M. Haslegrave, “Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work 3rd edition”, Taylor & Francis, 2006

[9] G. B. J. Andersson, R. Ortengren, A. Nachemson, and G. Elfstrom, “Lumbar disc pressure and myoelectric back muslce activity during sitting. I. Studies on an experimental chair”, Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine 6(3), pp. 104-114, 1974

[10] N. Coleman, B. P. Hull, and G. Ellitt, “An enpirical study of preferred sitting for lumbar support on adjustable office chairs”, Erogonomics 41(4), 401-419, 1998

[11] K. Chung, J. Hyun, J. Hwang, and K. Cho, “The Development and Evaluation of a Spatial Haptic Cue-based Driving Navigation Aid System and UI”, Proceeding of Korean HCI Conference 2012, pp. 935-8, 2012

저자약력

장 지 홍(Ji Hong Chang) **[종신회원]**

- 2007년 2월 : University of California at Davis (박사)
- 2009년 3월 - 현재 : 중원대학교 교수

<관심분야> 인간공학, 재활공학